NOUVEAU GRAND PARIS

GRAND PARIS EXPRESS LE RÉSEAU DE TRANSPORT PUBLIC DU GRAND PARIS

Société du Grand Paris

LIGNE 15 SUD : PONT DE SÈVRES < > NOISY – CHAMPS

DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION (CODE DE L'ENVIRONNEMENT, CODE FORESTIER, CODE DE L'URBANISME)

PIÈCE **B.5**

Étude d'impact de la ligne 15 Sud (rouge)

Annexes

Sommaire

1 Annexe 1 : Gestion du risque inondation – Modélisation de la Marne du pont de l'A4 à l'Ile d'Amour et du Port de Bonneuil au pont de Maisons-Alfort 7

1.1 Contexte et objet de l'étude 9

1.1.1 Contexte général 9

1.1.2 Contexte réglementaire 11

1.1.3 Code de l'environnement et Loi sur l'eau 14

1.1.4 Doctrine DRIEE « Aménagements impactant le libre écoulement des eaux » 16

1.1.5 Objet de l'étude 16

1.2 Contexte hydrologique et hydraulique 16

1.2.1 Hydrologie de la Marne 16

1.2.2 Fonctionnement hydraulique 19

1.2.3 Définition des classes d'impact 19

1.3 Modélisation hydraulique 20

1.3.1 Généralités 20

1.3.2 Construction du modèle hydraulique – Etat de référence 21

1.3.3 Régime de simulation 27

1.3.4 Calage du modèle hydraulique – Etat de référence 27

1.3.5 Test de sensibilité 29

1.4 Incidences hydrauliques du projet – Marne amont 30

1.4.1 Etat de référence 30

1.4.2 Phase chantier 36

1.4.3 Phase exploitation 39

1.4.4 Conclusion sur les incidences hydrauliques – Marne amont 42

1.5 Incidences hydrauliques du projet – Marne aval 42

1.5.1 Etat de référence 42

1.5.2 Phase chantier 50

1.5.3 Phase exploitation 53

1.5.4 Conclusion sur les incidences hydrauliques – Marne amont 57

1.6 Mise en œuvre de mesures de réduction et/ou de compensation 57

1.6.1 Mesures générales de limitation des impacts 57

1.6.2 Compensation des volumes prélevés à la crue 57

1.6.3 Conformité et compatibilité des aménagements sur le secteur de la boucle de la Marne à Saint-Maur-des-Fossés 59

2 Annexe 2 : Gestion du risque inondation – Modélisation de la Seine du pont de Choisy au pont du Port à l'Anglais 63

2.1 Contexte et objet de l'étude 65

2.1.1 Contexte général 65

2.1.2 Contexte réglementaire 67

2.1.3 Objet de l'étude 72

2.2 Contexte hydrologique et hydraulique 72

2.2.1 Hydrologie de la Seine 72

2.2.2 Fonctionnement hydraulique 75

2.2.3 Définition des classes d'impact 75

2.3 Modélisation hydraulique 76

2.3.1 Généralités 76

2.3.2 Construction du modèle hydraulique – Etat de référence 77

2.3.3 Régime de simulation 80

2.3.4 Calage du modèle – Etat de référence 80

2.3.5 Test de sensibilité 81

2.4 Incidences hydrauliques du projet 82

2.4.1 Etat de référence 82

2.4.2 Phase chantier 90

2.4.3 Phase exploitation 107

2.4.4 Conclusion sur les incidences hydrauliques 124

2.5 Mise en œuvre de mesures de réduction et/ou de compensation 124

2.5.1 Mesures générales de limitation des impacts 124

2.5.2 Compensation des volumes prélevés à la crue 125

2.5.3 Conformité et compatibilité des aménagements de la Ligne 15 sud sur le secteur de Vitry-sur-Seine 130

3 Annexe 3 : Gestion du risque inondation – Modélisation de la Seine du pont du Garigliano à la passerelle de l'Avre 133

3.1 Contexte et objet de l'étude 135

3.1.1 Contexte général 135

3.1.2 Contexte réglementaire 137

3.1.3 Objet de l'étude 141
3.2 Contexte hydrologique et hydraulique 141
3.2.1 Hydrologie de la Seine 141
3.2.2 Fonctionnement Hydraulique 144
3.2.3 Définition des classes d'impact 144
3.3 Modélisation Hydraulique 145
3.3.1 Généralités 145
3.3.2 Construction du modèle hydraulique – Etat de référence 146
3.3.3 Régime de simulation 150
3.3.4 Calage du modèle hydraulique – Etat de référence 150
3.3.5 Test de sensibilité 152
3.4 Incidences hydrauliques du projet 153
3.4.1 Etat de référence 153
3.4.2 Phase Chantier 163
3.4.3 Phase Exploitation 178
3.4.4 Conclusion sur les incidences hydrauliques 191
3.5 Mise en œuvre de mesures de réduction des incidences sur les lignes d'eau en phase chantier 191
3.5.1 Définition et modélisation de la phase chantier modifiée 191
3.5.2 Incidences de la phase chantier modifiée 192
3.5.3 Conclusion concernant la mesure de réduction des impacts en phase travaux 195
3.6 Mise en œuvre de mesures de réduction et/ou de compensation 195
3.6.1 Mesures générales de limitation des impacts 195
3.6.2 Compensation des volumes prélevés à la crue 196
3.6.3 Conformité et compatibilité des aménagements de la ligne 15 Sud sur le secteur de Pont de Sèvres 207
3.7 Crues exceptionnelles 211
3.7.1 Descriptifs des zones inondées en fonction de la crue exceptionnelle simulée 211
3.7.2 Présentation des résultats 211

4 Annexe 4 : Gestion des eaux souterraines – Modélisation hydrogéologique de la boucle de Boulogne-Billancourt (92) 221
4.1 Résumé et auteurs de l'étude 223
4.1.1 Résumé 223
4.1.2 Auteurs de l'étude 223
4.2 Description de la zone d'étude et du projet 224
4.2.1 Hydrographie 224
4.2.2 Géologie 224
4.2.3 Hydrogéologie 229
4.2.4 Description du projet de métro et de ses impacts potentiels 236
4.3 Modèle hydrogéologique de la boucle de Boulogne 239
4.3.1 Modèle conceptuel et limites du domaine 239
4.3.2 Modèle géologique 240
4.3.3 Maillage du modèle hydrogéologique 240
4.3.4 Calage en régime permanent 244
4.3.5 Calage en régime transitoire 246
4.3.6 Sensibilité du modèle 247
4.3.7 Simulation de l'impact du projet en phase chantier 248
4.3.8 Simulation de l'impact du projet en phase définitive 254
4.4 Conclusions 261
4.4.1 Impacts du projet de métro sur la piézométrie et les écoulements de la nappe du complexe alluvions-craie 261
4.4.2 Incertitudes et recommandations 261
4.5 Bibliographie 262

5 Annexe 5 : Gestion des eaux souterraines – Modélisation hydrogéologique du territoire traversé par ligne 15 sud entre les gares de Fort d'Issy-Vanves-Clamart et Champigny Centre 263
5.1 Résumé et auteurs des études 265
5.1.1 Résumé 265
5.1.2 Auteurs de l'étude 266
5.2 Introduction 266
5.3 Description de la zone d'étude et du projet 267
5.3.1 Hydrographie 267
5.3.2 Géologie 267
5.3.3 Hydrogéologie 275
5.3.4 Description du projet de métro et de ses impacts potentiels 287
5.4 Modèle hydrogéologique 290
5.4.1 Modèle conceptuel et limites du domaine 290
5.4.2 Modèle géologique 293

5.4.3 Maillage du modèle hydrogéologique 294
5.4.4 Calage en régime permanent 298
5.4.5 Calage en régime transitoire 314
5.5 Simulations 317
5.5.1 Principe et méthodologie 317
5.5.2 Simulation de l'effet barrage (phase définitive) 333
5.6 Conclusions 336
5.7 Bibliographie 337

6 Annexe 6 : Fiches de résultats détaillés des campagnes de mesures des niveaux de bruit réalisées au niveau des secteurs d'aménagement des ouvrages annexes de la Ligne 15 Sud 339

7 Annexe 7 : Charte environnement des chantiers 361

8 Annexe 8 : Politique Qualité Sécurité Environnement 373

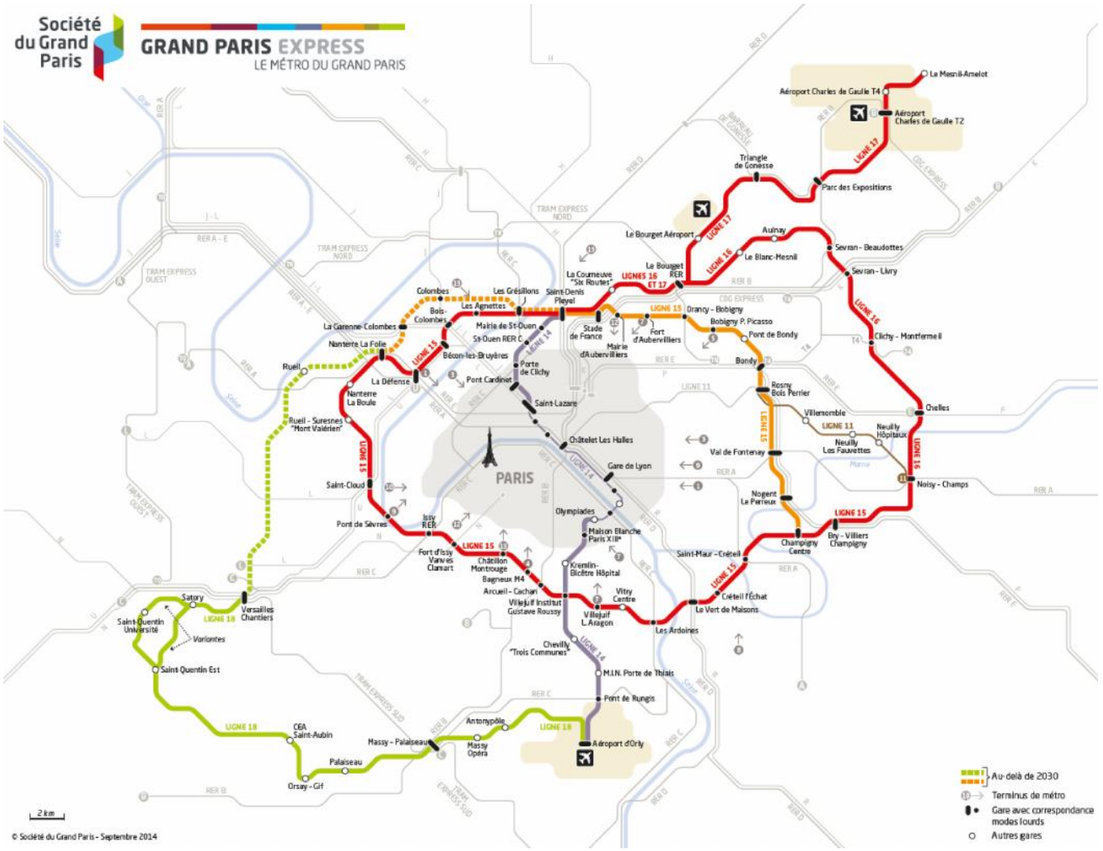
9 Annexe 9 : Fiches sondages zones humides 383

1 Annexe 1 : Gestion du risque inondation – Modélisation de la Marne du pont de l'A4 à l'Ile d'Amour et du Port de Bonneuil au pont de Maisons-Alfort

1.1 Contexte et objet de l'étude

1.1.1 Contexte général

Le Grand Paris est un projet d'aménagement à l'échelle de la métropole francilienne ayant pour objectif d'améliorer le cadre de vie des habitants, de corriger les inégalités territoriales et de construire une ville durable. Ce projet prévoit la création d'un nouveau réseau de métro : le Grand Paris Express. Ce nouveau réseau porte sur l'extension du réseau existant et sur la création de 4 nouvelles lignes de métro automatique (cf. illustration ci-dessous).



Carte 1 : Projet du Grand Paris Express (Source : Société du Grand Paris, Septembre 2014)

La ligne 15 est une ligne entièrement nouvelle qui constitue une rocade proche de Paris d'une longueur d'environ 75 km. Il s'agit d'un métro totalement souterrain qui reliera 36 nouvelles gares. Cette rocade est composée de trois tronçons dont la mise en service s'échelonne dans le temps :

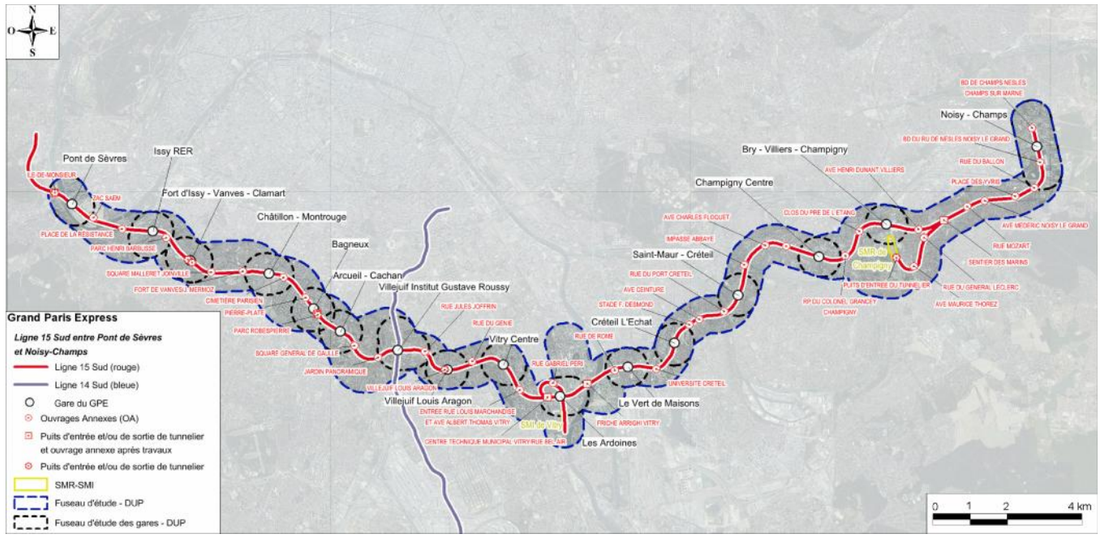
- La Ligne 15 Sud (environ 33 km), sous maîtrise d'ouvrage de la Société du Grand Paris (SGP), qui relie la gare de Pont de Sèvres et celle de Noisy-Champs (mise en service à horizon 2022),

- La Ligne 15 Ouest (environ 21 km), sous maîtrise d'ouvrage SGP, qui relie la gare de Pont de Sèvres à celle de Saint-Denis Pleyel (mise en service à horizons 2025 et 2027),

- La ligne 15 Est (environ 24 km), sous maîtrise d'ouvrage Stif, qui relie la gare de Saint-Denis Pleyel à celle de Champigny-Centre (mise en service à horizons 2025 et 2030).

Ainsi, à l'horizon 2022, le tronçon Sud de la Ligne 15 reliera les gares de Noisy-Champs et Pont de Sèvres sur un linéaire de 33 km en 35 minutes. La totalité des 16 gares de la Ligne 15 Sud seront en correspondance avec les lignes de RER, de métro, de tramway et/ou de transport en commun en site propre.

Cette ligne sera dotée d'un Site de Maintenance des Infrastructures (SMI) situé au sud du secteur des Ardoines sur la commune de Vitry-sur-Seine et d'un Site de Maintenance et Remisage (SMR) sur la commune de Champigny-sur-Marne.

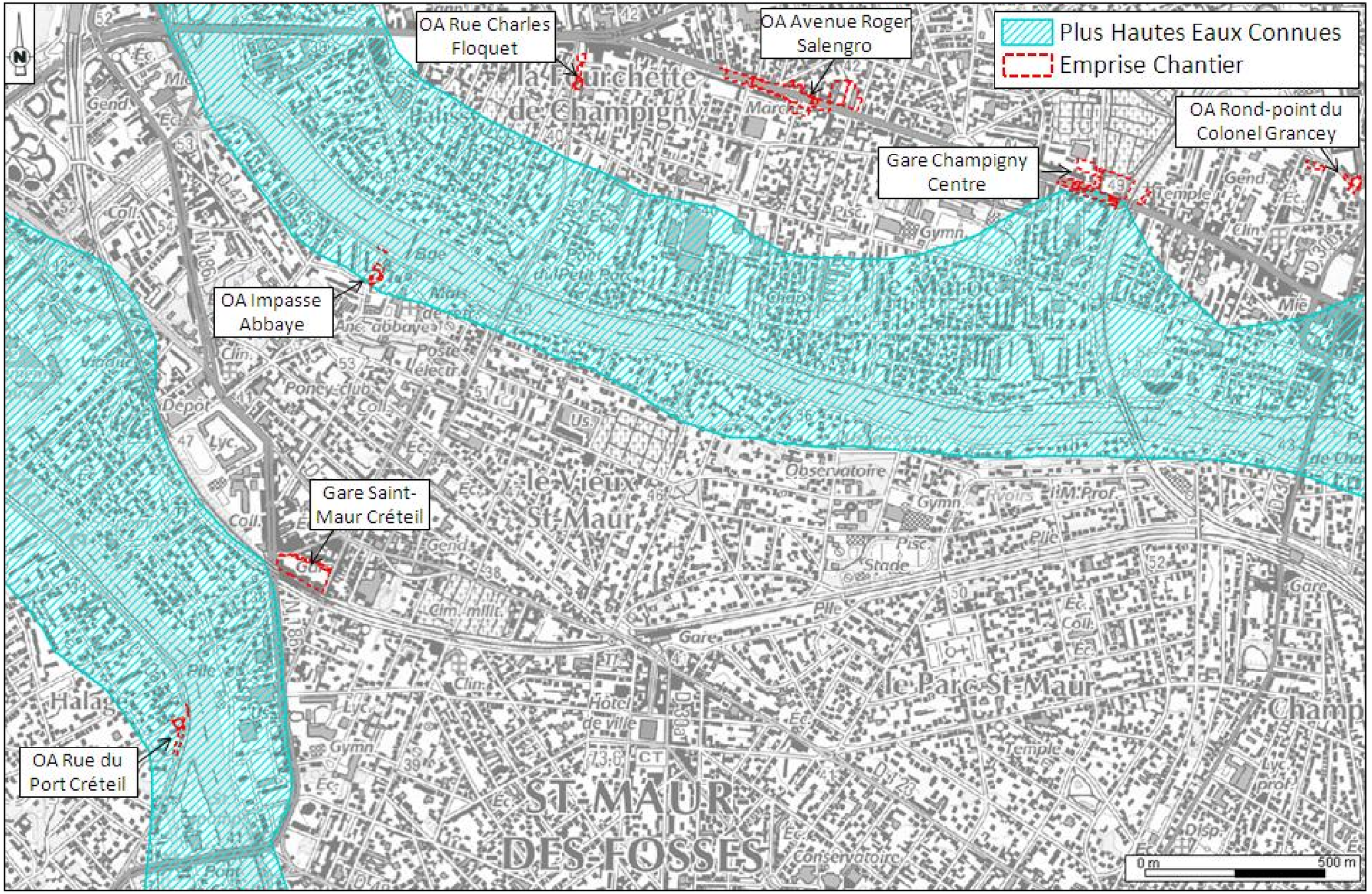


Carte 2 : Ligne 15 Sud du Grand Paris Express (Source : BURGEAP/BIOTOPE, 2014)

Le tracé de la ligne 15 Sud traverse trois cours d'eau :

- la Seine sur le secteur de Vitry-sur-Seine/Alfortville et le secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt,
- la Marne sur le secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés,
- la Bièvre pour le secteur Arcueil-Cachan.

La présente étude porte sur le secteur de la boucle de la Marne à Saint-Maur-des-Fossés au droit duquel 2 ouvrages annexes et une gare sont présents en zone inondable d'après la cartographie des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) (cf. cartographie suivante).



Carte 3 : Extrait de la cartographie des Plus Hautes Eaux Connues (Source : CARMEN)

1.1.2 Contexte réglementaire

1.1.2.1 Le Plan de Prévention des Risques Inondation du Val-de-Marne (PPRI 94)

Sur le secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés, le projet est concerné par le Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) du Val de Marne.

Ce PPRI concerne 24 communes du Val-de-Marne. Il a été prescrit par arrêté préfectoral du 20 avril 1998, approuvé par arrêté préfectoral du 28 juillet 2000, puis modifié par arrêté préfectoral du 12 novembre 2007.

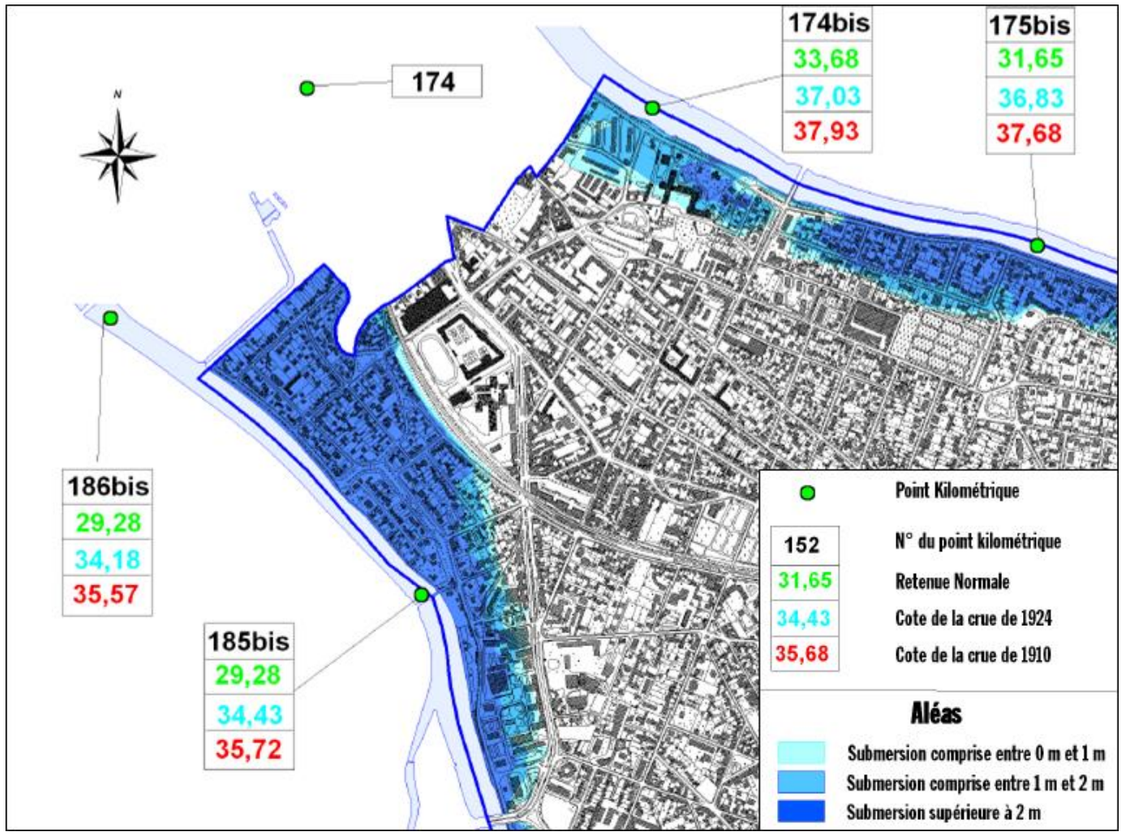
Compte tenu de l'importance des contraintes imposées par celui-ci, les acteurs locaux ont souhaité que l'aléa hydraulique sur les terrains situés en zone inondable soit approfondi, afin de déterminer avec plus de précision les vitesses d'écoulement pour justifier et affiner la délimitation des zones inondables. Une étude de grand écoulement a donc été engagée en février 2002 et confiée au bureau d'études SAFEGE. Les résultats de cette étude hydraulique ont conduit le Préfet du Val-de-Marne à prescrire, par arrêté préfectoral n° 2003-1208 du 4 avril 2003, la révision du PPRI.

Trois niveaux d'aléas ont été retenus :

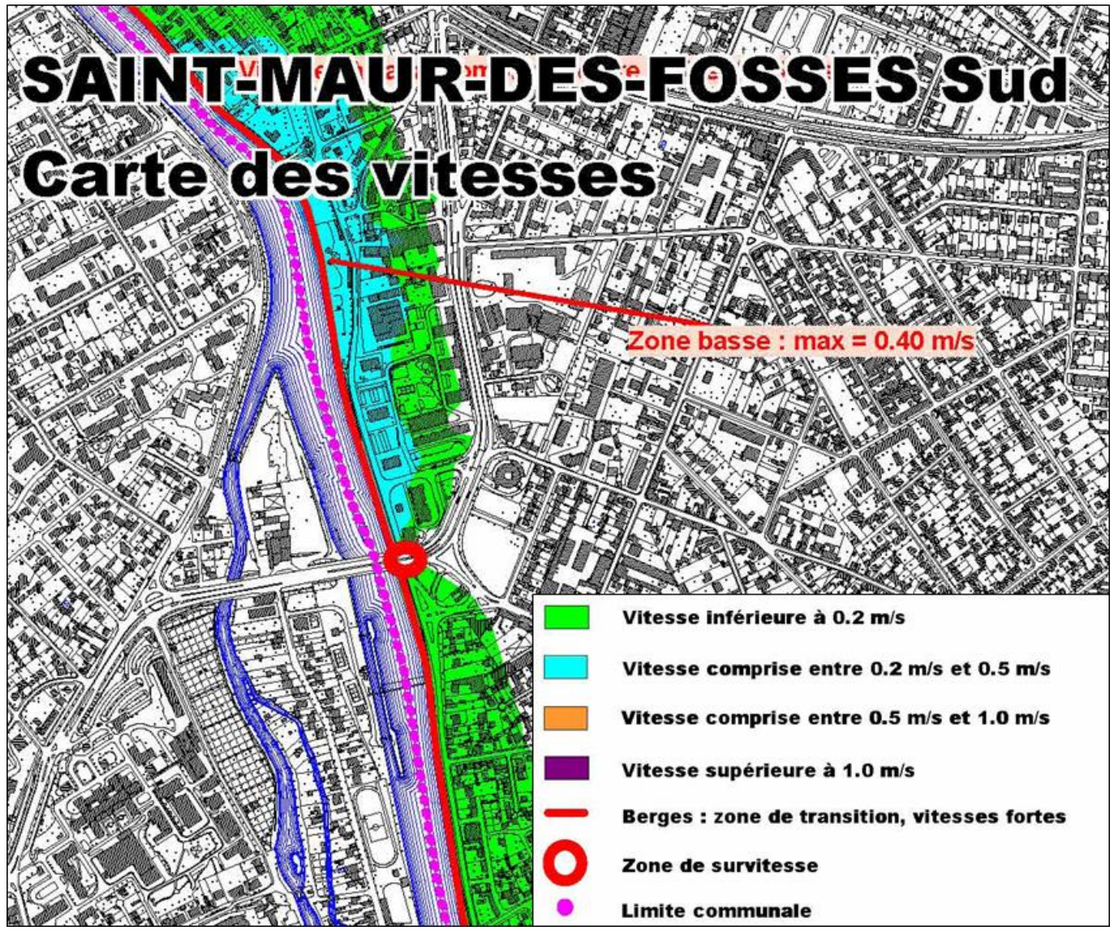
- aléas très forts correspondant à des hauteurs de submersion de plus de deux mètres ;
- aléas forts correspondant à des hauteurs de submersion comprises entre 1 et 2 mètres ;
- autres aléas correspondant à des hauteurs de submersion inférieures à 1 mètre.

Le PPRI définit également des zones de grand écoulement exposées à la fois à des hauteurs d'eau importantes (supérieures à un mètre) et à des vitesses supérieures à 0,5 m par seconde.

Les cartes 4 et 5 présentent des extraits des cartes d'aléas « hauteur d'eau » et « vitesse » de la commune de Saint-Maur-des-Fossés dans le Val-de-Marne.



Carte 4 : Extrait de la carte de l'aléa « hauteur d'eau » sur la commune de Saint-Maur-des-Fossés du Val-de-Marne (source : PPRI 94)



Carte 5 : Extrait de la carte de l'aléa « vitesse » sur la commune de Saint-Maur-des-Fossés du Val-de-Marne (source : PPRI 94)

Le zonage réglementaire issu de cette confrontation comprend au total sept zones :

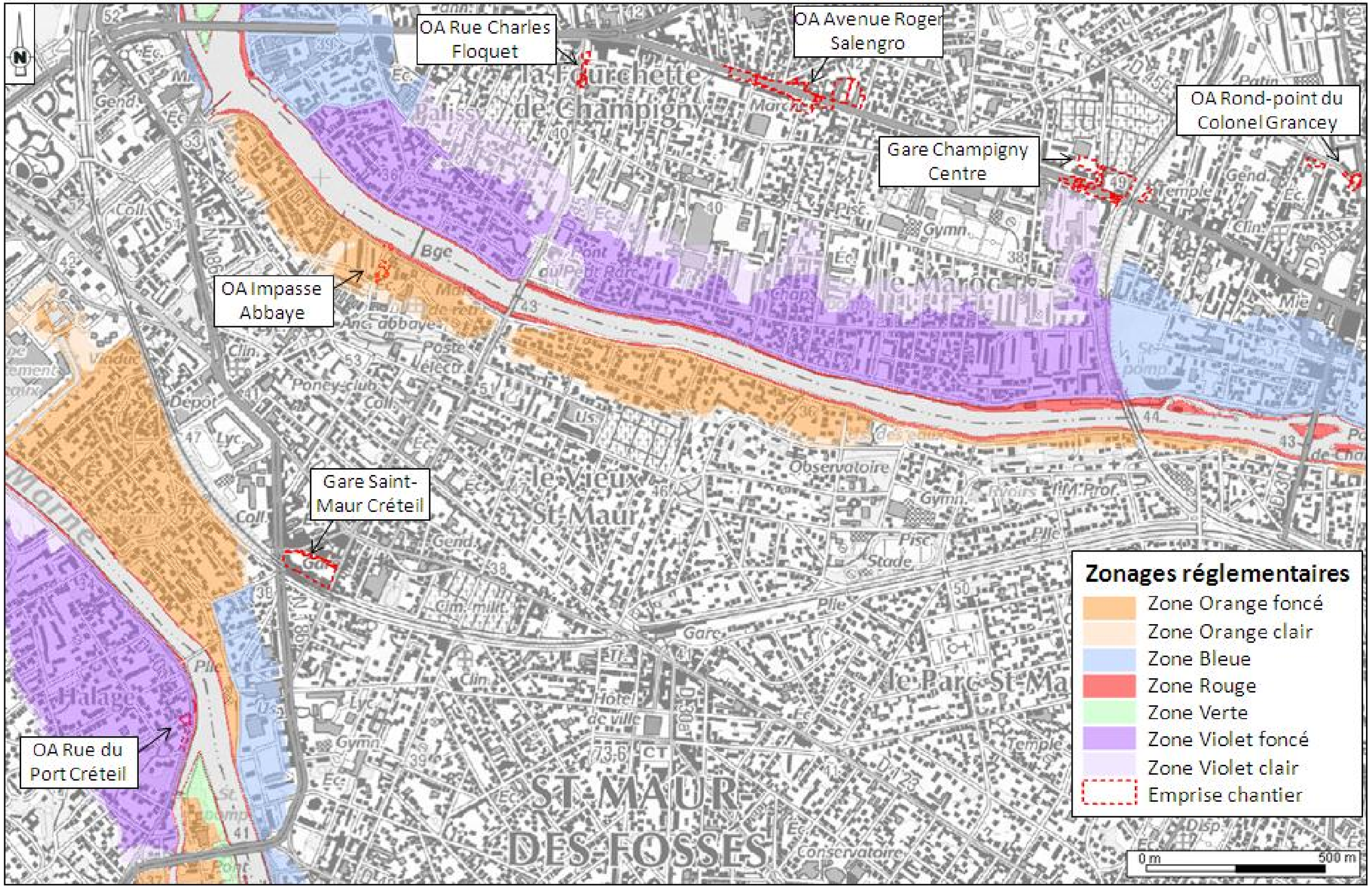
- les zones rouges, qui correspondent aux zones de grand écoulement ;
- les zones vertes, qui correspondent :
  - o d'une part, aux zones naturelles d'espaces verts, de terrains de sports, de loisirs ou de camping ayant vocation à servir de zone d'expansion des crues,
  - o d'autre part, aux zones définies dans les documents d'urbanisme comme zones à préserver pour la qualité du site et du paysage existant ;
- les zones orange foncé, qui correspondent aux autres espaces urbanisés (hors zone de grand écoulement), en aléas forts ou très forts ;
- les zones orange clair, qui correspondent aux autres espaces urbanisés, en autres aléas ;
- les zones violet foncé, qui correspondent aux zones urbaines denses (hors zone de grand écoulement), en aléas forts ou très forts ;
- les zones violet clair, qui correspondent aux zones urbaines denses, en autres aléas ;
- les zones bleues, qui correspondent aux centres urbains.

Au droit du secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés, 2 sites sont concernés par le zonage réglementaire du PPRI 94 :

- l'ouvrage annexe OA[1] Rue du Port Créteil est situé en zone violet foncé,
- l'ouvrage annexe OA Impasse Abbaye est situé en zone orange foncé.

La carte suivante présente les positions des emprises du projet en phase chantier au droit du secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés par rapport au zonage réglementaire du PPRI 94.

[1] Ouvrage Annexe



Carte 6 : Extrait de la carte des zonages réglementaires du PPRI du Val-de-Marne (Source : PPRI 94)

1.1.2.2 Le Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) de la métropole francilienne

Le secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés est concerné par le Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) « Métropole francilienne ».

Les TRI découlent de l'application de la directive « inondation », qui fixe une méthode de travail permettant aux territoires exposés au risque d'inondation de travailler à réduire ses conséquences négatives.

Sur le bassin Seine-Normandie, comme sur les autres bassins, cette méthode s'articule autour de trois grands objectifs, auxquels sont associés des délais de réalisation :

- l'Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation (EPRI) constituant un diagnostic global à l'échelle du bassin Seine-Normandie ;
- l'établissement de cartes des zones inondables et des risques d'inondation pour les crues de faible, moyenne et forte probabilité à l'échelle des Territoires à Risque important d'Inondation (TRI) (arrêté d'approbation du 20 décembre 2013). Le choix des TRI a été arrêté le 27 novembre 2012 pour le bassin Seine-Normandie ;
- l'élaboration d'un Plan de Gestion des Risques d'Inondation (PGRI) à l'échelle du bassin Seine-Normandie présentant les objectifs de gestion du risque inondation fixés et les mesures retenues pour les atteindre (échéance décembre 2015).

La directive introduit donc une nouvelle obligation en droit français : réduire les conséquences négatives de tous les types d'inondation pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique.

1.1.2.3 Le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands

La ligne 15 Sud est concernée dans sa totalité par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands. Il s'agit d'un document de planification de la ressource en eau.

Il permet, à la suite d'un état des lieux, de fixer pour six années les orientations et actions pour atteindre les objectifs de qualité et de quantité pour chaque masse d'eau.

Le SDAGE a valeur réglementaire et est opposable aux documents d'urbanisme et aux décisions administratives dans le domaine de l'eau. Il est complété par un plan d'actions, dit « programme de mesures » (PDM), élaboré par l'Etat.

Approuvé fin 2009, le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2010-2015 comporte 8 défis généraux et un programme de mesures défini au niveau de chaque masse d'eau.

Le défi n°8 a pour objectif de limiter et de prévenir le risque d'inondation.

Les priorités données à ce thème sont, d'une part de limiter les dégâts liés au risque d'inondation […], et, d'autre part de ne pas aggraver l'aléa […]. Il faut systématiquement privilégier la prévention plutôt que la protection qui peut aggraver la situation en amont de la zone protégée et pénaliser les milieux aquatiques.

Les principales orientations de ce défi liées au risque d'inondation sont :

- l'orientation 30 : « Réduire la vulnérabilité des personnes et des biens exposés au risque d'inondation ». Elle contient, notamment, la disposition 134 : « Développer la prise en compte du risque d'inondation pour les projets situés en zone inondable » ;
- l'orientation 31 : « Préserver et reconquérir les zones naturelles d'expansion des crues », avec, notamment, la disposition 139 : « Compenser les remblais autorisés permettant de conserver les conditions d'expansion des crues ».

Une révision du SDAGE pour la période 2016-2021 est en cours pour une adoption prévue en décembre 2015. L'état des lieux du SDAGE a ainsi été validé en décembre 2013.

1.1.2.4 SAGE Marne Confluence

Le fuseau d'étude comprend une partie du territoire couvert par le SAGE Marne Confluence sur le tiers est de son parcours, de Saint-Maur-des-Fossés à Champs-sur-Marne.

Le SAGE est en cours d'élaboration. Le diagnostic a été validé en mars 2013 et les tendances et scénarios en février 2014. La validation du choix de la stratégie a été adoptée par la Commission Locale de l'Eau (CLE) en novembre 2014.

L'arrêté d'approbation du SAGE est prévu pour le second semestre 2016.

La structure porteuse est le Syndicat Marne Vive, basé à Saint-Maur-des-Fossés.

Les quatre grandes orientations pour le SAGE sont les suivantes :

- l'aménagement durable dans un contexte de développement urbain ;
- la valorisation du patrimoine naturel et paysager de la Marne et de ses affluents ;
- la conciliation des différents usages de l'eau ;
- la qualité des eaux et des milieux aquatiques.

1.1.3 Code de l'environnement et Loi sur l'eau

Ce que l'on appelle couramment Loi sur l'eau est en fait codifié depuis 2009 dans le Code de l'Environnement aux articles L214-1 et suivants.

Une nomenclature des installations, ouvrages, travaux et aménagements (iota) a été élaborée pour définir les seuils et les procédures dont relèvent ces iotas. Elle fait l'objet de l'article R214-1 du Code de l'Environnement.

La rubrique de cette nomenclature relative aux lits mineur et majeur d'un cour d'eau et concernée par le projet au droit de la boucle de Saint-Maur-des Fossés est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Position du projet vis-à-vis du titre 3 de la nomenclature de la loi sur l'eau

Rubrique	Intitulé	Critère	Régime	Projet au droit de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés
Titre 3 : Impacts sur le milieu aquatique ou la sécurité publique				
3.2.2.0	Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau :	1° Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m²	Autorisation	Deux zones concernées pour toute la ligne 15 Sud : - Ile Monsieur – Issy RER (exclue) : lit majeur de la Seine - Ardoines – Saint Maur Créteil (exclue) : lit majeur de la Seine et lit majeur de la Marne Pour chaque gare, la surface soustraite à la crue dépasse 400 m². La surface cumulée de tous les ouvrages dépasse 10 000 m². Le SMI Vitry dépasse à lui seul 10 000 m².
		2° Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m² et inférieure à 10 000 m²	Déclaration	

1.1.4 Doctrine DRIEE « Aménagements impactant le libre écoulement des eaux »

La Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie d'Ile de France (DRIEE IF) a émis une doctrine, mise à jour en octobre 2010, afin de présenter aux pétitionnaires les préconisations concernant les aménagements présentant un impact sur le libre écoulement des eaux.

Cette doctrine présente, entre autre :

- les éléments réglementaires de référence,
- des éléments techniques sur les crues, les impacts potentiels,
- les éléments attendus dans l'étude des impacts,
- les préconisations de la DRIEE en matière de mesures compensatoires.

Par ailleurs, cette doctrine demande à ce que le pétitionnaire produise une étude hydraulique permettant l'évaluation des impacts pour l'établissement des mesures correctives et/ou compensatoire de son projet.

Cette doctrine a servi de ligne directrice à la rédaction du présent rapport.

1.1.5 Objet de l'étude

Compte tenu des caractéristiques du projet, ce dernier nécessite l'élaboration d'un dossier d'autorisation au titre de la Loi sur l'eau. Dans le cadre de ce dossier, une étude hydraulique permettant d'évaluer les incidences du projet sur le fonctionnement hydraulique de la Marne est nécessaire.

Cette étude a donc pour vocation de caractériser les impacts du projet vis-à-vis du risque inondation pour le secteur de la boucle de la Marne à Saint-Maur-des-Fossés. Compte tenu du périmètre du projet (plusieurs ouvrages sont référencés en zone inondable au niveau de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés), deux modélisations hydrauliques ont été réalisées sur la Marne.

Ce rapport présente donc les caractéristiques des modèles numériques réalisés et les incidences des phases travaux et exploitation du projet de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express sur les vitesses d'écoulement et les niveaux d'eau lors de différentes crues de la Marne.

1.2 Contexte hydrologique et hydraulique

1.2.1 Hydrologie de la Marne

1.2.1.1 Le bassin versant de la Marne

La Marne est la plus longue rivière française (506 km). Elle prend sa source en Haute-Marne (52), sur le plateau de Langres.

La Marne se jette dans la Seine entre Charenton-le-Pont et Alfortville, toutes deux communes du Val-de-Marne, à moins de 2 km au nord du fuseau d'étude.

La Marne est un cours d'eau de plaine, caractérisé par de nombreux méandres. Ces derniers ont donné naissance aux « boucles de Marne » dans le Val-de-Marne, dont celle de Saint-Maur-des-Fossés.

Le bassin versant de la Marne s'étend sur 12 700 km². Ses principaux affluents sur sa partie aval sont le Petit Morin et le Grand Morin, situés en rive gauche et la rivière l'Ourcq en rive droite.

Au droit du secteur d'étude, la Marne est navigable et aménagée. Toutefois, la Marne n'est pas navigable entre Neuilly-sur-Marne et Vaires-sur-Marne, en amont du barrage de Noisiel. Sur ce tronçon, la navigation passe par le canal de Chelles, parallèle à la rivière et long de 8,5 km.

Plusieurs barrages-écluses existent dans le secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés et ses environs, permettant de réguler les niveaux d'eau dans les biefs sur l'ensemble de la Marne dans la zone concernée :

- le barrage-écluse de Saint-Maurice : le plus en aval, proche de la confluence avec la Seine ;
- le barrage-écluse de Créteil ;
- le barrage écluse de Joinville-le-Pont.

La Marne est un cours d'eau domanial. La berge et le lit appartiennent à l'État, les tronçons navigables sont gérés par l'établissement public Voies Navigables de France (VNF).

1.2.1.2 Crues historiques

Au 20ème siècle, la Marne a connu 5 crues majeures : janvier 1910, janvier 1924, janvier 1955, janvier 1982 et avril 1983.

La crue la plus importante est celle de janvier 1910. La durée totale de la crue avait été de 51 jours, dont 13 proches de l'amplitude maximale. Cette crue possède une période de retour d'environ 60 ans d'après le PPRI du Val-de-Marne.

Les caractéristiques de la crue de 1910 servent de référence historique pour les crues exceptionnelles sur la Seine et sur la partie aval de la Marne, en application des circulaires interministérielles du 24 avril 1996 et 5 février 1998 relatives à la prise en compte du risque inondation en région Ile-de-France. Il s'agit de la crue de référence du PPRI du Val-de-Marne.

La crue de 1924 est la seconde crue majeure du 20ème siècle. Cette crue possède une période de retour d'environ 50 ans d'après le PPRI du Val-de-Marne.

La crue de 1982 a eu lieu après la création des grands lacs permettant d'écrêter les crues en amont de Paris et de protéger la capitale. Cette crue est dite décennale.

Le tableau suivant présente les niveaux de crues disponibles sur la cartographie des aléas du PPRI 94 au droit des secteurs d'études (du pont de l'A4 à l'Ile d'Amour et du port de Bonneuil au pont de Maisons-Alfort) pour les crues de 1924 et 1910.

Tableau 2 : Niveaux d'eau disponible sur la cartographie des aléas du PPRI 94 (Source : PRI 94)

PK* 174		PK* 175		PK* 176		PK* 177		PK* 178		PK* 183		PK* 184		PK* 185		PK* 186	
1924	1910	1924	1910	1924	1910	1924	1910	1924	1910	1924	1910	1924	1910	1924	1910	1924	1910
	37.03	37.93	36.83	37.68	36.53	37.48	36.23	37.17	35.98	36.92	34.85	36.14	34.68	35.99	34.43	35.72	34.18	35.57

*PK : Point kilométrique référence du PPRI 94

La carte des aléas sur la commune de Saint-Maur-des-Fossés, présentée page suivante, localise les points kilométrique précédemment mentionnés.

1.2.1.3 Evénements hydrologiques étudiés

Trois événements hydrologiques historiques sont modélisés afin d'évaluer les éventuels impacts du projet :

- la crue de janvier 1982 (période de retour d'environ 10 ans),
- la crue de janvier 1924 (période de retour d'environ 50 ans),
- la crue de janvier 1910 (période de retour d'environ 60 ans).

Ces crues sont conformes aux demandes de la doctrine DRIEE intitulée « Aménagements impactant le libre écoulement des eaux ». En effet, celle-ci définie les crues à considérer lors de l'étude des impacts :

- en zone urbaine, la crue de plein bord ou faiblement débordante est à prendre en compte. Ce scénario est étudié à travers les crues de 1982 (faiblement débordante) et 1924 (faiblement débordante) ;
- en zone où les enjeux sont vulnérables au risque inondation, la crue de référence PPRI et crue moyenne (période de retour entre 35 et 60 ans) sont à considérer. L'étude de la crue de 1924 (crue moyenne d'occurrence 50 ans) et de la crue de 1910 (crue de référence du PPRI 94) permet de répondre à cette demande ;
- en zone impactée par le chantier ou subissant des obstructions temporaires, il faut considérer au minimum la crue décennale ou la crue de période de retour 10 fois la durée du chantier en années. La crue de 1910 (occurrence supérieure à la crue décennale ou à 10 fois la durée des chantiers) a été considérée pour évaluer les impacts.

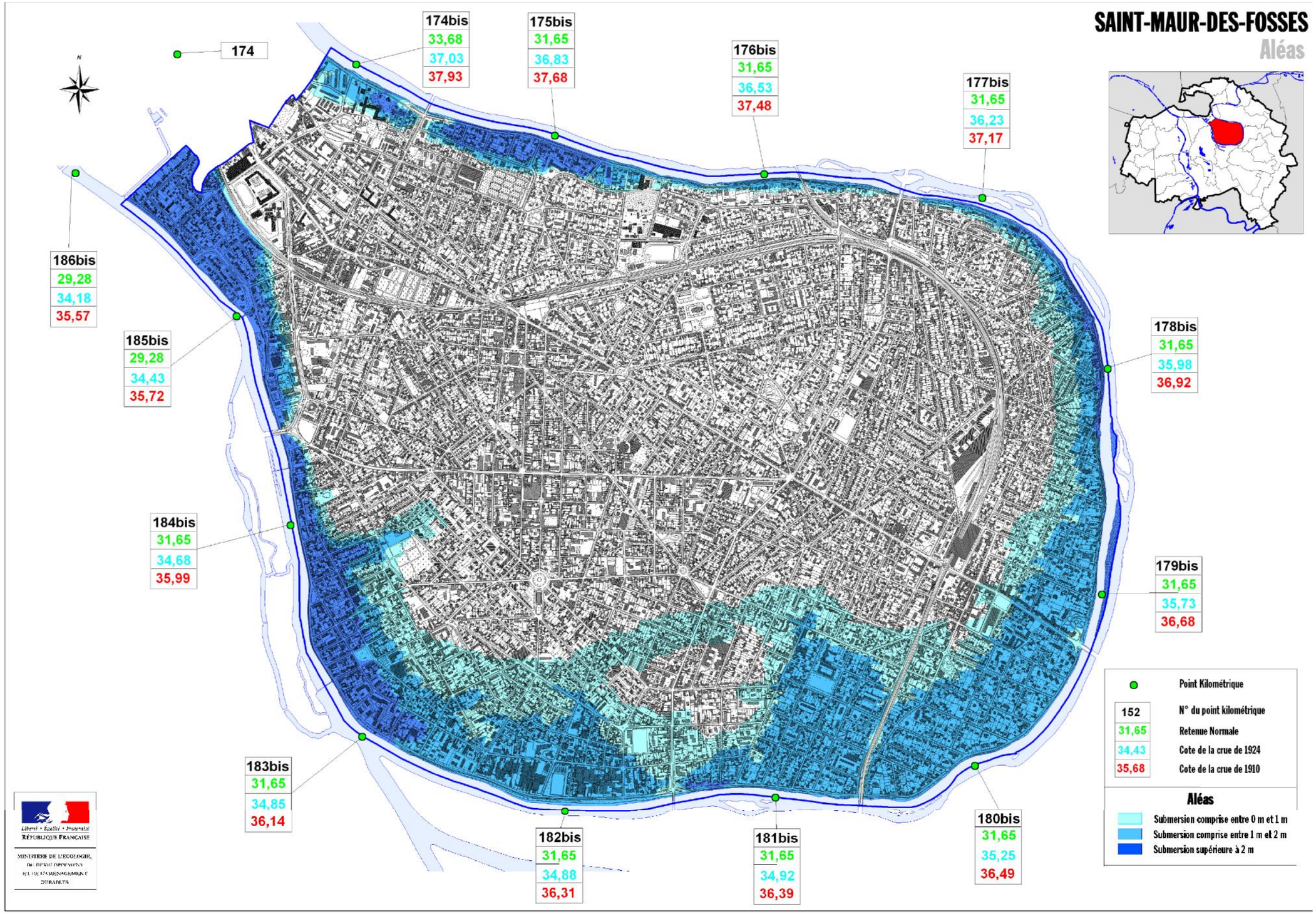
Le tableau suivant présente les débits des différentes crues simulées à l'aide du modèle numérique construit.

Tableau 3 : Récapitulatif des débits de crue de la Marne en amont de la confluence avec la Seine

Crue (période de retour)	Débit (m^3/s)	Source
1982 (environ 10 ans)	550	DRIEE IF, 2013*
1924 (environ 50 ans)	760	PPRI 94**
1910 (environ 100 ans)	850	DRIEE IF, 2013

* Débits extrait du rapport explicatif de la Cartographie des zones inondables et des risques inondation du TRI Métropole francilienne, DRIEE-IF, Décembre 2013

** Débits extrait de l'étude SAFEGE réalisée dans le cadre du PPRI 94.



Carte 7 : Carte des aléas – commune de Saint-Maur-des-Fossés (Source : PPRI 94)

1.2.2 Fonctionnement hydraulique

Les crues de la Marne sont des crues lentes : la montée des eaux est en général de l'ordre de 30 à 50 cm par jour. Elles sont la conséquence de plusieurs phénomènes concomitants :

- L'arrivée de fortes pluies sur les massifs amont : plateau de Langres pour la Seine, l'Aube et la Marne, plateau du Morvan pour l'Yonne et ses affluents ;
- L'imperméabilisation naturelle et temporaire (gel ou saturation des sols) ou artificielle des sols.

Les crues majeures surviennent généralement entre novembre et mars. Les crues majeures sont généralement dues à la superposition des crues lentes des affluents de la Marne tels que le Petit et le Grand Morin.

Au droit du secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés, des murettes anti-crues ont été installées afin de protéger les constructions existantes contre les crues de période de retour similaires à la crue de 1924 (période de retour d'environ 50 ans).

Afin d'augmenter la protection de la capitale contre le risque inondation, quatre barrages-réservoirs ont été installés en amont de l'agglomération parisienne sur la Seine, la Marne, l'Aube et l'Yonne. Ces bassins assurent trois fonctions :

- le soutien d'étiage,
- l'alimentation en eau potable,
- l'écrêtement des crues.

Grâce aux barrages, la majeure partie de la région parisienne est protégée de crues identiques à celles de 1924 et 1955. Leur rôle écrêteur a diminué la fréquence d'apparition et a permis de réduire les temps de submersion des crues petites et moyennes. Cependant, les barrages ont un effet limité sur les crues exceptionnelles du fait de l'importance des volumes de ruissellement mis en jeu et de la limitation de leur capacité de stockage. En effet, la fonction de stockage n'est pas assurée efficacement pour des crues tardives (avril-mai) du fait du remplissage des réservoirs pendant la période hivernale.

1.2.3 Définition des classes d'impact

Les incidences des ouvrages sur les écoulements de la Marne en cas de crue sont définies selon deux critères : les impacts sur les niveaux d'eau et sur les vitesses d'écoulement. Etant donnés les enjeux différents en lit mineur et lit majeur, une distinction des classes d'impacts concernant les vitesses d'écoulement est réalisée.

Les classes d'impact sur les écoulements ont été définies comme suit :

- Classes d'impacts sur les niveaux d'eau :
  - Impact non significatif : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 1 cm. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle hydraulique ;
  - Impact faible : 1 à 5 cm de différence entre les niveaux d'eau de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur d'un remous très localisé créé par un petit obstacle dans une zone d'écoulement marqué (véhicule par exemple) ;
  - Impact modéré : 5 à 10 cm de différence entre les niveaux d'eau de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à l'amplitude des vagues générées lors des crues ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 10 cm. L'impact de l'ouvrage sur les lignes d'eau est supérieur à l'amplitude des vagues observées lors d'une crue.

- Classes d'impacts sur les vitesses d'écoulement en lit majeur :
  - Impact non significatif : différence de vitesse d'écoulement entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 5 cm/s. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle hydraulique ;
  - Impact faible : 5 à 10 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur des variations créé par un petit obstacle (véhicules) ;
  - Impact modéré : 10 à 20 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à un risque de changement d'une classe d'aléa ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 20 cm/s. Cette classe correspond à un risque de changement d'une à deux classes d'aléa.

- Classes d'impacts sur les vitesses d'écoulement en lit mineur :
  - Impact non significatif : différence de vitesse d'écoulement entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 10 cm/s. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle sur la vitesse maximale au sein de la section en travers ;
  - Impact faible : 10 à 20 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur des variations naturelles des vitesses au sein d'une section en travers ;
  - Impact modéré : 20 à 30 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à l'ordre de grandeur des accélérations de vitesses générées par une pile de pont ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 30 cm/s. Cette classe correspond à une forte perturbation de l'écoulement pouvant déstabiliser des embarcations légères.

Le tableau suivant récapitule les classes d'impacts définies en fonction du critère étudié.

Tableau 4 : Définition des classes d'impact par rapports aux écoulements des crues

Classe	Critère sur les différences (ΔN) de niveaux d'eau	Critère sur les différences (ΔV) de vitesses d'écoulement en lit mineur	Critère sur les différences (ΔV) de vitesses d'écoulement en lit majeur
Impact non significatif	ΔN < 1 cm	ΔV < 0.10 m/s	ΔV < 0.05 m/s
Impact faible	1 cm ≤ ΔN < 5 cm	0.10 m/s ≤ ΔV < 0.20 m/s	0.05 m/s ≤ ΔV < 0.10 m/s
Impact modéré	5 cm ≤ ΔN < 10 cm	0.20 m/s ≤ ΔV < 0.30 m/s	0.10 m/s ≤ ΔV < 0.20 m/s
Impact fort	10 cm ≤ ΔN	0.30 m/s ≤ ΔV	0.20 m/s ≤ ΔV

1.3 Modélisation hydraulique

1.3.1 Généralités

1.3.1.1 Système de mesure altimétrique

Dans la suite de l'annexe, les niveaux altimétriques sont exprimés en mètre NGF (Nivellement Général de la France) normal soit IGN 69. Ainsi, tous les niveaux d'eau et altitudes seront exprimés en m NGF.

1.3.1.2 Présentation du logiciel

La modélisation hydraulique a été réalisée grâce au logiciel InfoWorks® RS de la société INOVYZE. Ce logiciel permet de construire des modèles 1D-linéaire à casiers ou 2D et ainsi de réaliser des simulations en régime permanent ou transitoire. Les facteurs qui déterminent la solution sont classés suivant trois types :

- les effets hydrodynamiques : les écoulements à surface libre peuvent être décrits par les équations de Barré de Saint-Venant qui expriment la conservation de la masse et des quantités de mouvement. Elles prennent en compte l'ensemble des forces de diffusion, de gravité, et de friction sans aucune simplification. Elles sont résolues par la méthode du schéma implicite de Preissman ;
- les conditions limites internes : sous ce terme, sont regroupés les ouvrages de contrôle, les pertes de charge singulières ou les confluences/diffluences. Ces structures imposent des relations débit-hauteur aux points considérés et divisent le modèle en biefs ;
- les conditions limites externes : en régime transitoire, des conditions limites sont nécessaires aux deux extrémités amont et aval du système étudié. Elles peuvent être représentées par des relations reliant deux des paramètres débit, hauteur, temps.

Ce logiciel a été développé afin de reproduire les écoulements de la Tamise au Royaume-Uni. Ce fleuve présente des caractéristiques similaires à la Marne (largeur, pente, débits, etc.). Infoworks RS est donc bien adapté à la modélisation de la Marne à Paris.

NB : Pour ce logiciel, le remous en amont d'un ouvrage (de type pont, busage ou seuil) est calculé par la mise en charge des ouvrages, les réductions de sections induites par les culées et les piles. Pour le calcul des pertes de charge d'un ouvrage, il n'utilise pas les fentes de Preissman, principalement utilisées pour modéliser un long linéaire de cours d'eau couvert par un écoulement à surface libre.

1.3.1.3 Emprise des modèles hydrauliques

Deux modèles hydrauliques ont été réalisés sur la Marne :

- le modèle Marne Amont du pont de l'Autoroute A4 à l'Ile d'Amour soit environ 5 700 m ;
- le modèle Marne Aval du port de Bonneuil au pont de Maisons-Alfort soit environ 3 100 m.

Les emprises des modèles ont été définies de manière à intégrer l'ensemble des gares, ouvrages annexes et emprises travaux situées en zone inondable pour une crue millénale.

Les limites latérales du modèles ont donc été choisies de manière à intégrer la totalité de la zone inondable telle que définie dans la cartographie de l'événement millénale par la DRIEE-IF.

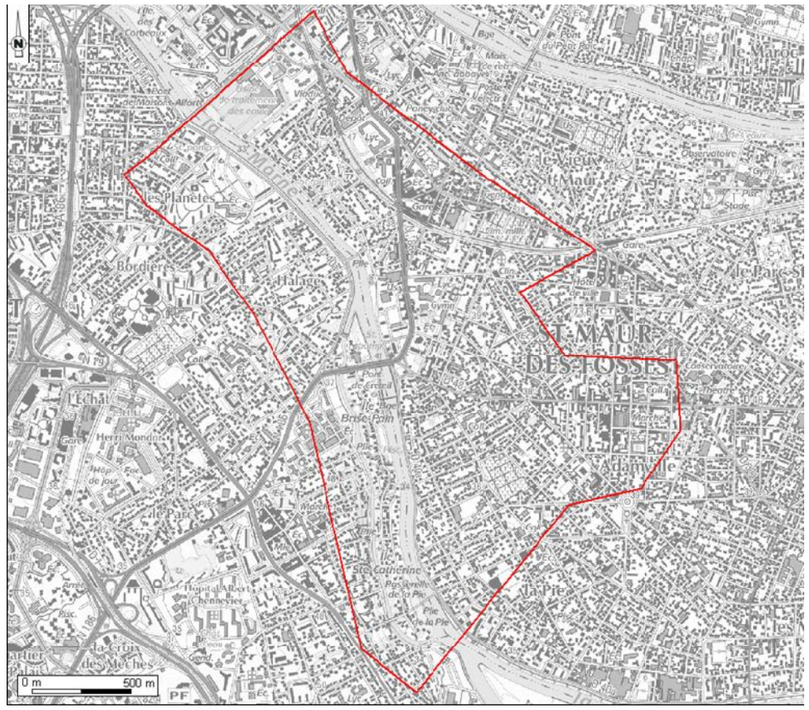
Les conditions limites aval sont prises au droit d'observation historiques et de résultats de modélisations validées obtenus pour la réalisation du PPRI et du TRI ce qui permet des modèles plus court avec une condition aval réaliste. Ainsi, les éventuelles incertitudes sur la condition limite aval sont liées aux incertitudes des observations ou des modèles hydrauliques validés. Pour rappel, l'objectif est de comparer un état aménagé à un état de référence réaliste.

Les conditions limites amont ont été choisies suffisamment loin en amont des principales zones d'études de chaque modèle afin de se placer, le plus possible, en dehors de la zone des éventuelles incidences du projet.

Les emprises des modèles sont présentées sur les cartographies suivantes.



Carte 8 : Emprise du modèle hydraulique Marne Amont



Carte 9 : Emprise du modèle hydraulique Marne Aval

1.3.2 Construction du modèle hydraulique – Etat de référence

1.3.2.1 Données de construction

Les données utilisées pour la construction des modèles hydrauliques sont :

- Les données bathymétriques pour le chenal de navigation, fournies par Voies Navigables de France (2009).
- Le Modèle Numérique de Terrain obtenu par des relevés LIDAR (pas d'espace de 1 m, précision altimétrique de 0.2 m), fourni par l'Institut Géographique National (2014).
- L'implantation des bâtiments (couche de la BDtopo référençant les bâtiments) acquis auprès de l'IGN (2009).
- Les profils en long des murettes anti-crue, fournies par le CG94 (en cours de levé, 2014).
- L'occupation du sol (Corine Land Cover, 2006).
- Le fond de plan cartographique acquis auprès de l'IGN (SCAN 25, 2008).
- Les photos aériennes acquises auprès de l'IGN (BDortho, 2012).
- Le rapport explicatif de la cartographie des zones inondables et des risques inondation du TRI Métropole francilienne (DRIEE IF, décembre 2013).
- Les données disponibles auprès de la maîtrise d'œuvre (plans, coupes, topographie, etc.) au droit des futurs aménagements (SYSTRA, novembre 2014).

1.3.2.2 Architecture du modèle

Les modèles construits reposent sur le couplage d'un modèle filaire à une dimension avec un maillage en deux dimensions :

- les écoulements au sein du lit mineur de la Marne étant principalement monodirectionnels, celui –ci est modélisé en une dimension (modèle filaire) ;
- les lits majeurs en rive droite et rive gauche sont modélisées en deux dimensions afin de reproduire de manière fidèle les écoulements complexes des crues (forte urbanisation, présence de remblais jouant le rôle de digue (route, voie ferrée, etc.).

a. Construction des lits mineurs

Marne Amont

Le modèle hydraulique filaire du modèle Marne Amont est composé de 41 profils en travers dont 36 sur le bras principal de la Marne d'un linéaire d'environ 5 700 m, soit environ 1 profil tous les 160 m.

Quatre ouvrages transversaux ont été modélisés afin de reproduire leurs 'influences sur les écoulements.

Marne Aval

Le modèle hydraulique filaire du modèle Marne Aval est composé de 33 profils en travers dont 20 sur le bras principal de la Marne d'un linéaire d'environ 3 100 m (bras droit) soit environ 1 profil tous les 100 m.

Cinq ouvrages transversaux ont été modélisés afin de reproduire leurs influences sur les écoulements.

Profil en travers

Le lit mineur de la Marne est construit sur la base des données bathymétriques de VNF (pour les fonds de lit des cours d'eau) et sur les données LIDAR pour les berges.

La jonction entre les deux types de données est réalisée par interpolation et en considérant une pente des berges plus ou moins verticale (berges quasiment verticale au droit des quais et pente plus douce lorsque la berge est végétalisée).

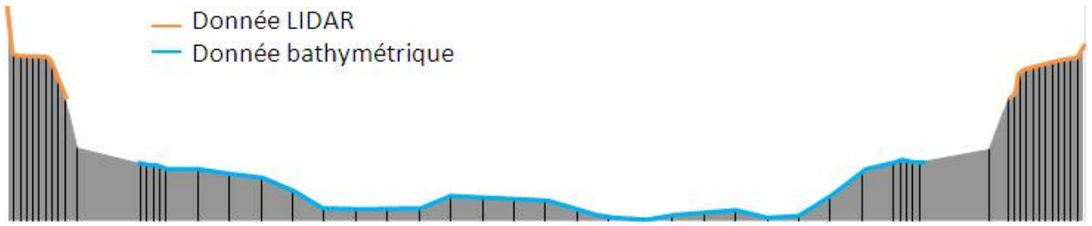


Figure 1 : Exemple d'interpolation entre les données LIDAR et bathymétriques

Pour les linéaires de lit mineur où aucune donnée bathymétrique n'est disponible, des profils types ont été construits. Les profils ont été construits de manière à avoir une pente moyenne entre les profils amont et aval dont la bathymétrie est connue. Leur largeur ont été fixées à partir des données MNT.

La forme des profils construits est basée sur la forme générale des profils amont et aval comme présentée sur la figure suivante. Les pieds de berge et le fond du lit sont déterminés par interpolation entre les profils amont et aval.



Figure 2 : Exemple d'un profil construit sans données bathymétriques

Ouvrages transversaux

Les barrages de Joinville-le-Pont et de Créteil, présents sur les linéaires des modèles Marne Amont et Marne Aval, sont des barrages mobiles à clapets. Les clapets, présents sur ce type de barrage, s'abaissent sous l'effet de la crue jusqu'au niveau du radier. En cas de crue majeur, ils sont donc transparents vis-à-vis de l'écoulement : avec l'augmentation du débit, les pertes de charges observées pour ce type d'ouvrage diminue (pas de mise en charge d'arches, seuil noyé par l'aval). De fait, en l'absence d'embâcle (hypothèse du modèle), on n'observe pas de différence de niveau entre l'amont et l'aval du barrage pour des crues importantes.

Les seuils de ces barrages n'ont pas été modélisés (seuils abaissés lors de crue). Néanmoins, les piles des barrages, ne s'effaçant pas lors d'une crue, sont pris en compte dans la modélisation hydraulique.

Un seuil est également présent sur le bras gauche de la Marne au droit de l'île de Brise-Pain. Ce seuil est en parti amovible : une partie du seuil s'efface lors d'une crue. Ce seuil, d'environ 1.5 m de large et présentant une cote de déversement d'environ 29.5 m NGF, est intégré au modèle hydraulique.

Pour les ponts dont la géométrie (largeur des arches, nombre de piles, niveaux altimétrie de l'arche…) est imprécise, des hypothèses ont été fixées afin de reproduire au mieux les conditions d'écoulement.

Le nombre et les dimensions des piles de ponts ont été fixés à partir des observations de terrains et des données disponibles (photos, schémas des ouvrages, présence des piles sur la bathymétrie…). La longueur des piles est supposée égale à la largeur des tabliers des ponts.

La mise en charge de chaque ouvrage a été appréciée sur la base des données disponibles (MNT, observations in situ, plans disponibles) afin de représenter au mieux l'influence de l'ouvrage sur les écoulements (accélération des vitesses et augmentation des niveaux d'eau).

Les tableaux suivants récapitulent les caractéristiques retenues pour les ouvrages de franchissement afin de les modéliser.

Tableau 5 : Caractéristiques des pont situés entre le pont de l'autoroute A4 et l'Ile d'Amour

Pont	Nombre de pile	Largeur de la pile (m)	Niveau altimétrique du tablier* (m NGF)	Epaisseur estimée du tablier (m)	Niveau sous poutre supposé (m NGF)	Niveau crue 1910 (m NGF)
Joinville (Bras droit)	0	-	42.00	2.5	39.50	<38.21
Joinville (Bras gauche)	0	-	43.50	5	38.50	<38.21
Petit Parc	1	3	42.50	2	40.50	<37.93
SNCF (Champigny-sur-Marne)	1	3	44.50	5	39.50	<37.48
Champigny	1 (Ile de l'Abreuvoir)	20	40.50 à 42.50	2	38.50 à 40.50	<37.48

*Niveau estimé à partir des données LIDAR à proximité immédiate des ponts.

Tableau 6 : Caractéristiques des pont situés entre le port de Bonneuil et le pont de Maisons-Alfort

Pont	Nombre de pile	Largeur de la pile (m)	Niveau altimétrique du tablier* (m NGF)	Epaisseur estimée du tablier (m)	Niveau sous poutre supposé (m NGF)	Niveau crue 1910 (m NGF)
Passerelle de la Pie (Bras droit)	2	1	39.90	1.5	37.40	<36.14
Rue du Moulin Berson (Bras gauche)	3	1	36.80 à 37.80	1.5	35.30 à 36.30	<36.14
Passerelle avenue des Uzelles (Bras gauche)	0	-	36	1	35	<36.14
Allée des Couscous (Bras gauche)	1	3	37.1	1.5	33.60	<35.99
Créteil (Bras droit)	1	2	38.90 à 39.40	2	36.90 à 37.40	<35.99
Créteil (Bras gauche)	0	-	37.2	1.5	35.7	<35.99
Passerelle rue du Port (Bras gauche)	2	3 et 0.5	34.1	1	33.1	<35.99
Passerelle du Halage	0	-	38	1	37	35.72

*Niveau estimé à partir des données LIDAR à proximité immédiate des ponts.

b. Construction des lits majeurs

Les lits majeurs sont construits sur la base des données LIDAR et des données disponibles sur les bâtiments existants (BDtopo IGN). Les données concernant les bâtiments datant de 2009, une mise à jour a été effectuée sur la base de la BDortho (IGN, 2012). Ainsi, des bâtiments non existant en 2009 ont été pris en compte. Les bâtiments sont modélisés en tant qu'obstacles insubmersibles. Les seuls écoulements possibles dans le maillage 2D se situent donc au droit des voiries et des zones libres de tout bâtiment (parc, champs, espace verts, …).

Le maillage est constitué, pour l'état initial, de 105 556 mailles pour le modèle Marne Amont et 89 030 mailles pour le modèle Marne Aval. La surface des mailles varie de 1 m² à 500 m². Le maillage a été densifié au droit des futurs aménagements et travaux afin d'en mesurer plus finement les incidences. Ainsi, la surface des mailles y est au maximum de 50 m².

Dans le cas du modèle de la Marne aval, les bras annexes traversant l'île de Brise Pain sont modélisés dans le maillage 2D, utilisant les données du modèle numérique de terrain.

Le maillage des deux modèles est présenté sur les cartographies figurant pages suivantes.

c. Interface lit mineur / lit majeur

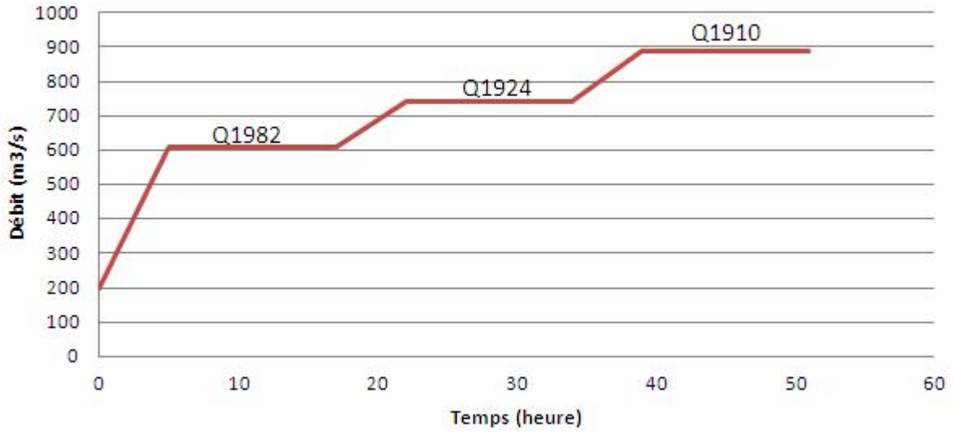
Les connexions entre le lit mineur et le lit majeur sont assurées par des surverses latérales. Ces surverses sont construites :

- sur la base des données altimétriques fournies par le CG94 pour les murettes anti-crue lorsqu'elles existent. De manière générale, les murettes protègent contre les crues de type 1924 ou 1955 ;
- à partir du LIDAR lorsqu'aucune murette n'est existante : le niveau des surverses correspond au niveau du terrain naturel.

Soixante-six surverses latérales ont ainsi été construites afin d'assurer la connexion entre le modèle 1D et le modèle 2D pour le modèle Marne Amont. Le modèle Marne Aval possède, quant à lui, 52 surverses latérales.

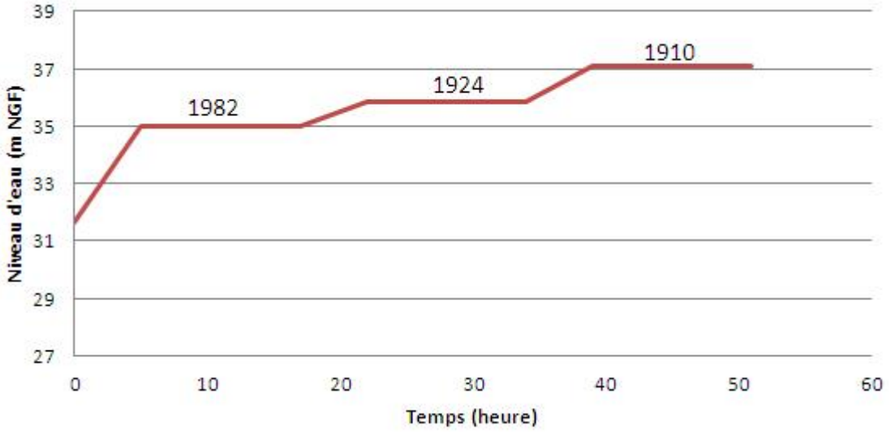
1.3.2.3 Conditions aux limites

Les conditions limites amont des deux modèles hydrauliques sont les débits des différentes crues étudiées (cf. paragraphe 2.1.3). L'évolution de la condition limite amont dans le temps est présentée sur le graphique suivant.

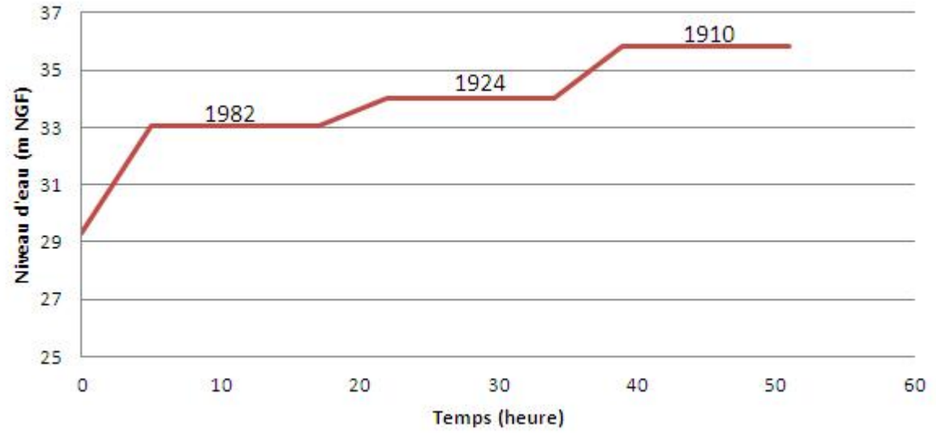


Graphique 1 : Condition limite amont des modèles hydrauliques

La condition limite aval du modèle est une loi niveau-temps construite à partir des repères de crues disponibles. Les graphiques suivants représentent les conditions limites aval du modèle Marne Amont au niveau de l'Ile d'Amour et du modèle Marne Aval au niveau du pont de Maisons-Alfort.



Graphique 2 : Condition limite aval du modèle hydraulique Marne Amont



Graphique 3 : Condition limite aval du modèle hydraulique Marne Aval



Carte 10 : Présentation du maillage modélisant le lit majeur pour le modèle Marne Amont



Carte 11 : Présentation du maillage modélisant le lit majeur pour le modèle Marne Aval

1.3.3 Régime de simulation

Les crues de la Marne sont des crues lentes et durent plusieurs jours.

Afin de reproduire les inondations de la Marne, les simulations ont été réalisées en régime pseudo-permanent : le débit de chaque évènement est injecté pendant une durée suffisamment longue afin que la ligne d'eau devienne stable sur l'ensemble de la zone modélisée.

Ainsi, les durées de simulation ont été ajustées de manières à avoir des lignes d'eau stabilisées en lit mineur et en lit majeur pendant au moins deux heures.

1.3.4 Calage du modèle hydraulique – Etat de référence

1.3.4.1 Principe

Le calage consiste à injecter le débit total mesuré lors d'un évènement historique en entrée du modèle et à ajuster les paramètres de modélisation (rugosité des lits mineur et majeur) afin d'obtenir les niveaux d'eau des repères de crues et les emprises de zones inondables observées lors de ce même évènement.

Le calage est effectué sur les résultats du TRI et PPRi. Les études hydrauliques pour les TRI prennent en compte la configuration actuelle et non celle de l'époque. Les murettes anticrues ont été conservées pour le calage. Cependant, il apparaît que les cotes de crues de 1924 et 1910 sont supérieures aux cotes des murettes. L'emprise des zones inondables est donc peu impactée par la prise en compte des murettes.

1.3.4.2 Crues de calage

Le calage des coefficients de rugosité est réalisé à partir des niveaux d'eau des crues de 1924 (crue faiblement débordante), 1910 et des débits correspondants présentés au paragraphe 2. Ainsi :

- Le calage des coefficients de rugosité du lit mineur est effectué pour la crue de 1924 (crue faiblement débordante).
- Le calage des coefficients de rugosité du lit majeur est effectué pour la crue centennale (1910).

Par insuffisance de données, la crue de 1982 n'a pas pu être utilisée pour caler les modèles hydrauliques. Cette crue a néanmoins été modélisée.

1.3.4.3 Résultats du calage

Le calage des coefficients de rugosité du lit mineur est réalisé grâce à la crue historique faiblement débordante de 1924. Cette étape a permis de fixer la rugosité du lit mineur de la Marne. Afin d'obtenir des niveaux d'eaux modélisés similaires aux niveaux d'eau historiques, les coefficients de Manning (n, paramètre de rugosité) ont été fixés entre 0.037 $s.m^{-1/3}$ et 0.040 $s.m^{-1/3}$ pour le modèle Marne Amont et entre 0.045 $s.m^{-1/3}$ et 0.057 $s.m^{-1/3}$ pour le modèle Marne Aval. Ces valeurs sont comprises dans la plage des coefficients de rugosité (n = 0.04 à 0.1 $s.m^{-1/3}$) utilisés pour les grands cours d'eau à section irrégulière et rugueuse (Source : CEMAGREF).

Les résultats du calage des lits mineurs sont présentés dans les tableaux suivant. Les écarts moyens calculés entre les lignes d'eau modélisées et les niveaux d'eau mesurés pour la crue de 1924 sont de 3 cm pour les deux modèles étudiés. Les écarts moyens correspondent à l'ordre de grandeur de la précision absolue du modèle. Les lits mineurs sont donc convenablement calés avec des coefficients de rugosité réalistes.

Tableau 7 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1924 – Marne Amont

Point de comparaison	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau référencé au PPRI 94 (m NGF)	Δ = Nmodélisé – Nréférencé (m)
PK* 174	37.06	37.03	0.03
PK* 175	36.89	36.83	0.06
PK* 176	36.55	36.53	0.02
PK* 177	36.29	36.23	0.06
PK* 178	35.98	35.98	0.00
		Ecart maximal (m)	0.06
		Ecart moyen (m)	0.03

* PK référence du PPRI 94

Tableau 8 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1924 – Marne Aval

Point de comparaison	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau référencé au PPRI 94 (m NGF)	Δ = Nmodélisé – Nréférencé (m)
PK* 183	34.96	34.85	0.11
PK* 184	34.67	34.68	-0.01
PK* 185	34.45	34.43	0.02
PK* 186	34.18	34.18	0.00
		Ecart maximal (m)	0.11
		Ecart moyen (m)	0.03

* PK référence du PPRI 94

Le calage des lits majeurs est réalisé grâce à la crue historique débordante de 1910. Cette étape a permis de fixer la rugosité des lits majeurs de la Marne au droit des deux secteurs étudiés. Afin d'obtenir des niveaux d'eaux modélisés similaires aux niveaux d'eau historiques, les coefficients de Manning (n, paramètre de rugosité) ont été fixé à :

- 0.04 $s.m^{-1/3}$ pour les parcs,
- 0.10 $s.m^{-1/3}$ pour les espaces urbanisés.

Les résultats du calage des lits majeurs (Amont et Aval) sont présentés dans le tableau suivant. Les écarts moyens calculés entre les lignes d'eau modélisées et les niveaux d'eau mesurés pour la crue de 1910 sont d'environ 6 cm pour le modèle Marne Amont et environ 7 cm pour le modèle Marne Aval. Ces écarts correspondent à l'ordre de grandeur de la précision du modèle. Les lits majeurs sont donc convenablement calés avec des coefficients de rugosité réalistes.

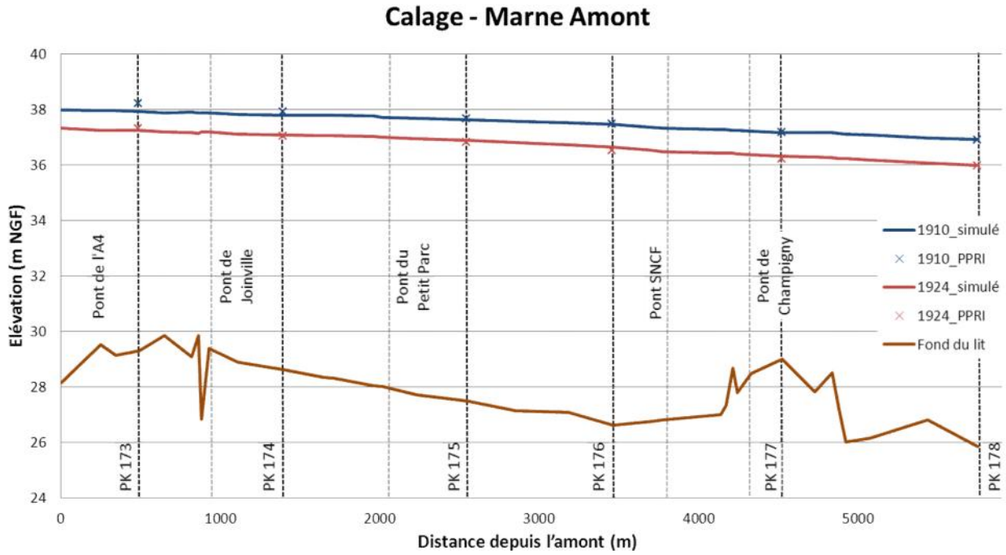
Tableau 9 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1910 –Marne Amont

Point de comparaison	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau référencé au PPRI 94 (m NGF)	Δ = Nmodélisé – Nréférencé (m)
PK* 174	37.80	37.93	- 0.13
PK* 175	37.62	37.68	- 0.06
PK* 176	37.37	37.48	- 0.11
PK* 177	37.15	37.17	- 0.02
PK* 178	36.92	36.92	0.00
		Ecart maximal (m)	
		Ecart moyen (m)	

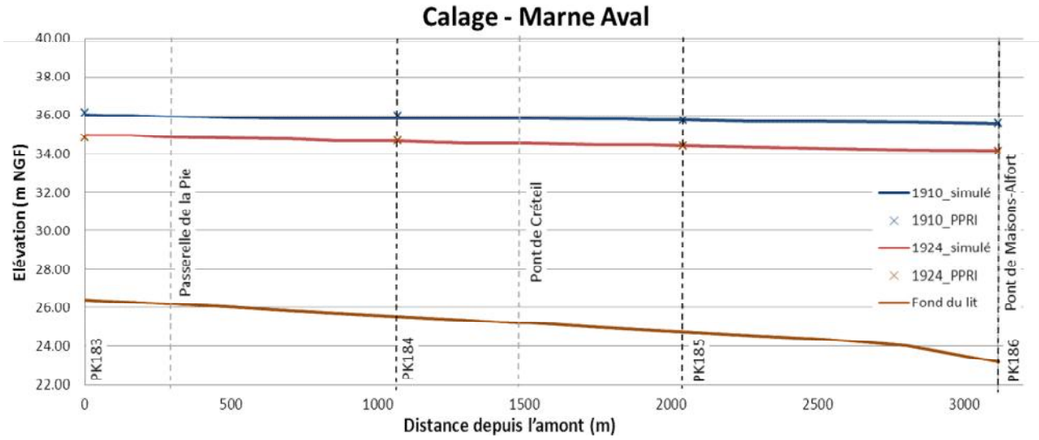
Tableau 10 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1910 –Marne Aval

Point de comparaison	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau référencé au PPRI 94 (m NGF)	Δ = Nmodélisé – Nréférencé (m)
183	36.06	36.14	-0.08
184	35.83	35.99	-0.16
185	35.75	35.72	0.03
186	35.57	35.57	0.00
		Ecart maximal (m)	0.16
		Ecart moyen (m)	0.05

Les graphiques suivant présentent les lignes d'eau calculées comparativement aux niveaux d'eau observés lors des événements hydrologiques de calage (1924 et 1910) pour chacun des modèles réalisés sur la Marne.



Graphique 4 : Comparaison des niveaux d'eau simulés et mesurés pour les crues de 1910 et 1924 – Marne Amont



Graphique 5 : Comparaison des niveaux d'eau simulés et mesurés pour les crues de 1910 et 1924 – Marne Aval

1.3.5 Test de sensibilité

Dans les règles de l'art, la condition limite aval d'un modèle hydraulique peut être soit :

- une cote fiable extraite de repère de crues ou de documents réglementaires découlant d'un modèle hydraulique reconnu, approuvé et validé par les services de l'Etat ;

- une cote incertaine : aucune mesure disponible, cote estimée à partir de souvenir, de calcul hydraulique empirique ou de la hauteur normale (pas d'influence d'éventuel ouvrage aval).

La disponibilité de valeurs fiables permet de créer des modèles hydrauliques courts. En effet, ces valeurs prennent en compte les influences des ouvrages situés en aval du modèle et pouvant influencer les conditions d'écoulement. Ainsi, grâce à une condition limite aval ne présentant pas ou peu d'incertitude, les lignes d'eau simulées par la modélisation sont réalistes (ce qui est confirmé par le calage du modèle).

A l'inverse, si aucune valeur fiable n'est disponible, le modèle hydraulique doit posséder une longueur suffisamment importante afin de s'affranchir des incertitudes liées à la condition limite aval. Dans ce cas un test de sensibilité doit être réalisé afin de quantifier l'impact de cette donnée d'entrée incertaine sur les résultats du modèle et de s'assurer de la validité de la modélisation (modèle suffisamment long pour que la zone étudiée ne soit pas influencée par la condition limite aval).

Dans le cas des modèles hydrauliques de la Marne, les conditions limites aval correspondent aux niveaux d'eau calculés et validés dans le cadre de la modélisation des zones inondables pour l'établissement des carte d'aléa du PPRI du Val-de-Marne. Il s'agit donc de données connues et validées. Les niveaux de crues disponibles dans le PPRI 94 sont rappellés dans le tableau suivant.

Niveaux d'eaux extrait du PPRI 94 pour les conditions limites aval

Localisation	1924	1910
PK* 178 – Amont Ile d'Amour	35.98	36.92
PK* 186 – Pont de Maisons-Alfort	34.18	35.57

*PK : Point kilométrique référence du PPRI 94

Les cotes PPRi sont issues d'un modèle calé et validé, pour la constitution du document réglementaire reconnu et approuvé. Ces cotes sont donc considérées comme fiables.

De plus le modèle est calé convenablement : les lignes d'eau simulées sont cohérentes avec les mesures historiques sur le secteur d'études.

Les niveaux d'eau et les emprises des champs d'inondation au droit des zones impactées par le projet étant réalistes et conformes aux cartes existantes, un test de sensibilité sur la condition limite aval et sur les coefficients de rugosité n'est pas nécessaire.

Toutefois, un test de sensibilité sur la condition limite aval a été réalisé sur les deux modèles Marne. Ce test a consisté à considérer, pour la crue de 1910, une rehausse de cette condition limite de +20 cm sur l'état initial et sur l'état travaux, ce dernier constituant le cas le plus pénalisant pour les impacts. Les résultats obtenus sont les suivants :

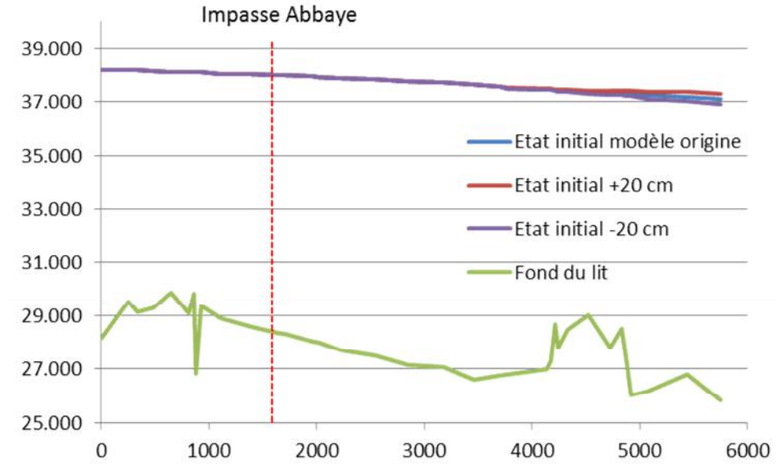
- **Marne amont :**
  - **La variation de la condition limite aval impact le modèle jusqu'au pont de la voie SNCF ;**
  - **L'ouvrage annexe de l'abbaye n'est pas influencé par la variation de la condition limite aval, tant en vitesse qu'en hauteur ;**

OA	Hauteur en m NGF										
	Etat initial modèle origine	Etat initial +20 cm	Etat initial -20 cm	Phase Chantier	Phase Chantier +20 cm	Phase Chantier -20 cm	Impact Modèle base	Impact avec +20 cm	Impact avec -20 cm	Différence impact +20 cm /Origine	Différence impact -20 cm /Origine
Abbaye	37,970	37,972	37,969	37,985	37,986	37,984	0,015	0,014	0,015	-0,001	0,000

Résultats du test de sensibilité pour le niveau d'eau au droit de l'OA Impasse de l'Abbaye

OA	Vitesse en m/s										
	Etat initial modèle origine	Etat initial +20 cm	Etat initial -20 cm	Phase Chantier	Phase Chantier +20 cm	Phase Chantier -20 cm	Impact Modèle base	Impact avec +20 cm	Impact avec -20 cm	Différence impact +20 cm /Origine	Différence impact -20 cm /Origine
Abbaye	1,088	1,086	1,087	1,199	1,198	1,198	0,111	0,112	0,111	0,001	0,000

Résultats du test de sensibilité pour les vitesses au droit de l'OA Impasse de l'Abbaye



Profils en long de l'état initial dans les 3 conditions de limite aval : modèle origine, +20cm et -20cm - OA Impasse de l'Abbaye

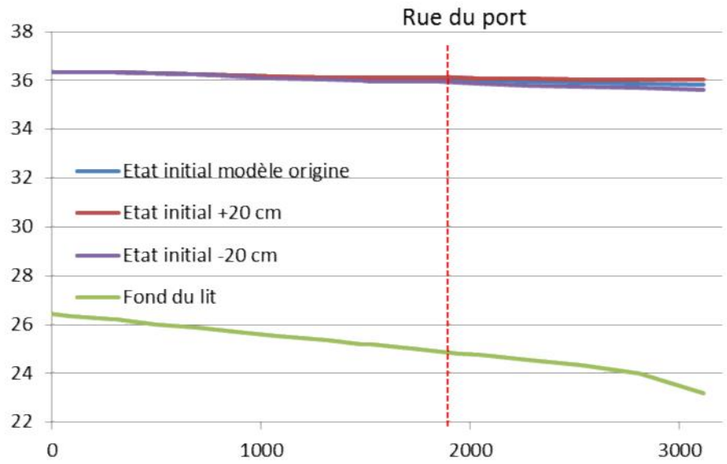
- **Marne aval :**
  - **La quasi-totalité du modèle est influencé par la condition limite aval (fortement conditionné au niveau d'eau de la Seine à la confluence) ;**
  - **Au droit de l'ouvrage annexe du port de Créteil, l'incidence est de la rehausse est de +6.7 cm sur la ligne d'eau ;**
  - **Il en résulte un impact sur les vitesses avec une diminution de -0.031 m/s ;**
  - **L'impact en phase chantier avec la condition limite aval rehaussée est, au maximum, de +0.4cm sur la ligne d'eau et de + 0.171 m/s sur les vitesses, contre +0.6 cm et +0.168 m/s avec la condition limite aval non rehaussée ;**
  - **La comparaison entre les impacts issues des différentes conditions limites aval montre un écart de 0.2 cm sur la ligne d'eau et de 0.003 m/s sur les vitesses ; ces différences étant de l'ordre de grandeur des incertitudes du modèle, elles ne sont pas significatives.**

OA	Hauteur en m NGF										
	Etat initial modèle origine	Etat initial +20 cm	Etat initial -20 cm	Phase Chantier	Phase Chantier +20 cm	Phase Chantier -20 cm	Impact Modèle base	Impact avec +20 cm	Impact avec -20 cm	Différence impact +20 cm /Origine	Différence impact -20 cm /Origine
Port de créteil	36,050	36,117	35,947	36,056	36,121	35,954	0,006	0,004	0,007	-0,002	0,001

Résultats du test de sensibilité pour le niveau d'eau au droit de l'OA Rue du Port Créteil

OA	Vitesse en m/s										
	Etat initial modèle origine	Etat initial +20 cm	Etat initial -20 cm	Phase Chantier	Phase Chantier +20 cm	Phase Chantier -20 cm	Impact Modèle base	Impact avec +20 cm	Impact avec -20 cm	Différence impact +20 cm /Origine	Différence impact -20 cm /Origine
Port de créteil	0,129	0,098	0,151	0,297	0,269	0,315	0,168	0,171	0,164	0,003	-0,004

Résultats du test de sensibilité pour les vitesses au droit de l'OA Rue du Port Créteil



Profils en long de l'état initial dans les 3 conditions de limite aval : modèle origine, +20cm et -20cm - OA Rue du Port Créteil

A la lumière des résultats précédents, il apparait que les modèles présentent une sensibilité liée notamment à l'absence de cotes de références validées en aval (repères de crues physiques de type bornes IGN ou repères de crues gravées sur un pont…). Cette incertitude concerne principalement le modèle Marne Aval et l'OA rue du Port Créteil. Le modèle Marne Amont possède, quant à lui, une longueur suffisante pour s'affranchir de cette incertitude au droit de l'OA Impasse Abbaye.

Néanmoins, les résultats des modèles permettent de fournir une première évaluation des incidences sur la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement sur ces zones d'étude, concernées par les deux ouvrages annexes, l'OA Impasse Abbaye mais également l'OA rue du Port Créteil dans une moindre mesure. En effet, la variation de 20 cm de la condition limite aval a une influence uniquement de quelques millimètres (et millimètre par seconde pour les vitesses) sur les impacts des ouvrages en phase projet comme indiqué dans les deux dernières colonnes des tableaux précédents (résultats des tests de sensibilité pour les hauteurs et vitesses de l'OA Rue du port de Créteil).

1.4 Incidences hydrauliques du projet – Marne amont

1.4.1 Etat de référence

1.4.1.1 Descriptifs des zones inondées en fonction des crues simulées

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982, d'occurrence décennale, est une crue non débordante : aucune inondation du lit majeure n'est observée.

Cette crue étant contenue dans le lit mineur, seuls des ouvrages qui y sont implantés peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur n'étant prévue, le projet n'aura aucune incidence pour cette crue.

b. Crue de 1924 (crue cinquantennale)

La crue de 1924, d'occurrence d'environ cinquante ans, est une crue faiblement débordante. En effet les seules inondations observées lors de cet évènement se situent au niveau de l'Ile Fanac à Joinville le Pont et en aval du pont de Champigny.

Ainsi, seuls des ouvrages présents au droit de ces zones ou en lit mineur peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur et aucun ouvrage en zone inondable pour la crue de 1924 n'étant prévus, le projet n'aura aucune incidence sur cette crue.

c. Crue de 1910 (crue de référence du PPRI 94)

La crue de 1910, d'occurrence centennale, est la crue de référence du PPRI 94. Cette crue inonde les lits majeurs droit et gauche de la Marne.

Ainsi, tout ouvrage présent dans la zone inondable telle que définie au PPRI du Val-de-Marne peut influer sur les caractéristiques des écoulements de la Marne.

Le seul ouvrage présent en zone inondable pour la crue de 1910 et pouvant influencer les caractéristiques de l'écoulement est l'Ouvrage Annexe Impasse Abbaye. La gare de Champigny Centre, située en limite de zone inondable n'aura pas d'influence sur l'écoulement de la Marne.

Les vitesses d'écoulement observées en lit majeur sont majoritairement faibles (inférieures à 0,2 m/s). Des hauteurs de submersion de plus de 2 m sont observables lors de la crue de 1910.

1.4.1.2 Présentation des résultats

Le tableau suivant récapitule les niveaux d'eau calculés pour chacune des crues au droit des ouvrages de la ligne 15 Sud.

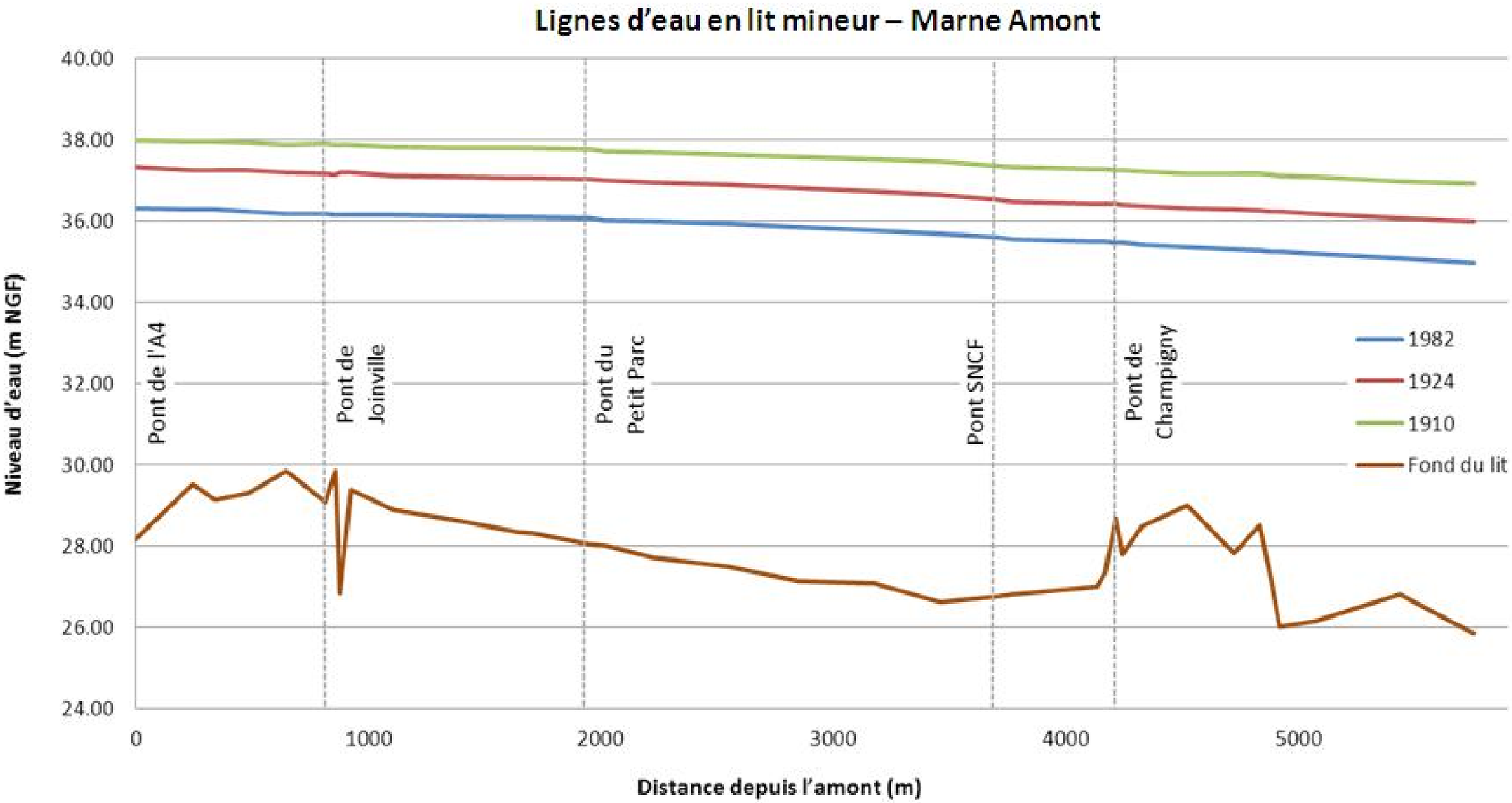
Tableau 11 : Niveaux d'eaux simulés au droit de l'OA Impasse Abbaye et de la gare de Champigny Centre

Ouvrage	Niveau d'eau simulé lors des crues (m NGF)		
	1982	1924	1910
OA Impasse Abbaye	36.09*	37.06*	37.97
Gare Champigny Centre	-	-	37.64

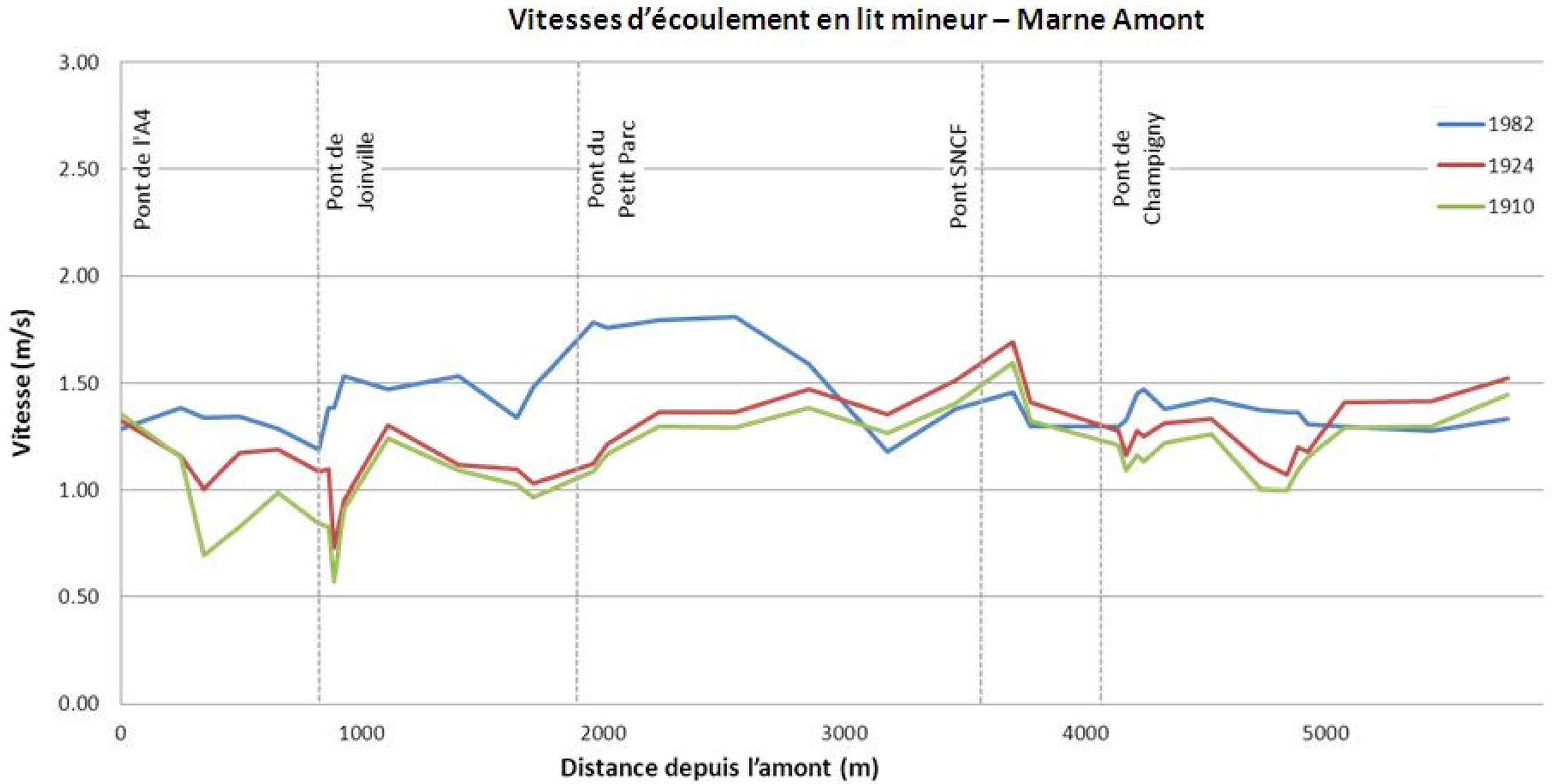
* niveau d'eau simulé dans le lit mineur (ouvrage non inondé lors de la crue)

Les graphiques, figurant pages suivantes, présentent les profils en long des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement du bras principal de la Marne Amont obtenues lors de la simulation des différentes crues.

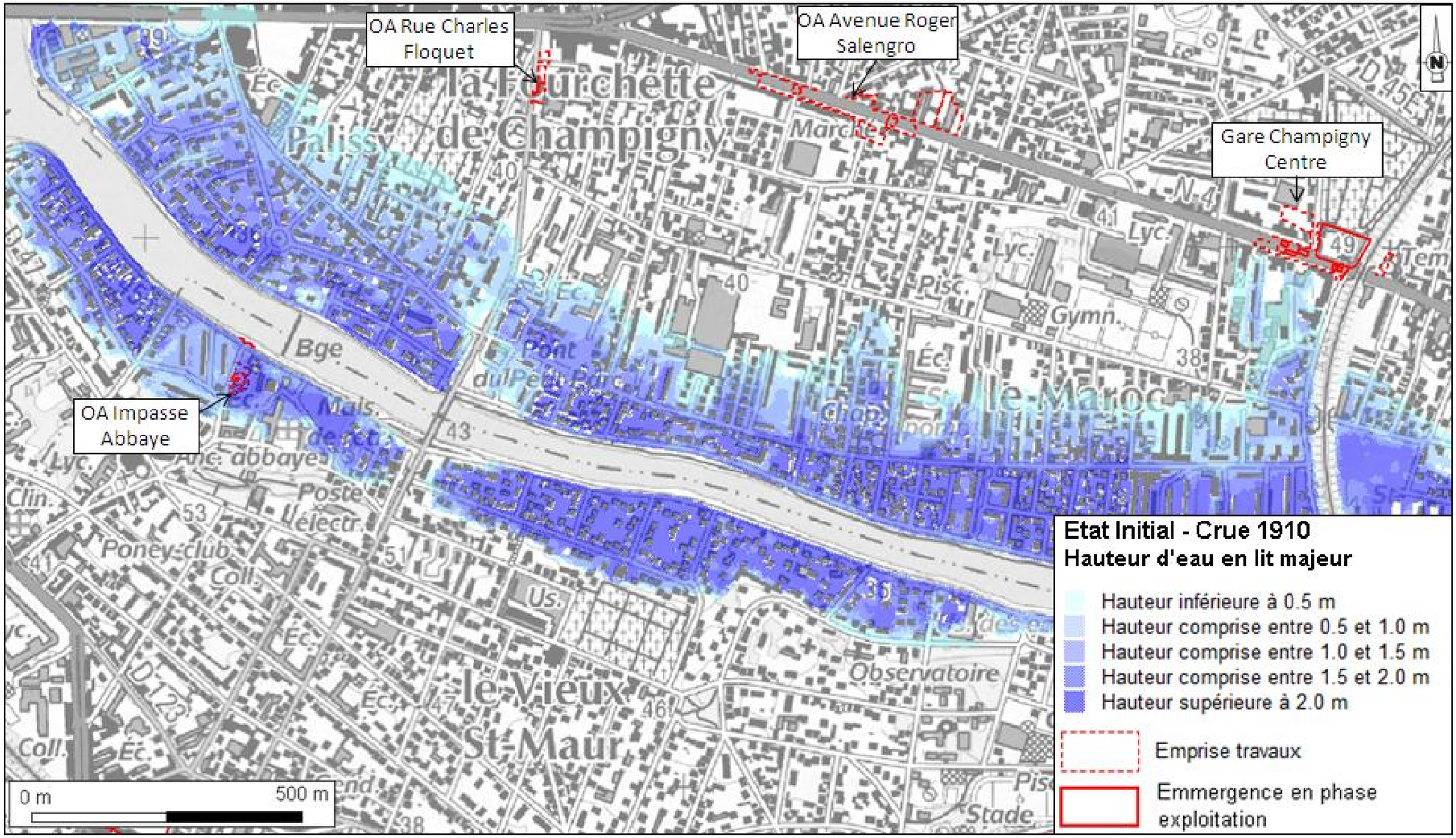
Les cartographies des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement en lit majeur obtenues par la simulation de la crue débordante de 1910 sont présentées à la suite des graphiques présentant les lignes d'eau et les vitesses d'écoulement des différents évènements.



Graphique 6 : Lignes d'eau de la Marne Amont en lit mineur – Bras principal



Graphique 7 : Vitesses d'écoulement de la Marne Amont en lit mineur – Bras principal



Carte 12 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Marne Amont



Carte 13 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Marne Amont

1.4.2 Phase chantier

1.4.2.1 Définition et modélisation de la phase chantier

La phase chantier correspond à la période durant laquelle les travaux du projet du Grand Paris Express auront lieu. Il s'agit d'une phase temporaire durant environ un an pour l'ouvrage annexe.

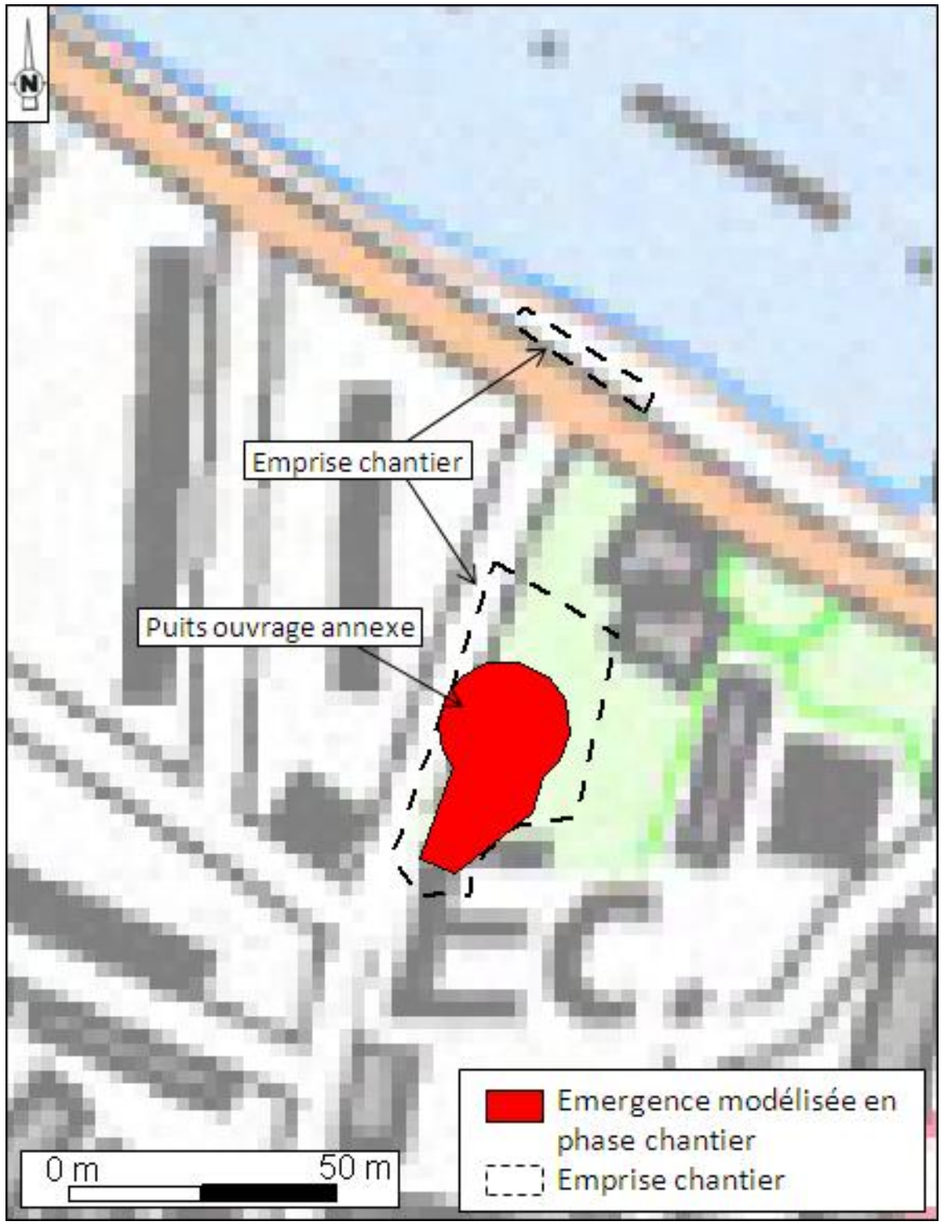
L'ensemble des puits (puits des ouvrages annexes, boîte gare) sera mis hors d'eau afin d'éviter toute entrée d'eau dans le tunnel pour les crues similaires à la crue de 1910.

a. OA Impasse Abbaye

Pendant toute la durée du chantier, les parois des infrastructures sont rehaussées de 20 cm par rapport à la cote de la crue de 1910 (37.93 m NGF) afin d'éviter toute entrée d'eau dans le tunnel. La hauteur de cette rehausse, spécifique à la phase travaux, a été fixée dans le cadre de la stratégie inondation de la SGP.

La modélisation de la phase travaux a été réalisée en considérant la « boîte » de l'ouvrage annexe comme non submersible.

L'emprise ainsi considérée comme non submersible est présentée sur la carte suivante.



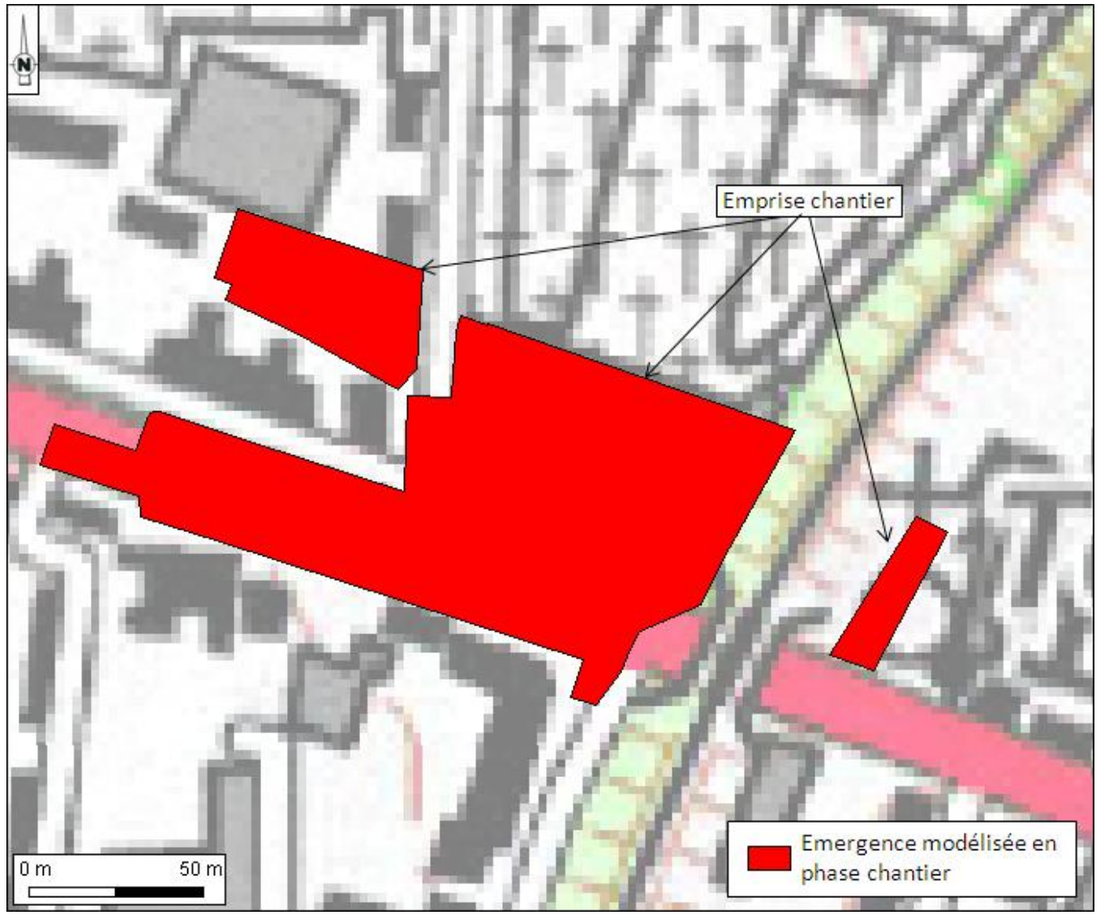
Carte 14 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Impasse Abbaye

b. Gare de Champigny Centre

La gare de Champigny Centre étant située en limite de zone inondable pour la crue de 1910, aucune incidence n'est attendue sur les vitesses d'écoulement et les niveaux d'eau (gare située en zone de stockage des crues).

Cette gare a tout de même été modélisée.

En phase chantier, la totalité de l'emprise travaux est considérée comme insubmersible. Cette emprise est présentée sur la carte suivante.



Carte 15 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de la gare de Champigny Centre

1.4.2.2 Incidences hydrauliques en phase chantier

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982 étant non débordante et aucune modification du lit mineur n'étant prévue par le projet du Grand Paris Express, le projet n'a pas d'impact sur les caractéristiques de l'écoulement (niveaux d'eau et vitesses d'écoulement).

b. Crue de 1924 (crue cinquantennale)

La crue de 1924 étant non débordante au droit du projet et aucune modification du lit mineur n'étant prévue, le projet n'a pas d'impact sur les caractéristiques de l'écoulement (niveaux d'eau et vitesses d'écoulement).

c. Crue de 1910 (crue de référence du PPRI 94)

La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI du Val-de-Marne. Seul l'ouvrage annexe Impasse Abbaye est situé dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910. Ainsi, seul cet aménagement peut avoir une influence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur n'étant prévue, un impact non significatif est observé en lit mineur que ce soit sur les niveaux d'eau ou les vitesses d'écoulement (respectivement inférieur à 1 cm et 0.1 m/s).

Lors de la phase travaux, l'incidence sur les niveaux d'eau pour la crue de 1910 se traduit par un léger rehaussement très local de la ligne d'eau correspondant à un impact faible (de l'ordre de 1,5 cm) à proximité immédiate de l'ouvrage.

Lors de la phase travaux, l'incidence sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1910 se traduit par une augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur correspondant à un impact modéré (jusqu'à 0,12 m/s) à proximité immédiate de l'aménagement.

La phase travaux présente donc un impact faible et très localisé sur les niveaux d'eau (inférieur à 1,5 cm) et un impact modéré et très localisé sur les vitesses d'écoulement en lit majeur (inférieur à 0,12 m/s) pour la crue de 1910. Le projet a un impact non significatif sur les caractéristiques de l'écoulement en lit mineur (impact sur les niveaux inférieur à 1 cm et impact sur les vitesses d'écoulement inférieur à 0,1 m/s).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase chantier) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes ci-après.



Carte 16 : Incidence de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Impasse Abbaye



Carte 17 : Incidence de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Impasse Abbaye

1.4.3 Phase exploitation

1.4.3.1 Définition et modélisation de la phase exploitation

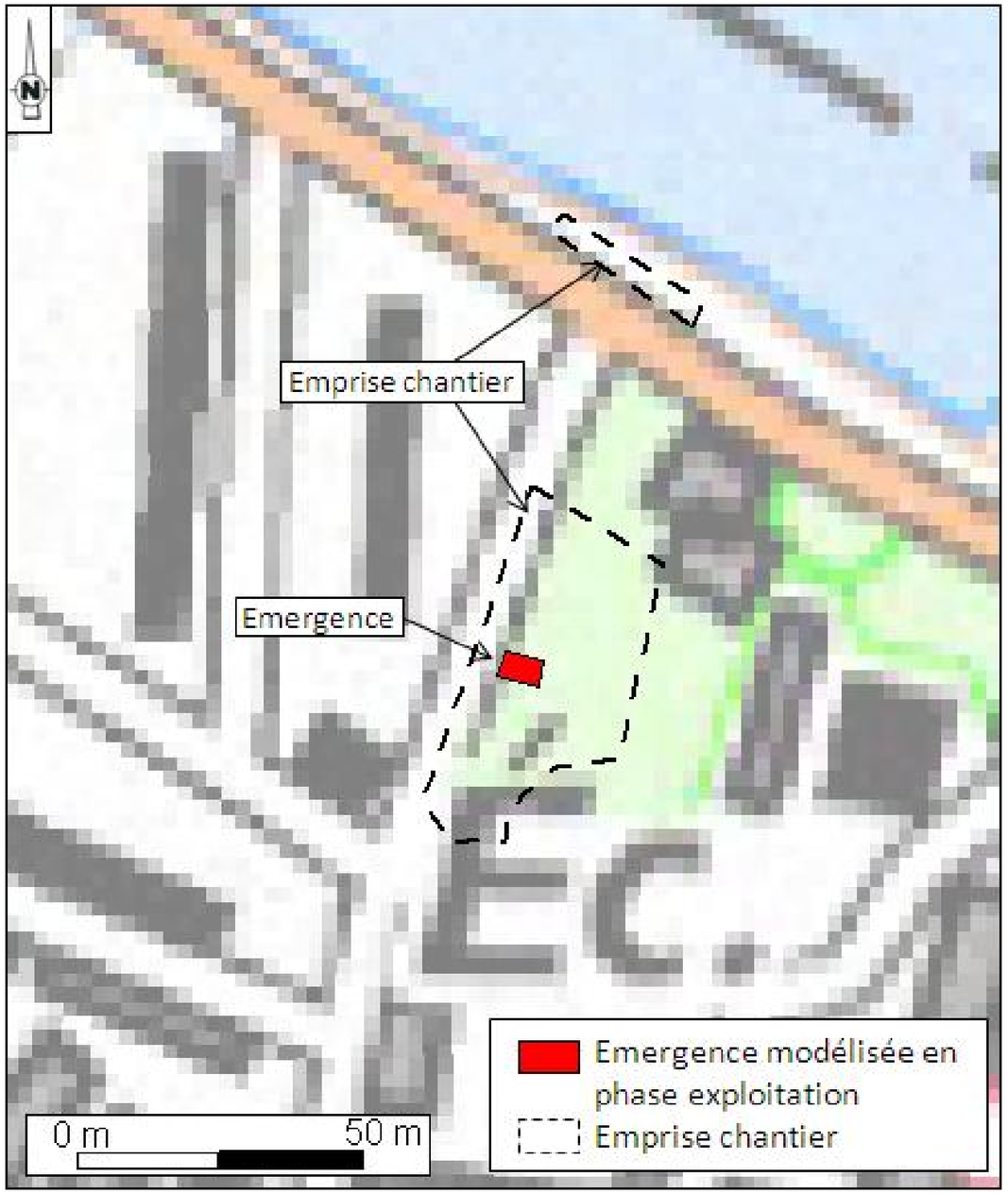
La phase exploitation correspond à la période durant laquelle le métro de la ligne 15 Sud sera en service. Il s'agit de l'état final du projet.

a. OA Impasse Abbaye

En phase définitive, les trappes d'accès matériel, les grilles de ventilation et les accès secours seront rehaussés au-dessus-de la cote de la crue de 1910 pour éviter les entrées d'eau dans le tunnel.

Ainsi, au droit de l'OA Impasse Abbaye, la modélisation de la phase exploitation consiste à considérer : l'émergence de l'ouvrage (grille de ventilation, trappes, accès secours) comme non submersible.

L'émergence ainsi considérée comme non submersible est présentée sur la carte suivante.



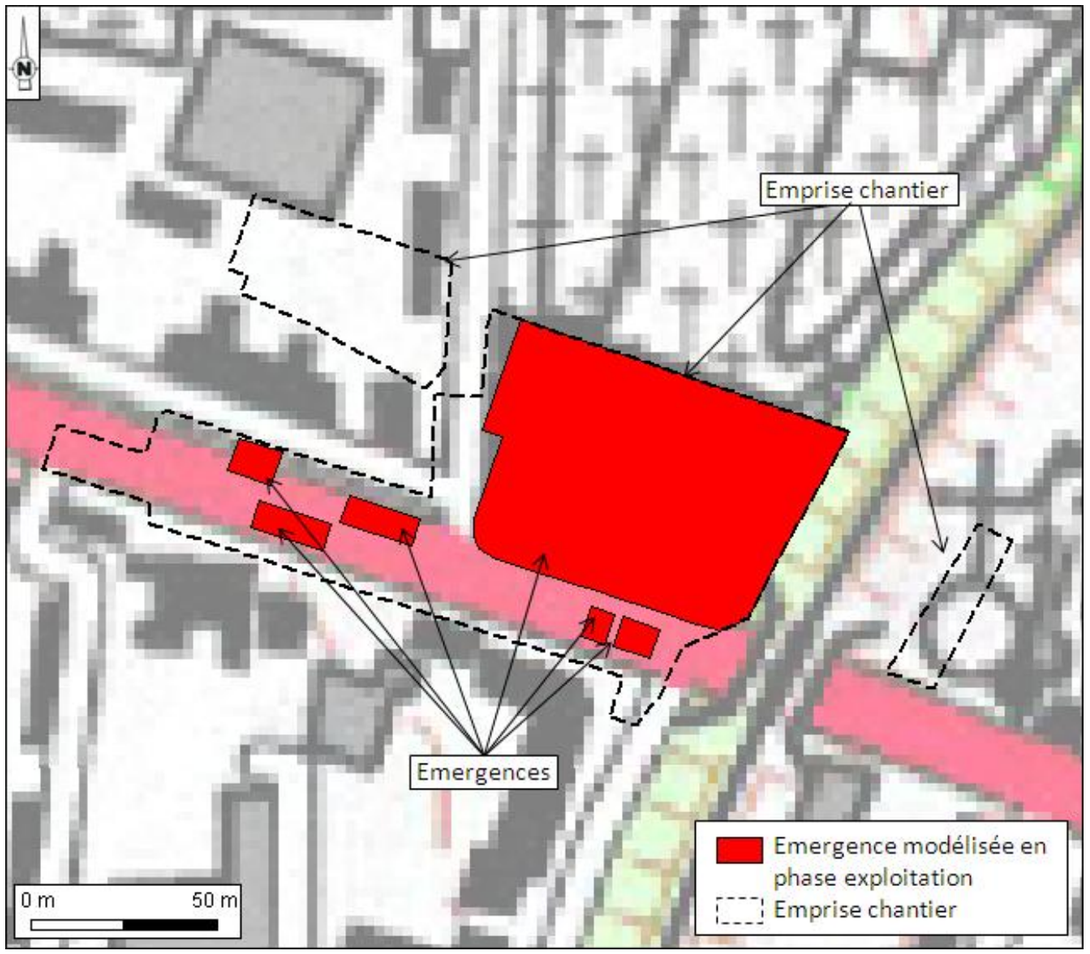
Carte 18 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Impasse Abbaye

b. Gare de Champigny Centre

La gare de Champigny Centre étant située en limite de zone inondable pour la crue de 1910, aucune incidence n'est attendue sur les vitesses d'écoulement et les niveaux d'eau (gare située en zone de stockage des crues).

Cette gare a tout de même été modélisée.

En phase exploitation, la gare, les grilles de ventilation et les accès à la gare sont considérés insubmersible. Les emprises ainsi modélisée comme non submersibles sont présentées sur la carte suivante.



Carte 19 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de la gare de Champigny Centre

1.4.3.2 Incidences hydrauliques en phase exploitation

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982 étant non débordante et aucune modification du lit mineur n'étant prévue par le projet du Grand Paris Express, le projet n'a pas d'impact sur les caractéristiques de l'écoulement (niveaux d'eau et vitesses d'écoulement).

b. Crue de 1924 (crue cinquantennale)

La crue de 1924 étant non débordante au droit du projet et aucune modification du lit mineur n'étant prévue, le projet n'a pas d'impact sur les caractéristiques de l'écoulement (niveaux d'eau et vitesses d'écoulement).

c. Crue de 1910 (crue de référence du PPRI 94)

La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI du Val-de-Marne. Seul l'ouvrage annexe Impasse Abbaye est situé dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910. Ainsi, seul cet aménagement peut avoir une influence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur n'étant prévue, aucun impact significatif n'est observé en lit mineur que ce soit sur les niveaux d'eau ou les vitesses d'écoulement (respectivement inférieur à 1 cm et 0.1 m/s).

Lors de la phase exploitation, un impact non significatif est observé en lit majeur (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau et inférieur 0.05 m/s pour les vitesses d'écoulement).

La phase exploitation présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur pour la crue de 1910 (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau, inférieur à 0.1 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit mineur et inférieur à 0.05 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit majeur).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes ci-après.



Carte 20 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Impasse Abbaye



Carte 21 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Impasse Abbaye

1.4.4 Conclusion sur les incidences hydrauliques – Marne amont

1.4.4.1 Phase travaux

En phase travaux, le projet du Grand Paris Express a un impact faible et très localisé sur les niveaux d'eau (de l'ordre de 1.5 cm) et un impact modéré et très localisé sur les vitesses d'écoulement (jusqu'à 0.12 m/s) en lit majeur pour la crue de 1910. Les crues d'occurrences inférieures étant non débordantes et aucun aménagement n'étant prévu en lit mineur, aucun impact n'est observé.

1.4.4.2 Phase exploitation

En phase exploitation, le projet du Grand Paris Express a un impact non significatif sur les niveaux d'eau et sur les vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur (impact inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau et inférieur à 0.1 m/s pour les vitesses d'écoulement), quelle que soit la crue étudiée.

1.5 Incidences hydrauliques du projet – Marne aval

1.5.1 Etat de référence

1.5.1.1 Descriptifs des zones inondées en fonction des crues simulées

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982, d'occurrence décennale, est une crue non débordante : aucune inondation du lit majeure n'est observée.

Cette crue étant contenue dans le lit mineur, seuls des ouvrages qui y sont implantés peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur n'étant prévue, le projet n'aura aucune incidence pour cette crue.

b. Crue de 1924 (crue cinquantennale)

La crue de 1924, d'occurrence d'environ cinquante ans, est une crue faiblement débordante. En effet, comme le montre les cartographies ci-après, les seules inondations observées lors de cet évènement se situent en rive gauche.

Ainsi, seuls des ouvrages présents en lit majeur gauche ou en lit mineur peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Le seul ouvrage présent en zone inondable pour la crue de 1924 et pouvant influencer les caractéristiques de l'écoulement est l'Ouvrage Annexe Rue du Port Créteil.

Les vitesses d'écoulement observées en lit majeur sont majoritairement faibles (inférieures à 0,2 m/s). En aval du pont de Créteil, les hauteurs de submersion varient de 0 à 1,5 m.

c. Crue de 1910 (crue de référence du PPRI 94)

La crue de 1910, d'occurrence centennale, est la crue de référence du PPRI 94. Cette crue inonde les lits majeurs droit et gauche de la Marne.

Ainsi, tout ouvrage présent dans la zone inondable telle que définie au PPRI du Val-de-Marne peut influer sur les caractéristiques des écoulements de la marne.

Le seul ouvrage présent en zone inondable pour la crue de 1924 et pouvant influencer les caractéristiques de l'écoulement est l'Ouvrage Annexe Rue du Port Créteil.

Les vitesses d'écoulement observées en lit majeur sont majoritairement faibles (inférieures à 0,2 m/s). Toutefois, à proximité du lit mineur, les vitesses sont plus importantes et varient entre 0,2 à 0,5 m/s (voir 1 m/s en rive droite). Des hauteurs de submersion de plus de 2 m sont observables lors de la crue de 1910 sur la quasi-totalité de l'emprise inondable.

1.5.1.2 Présentation des résultats

Le tableau suivant récapitule les niveaux d'eau modélisés pour chacune des crues au droit des ouvrages de la ligne 15 Sud.

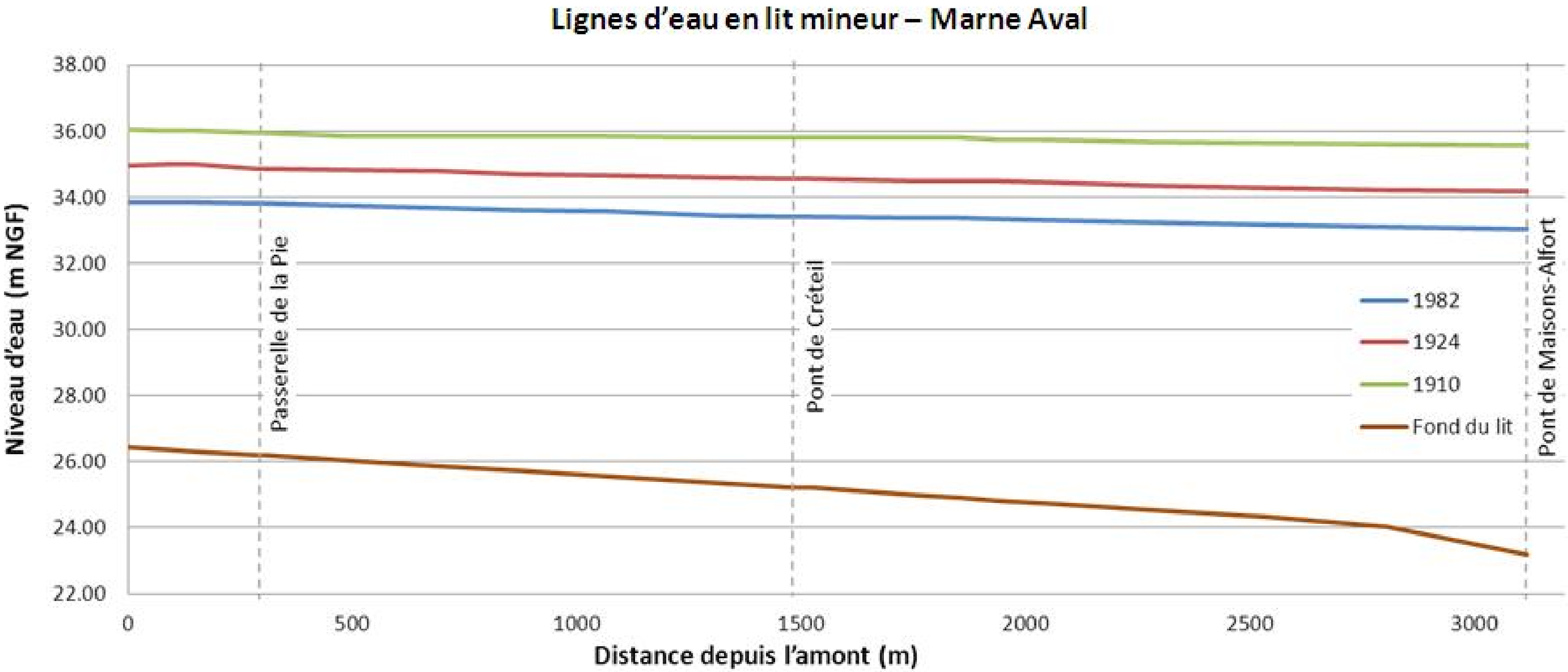
Tableau 12 : Niveaux d'eaux simulés au droit des ouvrages

Ouvrage	Niveau d'eau simulé lors des crues (m NGF)		
	1982	1924	1910
OA Rue du port Créteil	33.38*	34.35	36.05
Gare Saint-Maur Créteil	-	-	-

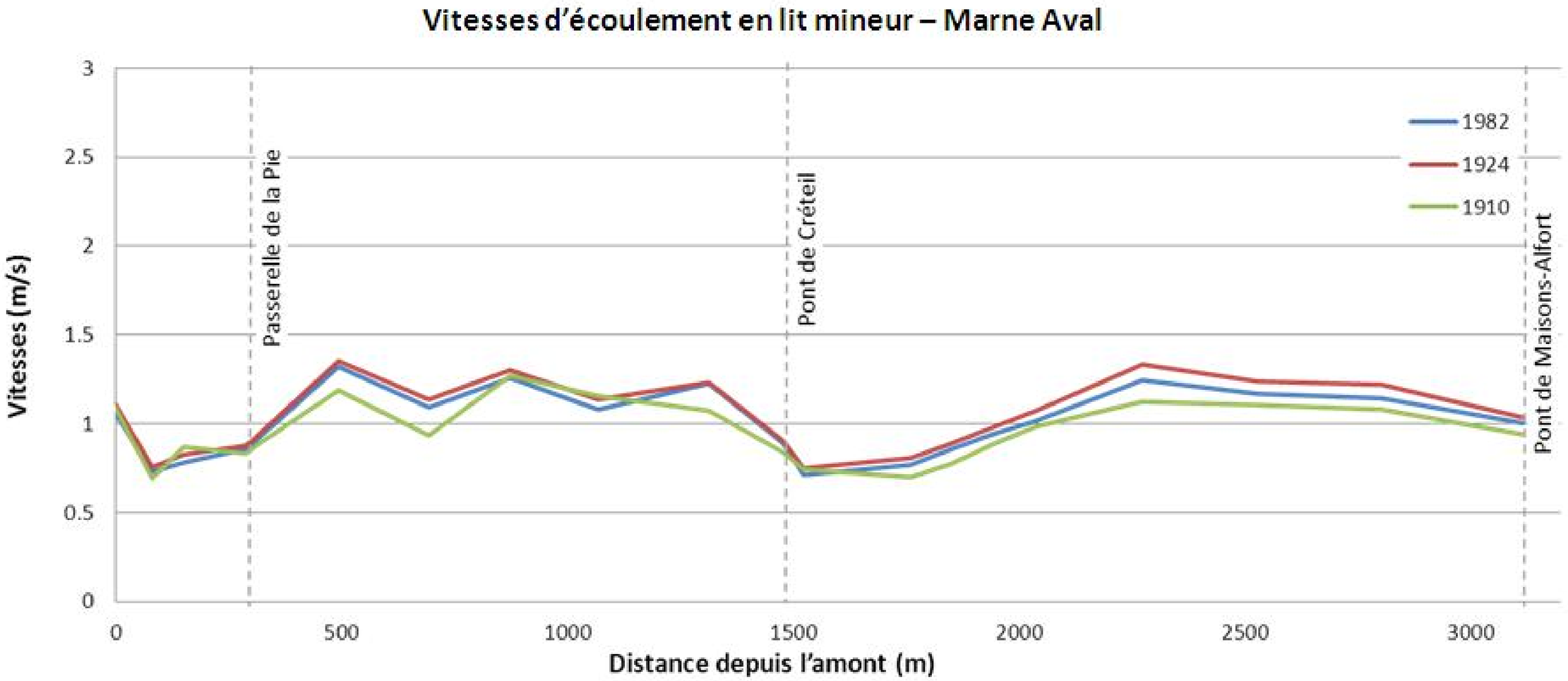
* niveau d'eau simulé dans le lit mineur (ouvrage non inondé lors de la crue)

Les graphiques, figurant pages suivantes, présentent les profils en long des lignes d'eau et des vitesses d'écoulement du bras principal de la Marne Aval obtenues lors de la simulation des différentes crues.

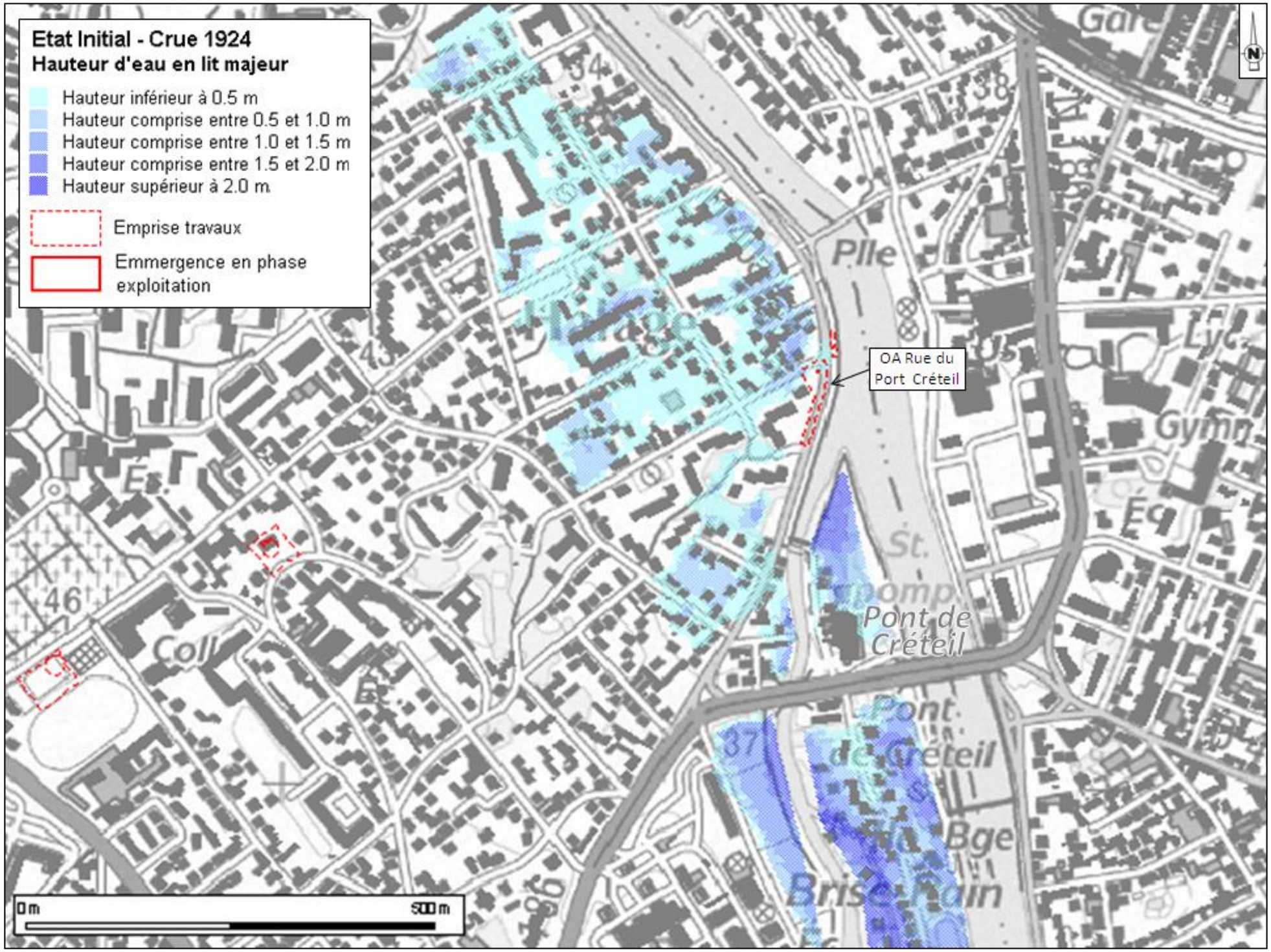
Les cartographies des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement en lit majeur obtenues par la simulation des crues débordantes sont présentées à la suite des graphiques présentant les lignes d'eau et les vitesses d'écoulement des différents évènements.



Graphique 8 : Lignes d'eau de la Marne Aval en lit mineur – Bras principal



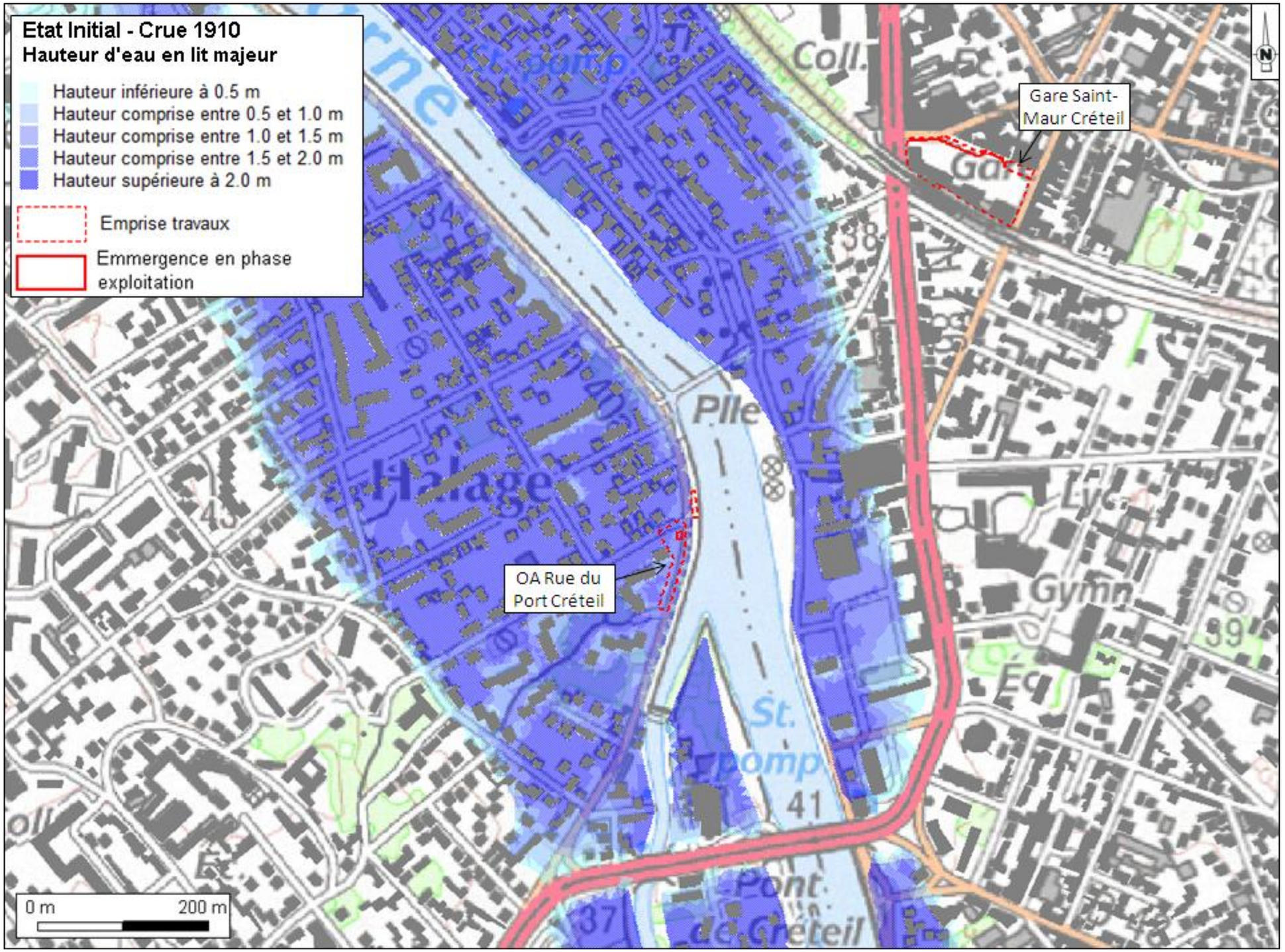
Graphique 9 : Vitesses d'écoulement de la Marne Aval en lit mineur – Bras principal



Carte 22 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue 1924 – Marne Aval



Carte 23 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1924 – Marne Aval



Carte 24 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Marne Aval



Carte 25 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Marne Aval

1.5.2 Phase chantier

1.5.2.1 Définition et modélisation de la phase chantier

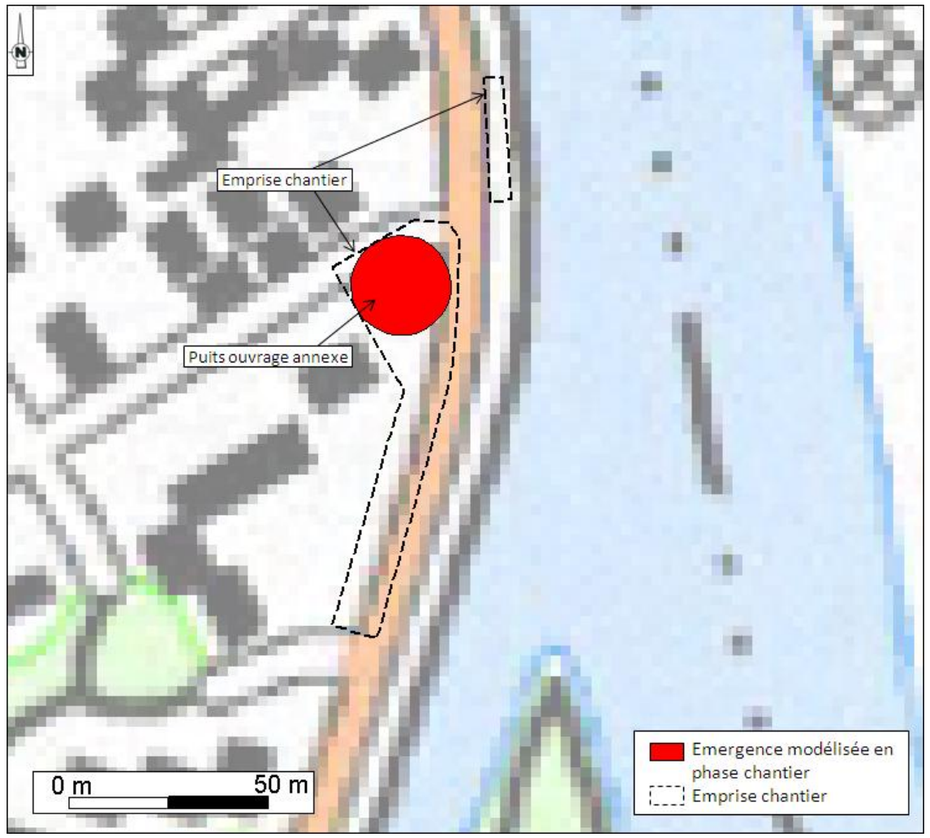
La phase chantier correspond à la période durant laquelle les travaux du projet du Grand Paris Express auront lieu. Il s'agit d'une phase temporaire durant environ un an pour l'ouvrage annexe.

L'ensemble des puits (puits des ouvrages annexes, boîte gare) sera mis hors d'eau afin d'éviter toute entrée d'eau dans le tunnel pour les crues similaires à la crue de 1910.

a. OA Rue du Port Créteil

Pendant toute la durée du chantier, les parois des infrastructures sont rehaussées de 20 cm par rapport à la cote de la crue de 1910 (35.72 m NGF) afin d'éviter toute entrée d'eau dans le tunnel. La hauteur de cette rehausse, spécifique à la phase travaux, a été fixée dans le cadre de la stratégie inondation de la SGP. La modélisation de la phase travaux a été réalisée en considérant la « boîte » de l'ouvrage annexe comme non submersible.

L'emprise ainsi considérée comme non submersible est présentée sur la carte suivante.



Carte 26 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Rue du Port Créteil

b. Gare de Saint-Maur Créteil

La gare de Saint-Maur Créteil étant située hors zone inondable pour la crue de 1910, aucune incidence n'est attendue sur les vitesses d'écoulement et les niveaux d'eau.

1.5.2.2 Incidences hydrauliques en phase chantier

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982 étant non débordante et aucune modification du lit mineur n'étant prévue par le projet du Grand Paris Express, le projet n'a pas d'impact sur les caractéristiques de l'écoulement (niveaux d'eau et vitesses d'écoulement).

b. Crue de 1924 (crue cinquantennale)

Le lit majeur droit étant protégé par des murettes anti-crues, la crue de 1924 inonde seulement le lit majeur gauche. Seul l'Ouvrage Annexe Rue du Port Créteil est inondé et peut avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur n'étant prévue, un impact non significatif est observé en lit mineur que ce soit sur les niveaux d'eau (inférieur à 1 cm) ou les vitesses d'écoulement (inférieur à 0,1 m/s).

Lors de la phase travaux, aucun impact n'est observé en lit majeur sur les niveaux d'eau.

Lors de cette phase, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1924 se traduise par une légère augmentation très locale des vitesses d'écoulement en lit majeur correspondant à un impact faible (jusqu'à 0,09 m/s) à proximité immédiate de l'OA Rue du Port Créteil.

La phase travaux présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau (inférieur à 1 cm) et un impact faible et très localisé sur les vitesses d'écoulement en lit majeur (inférieur à 0,09 m/s) pour la crue de 1924. Un impact non significatif est observé sur les caractéristiques de l'écoulement en lit mineur (impact sur les niveaux inférieur à 1 cm et impact sur les vitesses d'écoulement inférieur à 0,1 m/s).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase chantier) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes ci-après.



Carte 27 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1924 – Zoom OA Rue du Port Créteil



Carte 28 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1924 – Zoom OA Rue du Port Créteil

c. Crue de 1910 (crue de référence du PPRI 94)

La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI du Val-de-Marne. Seul l'ouvrage annexe Rue du Port Créteil est situé dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910. Ainsi, seul cet aménagement peut avoir une influence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur n'étant prévue, aucun impact n'est observé en lit mineur que ce soit sur les niveaux d'eau ou les vitesses d'écoulement (respectivement inférieur à 1 cm et 0.1 m/s).

Lors de la phase travaux, un impact non significatif (inférieur à 1 cm) est observé en lit majeur sur les niveaux d'eau.

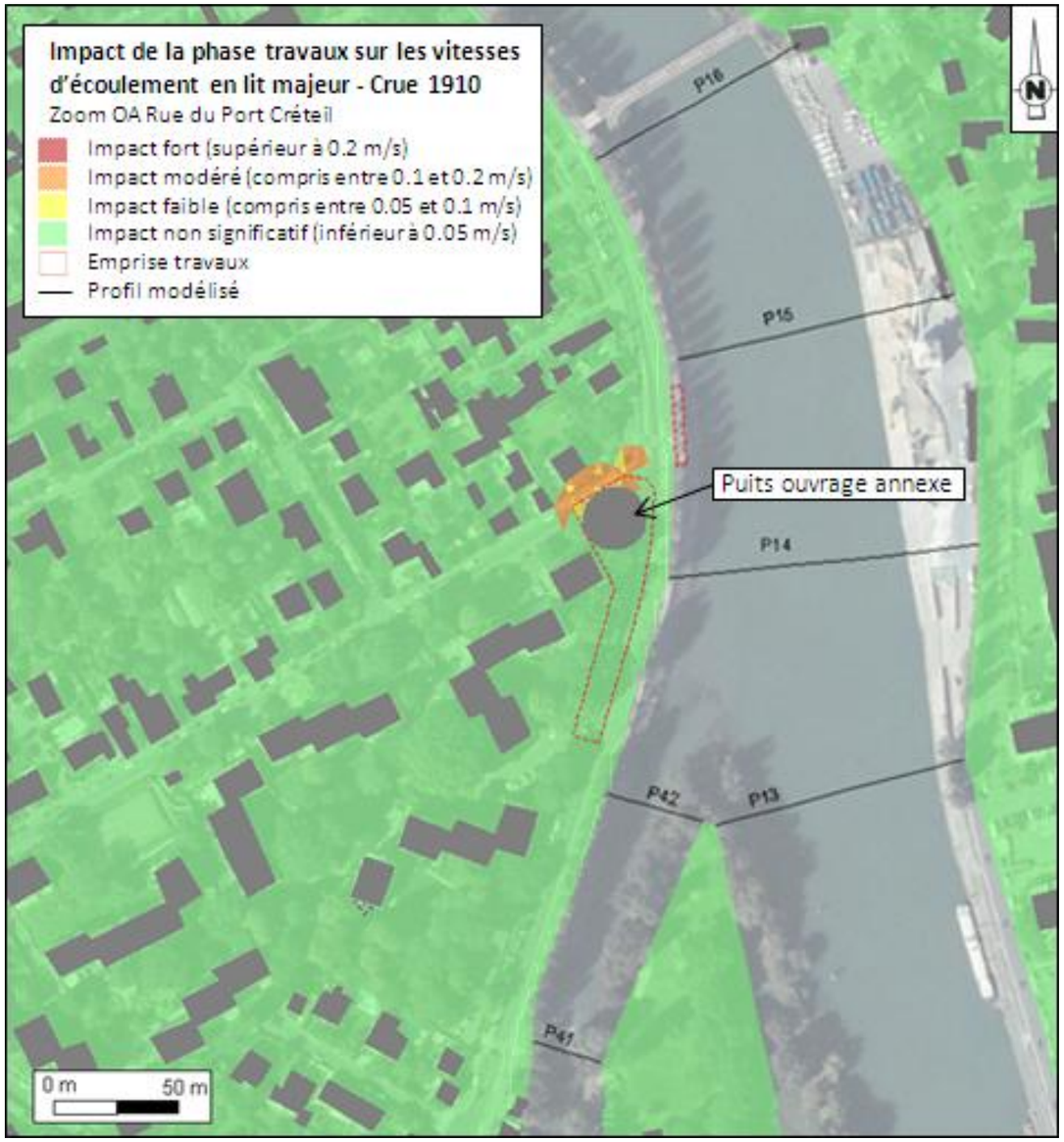
Lors de cette phase, l'incidence sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1910 se traduit par une augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur correspondant à un impact modéré (jusqu'à 0,15 m/s) à proximité immédiate de l'aménagement.

La phase travaux présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau (inférieur à 1 cm) et un impact modéré et très localisé sur les vitesses d'écoulement en lit majeur (inférieur à 0,15 m/s) pour la crue de 1910. Aucun impact significatif n'est observé sur les caractéristiques de l'écoulement en lit mineur (impact sur les niveaux inférieur à 1 cm et impact sur les vitesses d'écoulement inférieur à 0,1 m/s).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase chantier) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes ci-après.



Carte 29 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Rue du Port Créteil



Carte 30 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Rue du Port Créteil

1.5.3 Phase exploitation

1.5.3.1 Définition et modélisation de la phase exploitation

La phase exploitation correspond à la période durant laquelle le métro de la ligne 15 Sud sera en service. Il s'agit de l'état final du projet.

En phase définitive, les trappes d'accès matériel, les grilles de ventilation et les accès secours seront rehaussés au-dessus-de la cote de la crue de 1910 pour éviter les entrées d'eau dans le tunnel.

Ainsi, au droit de l'OA Rue du port Créteil, la modélisation de la phase exploitation consiste à considérer : l'émergence de l'ouvrage (grille de ventilation, trappes, accès secours) comme non submersible.



Carte 31 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Rue du Port Créteil

1.5.3.2 Incidences hydrauliques en phase exploitation

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982 étant non débordante et aucune modification du lit mineur n'étant prévue par le projet du Grand Paris Express, le projet n'a pas d'impact sur les caractéristiques de l'écoulement (niveaux d'eau et vitesses d'écoulement).

b. Crue de 1924 (crue cinquantennale)

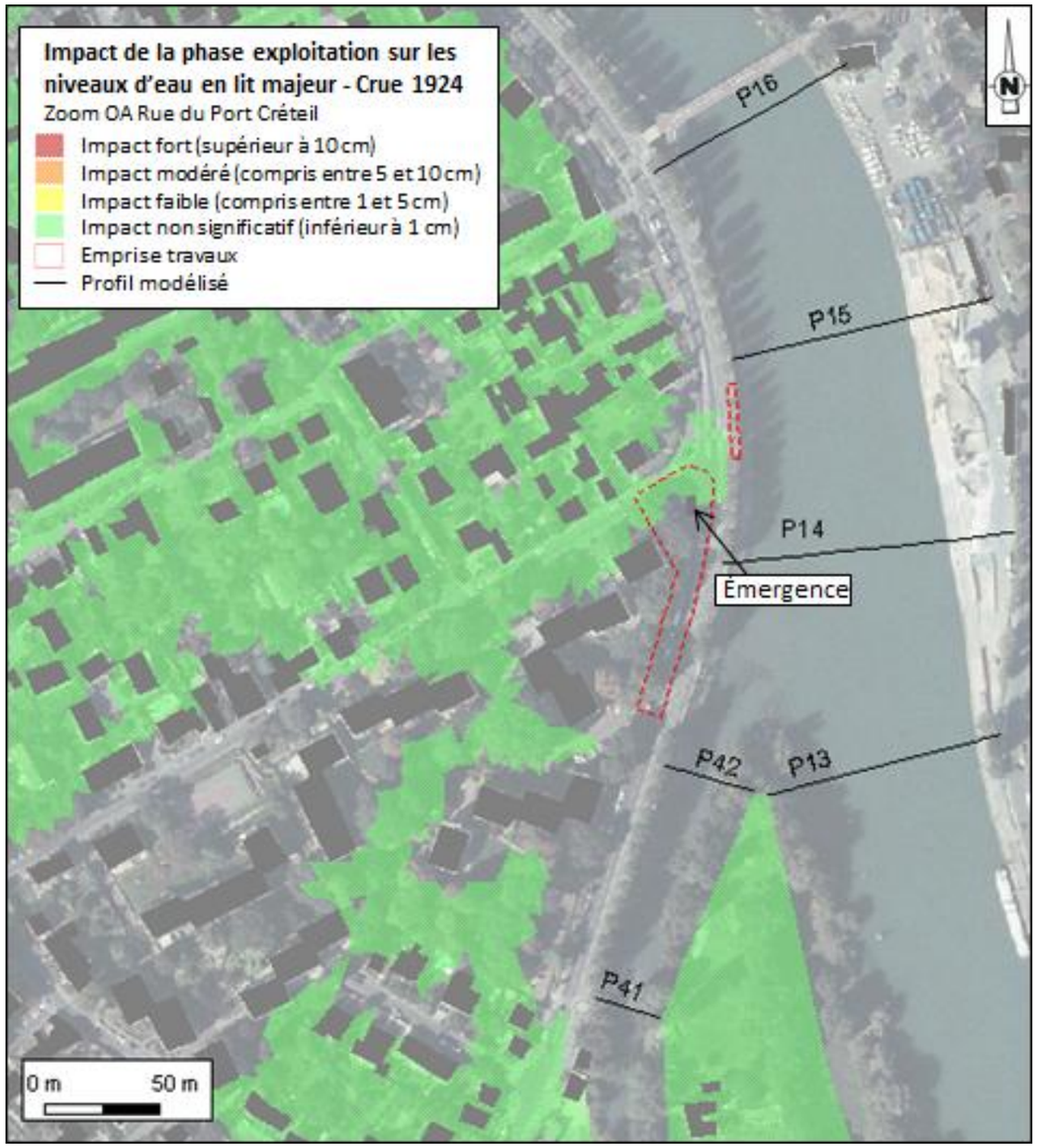
Le lit majeur droit étant protégé par des murettes anti-crues, la crue de 1924 inonde seulement le lit majeur gauche. Seul l'Ouvrage Annexe Rue du Port Créteil est inondé et peut avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur n'étant prévue, un impact non significatif est observé en lit mineur que ce soit sur les niveaux d'eau ou les vitesses d'écoulement (respectivement inférieur à 1 cm et 0.1 m/s).

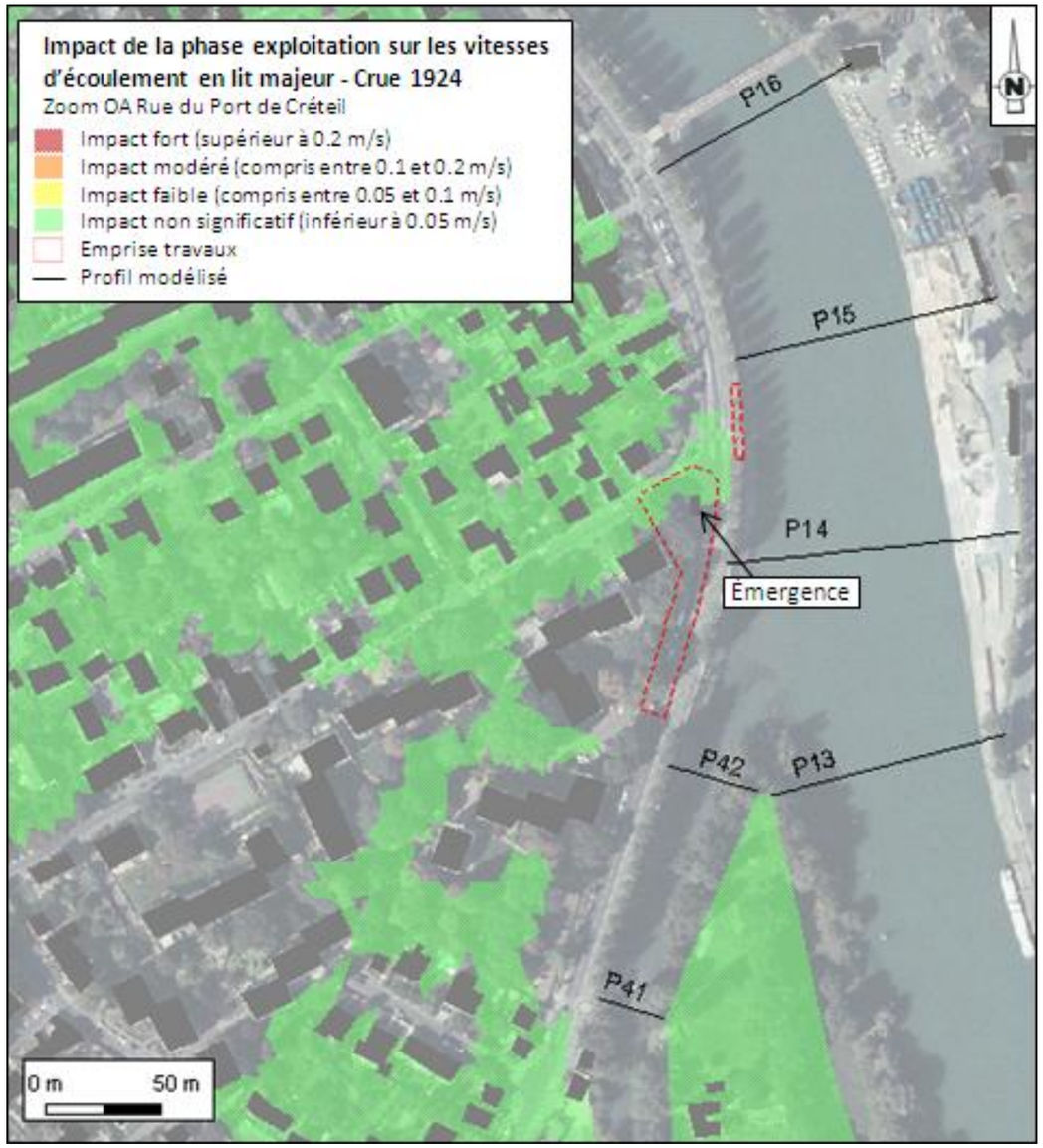
Lors de la phase exploitation, un impact non significatif est observé en lit majeur sur les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau et inférieur à 0.05 m/s pour les vitesses d'écoulement).

La phase exploitation présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau et sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1924 (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau, inférieur à 0.1 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit mineur et inférieur à 0.05 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit majeur).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes ci-après.



Carte 32 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1924 – Zoom OA Rue du Port Créteil



Carte 33 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1924 – Zoom OA Rue du Port Créteil

c. Crue de 1910 (crue de référence du PPRI 94)

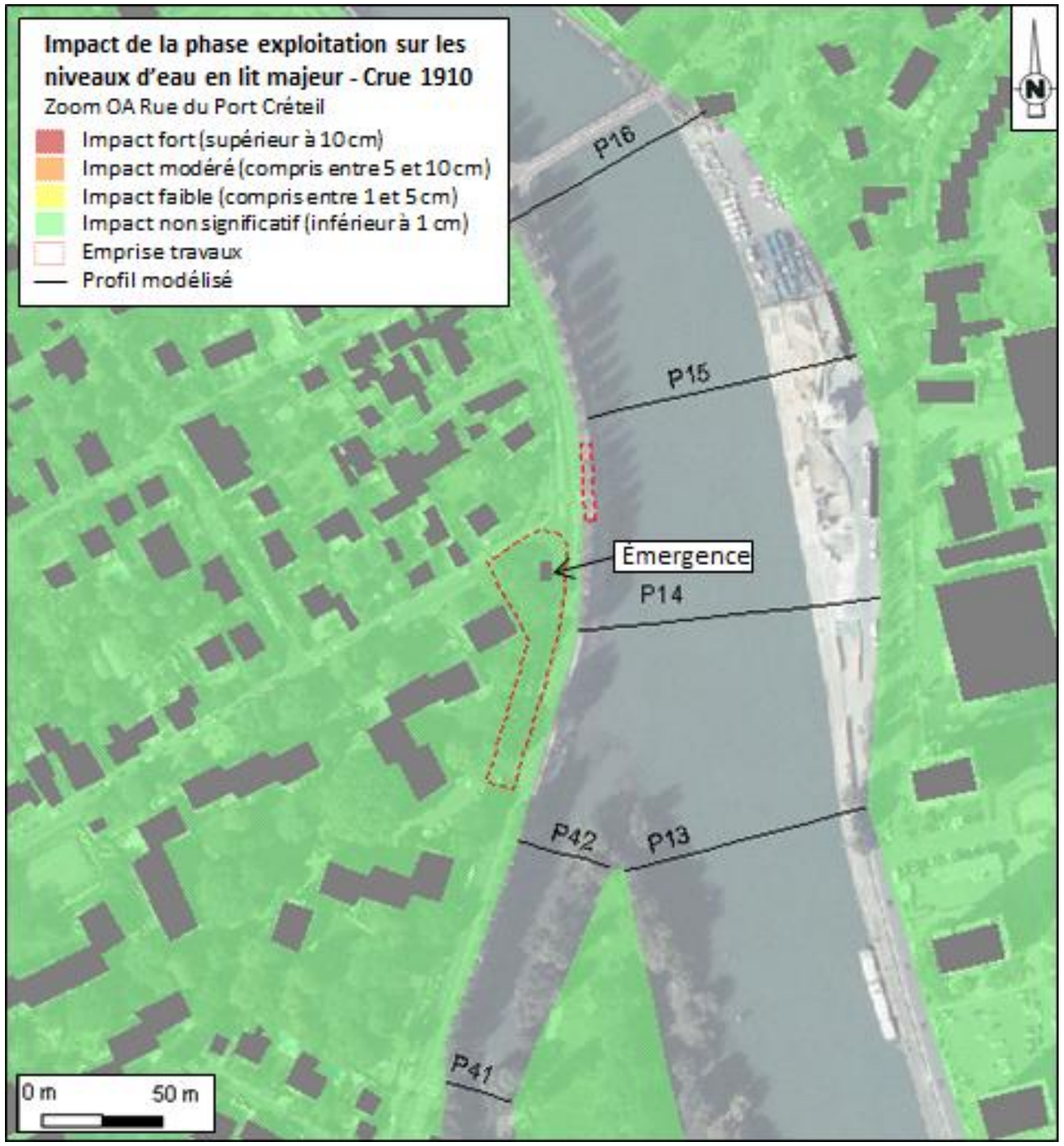
La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI du Val-de-Marne. Seul l'Ouvrage Annexe Rue du Port Créteil est situé dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910. Ainsi, seul cet aménagement peut avoir une influence sur les caractéristiques de l'écoulement.

Aucune modification du lit mineur n'étant prévue, aucun impact significatif n'est observé en lit mineur que ce soit sur les niveaux d'eau ou les vitesses d'écoulement (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau et inférieur à 0.1 m/s pour les vitesses d'écoulement).

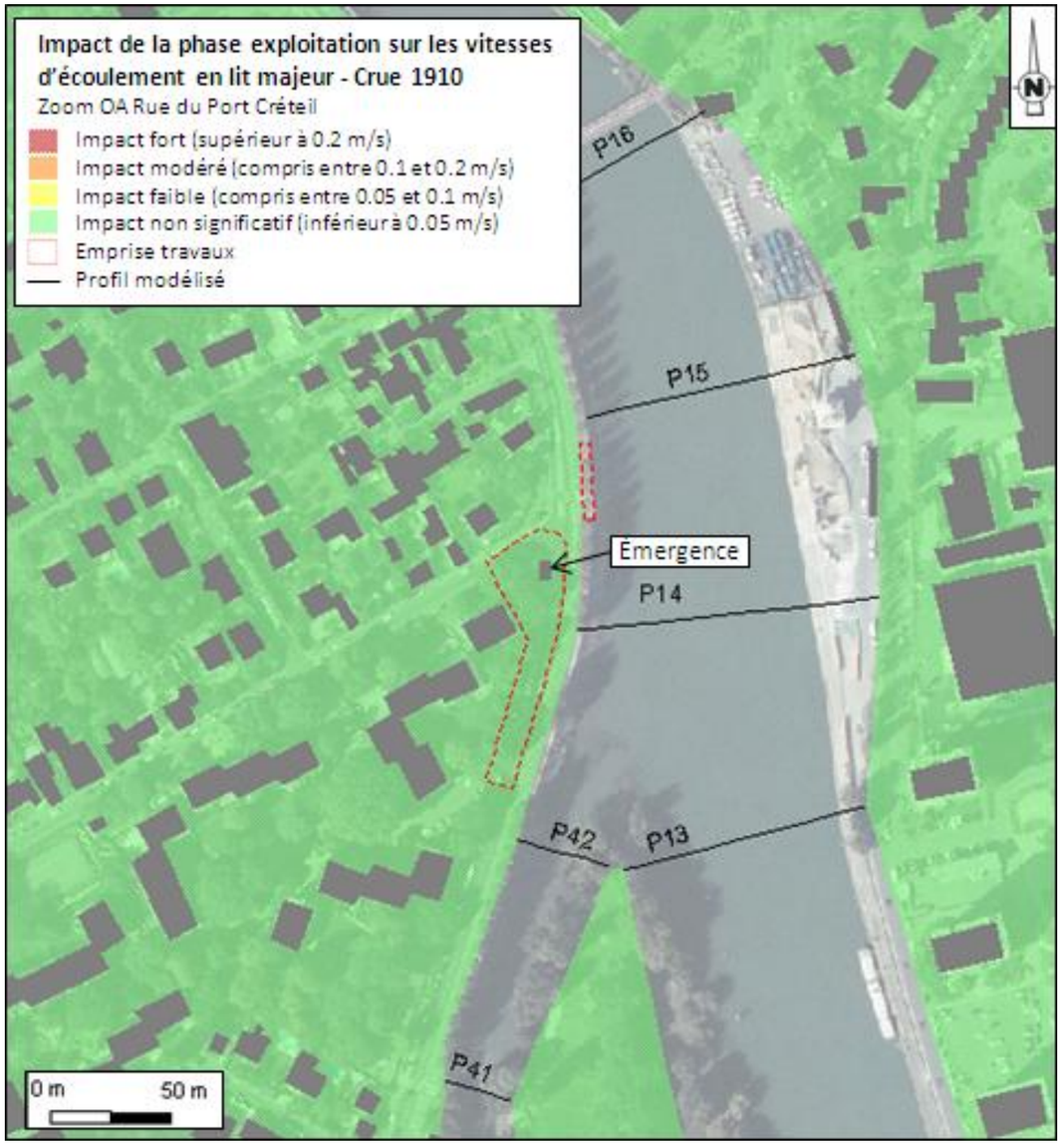
Lors de la phase exploitation, aucun impact significatif n'est observé en lit majeur sur les niveaux d'eau.et les vitesses d'écoulement (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau et inférieur à 0.05 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit majeur).

La phase exploitation présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau et sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1910 (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau, inférieur à 0.1 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit mineur et inférieur à 0.05 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit majeur).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes ci-après.



Carte 34 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Rue du Port Créteil



Carte 35 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Rue du Port Créteil

1.5.4 Conclusion sur les incidences hydrauliques – Marne amont

1.5.4.1 Phase travaux

En phase travaux, le projet du Grand Paris Express a un impact non significatif sur les niveaux d'eau (inférieur à 1 cm) et présente un impact modéré et très localisé (de l'ordre de 0,15 m/s) sur les vitesses d'écoulement en lit majeur pour la crue de 1910 (impact faible sur les vitesses pour la crue de 1924). La crue de 1982 étant non débordante et aucun aménagement n'étant prévu en lit mineur, ce dernier présente un impact non significatif (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau et inférieur à 0.1 m/s pour les vitesses d'écoulement).

1.5.4.2 Phase exploitation

En phase exploitation, le projet du Grand Paris Express a un impact non significatif sur les niveaux d'eau et sur les vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur quelle que soit la crue étudiée (impact inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau, inférieur à 0.1 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit mineur et inférieur à 0.05 m/s pour les vitesses d'écoulement en lit majeur).

1.6 Mise en œuvre de mesures de réduction et/ou de compensation

1.6.1 Mesures générales de limitation des impacts

La principale mesure d'évitement du risque inondation est d'éviter de construire en zone inondable.

La principale mesure de réduction du risque inondation est de réduire la vulnérabilité des futurs aménagements. Pour ce faire, l'ensemble des infrastructures sera mis hors d'eau à la cote casier (cote de crue centennale) + 20 cm.

En phase travaux, l'ensemble des puits seront mis hors d'eau à la cote casier (cote de crue centennale) + 20 cm. Une paroi périphérique permettra ainsi de rehausser celles des puits. Cette mesure essentielle permettra d'éviter les entrées d'eau dans ces derniers et dans le tunnel.

Un important travail d'optimisation a été réalisé en phase de conception afin de réduire l'impact des aménagements sur les crues.

Un bilan systématique des volumes soustraits à la crue a été réalisé à l'échelle de chaque ouvrage (voir détails par ouvrage dans le chapitre suivant).

Des mesures compensatoires ont été trouvées afin de compenser ces volumes soustraits, parmi les principales mesures :

- la suppression de bâtiments existants qui permet de restituer un espace de crue ;
- le décaissement du terrain naturel ;
- l'inondation contrôlée de parkings souterrains d'opérations immobilières connexes au projet d'infrastructures ;
- la création de bassins enterrés dédiés à la compensation des crues.

En phase chantier, les bases vie seront installées sur pilotis au-dessus de la côte de crue centennale pour permettre la libre circulation des eaux.

1.6.2 Compensation des volumes prélevés à la crue

1.6.2.1 Méthodologie retenue

Le règlement du PPRI de la Marne et de la Seine dans le Val-de-Marne fait que les « infrastructures de transport ainsi que les équipements nécessaires à leur fonctionnement et leur exploitation sont autorisées sous réserve d'étude hydraulique et de mesures compensatoires garantissant la transparence hydraulique et le maintien du champ d'expansion des crues pour une crue centennale » (Titre 2-Art.3.2.1, chapitres 1 à 5). Le règlement précise en outre que « tout remblaiement ou réduction de la capacité de stockage des eaux de la crue de référence devra être compensé par un volume égal de déblais pris sur la zone d'aménagement. » (Titre 2-Art.3.2.2, chapitres 1 à 5). Le projet s'attache à compenser les volumes de remblais et locaux étanches en lit majeur uniquement.

Le projet vise à compenser les volumes de remblais et locaux étanches en phase exploitation et chantier, le cas échéant.

En effet, les textes réglementaires en vigueur imposent d'assurer la conservation des champs d'expansion des crues (principalement par la compensation des volumes de remblais et locaux étanches en lit majeur) en phase exploitation, une fois la période de travaux achevée. La phase chantier n'est pas évoquée au sein des PPRI en vigueur.

1.6.2.2 Evaluation de la réduction de l'expansion des crues en phase travaux

Sans objet

1.6.2.3 Evaluation de la réduction de l'expansion des crues en phase exploitation

Pour rappel, la méthodologie retenue pour l'évaluation de la réduction de l'expansion des crues repose sur l'évaluation des volumes soustraits à la crue.

Les classes d'impacts sur les volumes soustraits ont été définies comme suit :

- Impact non significatif : volume soustrait à la crue inférieure à 200 m^3. Cette classe correspond en général à des aménagements limités en surface, tels que de l'habitat individuel ou des édicules ;
- Impact faible : volume soustrait à la crue entre 200 m^3 et 1 000 m^3. Cette classe correspond à des aménagements ayant en général une surface inférieure à 5 000 m^2, tels que de l'habitat collectif ou des émergences de gare ;
- Impact modéré : volume soustrait à la crue entre 1 000 m^3 et 5 000 m^3. Cette classe correspond à des aménagements ayant en général une surface de l'ordre de l'hectare, tels que des lotissements ;
- Impact fort : volume soustrait à la crue au-delà de 5 000 m^3. Cette classe correspond en général à des aménagements en surface au-delà de 5 hectares. Il s'agit alors de projets d'aménagement d'envergure, tels que des Zones d'Aménagement Concerté (ZAC).

Le tableau suivant récapitule les classes d'impacts définies en fonction du critère étudié.

Tableau 13 : Définition des classes d'impact par rapports aux volumes soustraits à la crue

Classe	Critère sur les volumes soustraits à la crue
Impact non significatif	V < 200 m^3
Impact faible	200 m^3 ≤ V < 1 000 m^3
Impact modéré	1 000 m^3 ≤ V < 5 000 m^3
Impact fort	V ≤ 5 000 m^3

a. OA Impasse Abbaye

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de trois pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 14 : Calcul des volumes soustraits à la crue – OA Impasse Abbaye

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite par tranche (en m^2)	Volume soustrait par tranche (en m^3)
1	[36,71 ; 37,21]	0,50	160	80
2	[37,21 ; 37,71]	0,50	160	80
3	[37,71 ; 37,93]	0,22	160	35
TOTAL	[36,71 ; 37,93]	1,22	-	195

L'essentiel des volumes pris à la crue est lié notamment à l'émergence des grilles de ventilation, mise hors d'eau, soit un volume soustrait global de 195 m^3.

La réalisation d'un bassin de compensation à proximité de l'ouvrage est prévue, équipé des dispositifs nécessaires pour la temporisation de la compensation (respect des tranches de compensation). Le fond du bassin ne descendra en-dessous de la cote de la Retenue Normale +33,68 NGF (RN). Ce bassin doit permettre la compensation du volume occupé, soit 195 m^3.

Par conséquent et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait sera totalement compensé grâce à l'aménagement du bassin de compensation.

b. OA Rue du Port Créteil

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de quatre pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 15 : Calcul des volumes soustraits à la crue – OA Rue du Port Créteil

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m³)
1	[34,15 ; 34,65]	0,50	130	65
2	[34,65 ; 35,15]	0,50	130	65
3	[35,15 ; 35,65]	0,50	130	65
4	[35,65 ; 35,72]	0,07	130	10
TOTAL	[34,21 ; 35,72]	1,57	-	205

L'essentiel des volumes pris à la crue est lié notamment à l'émergence des grilles de ventilation, mise hors d'eau, soit un volume soustrait global de 205 m³.

7La réalisation d'un bassin de compensation à proximité de l'ouvrage est prévue, équipé des dispositifs nécessaires pour la temporisation de la compensation (respect des tranches de compensation). Le fond du bassin ne descendra en-dessous de la cote de la Retenue Normale +29,28 NGF (RN). Ce bassin doit permettre la compensation du volume occupé, soit 205 m³.

Par conséquent et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait sera totalement compensé grâce à l'aménagement du bassin de compensation.

1.6.3 Conformité et compatibilité des aménagements sur le secteur de la boucle de la Marne à Saint-Maur-des-Fossés

1.6.3.1 PPRI 94

Le règlement du PPRI de la Marne et de la Seine dans le département du Val-de-Marne précise, pour chacune des zones réglementées, à l'article 3.1 que les « infrastructures de transport ainsi que les équipements nécessaires à leur fonctionnement et leur exploitation sont autorisés […] ».

A la lecture du règlement, l'aménagement des deux ouvrages annexes concernés apparaît donc autorisé par le règlement du PPRI de la Marne et de la Seine dans le département du Val-de-Marne.

L'article 3.1 conditionne toutefois l'autorisation « sous réserve d'étude hydraulique et de mesures compensatoires garantissant la transparence hydraulique et le maintien du champ d'expansion des crues pour une crue centennale ».

Le règlement précise en outre que « tout remblaiement ou réduction de la capacité de stockage des eaux de la crue de référence devra être compensé par un volume égal de déblais pris sur la zone d'aménagement. » (Titre 2-Art.3.2.2, chapitres 1 à 5).

Commentaires : l'ensemble des volumes soustraits à la crue liés aux émergences des ouvrages annexes est compensé (cf. paragraphe 6.2). Le règlement précise explicitement la nécessité de la réalisation d'une étude hydraulique. Cette étude hydraulique, basée sur une modélisation hydrodynamique, est l'objet de ce présent rapport

Le règlement du PPRI fixe des prescriptions sur les cotes plancher des aménagements en fonction des zones réglementaires concernées mais aussi de la typologie d'aménagement ou de bâtiment (habitations, activités…).

En terme de cote réglementaire, la plus contraignante est celle de fixer la cote du 1er plancher au minimum à la cote des PHEC (crue centennale).

Commentaires : l'ensemble de l'infrastructure (gare, ouvrage annexe, tunnel…) sera mis hors d'eau jusqu'à la cote casier (crue centennale) + 20 cm. Cet objectif est donc cohérent avec les prescriptions abordées ci-avant.

1.6.3.2 SDAGE du bassin de la Seine et cours d'eau côtiers normands

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2010-2015 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands rappelle que la prévention du risque d'inondation doit être cohérente à l'échelle d'un bassin versant et intégrer l'ensemble des composantes suivantes : évaluation du risque, information préventive, réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes, préservation des zones naturelles d'expansion des crues, urbanisation raisonnée, gestion adaptée des eaux de ruissellement pluviales.

La prévention du risque doit systématiquement être privilégiée à la protection qui peut aggraver la situation en amont et en aval de la zone protégée et dégrader les espaces naturels.

La prévention du risque d'inondation se décline dans le SDAGE au défi n°8 « limiter et prévenir le risque inondation » en cinq orientations, dont notamment :

- Orientation 30 : réduire la vulnérabilité des personnes et des biens exposés au risque d'inondation ;
- Orientation 31 : préserver et reconquérir les zones naturelles d'expansion des crues.

Chacune de ces orientations est déclinée en dispositions.

Le projet prend en compte les orientations susmentionnées du SDAGE et les dispositions liées, notamment :

- Orientation 30, disposition 134. « Développer la prise en compte du risque d'inondation pour les projets situés en zone inondable »
  - L'ensemble des infrastructures sera mis hors d'eau jusqu'à la cote de crue centennale + 20 cm. D'autre part, chaque ouvrage a fait l'objet d'une compensation systématique des volumes soustraits à la crue et a fait l'objet d'une analyse des incidences en lit mineur et lit majeur par une modélisation hydro-dynamique (objet du présent rapport) ;
- Orientation 31, disposition 139. « Compenser les remblais autorisés permettant de conserver les conditions d'expansion des crues »
  - Bien qu'on ne puisse pas considérer, compte tenu du caractère très urbanisé du secteur du projet, que les zones actuelles d'expansion des crues sont des zones « naturelles », le projet s'attache à compenser systématiquement les remblais ou

espaces pris à la crue (gares et ouvrages annexes mis hors d'eau), ceci afin de conserver les conditions actuelles d'expansion des crues.

Révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands

Le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands est en cours de révision. Pour réviser le SDAGE, le Comité de bassin a d'abord élaboré un «état des lieux», approuvé en décembre 2013, permettant de délimiter les masses d'eau du bassin Seine et cours d'eau côtiers normands, de réévaluer leur état et d'identifier les sources de pollutions à l'origine de leur dégradation. Cet état des lieux a permis de mettre en avant les principaux enjeux de la gestion de l'eau à l'horizon 2021, c'est-à-dire les facteurs empêchant d'atteindre les objectifs demandés par la Directive Cadre sur l'Eau.

La révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands et l'élaboration du plan de gestion des risques d'inondation PGRI font l'objet conformément au code de l'environnement d'une consultation du public du 19 décembre 2014 au 18 juin 2015 dans les préfectures et au siège de l'Agence de l'Eau. Il est prévu d'entrer en vigueur au 1er janvier 2016.

Le défi 8 du projet de SDAGE 2016-2021 traite du volet « inondation », ses dispositions sont articulées avec la mise en œuvre de la directive inondation (et notamment du PGRI).

La figure suivante présente de manière synthétique le projet des orientations et dispositions du défi 8.

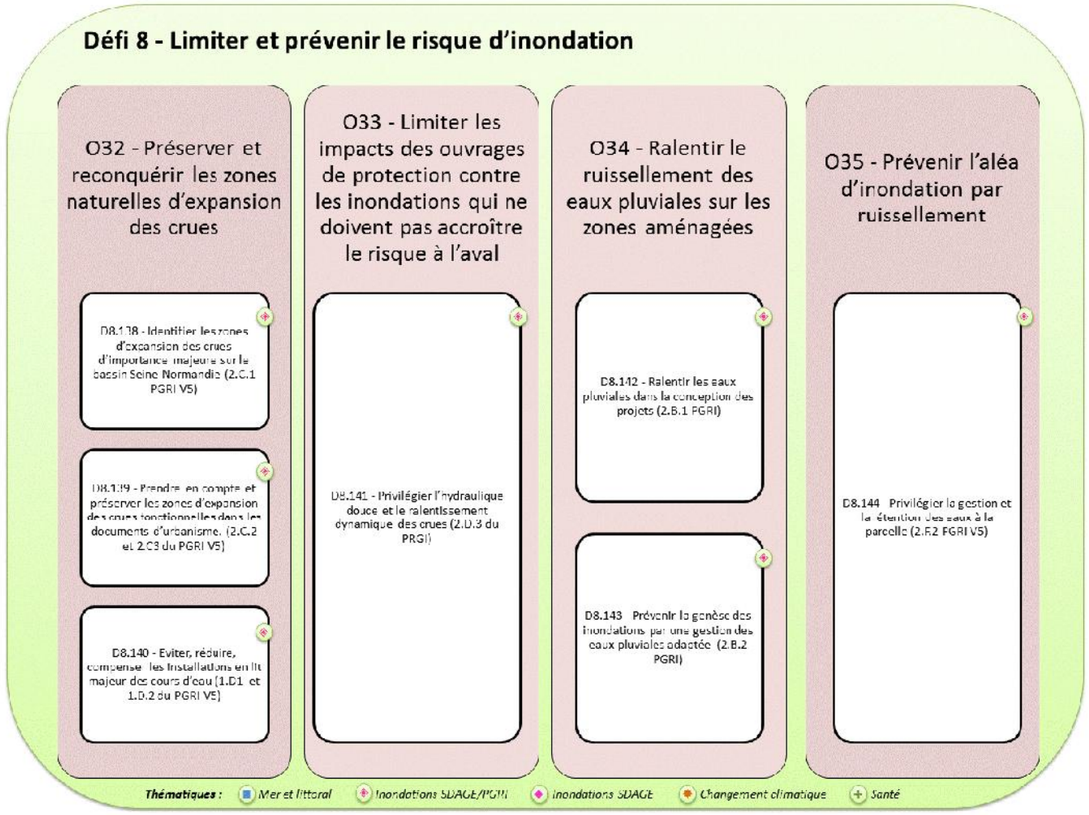


Figure 3 : Projet des orientations et des dispositions du défi 8 de la révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands.

Le projet d'infrastructure détaillé dans le présent rapport est compatible avec le SDAGE en vigueur et conforme à la réglementation en vigueur (PPRI notamment).

En fonction des dispositions qui seront in fine approuvées du SDAGE révisé, le projet s'attachera à les intégrer.

Dès à présent, le projet est cohérent avec la principale disposition concernée, la disposition D8.140. « Eviter, réduire, compenser les installations en lit majeur des cours d'eau » (1.D1 et 1.D.2 du PGRI) :

« Les aménagements dans le lit majeur des cours d'eau doivent satisfaire un principe de neutralité hydraulique : ils ne doivent pas aggraver le phénomène d'inondation et ses impacts potentiels en amont et en aval. De plus, ces aménagements ne doivent pas compromettre les capacités d'expansion des crues.

Pour satisfaire ce principe une réflexion doit être menée sur l'implantation des aménagements et leur conception.

S'il n'est pas possible d'éviter l'implantation de ces aménagements dans le lit majeur des cours d'eau, leurs impacts sur l'écoulement des crues doivent être réduits.

Les impacts de ces aménagements qui ne pourraient pas être réduits font l'objet de mesures compensatoires permettant de restituer intégralement au lit majeur du cours d'eau les surfaces d'écoulement et les volumes de stockage soustraits.

Les compensations doivent intervenir par restitution de volumes et de surface à partir de la cote du pied de remblai. Le déblai d'un volume de matériaux en dessous de la cote du pied de remblais ne permet pas de satisfaire l'objectif de restitution de volumes et de surfaces d'écoulement.

Afin de garantir l'efficience des mesures compensatoires, il est recommandé de les regrouper sur un même site à proximité des projets d'aménagement.

La recherche de compensations des impacts hydrauliques doit être mobilisée en dernier recours. »

Ainsi, le projet s'attache à compenser systématiquement les remblais ou espaces pris à la crue (gares et ouvrages annexes mis hors d'eau), ceci afin de conserver les conditions actuelles d'expansion des crues.

De plus, la neutralité hydraulique a été évaluée avec la modélisation hydrodynamique en lit mineur et en lit majeur, pour l'ensemble des ouvrages concernés.

1.6.3.3 SAGE Marne Confluence

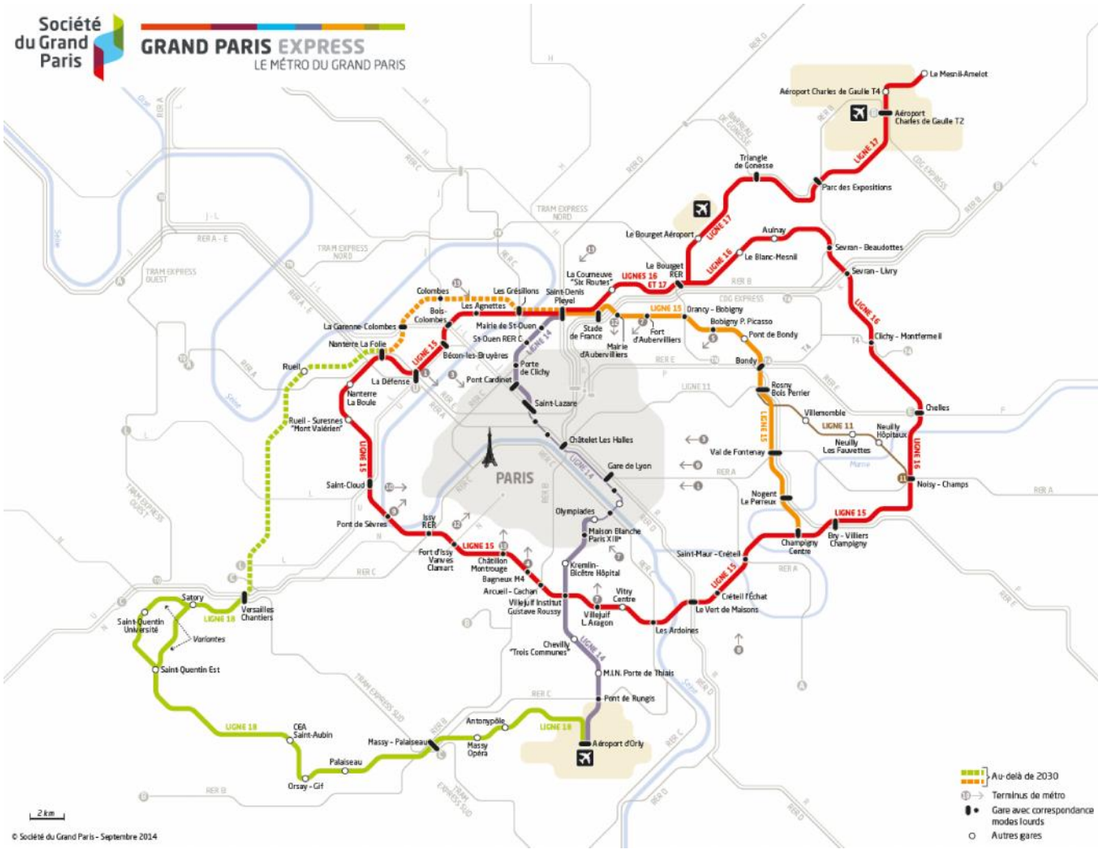
Le SAGE Marne Confluence est actuellement en cours d'élaboration, aucune compatibilité réglementaire n'est nécessaire, toutefois, le projet est compatible avec les préconisations du SAGE dans sa version actuelle.

2 Annexe 2 : Gestion du risque inondation – Modélisation de la Seine du pont de Choisy au pont du Port à l'Anglais

2.1 Contexte et objet de l'étude

2.1.1 Contexte général

Le Grand Paris est un projet d'aménagement à l'échelle de la métropole francilienne ayant pour objectif d'améliorer le cadre de vie des habitants, de corriger les inégalités territoriales et de construire une ville durable. Ce projet prévoit la création d'un nouveau réseau de métro : le Grand Paris Express. Ce nouveau réseau porte sur l'extension du réseau existant et sur la création de 4 nouvelles lignes de métro automatique (cf. illustration ci-dessous).



Carte 36 : Projet du Grand Paris Express (Source : Société du Grand Paris, Septembre 2014)

La ligne 15 est une ligne entièrement nouvelle qui constitue une rocade proche de Paris d'une longueur d'environ 75 km. Il s'agit d'un métro totalement souterrain qui reliera 36 nouvelles gares. Cette rocade est composée de trois tronçons dont la mise en service s'échelonne dans le temps :

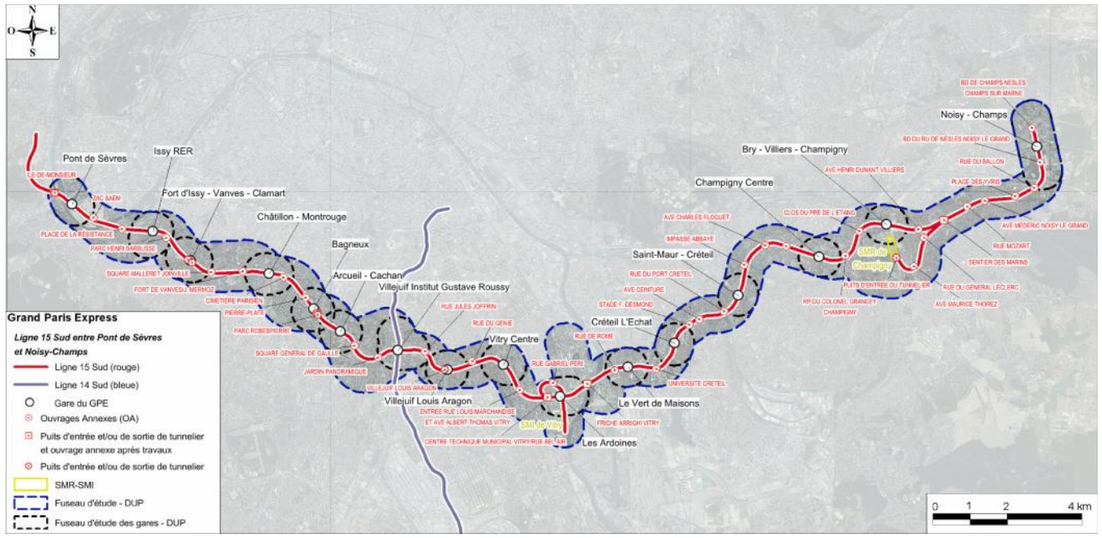
- La Ligne 15 Sud (environ 33 km), sous maîtrise d'ouvrage de la Société du Grand Paris (SGP), qui relie la gare de Pont de Sèvres et celle de Noisy-Champs (mise en service à horizon 2022),

- La Ligne 15 Ouest (environ 21 km), sous maîtrise d'ouvrage SGP, qui relie la gare de Pont de Sèvres à celle de Saint-Denis Pleyel (mise en service à horizons 2025 et 2027),

- La ligne 15 Est (environ 24 km), sous maîtrise d'ouvrage Stif, qui relie la gare de Saint-Denis Pleyel à celle de Champigny-Centre (mise en service à horizons 2025 et 2030).

Ainsi, à l'horizon 2022, le tronçon Sud de la Ligne 15 reliera les gares de Noisy-Champs et Pont de Sèvres sur un linéaire de 33 km en 35 minutes. La totalité des 16 gares de la Ligne 15 Sud seront en correspondance avec les lignes de RER, de métro, de tramway et/ou de transport en commun en site propre.

Cette ligne sera dotée d'un Site de Maintenance des Infrastructures (SMI) situé au sud du secteur des Ardoines sur la commune de Vitry-sur-Seine et d'un Site de Maintenance et Remisage (SMR) sur la commune de Champigny-sur-Marne.

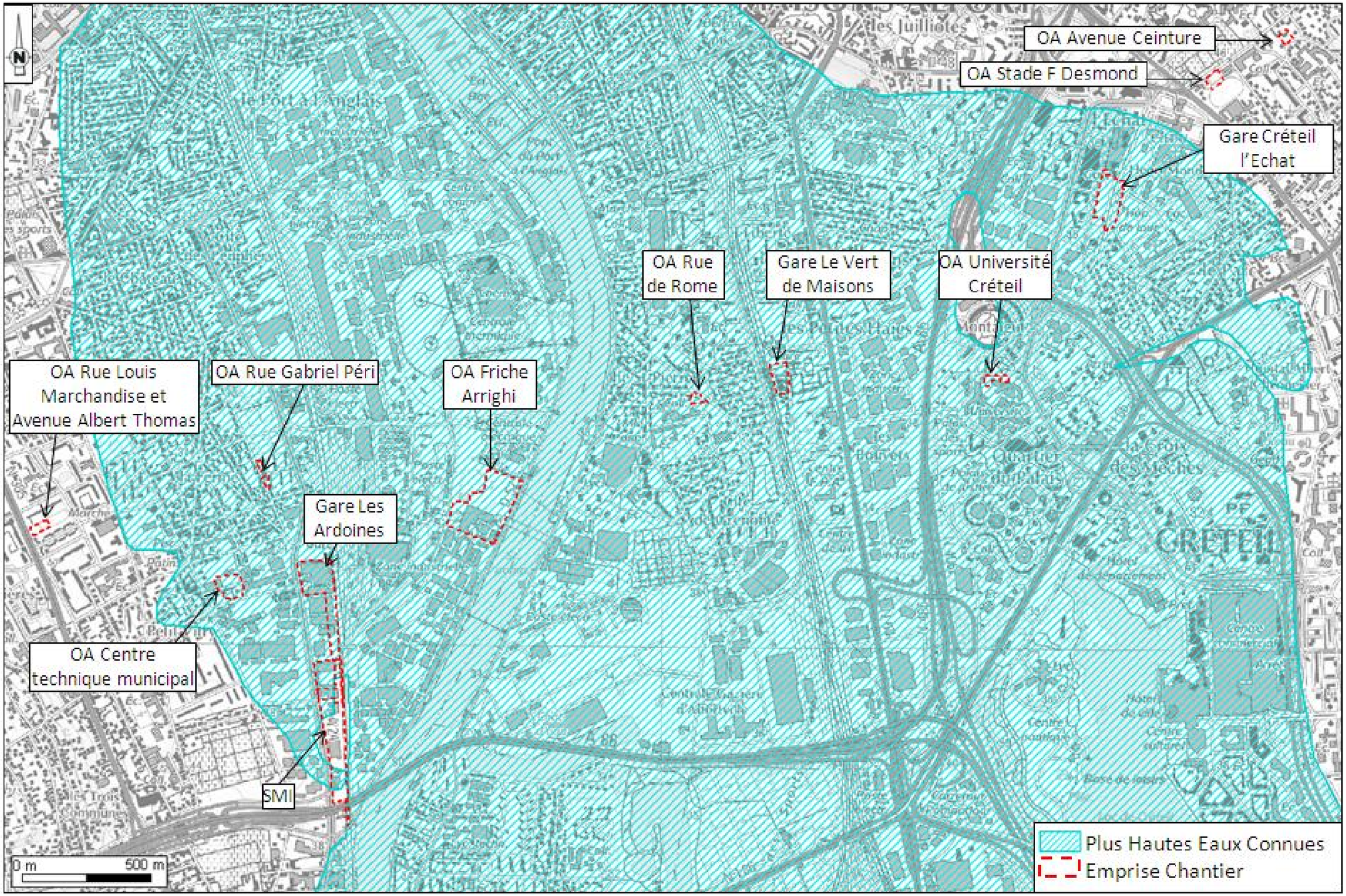


Carte 37 : Ligne 15 Sud du Grand Paris Express (Source : BURGEAP/BIOTOPE, 2014)

Le tracé de la ligne 15 Sud traverse trois cours d'eau :

- la Seine sur le secteur de Vitry-sur-Seine/Alfortville et le secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt,
- la Marne sur le secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés,
- la Bièvre pour le secteur Arcueil-Cachan.

La présente étude porte sur la Seine du pont de Choisy au pont du Port à l'Anglais à Vitry-sur-Seine au droit duquel 3 gares, 5 ouvrages annexes dont un puits d'attaque tunnelier et un Site de Maintenance des Infrastructures (SMI) sont présents en zone inondable d'après la cartographie des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) (cf. cartographie suivante).



Carte 38 : Extrait de la cartographie des Plus Hautes Eaux Connues (Source : CARME

2.1.2 Contexte réglementaire

2.1.2.1 Le Plan de Prévention des Risques Inondation du Val-de-Marne (PPRI 94)

Sur le secteur de Vitry-sur-Seine, le projet est concerné par le Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) du Val de Marne.

Ce PPRI concerne 24 communes du Val-de-Marne. Il a été prescrit par arrêté préfectoral du 20 avril 1998, approuvé par arrêté préfectoral du 28 juillet 2000, puis modifié par arrêté préfectoral du 12 novembre 2007.

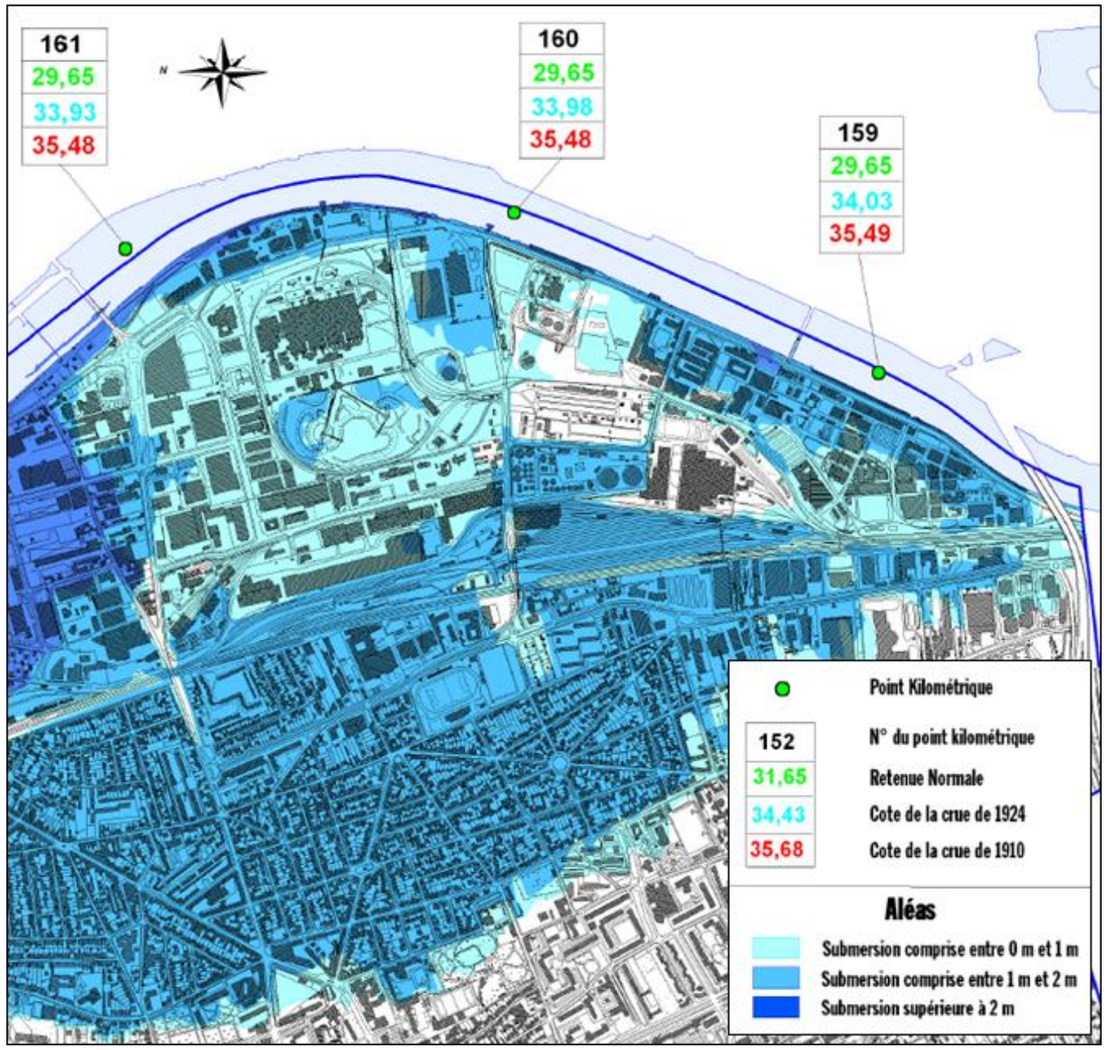
Compte tenu de l'importance des contraintes imposées par celui-ci, les acteurs locaux ont souhaité que l'aléa hydraulique sur les terrains situés en zone inondable soit approfondi, afin de déterminer avec plus de précision les vitesses d'écoulement pour justifier et affiner la délimitation des zones inondables. Une étude de grand écoulement a donc été engagée en février 2002 et confiée au bureau d'études SAFEGE. Les résultats de cette étude hydraulique ont conduit le Préfet du Val-de-Marne à prescrire, par arrêté préfectoral n° 2003-1208 du 4 avril 2003, la révision du PPRI.

Trois niveaux d'aléas ont été retenus :

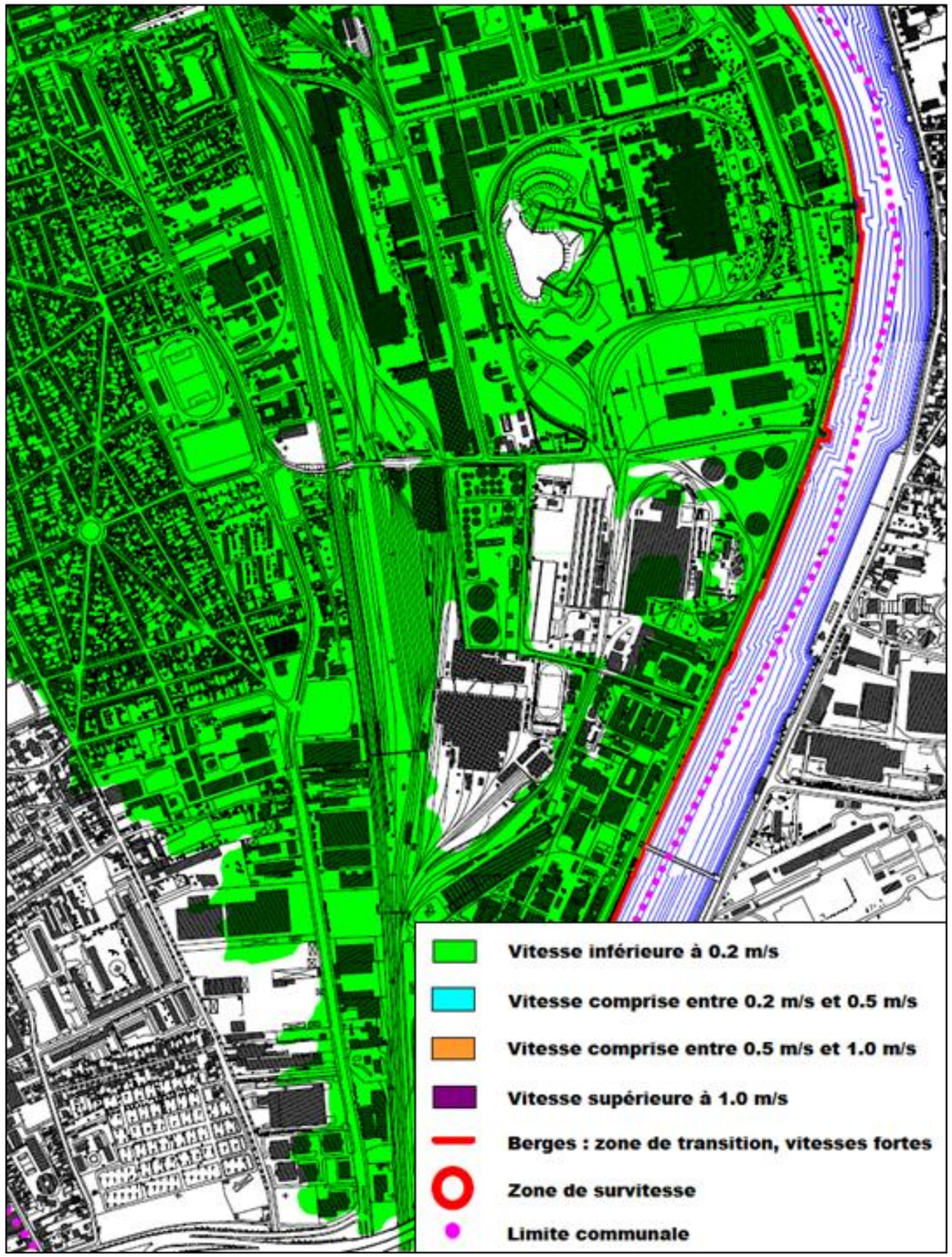
- aléas très forts correspondant à des hauteurs de submersion de plus de deux mètres ;
- aléas forts correspondant à des hauteurs de submersion comprises entre 1 et 2 mètres ;
- autres aléas correspondant à des hauteurs de submersion inférieures à 1 mètre.

Le PPRI définit également des zones de grand écoulement exposées à la fois à des hauteurs d'eau importantes (supérieures à un mètre) et à des vitesses supérieures à 0,5 m par seconde.

Les cartes 4 et 5 présentent des extraits des cartes d'aléas « hauteur d'eau » et « vitesse » de la commune de Vitry-sur-Seine dans le Val-de-Marne.



Carte 39 : Extrait de la carte de l'aléa « hauteur d'eau » sur la commune de Vitry-sur-Seine du Val-de-Marne (source : PPRI 94)



Carte 40 : Extrait de la carte de l'aléa « vitesse » sur la commune de Saint-Maur-des-Fossés du Val-de-Marne (source : PPRI 94)

Le zonage réglementaire issu de cette confrontation comprend au total sept zones :

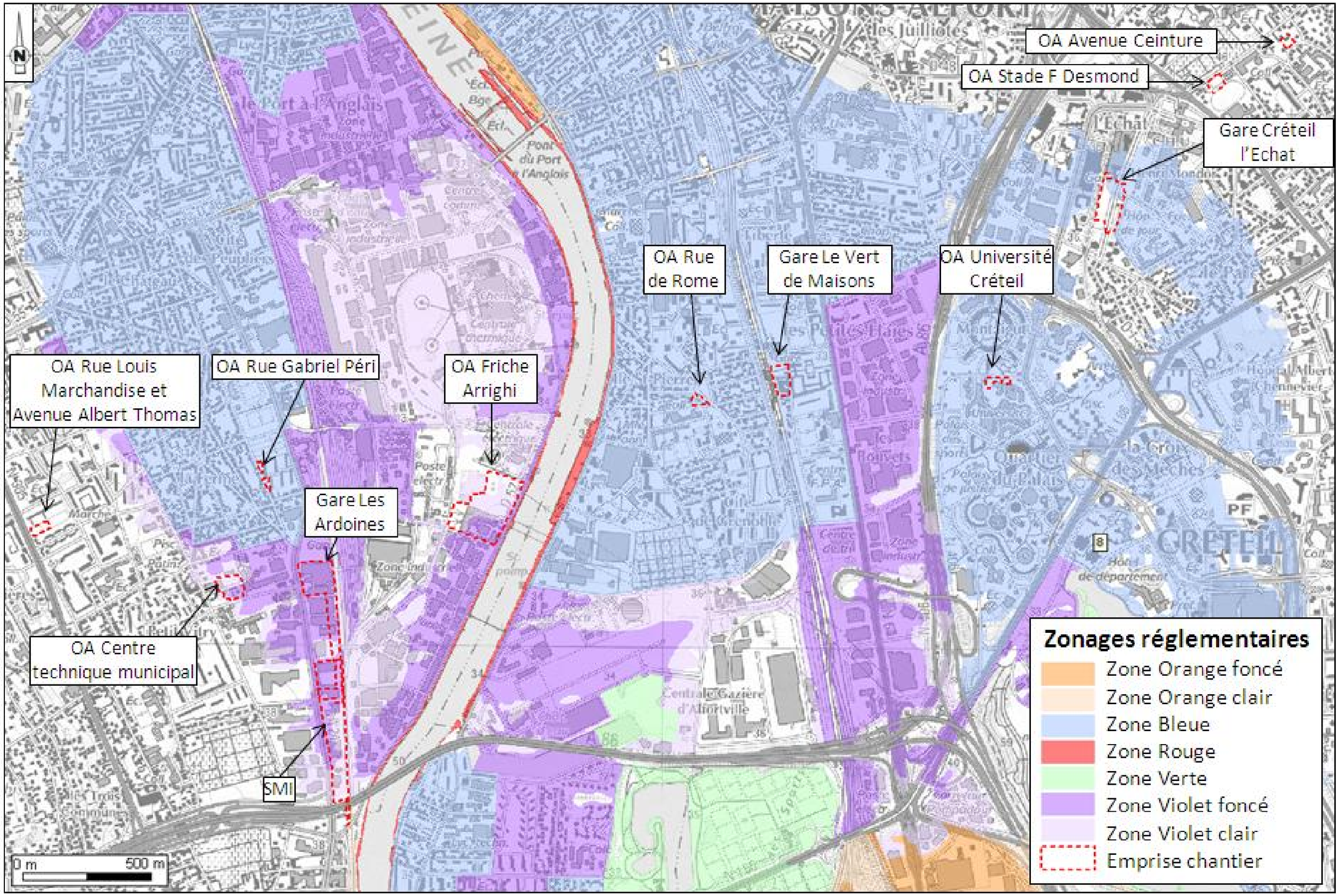
- les zones rouges, qui correspondent aux zones de grand écoulement ;
- les zones vertes, qui correspondent :
  - o d'une part, aux zones naturelles d'espaces verts, de terrains de sports, de loisirs ou de camping ayant vocation à servir de zone d'expansion des crues,
  - o d'autre part, aux zones définies dans les documents d'urbanisme comme zones à préserver pour la qualité du site et du paysage existant ;
- les zones orange foncé, qui correspondent aux autres espaces urbanisés (hors zone de grand écoulement), en aléas forts ou très forts ;
- les zones orange clair, qui correspondent aux autres espaces urbanisés, en autres aléas ;
- les zones violet foncé, qui correspondent aux zones urbaines denses (hors zone de grand écoulement), en aléas forts ou très forts ;
- les zones violet clair, qui correspondent aux zones urbaines denses, en autres aléas ;
- les zones bleues, qui correspondent aux centres urbains.

Au droit du secteur de Vitry-sur-Seine, 9 sites sont concernés par le zonage réglementaire du PPRI 94 :

- l'ouvrage annexe OA[2] Centre technique municipal est situé en zones violet foncé et violet clair,
- l'ouvrage annexe OA Rue Gabriel Péri est situé en zone bleue,
- la gare Les Ardoines est située en zones violet foncé et violet clair,
- le Site de Maintenance des Infrastructures est situé en zones violet foncé et violet clair,
- l'ouvrage annexe OA Friche Arrighi est situé en zones violet foncé et violet clair,
- l'ouvrage annexe OA Rue de Rome est situé en zone bleue,
- la gare Le Vert-de-Maisons est située en zone bleue,
- l'ouvrage annexe OA Université Créteil est situé en zone bleue,
- la gare Créteil l'Echat est située en zone bleue.

La carte suivante présente les positions des emprises du projet en phase chantier au droit du secteur de Vitry-sur-Seine par rapport au zonage réglementaire du PPRI 94.

[2] Ouvrage Annexe



Carte 41 : Extrait de la carte des zonages réglementaires du PPRI du Val-de-Marne (Source : PPRI 94)

2.1.2.2 Le Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) de la métropole francilienne

Le secteur de Vitry-sur-Seine est concerné par le Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) « Métropole francilienne ».

Les TRI découlent de l'application de la directive « inondation », qui fixe une méthode de travail permettant aux territoires exposés au risque d'inondation de travailler à réduire ses conséquences négatives.

Sur le bassin Seine-Normandie, comme sur les autres bassins, cette méthode s'articule autour de trois grands objectifs, auxquels sont associés des délais de réalisation :

- l'Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation (EPRI) constituant un diagnostic global à l'échelle du bassin Seine-Normandie ;
- l'établissement de cartes des zones inondables et des risques d'inondation pour les crues de faible, moyenne et forte probabilité à l'échelle des Territoires à Risque important d'Inondation (TRI) (arrêté d'approbation du 20 décembre 2013). Le choix des TRI a été arrêté le 27 novembre 2012 pour le bassin Seine-Normandie ;
- l'élaboration d'un Plan de Gestion des Risques d'Inondation (PGRI) à l'échelle du bassin Seine-Normandie présentant les objectifs de gestion du risque inondation fixés et les mesures retenues pour les atteindre (échéance décembre 2015).

La directive introduit donc une nouvelle obligation en droit français : réduire les conséquences négatives de tous les types d'inondation pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique.

2.1.2.3 Le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands

La ligne 15 Sud est concernée dans sa totalité par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands. Il s'agit d'un document de planification de la ressource en eau.

Il permet, à la suite d'un état des lieux, de fixer pour six années les orientations et actions pour atteindre les objectifs de qualité et de quantité pour chaque masse d'eau.

Le SDAGE a valeur réglementaire et est opposable aux documents d'urbanisme et aux décisions administratives dans le domaine de l'eau. Il est complété par un plan d'actions, dit « programme de mesures » (PDM), élaboré par l'Etat.

Approuvé fin 2009, le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2010-2015 comporte 8 défis généraux et un programme de mesures défini au niveau de chaque masse d'eau.

Le défi n°8 a pour objectif de limiter et de prévenir le risque d'inondation.

Les priorités données à ce thème sont, d'une part de limiter les dégâts liés au risque d'inondation […], et, d'autre part de ne pas aggraver l'aléa […]. Il faut systématiquement privilégier la prévention plutôt que la protection qui peut aggraver la situation en amont de la zone protégée et pénaliser les milieux aquatiques.

Les principales orientations de ce défi liées au risque d'inondation sont :

- l'orientation 30 : « Réduire la vulnérabilité des personnes et des biens exposés au risque d'inondation ». Elle contient, notamment, la disposition 134 : « Développer la prise en compte du risque d'inondation pour les projets situés en zone inondable » ;
- l'orientation 31 : « Préserver et reconquérir les zones naturelles d'expansion des crues », avec, notamment, la disposition 139 : « Compenser les remblais autorisés permettant de conserver les conditions d'expansion des crues ».

Une révision du SDAGE pour la période 2016-2021 est en cours pour une adoption prévue en décembre 2015. L'état des lieux du SDAGE a ainsi été validé en décembre 2013.

2.1.2.4 SAGE Bièvre

Le fuseau d'étude comprend une partie du territoire couvert par le SAGE de la Bièvre entre Bagneux (92) et Vitry-sur-Seine (94).

Le SAGE est en cours d'élaboration. Le diagnostic a été validé en juin 2011, les tendances et scénarios en avril 2012 et le choix de la stratégie en septembre 2013. L'arrêté d'approbation du SAGE est prévu pour l'été 2015.

La structure porteuse est le Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Bièvre, basé à l'Haÿ-les-Roses.

Les deux ambitions phares du SAGE de la Bièvre sont :

- la mise en valeur de l'amont (Bièvre « ouverte » de sa source à Antony) ;
- la réouverture sur certains tronçons de la Bièvre couverte, d'Antony à Paris.

Les cinq grandes orientations pour le SAGE définies à l'issue de la réflexion menée sur la définition du périmètre en 2007, approfondie dans le porter à connaissance des services de l'État puis confirmé par l'état des lieux approuvé en 2010 sont les suivantes :

- l'amélioration de la qualité de l'eau par la réduction des pollutions ponctuelles et diffuses et la maîtrise de la pollution par temps de pluie ;
- la maîtrise des ruissellements urbains et la gestion des inondations ;
- le maintien d'écoulements satisfaisants dans la rivière ;
- la reconquête des milieux naturels ;
- la mise en valeur de la rivière et de ses rives pour l'intégrer dans la Ville.

2.1.2.5 Code de l'environnement et Loi sur l'eau

Ce que l'on appelle couramment Loi sur l'eau est en fait codifié depuis 2009 dans le Code de l'Environnement aux articles L214-1 et suivants.

Une nomenclature des installations, ouvrages, travaux et aménagements (iota) a été élaborée pour définir les seuils et les procédures dont relèvent ces iotas. Elle fait l'objet de l'article R214-1 du Code de l'Environnement.

Les rubriques de cette nomenclature relatives aux lits mineur et majeur d'un cour d'eau et concernées par le projet sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 16 : Position du projet vis-à-vis du titre 3 de la nomenclature de la loi sur l'eau

Rubrique	Intitulé	Critère		Régime	Projet au droit de Vitry-sur-Seine
Titre 3 : Impacts sur le milieu aquatique ou la sécurité publique					
3.1.1.0	Installations, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant :	1° Un obstacle à l'écoulement des crues		Autorisation	Friche Arrighi : Installations portuaires sous forme de Ducs d'Albe
		2° Un obstacle à la continuité écologique :	a) Entraînant une différence de niveau supérieure ou égale à 50 cm, pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation	Autorisation	Non concerné – Pas d'obstacle à la continuité écologique (piscicole et sédimentaire)
			b) Entraînant une différence de niveau supérieure à 20 cm mais inférieure à 50 cm pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation	Déclaration	
3.1.2.0	Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau :	1° Sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m		Autorisation	Friche Arrighi : Installations portuaires sous forme de Ducs d'Albe
		2° Sur une longueur de cours d'eau inférieure à 100 m		Déclaration	
3.2.1.0	Entretien de cours d'eau ou de canaux, à l'exclusion de l'entretien visé à l'article L. 215-14 réalisé par le propriétaire riverain, des dragages visés à la rubrique 4. 1. 3. 0 et de l'entretien des ouvrages visés à la rubrique 2. 1. 5. 0, le volume des sédiments extraits étant au cours d'une année Est également exclu jusqu'au 1er janvier 2014 l'entretien ayant pour objet le maintien et le rétablissement des caractéristiques des chenaux de navigation lorsque la hauteur de sédiments à enlever est inférieure à 35 cm ou lorsqu'il porte sur des zones d'atterrissement localisées entraînant un risque fort pour la navigation. L'autorisation est valable pour une durée qui ne peut être supérieure à dix ans. L'autorisation prend également en compte les éventuels sous-produits et leur devenir.	1° Supérieur à 2 000 m3		Autorisation	Dragages envisagés à Ile de Monsieur et Friche Arrighi
		2° Inférieur ou égal à 2 000 m3 dont la teneur des sédiments extraits est supérieure ou égale au niveau de référence S1		Autorisation	
		3° Inférieur ou égal à 2 000 m3 dont la teneur des sédiments extraits est inférieure au niveau de référence S1		Déclaration	
3.2.2.0	Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau :	1° Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m²		Autorisation	Deux zones concernées pour toute la ligne 15 Sud : - Ile Monsieur – Issy RER (exclue) : lit majeur de la Seine - Ardoines – Saint Maur Créteil (exclue) : lit majeur de la Seine et lit majeur de la Marne Pour chaque gare, la surface soustraite à la crue dépasse 400 m². La surface cumulée de tous les ouvrages dépasse 10 000 m². Le SMI Vitry dépasse à lui seul 10 000 m².
		2° Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m² et inférieure à 10 000 m²		Déclaration	

2.1.2.6 Doctrine DRIEE « Aménagements impactant le libre écoulement des eaux »

La Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie d'Ile de France (DRIEE IF) a émis une doctrine, mise à jour en octobre 2010, afin de présenter aux pétitionnaires les préconisations concernant les aménagements présentant un impact sur le libre écoulement des eaux.

Cette doctrine présente, entre autre :

- les éléments réglementaires de référence,
- des éléments techniques sur les crues, les impacts potentiels,
- les éléments attendus dans l'étude des impacts,
- les préconisations de la DRIEE en matière de mesures compensatoires.

Par ailleurs, cette doctrine demande à ce que le pétitionnaire produise une étude hydraulique permettant l'évaluation des impacts pour l'établissement des mesures correctives et/ou compensatoire de son projet.

Cette doctrine a servi de ligne directrice à la rédaction du présent rapport.

2.1.3 Objet de l'étude

Compte tenu des caractéristiques du projet, ce dernier nécessite l'élaboration d'un dossier d'autorisation au titre de la Loi sur l'eau. Dans le cadre de ce dossier, une étude hydraulique permettant d'évaluer les incidences du projet sur le fonctionnement hydraulique de la Seine est nécessaire.

Cette étude a pour vocation de caractériser les impacts du projet vis-à-vis du risque inondation. Compte tenu de la complexité du projet et de son périmètre (plusieurs ouvrages sont référencés en zone inondable au niveau du secteur de Vitry-sur-Seine), une modélisation hydraulique a été réalisée.

Ce rapport présente donc les caractéristiques du modèle numérique réalisé et les incidences des phases travaux et exploitation du projet de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express sur les vitesses d'écoulement et les niveaux d'eau lors de différentes crues de la Seine.

2.2 Contexte hydrologique et hydraulique

2.2.1 Hydrologie de la Seine

2.2.1.1 Le bassin versant de la Seine

Second fleuve français après la Loire par sa longueur, la Seine prend sa source en Côte-d'Or (21) sur le plateau de Langres pour se jeter après 777 km de parcours au droit de son embouchure dans la Manche, à l'extrémité de l'estuaire de la Seine, au sud du Havre (76).

Cours d'eau pour l'essentiel de plaine, la Seine a formé de multiples et profonds méandres de par sa faible déclivité. Ces méandres sont parfois d'une forte sinuosité sur plusieurs dizaines de kilomètres.

A Paris, son bassin versant s'étend sur 43 800 km². Ses principaux affluents sont la Marne, l'Yonne et l'Aube.

Au droit du secteur d'étude, la Seine est navigable et aménagée. Les berges sont principalement artificialisées. Le barrage-écluse du Port à l'Anglais, situé en aval immédiat du pont du Port à l'Anglais sur la commune de Vitry-sur-Seine, régule le niveau d'eau dans le bief étudié à 29,65 m NGF (retenue normale).

La Seine est un cours d'eau domanial. Les berges et le lit appartiennent à l'État, les tronçons navigables sont gérés par l'établissement public Voies Navigables de France.

2.2.1.2 Crues historiques

Au 20ème siècle, la Seine a connu 9 crues majeures. Les quatre principales sont celles de janvier 1910, janvier 1924, janvier 1955 et janvier 1982.

La crue la plus importante est celle de janvier 1910, avec une hauteur d'eau maximale relevée au pont d'Austerlitz de 8,62 m. La durée totale de la crue avait été de 51 jours, dont 13 proches de l'amplitude maximale. Cette crue est dite « centennale ».

Les caractéristiques de la crue de 1910 servent de référence historique pour les crues exceptionnelles sur la Seine et sur la partie aval de la Marne, en application des circulaires interministérielles du 24 avril 1996 et 5 février 1998 relatives à la prise en compte du risque inondation en région Ile-de-France. Il s'agit de la crue de référence du PPRI du Val-de-Marne.

La crue de 1924 est la seconde crue majeure du 20ème siècle avec des niveaux d'eau mesurés à 7,32 m au pont d'Austerlitz à Paris. D'après les ajustements statistiques effectués lors de la cartographie des zones inondables et des risques inondation du TRI Métropole Francilienne, cette crue a une période de retour d'environ 30 ans.

La crue de 1955 présente des débits et hauteurs d'eau similaires à la crue de 1924. La hauteur d'eau mesurée au pont d'Austerlitz le 23 janvier 1955 est de 7,12 m. La période de retour de cette crue est également de l'ordre de 30 ans.

La crue de 1982 a eu lieu après la création des grands lacs permettant d'écrêter les crues en amont de Paris et de protéger la capitale. Cette crue est la moins importante des 4 crues majeures du 20ème siècle avec des hauteurs observées à 6,15 m au pont d'Austerlitz. Cette crue est dite décennale.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des quatre crues majeures enregistrées au pont d'Austerlitz à Paris au cours du 20ème siècle.

Tableau 17 : Hauteur d'eau mesurée au droit du pont d'Austerlitz pour les 4 crues majeures du 20ème siècle

Crues	Hauteur d'eau mesurée au pont d'Austerlitz (m)	Date de la mesure	Débit estimé au pont d'Austerlitz (m^3/s)	Période de retour estimée
Janvier 1910	8,62	28/01/1910	2 560	100 ans
Janvier 1924	7,32	06/01/1924	2 140	30 ans
Janvier 1955	7,12	23/01/1955	2 085	30 ans
Janvier 1982	6,15	14/01/1982	1 790	10 ans

Le tableau suivant présente les repères de crues disponibles sur le secteur d'étude (du pont de Choisy au pont du Port à l'Anglais) pour ces différentes crues.

Tableau 18 : Repères de crues au droit du secteur de Vitry-sur-Seine pour les 4 crues majeures du 20ème siècle

Source	Pont de Choisy (PK 158)				Passerelle du Gaz de France (PK 159)			
	1982	1955	1924	1910	1982	1955	1924	1910
DRIEE IF	33.11	34.02	-	35.49	32.89	33.89	-	35.43
PPRI 94	-	-	34.13	35.49	-	-	34.03	35.49
Source	PK 160 (rue des fusillés)				Pont du Port à l'Anglais (PK 161)			
	1982	1955	1924	1910	1982	1955	1924	1910
DRIEE IF	-	-	-	-	32.70	33.78	33.94	35.38
PPRI 94	-	-	33.98	35.48	-	-	33.93	35.48

* Niveaux extraits du document DRIEE IF – SPRN/PCPAN/UEHM répertoriant les niveaux d'eau pour les crues de la Seine à Paris et fournit en 2011 (cf. tableau page suivante).

2.2.1.3 Evénements hydrologiques étudiés

Trois événements hydrologiques historiques sont modélisés afin d'évaluer les éventuels impacts du projet :

- la crue de janvier 1982 (période de retour d'environ 10 ans),
- la crue de janvier 1955 (période de retour d'environ 30 ans),
- la crue de janvier 1910 (période de retour d'environ 100 ans).

Ces crues sont conformes aux demandes de la doctrine DRIEE intitulée « Aménagements impactant le libre écoulement des eaux ». En effet, celle-ci définie les crues à considérer lors de l'étude des impacts :

- en zone urbaine, la crue de plein bord ou faiblement débordante est à prendre en compte. Ce scénario est étudié à travers les crues de 1982 (faiblement débordante) et 1955 (faiblement débordante) ;
- en zone où les enjeux sont vulnérables au risque inondation, la crue de référence PPRI et crue moyenne (période de retour entre 35 et 60 ans) sont à considérer. L'étude de la crue de 1955 (crue moyenne d'occurrence 30 ans) et de la crue de 1910 (crue de référence du PPRI 94) permet de répondre à cette demande ;
- en zone impactée par les chantiers ou subissant des obstructions temporaires, il faut considérer au minimum la crue décennale ou la crue de période de retour 10 fois la durée du chantier en années. La crue centennale (occurrence supérieure à la crue décennale ou à 10 fois la durée des chantiers) a été considérée pour évaluer les impacts.

Le tableau suivant présente les débits des différentes crues simulées à l'aide du modèle numérique construit.

Tableau 19 : Récapitulatif des débits de crue étudiés

Crue (période de retour)	Débit (m^3/s)	Source
1982 (environ 10 ans)	1 320	DRIEE IF, 2013*
1955 (environ 30 ans)	1 500	DRIEE IF, 2013*
1910 (environ 100 ans)	2 000	DRIEE IF, 2013*

* Débits de la Seine en amont de la confluence avec la Marne, extraits du rapport explicatif de la Cartographie des zones inondables et des risques inondation du TRI Métropole francilienne, DRIEE-IF, Décembre 2013

Niveaux de crues – Source DRIEE IF – SPRN/PCPAN/UEHM

DRIEE IF - SPRN/PCPAN/UEHM

PK **AESN** : Kilométrage dans le système de repérage de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, le PK 1000.000 correspond à l'embouchure de la Seine
PK **SNS** : Kilométrage dans le système de repérage du Service de la Navigation de la Seine.

	Pont de Villeneuve St Georges	Pont de Choisy-le-Roi	Passerelle du Gaz de France	Barrage du Port à l'Anglais (amont)	Barrage du Port à l'Anglais (aval)	Pont d'Ivry	confluence Marne	Passerelle des câbles	Ponts de Conflans	Périphérique amont	Pont National
PK AESN **précision : 100 m**	644.750										
PK SNS	152.400	157.530	159.260	160.800	161.400	161.400	163.440	163.630	164.240	165.000	165.620
PK en km distances partielles	152.400	157.530	159.260	160.800	161.400	163.400	163.440	163.630	164.240	165.000	165.620
Correction Lallemand-IGN69	0.33	0.33		0.34	0.34	0.34					
Rive											
PHEN RN débordement submersion grave	29.65	29.65	29.65	29.65	26.72	26.72	26.72	26.72	26.72	26.72	26.72
PHEC 1910	35.66	35.49	35.43	35.38	35.29	35.12	35.10	35.08	35.03	34.95	34.91
1920											
1924				*33.94*		*33.79*					
1936											
1939											
1952											
1955	34.40	34.02	33.89	33.78	33.65	33.49	33.47	33.46	33.40	33.34	33.29
1970											
1977											
1978											
1982	33.76	33.11	32.89	32.70	*32.52*						
1983											
1988											
1994											
1995											
1999											
2000											
2001											

Les valeurs en italique sont des cotes interpollées à partir de cotes relevées sur les profils en long du SNS ou calculées dans ce tableau.

2.2.2 Fonctionnement hydraulique

Les crues de la Seine sont des crues lentes : la montée des eaux est en général de l'ordre de 30 à 50 cm par jour. Elles sont la conséquence de plusieurs phénomènes concomitants :

- L'arrivée de fortes pluies sur les massifs amont : plateau de Langres pour la Seine, l'Aube et la Marne, plateau du Morvan pour l'Yonne et ses affluents ;
- L'imperméabilisation naturelle et temporaire (gel ou saturation des sols) ou artificielle des sols.

Les crues majeures surviennent généralement entre novembre et mars. En Ile-de-France, les inondations les plus importantes se produisent lorsqu'il y a concomitance des crues des différents affluents de la Seine. Les crues majeures sont généralement dues à la superposition des crues lentes de l'Aube, de la Seine et de la Marne avec les crues rapides de l'Yonne et des affluents de la Marne tels que le Petit et le Grand Morin.

Au droit du secteur de Vitry-sur-Seine, des murettes anti-crues ont été installées afin de protéger les constructions existantes contre les crues de période de retour similaires à la crue de 1924 (période de retour d'environ 30 ans).

Afin d'augmenter la protection de la capitale contre le risque inondation, quatre barrages-réservoirs ont été installés en amont de l'agglomération parisienne sur la Seine, la Marne, l'Aube et l'Yonne. Ces bassins assurent trois fonctions :

- le soutien d'étiage,
- l'alimentation en eau potable,
- l'écrêtement des crues.

Grâce aux barrages, la majeure partie de la région parisienne est protégée de crues identiques à celles de 1924 et 1955. Leur rôle écrêteur a diminué la fréquence d'apparition et a permis de réduire les temps de submersion des crues petites et moyennes. Cependant, les barrages ont un effet limité sur les crues exceptionnelles du fait de l'importance des volumes de ruissellement mis en jeu et de la limitation de leur capacité de stockage. En effet, la fonction de stockage n'est pas assurée efficacement pour des crues tardives (avril-mai) du fait du remplissage des réservoirs pendant la période hivernale.

2.2.3 Définition des classes d'impact

Les incidences du projet d'aménagement du Grand Paris Express sur les écoulements de la Seine en cas de crue sont définies selon deux critères : les impacts sur les niveaux d'eau et sur les vitesses d'écoulement. Etant donnés les enjeux différents en lit mineur et lit majeur, une distinction des classes d'impacts concernant les vitesses d'écoulement est réalisée.

Les classes d'impact sur les écoulements ont été définies comme suit :

- Classes d'impacts sur les niveaux d'eau :
  - Impact non significatif : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 1 cm. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle hydraulique ;
  - Impact faible : 1 à 5 cm de différence entre les niveaux d'eau de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur d'un remous très localisé créé par un petit obstacle dans une zone d'écoulement marqué (véhicule par exemple) ;
  - Impact modéré : 5 à 10 cm de différence entre les niveaux d'eau de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à l'amplitude des vagues générées lors des crues ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 10 cm. L'impact de l'ouvrage sur les lignes d'eau est supérieur à l'amplitude des vagues observées lors d'une crue.

- Classes d'impacts sur les vitesses d'écoulement en lit majeur :
  - Impact non significatif : différence de vitesse d'écoulement entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 5 cm/s. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle hydraulique ;
  - Impact faible : 5 à 10 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur des variations créé par un petit obstacle (véhicules) ;
  - Impact modéré : 10 à 20 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à un risque de changement d'une classe d'aléa ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 20 cm/s. Cette classe correspond à un risque de changement d'une à deux classes d'aléa.

- Classes d'impacts sur les vitesses d'écoulement en lit mineur :
  - Impact non significatif : différence de vitesse d'écoulement entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 10 cm/s. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle sur la vitesse maximale au sein de la section en travers ;
  - Impact faible : 10 à 20 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur des variations naturelles des vitesses au sein d'une section en travers ;
  - Impact modéré : 20 à 30 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à l'ordre de grandeur des accélérations de vitesses générées par une pile de pont ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 30 cm/s. Cette classe correspond à une forte perturbation de l'écoulement pouvant déstabiliser des embarcations légères.

Le tableau suivant récapitule les classes d'impacts définies en fonction du critère étudié.

Tableau 20 : Définition des classes d'impact par rapports aux écoulements des crues

Classe	Critère sur les différences (ΔN) de niveaux d'eau	Critère sur les différences (ΔV) de vitesses d'écoulement en lit mineur	Critère sur les différences (ΔV) de vitesses d'écoulement en lit majeur
Impact non significatif	ΔN < 1 cm	ΔV < 0.10 m/s	ΔV < 0.05 m/s
Impact faible	1 cm ≤ ΔN < 5 cm	0.10 m/s ≤ ΔV < 0.20 m/s	0.05 m/s ≤ ΔV < 0.10 m/s
Impact modéré	5 cm ≤ ΔN < 10 cm	0.20 m/s ≤ ΔV < 0.30 m/s	0.10 m/s ≤ ΔV < 0.20 m/s
Impact fort	10 cm ≤ ΔN	0.30 m/s ≤ ΔV	0.20 m/s ≤ ΔV

2.3 Modélisation hydraulique

2.3.1 Généralités

2.3.1.1 Système de mesure altimétrique

Dans la suite de l'annexe, les niveaux altimétriques sont exprimés en mètre NGF (Nivellement Général de la France) normal soit IGN 69. Ainsi, les niveaux et altitudes seront exprimés en m NGF.

2.3.1.2 Présentation du logiciel

La modélisation hydraulique a été réalisée grâce au logiciel InfoWorks® RS de la société INOVYZE. Ce logiciel permet de construire des modèles 1D-linéaire à casiers ou 2D et ainsi de réaliser des simulations en régime permanent ou transitoire. Les facteurs qui déterminent la solution sont classés suivant trois types :

- les effets hydrodynamiques : les écoulements à surface libre peuvent être décrits par les équations de Barré de Saint-Venant qui expriment la conservation de la masse et des quantités de mouvement. Elles prennent en compte l'ensemble des forces de diffusion, de gravité, et de friction sans aucune simplification. Elles sont résolues par la méthode du schéma implicite de Preissman ;
- les conditions limites internes : sous ce terme, sont regroupés les ouvrages de contrôle, les pertes de charge singulières ou les confluences/diffluences. Ces structures imposent des relations débit-hauteur aux points considérés et divisent le modèle en biefs ;
- les conditions limites externes : des conditions limites sont nécessaires aux deux extrémités amont et aval du système étudié. Elles peuvent être représentées par des relations reliant deux des paramètres débit, hauteur, temps.

Ce logiciel a été développé afin de reproduire les écoulements de la Tamise au Royaume-Uni. Ce fleuve présente des caractéristiques similaires à la Seine (largeur, pente, débits, etc.). Infoworks RS est donc bien adapté à la modélisation de la Seine à Paris.

NB : Pour ce logiciel, le remous en amont d'un ouvrage (de type pont, busage ou seuil) est calculé par la mise en charge des ouvrages, les réductions de sections induites par les culées et les piles. Pour le calcul des pertes de charge d'un ouvrage, il n'utilise pas les fentes de Preissman, principalement utilisées pour modéliser un long linéaire de cours d'eau couvert par un écoulement à surface libre.

2.3.1.3 Emprise du modèle hydraulique

L'emprise du modèle a été définie de manière à intégrer l'ensemble des gares, ouvrages annexes et emprises travaux situées en zone inondable pour une crue millénale.

Les limites latérales du modèles ont donc été choisies de manière à intégrer la totalité de la zone inondable telle que définie dans la cartographie de l'événement millénale par la DRIEE-IF.

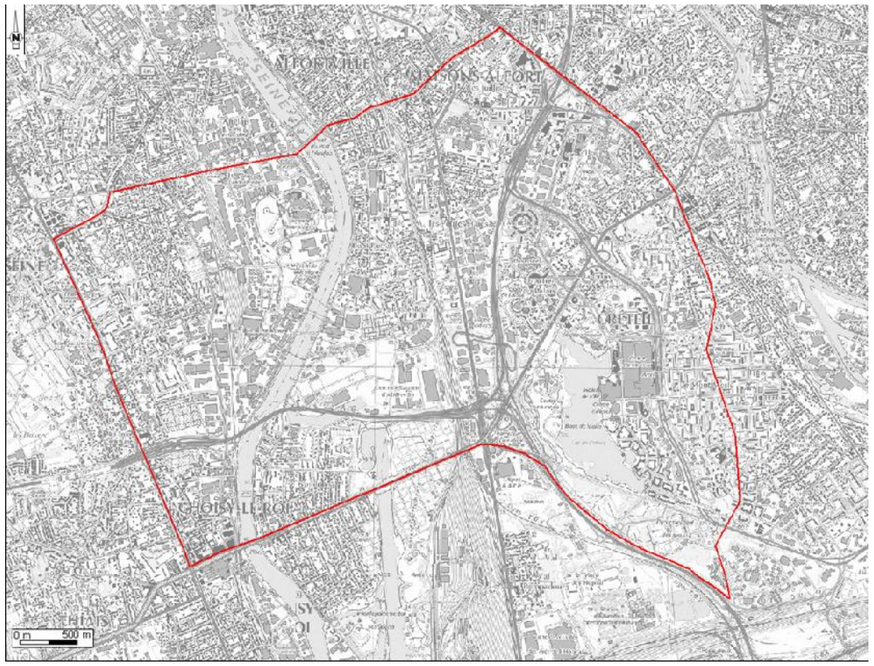
La condition limite aval est prise au droit d'observation historiques et de résultats de modélisations validées obtenus pour la réalisation du PPRI et du TRI ce qui permet des modèles plus court avec une condition aval réaliste. Ainsi, les éventuelles incertitudes sur la condition limite aval sont liées aux incertitudes des observations ou des modèles hydrauliques validés. Pour rappel, l'objectif est de comparer un état aménagé à un état de référence réaliste.

La condition aval du modèle étant basée sur une modélisation réalisée à plus grande échelle (PPRI et TRI) et sur les observations en crue, elle prend en comptes les singularités pouvant influencer les niveaux d'eau situées en aval du modèle hydraulique (passage souterrain, remblais, confluence, barrage, etc.).

La condition limite aval du modèle est choisie au droit du pont du Port à l'Anglais, soit en amont immédiat du barrage du même nom. Les valeurs de la condition limite aval sont des mesures réalisées lors des crues historiques (1910, 1924 et 1982) et des résultats de modélisations hydrauliques (R1.15 et Q1000). Ces valeurs, relevées ou calculées en amont du barrage, prennent en compte les phénomènes hydrauliques engendrés par l'ouvrage notamment l'élévation de la ligne d'eau dues au seuil du barrage. Ainsi, le barrage du Port à l'Anglais est considéré pris en compte dans la modélisation de manière réaliste : le niveau d'eau en amont de l'ouvrage, dû au rehaussement de la ligne d'eau induit par le barrage, est celui réellement observé en période de crue.

La condition limite amont a été choisie au pont de Choisy. Suffisamment loin en amont des principales zones d'études en lit mineur (OA Friche Arrighi) afin d'obtenir un écoulement réaliste au droit de celles-ci. Le champs d'inondation amont correspond à des zones de stockage : il s'agit de zones séparées de l'écoulement principal (observé aux abords du lit mineur) par des remblais routiers et ferroviaires. Des remblais routiers perpendiculaires à l'écoulement (notamment l'A86) sont également présents dans le lit majeur et participe à la création des zones de stockage. L'alimentation de ces zones se fait par des ouvertures (passages routiers) créées dans les remblais ou par surverses sur ces derniers. Ainsi, les phénomènes d'écoulement sont bien représentés par le modèle.

Le linéaire de cours d'eau ainsi modélisé représente environ 3,7 km. L'emprise du modèle est présentée sur la cartographie suivante.



Carte 42 : Emprise du modèle hydraulique

2.3.2 Construction du modèle hydraulique – Etat de référence

2.3.2.1 Données de construction

Les données utilisées pour la construction du modèle hydraulique sont :

- Les données bathymétriques pour le chenal de navigation, fournies par Voies Navigables de France (2009).
- Le Modèle Numérique de Terrain obtenu par des relevés LIDAR (pas d'espace de 1 m, précision altimétrique de 0.2 m), fourni par l'Institut Géographique National (2014).
- L'implantation des bâtiments (couche de la BDtopo référençant les bâtiments) acquis auprès de l'IGN (2009).
- Les profils en long des murettes anti-crue, fournies par le CG94 (2010).
- L'occupation du sol (Corine Land Cover, 2006).
- Le fond de plan cartographique acquis auprès de l'IGN (SCAN 25, 2008).
- Les photos aériennes acquises auprès de l'IGN (BDortho, 2012).
- Le rapport explicatif de la cartographie des zones inondables et des risques inondation du TRI Métropole francilienne (DRIEE IF, décembre 2013).
- Les données disponibles auprès de la maîtrise d'œuvre (plans, coupes, topographie, etc.) au droit des futurs aménagements (SYSTRA, octobre 2014).

2.3.2.2 Architecture du modèle

Le modèle construit repose sur le couplage d'un modèle filaire à une dimension avec un maillage en deux dimensions :

- les écoulements au sein du lit mineur de la Seine étant principalement monodirectionnels, celui –ci est modélisé en une dimension (modèle filaire) ;
- les lits majeurs en rive droite et rive gauche sont modélisées en deux dimensions afin de reproduire de manière fidèle les écoulements complexes des crues (forte urbanisation, présence de remblais jouant le rôle de digue (route, voie ferrée, etc.)).

a. Construction du lit mineur

Le modèle hydraulique filaire est composé de 29 profils en travers soit environ 1 profil tous les 130 m. Le nombre de profil en travers a été densifié (environ 1 profil tous les 50 m) au droit du futur puits d'attaque de la Friche Arrighi afin d'étudier plus précisément les éventuels impacts en lit mineur.

2 ouvrages transversaux (exclusivement des ouvrages de franchissement) ont été modélisés afin de reproduire leurs influences sur les écoulements.

Profil en travers

Le lit mineur de la Seine est construit sur la base des données bathymétrique de VNF (pour les fonds de lit des cours d'eau) et sur les données LIDAR pour les berges.

La jonction entre les deux types de données est réalisé par interpolation et en considérant une pente des berges plus ou moins verticale (berges quasiment verticale au droit des quais et pente plus douce lorsque la berge est végétalisée).

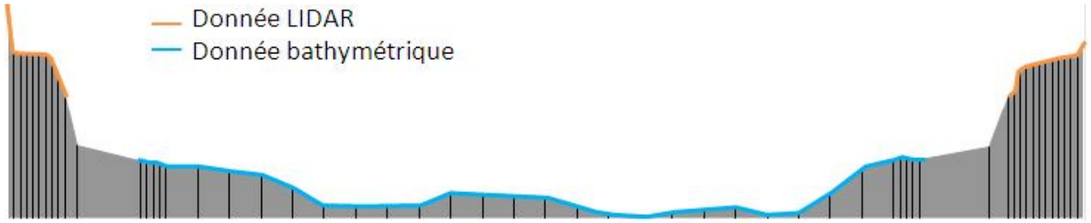


Figure 4 : Exemple d'interpolation entre les données LIDAR et bathymétriques

Ouvrages de franchissement

Pour les ponts dont la géométrie (largeur des arches, nombre de piles, altimétrie de l'arche…) est imprécise, des hypothèses ont été fixées afin de reproduire au mieux les conditions d'écoulement.

Le nombre et les dimensions des piles de ponts ont été fixés à partir des observations de terrains et des données disponibles (photos, schémas des ouvrages, présence des piles sur la bathymétrie…). La longueur des piles est supposée égale à la largeur des tabliers des ponts.

La mise en charge de chaque ouvrage a été appréciée sur la base des données disponibles (MNT, observations in situ, plans disponibles) afin de représenter au mieux l'influence de l'ouvrage sur les écoulements (accélération des vitesses et augmentation des niveaux d'eau).

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques retenues pour les ouvrages de franchissement afin de les modéliser.

Tableau 21 : Caractéristiques des pont situés entre le pont de Garigliano et la passerelle de l'Avre

Pont	Nombre de pile	Largeur de la pile (m)	Niveau altimétrique du tablier* (m NGF)	Epaisseur estimée du tablier (m)	Niveau sous poutre supposé (m NGF)	Niveau crue 1910 (m NGF)
A86	3	3	45	5	40	>35.49
Passerelle GDF	2	4	Tablier à 2 m au-dessus du quai à la cote d'environ 34,00 m NGF*		36	35.43

*Niveau estimé à partir des données LIDAR à proximité immédiate des ponts.

b. Construction du lit majeur

Le lit majeur est construit sur la base des données LIDAR et des données disponibles sur les bâtiments existants (BDtopo IGN). Les données concernant les bâtiments datant de 2009, une mise à jour a été effectuée sur la base de la BDortho (IGN, 2012). Ainsi, des bâtiments non existant en 2009 ont été pris en compte. Les bâtiments sont modélisés en tant qu'obstacles insubmersibles.

Les données MNT ont été retravaillées ponctuellement afin d'intégrer les tunnels et ouvertures au sein des remblais permettant l'inondation des secteurs situés derrière ces barrières naturelles.

Le maillage est constitué, pour l'état initial, de 105 892 mailles dont la surface varie de 1 m² à 500 m². Le maillage a été densifié au droit des futurs aménagements et travaux afin d'en mesurer plus finement les incidences. Ainsi, la surface des mailles y est au maximum de 50 m².

Le maillage ainsi que les zones au droit desquelles le MNT a été retravaillé sont présentés sur la cartographie figurant page suivante.

c. Interface lit mineur / lit majeur

Les connexions entre le lit mineur et le lit majeur sont assurées par des surverses latérales. Ces surverses sont construites :

- sur la base des données altimétriques fournies par le CG94 pour les murettes anti-crue lorsqu'elles existent. De manière générale, les murettes protègent contre les crues de type 1924 ou 1955 ;
- à partir du LIDAR lorsqu'aucune murette n'est existante : le niveau des surverses correspond au niveau du terrain naturel.

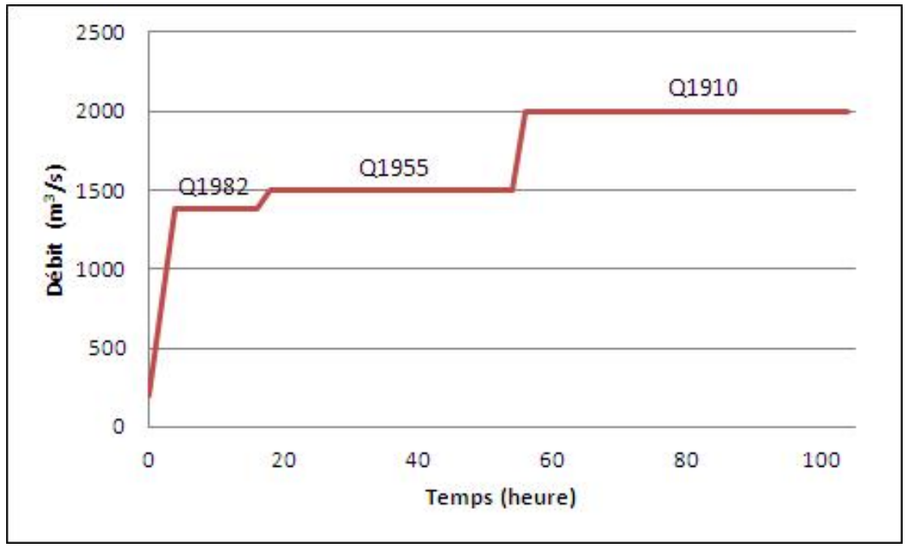
49 surverses latérales ont ainsi été construites afin d'assurer la connexion entre le modèle 1D et le modèle 2D.



Carte 43 : Présentation du maillage modélisant le lit majeur

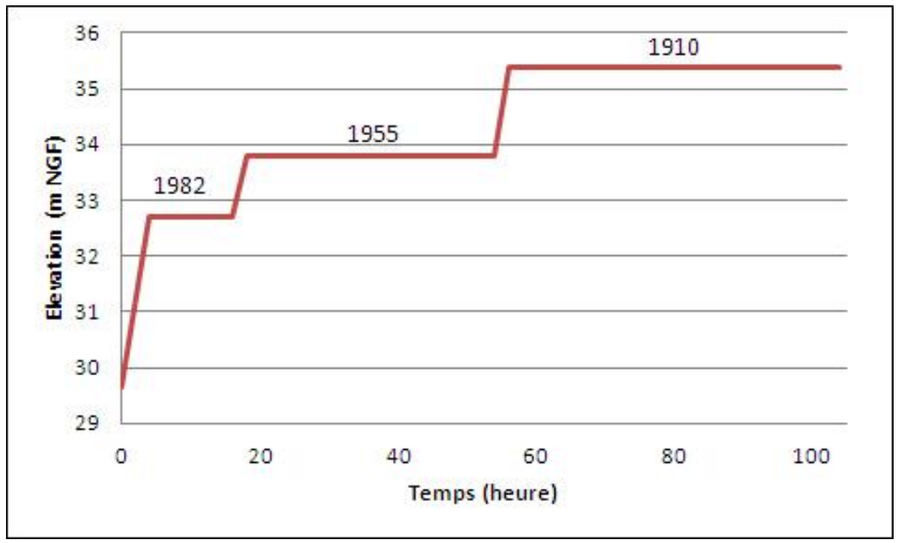
2.3.2.3 Conditions aux limites

Les conditions limites amont sont les débits des différentes crues étudiées (cf. paragraphe 2.1.3). L'évolution de la condition limite amont dans le temps est présentée sur le graphique suivant.



Graphique 10 : Condition limite amont du modèle hydraulique

La condition limite aval du modèle est une loi niveau-temps construite à partir des repères de crues disponibles. Le graphique suivant représente la condition limite aval au niveau du pont du Port à l'Anglais.



Graphique 11 : Condition limite aval du modèle hydraulique

2.3.3 Régime de simulation

Les crues de la Seine sont des crues lentes et durent plusieurs jours (13 jours proche de l'amplitude maximale pour la crue de 1910).

Afin de reproduire les inondations de la Seine les simulations ont été réalisées en régime pseudo-permanent : le débit de chaque évènement est injecté pendant une durée suffisamment longue afin que la ligne d'eau devienne stable sur l'ensemble de la zone modélisée.

Ainsi, les durées de simulation ont été ajustées de manières à avoir des lignes d'eau stabilisées en lit mineur et en lit majeur pendant au moins deux heures.

2.3.4 Calage du modèle – Etat de référence

2.3.4.1 Principe

Le calage consiste à injecter le débit total mesuré lors d'un évènement historique en entrée du modèle et à ajuster les paramètres de modélisation (rugosité des lits mineur et majeur) afin d'obtenir les niveaux d'eau des repères de crues et les emprises de zones inondables observées lors de ce même évènement.

Le calage est effectué sur les résultats du TRI et PPRi. Les études hydrauliques pour les TRI prennent en compte la configuration actuelle et non celle de l'époque. Les murettes anticrues ont été conservées pour le calage. Cependant, il apparaît que les cotes de crues de 1924 et 1910 sont supérieures aux cotes des murettes. L'emprise des zones inondables est donc peu impactée par la prise en compte des murettes.

2.3.4.2 Crues de calage

Le calage du lit mineur est réalisé à partir des niveaux d'eau des crues de 1982 (crue non débordante), 1955 et 1910 et des débits correspondants présentés au paragraphe 2. Ainsi :

- le calage du lit mineur est effectué pour la crue de 1982 (crue non débordante) ;
- le calage des coefficients de rugosité du lit majeur est effectué pour la crue centennale (1910) ;
- la crue de 1955 sert de crue de validation des paramètres.

2.3.4.3 Résultats du calage

Le calage des coefficients de rugosité du lit mineur est réalisé grâce à la crue historique non débordante de 1982. Cette étape a permis de fixer la rugosité du lit mineur de la Seine. Afin d'obtenir des niveaux d'eaux modélisés similaires aux niveaux d'eau historiques, les coefficients de Manning (n, paramètre de rugosité) ont été fixés entre 0.03 $s.m^{-1/3}$ et 0.034 $s.m^{-1/3}$. Ces valeurs sont proches de celle généralement admises pour un lit naturel propre à fond rugueux (n = 0.03 $s.m^{-1/3}$).

Les résultats du calage du lit mineur sont présentés dans le tableau suivant. L'écart moyen calculé entre la ligne d'eau modélisée et les niveaux d'eau mesurés pour la crue de 1982 est de 1 cm, inférieur à l'ordre de grandeur de la précision absolue du modèle. Le lit mineur est donc convenablement calé avec des coefficients de rugosité réalistes.

Tableau 22 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1982

Pont	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau mesuré (m NGF) DRIEE -IF	Δ = Nmodélisé – Nmesuré (m)
Choisy (PK 158)	33.09	33.11	- 0.02
Passerelle GDF (PK 159)	32.88	32.89	- 0.01
Port à l'Anglais (PK 161)	32.70	32.70	0.00
		Ecart maximal (m)	0.02
		Ecart moyen (m)	0.01

Le calage du lit majeur est réalisé grâce à la crue historique débordante de 1910. Cette étape a permis de fixer la rugosité du lit majeur de la Seine. Afin d'obtenir des niveaux d'eaux modélisés similaires aux niveaux d'eau historiques, les coefficients de Manning (n, paramètre de rugosité) ont été fixé à :

- 0.04 $s.m^{-1/3}$ pour les parcs,
- 0.10 $s.m^{-1/3}$ pour les espaces urbanisés.

Les résultats du calage du lit majeur sont présentés dans le tableau suivant. L'écart moyen calculé entre la ligne d'eau modélisée et les niveaux d'eau mesurés pour la crue de 1910 est d'environ 8 cm, correspondant à l'ordre de grandeur de la précision absolue du modèle. Le lit majeur est donc convenablement calé avec des coefficients de rugosité réalistes.

Tableau 23 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1910

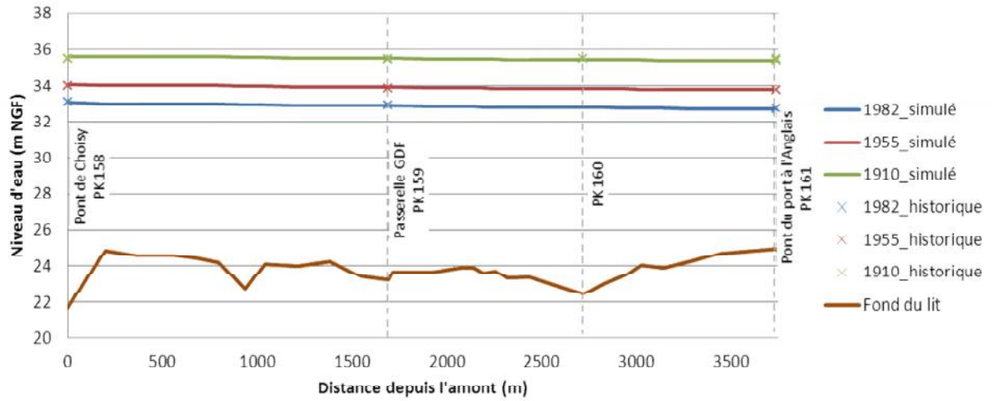
Pont	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau mesuré (m NGF)		Δ = Nmodélisé – Nmesuré (m)	
		PPRI 94	DRIEE IF	PPRI 94	DRIEE IF
Choisy (PK 158)	35.62	35.49	35.49	0.13	0.13
Passerelle GDF (PK 159)	35.54	35.49	35.43	0.05	0.11
PK 160	35.44	35.48		-0.04	
Port à l'Anglais (PK 161)	35.38	35.48	35.38	-0.10	0.00
			Ecart maximal (m)	0.13	0.13
			Ecart moyen (m)	0.08	0.08

La crue de 1955, dont le débit et les niveaux d'eau au droit des ponts sont connus, permet de vérifier le calage du modèle hydraulique. L'écart moyen calculé entre la ligne d'eau modélisée et les niveaux d'eau mesurés pour cette crue faiblement débordante est suffisamment faible (5 cm) pour considérer le calage du modèle acceptable.

Tableau 24 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1955

Pont	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau mesuré (m NGF) DRIEE -IF	Δ = Nmodélisé – Nmesuré (m)
Choisy (PK 158)	34.10	34.02	0.08
Passerelle GDF (PK 159)	33.94	33.89	0.05
Port à l'Anglais (PK 161)	33.78	33.78	0.00
		Ecart maximal (m)	0.08
		Ecart moyen (m)	0.05

Le graphique suivant présente les lignes d'eau calculées comparativement aux niveaux d'eau observés lors des événements hydrologiques de calage (1982, 1955 et 1910).



Graphique 12 : Comparaison des niveaux d'eau simulés et mesurés pour les crues de 1910, 1955 et 1982

2.3.5 Test de sensibilité

Dans les règles de l'art, la condition limite aval d'un modèle hydraulique peut être soit :

- une cote fiable extraite de repère de crues ou de documents réglementaires découlant d'un modèle hydraulique reconnu, approuvé et validé par les services de l'Etat ;
- une cote incertaine : aucune mesure disponible, cote estimée à partir de souvenir, de calcul hydraulique empirique ou de la hauteur normale (pas d'influence d'éventuel ouvrage aval).

La disponibilité de valeurs fiables permet de créer des modèles hydrauliques courts. En effet, ces valeurs prennent en compte les influences des ouvrages situés en aval du modèle et pouvant influencer les conditions d'écoulement. Ainsi, grâce à une condition limite aval ne présentant pas ou peu d'incertitude, les lignes d'eau simulées par la modélisation sont réalistes (ce qui est confirmé par le calage du modèle).

A l'inverse, si aucune valeur fiable n'est disponible, le modèle hydraulique doit posséder une longueur suffisamment importante afin de s'affranchir des incertitudes liées à la condition limite aval. Dans ce cas un test de sensibilité doit être réalisé afin de quantifier l'impact de cette donnée d'entrée incertaine sur les résultats du modèle et de s'assurer de la validité de la modélisation (modèle suffisamment long pour que la zone étudiée ne soit pas influencée par la condition limite aval).

Dans le cas du modèle hydraulique de la Seine du Pont de Choisy au pont du Port à l'Anglais, les conditions limites aval correspondent à des niveaux d'eau mesurés pour des crues historiques. Il s'agit donc de données connues et validées. Les repères de crues disponibles au droit du pont du Port à l'Anglais sont rappellés dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Repères de crues disponibles au pont du Port à l'Anglais

Source	1982	1955	1910
DRIEE IF*	32.70	33.78	35.38
Repères de crues**	-	-	35.41
Valeur retenue pour la condition limite aval	32.70	33.78	35.38

* Niveaux extraits du document DRIEE IF – SPRN/PCPAN/UEHM répertoriant les niveaux d'eau pour les crues de la Seine à Paris et fournit en 2011 (cf. tableau 5, page 68).

** Repère de crue répertorié sur le site reperesdecrues-seine.fr : Maison éclusière en rive gauche au barrage de Port à l'Anglais, plaque métallique, fiabilité bonne.

Le tableau ci-dessus montre que la condition limite aval a été extraite d'au moins deux sources différentes pour la crues de 1910. De plus, concernant la crue de 1910 la cote de crue est disponible sur une plaque métallique à un niveau similaire au niveau retenue par la DRIEE-IF. La condition limite aval du modèle hydraulique peut donc être qualifiée de fiable.

Dans ce cas, la possibilité de créer un modèle court, basé sur ces valeurs fiables, est réaliste et suffisante.

De plus, le modèle est calé convenablement (cf. paragraphe 2.3.4) : les lignes d'eau simulées sont cohérentes avec les mesures historiques sur le secteur d'études. Les niveaux d'eau au droit des zones impactées par le projet étant réalistes et la condition limite aval fiable, un test de sensibilité sur cette dernière n'est pas nécessaire.

Enfin, il convient de rappeler que l'objectif des modélisations est d'étudier l'impact du projet sur les écoulements et non la détermination de niveaux d'inondation (ceux-ci étant déjà déterminés dans le cadre des études hydraulique pour l'établissement des cartes PPRi et TRI). Par conséquent, la seule modification entre les états initiaux et les phases aménagées (travaux et exploitation) consiste en l'intégration des ouvrages qui seront créés. Les différents états modélisés (initial et travaux/exploitation) possèdent donc les mêmes conditions aval (il en est de même pour les coefficients de rugosité, ouvrages hors travaux, etc.) afin de ne pas introduire de perturbations autres que les travaux envisagés.

2.4 Incidences hydrauliques du projet

2.4.1 Etat de référence

2.4.1.1 Descriptifs des zones inondées en fonction des crues simulées

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982, d'occurrence décennale, est une crue non débordante : aucune inondation du lit majeure n'est observée.

Cette crue étant contenue dans le lit mineur, seuls des ouvrages qui y sont implantés peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement. Le potentiel remplacement des ducs d'Albe au droit de l'OA friche Arrighi sera donc le seul aménagement pouvant générer un impact sur l'écoulement.

b. Crue de 1955 (crue trentennale)

La crue de 1955, d'occurrence d'environ trente ans, est une crue faiblement débordante. En effet, comme le montre les cartographies ci-après, les seules inondations observées lors de cet évènement se situent principalement en rive droite en amont du pont de l'autoroute A86.

Ainsi, seuls des ouvrages présents au droit de ces zones ou en lit mineur peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement. Le potentiel remplacement des ducs d'Albe au droit de l'OA friche Arrighi sera donc le seul aménagement pouvant générer un impact sur l'écoulement.

Au droit des zones inondables par la crue de 1955, les vitesses d'écoulement sont faibles (inférieures à 0.2 m/s) et les hauteurs de submersions peuvent aller jusqu'à 2m.

c. Crue de 1910 (crue centennale)

La crue de 1910, d'occurrence centennale, est la crue de référence du PPRI 94. Cette crue inonde les lits majeurs droit et gauche de la Seine. Ainsi, tout ouvrage présent dans la zone inondable telle que définie au PPRI du Val-de-Marne peut influer sur les caractéristiques des écoulements de la Seine.

Les ouvrages inondés par cette crue sont : l'OA Centre technique municipal, l'OA Rue Gabriel Péri, la gare Les Ardoines, le Site de Maintenance des Infrastructure, l'OA Friche Arrighi, l'OA rue de Rome, la gare Le Vert-de-Maisons l'OA Université Créteil et la gare Créteil l'Echat.

Les vitesses d'écoulement en lit majeur sont faibles (inférieures à 0.2 m/s) à nulles pour les zones situées à l'est de la voie ferrée. Il s'agit d'une zone de stockage.

Les hauteurs de submersion observées sont importantes au sein du lit majeur : la hauteur de submersion dépasse 2 m sur de large emprise.

Remarque : L'emprise de la zone inondable pour la crue de 1910 est très proche de celle présentée dans la cartographie des aléas du PPRI du Val-de-Marne. Le champs d'expansion obtenu avec une condition amont au pont de Choisy est donc réaliste.

2.4.1.2 Présentation des résultats

Le tableau suivant récapitule les niveaux d'eau calculés pour chacune des crues au droit des ouvrages de la ligne 15 Sud.

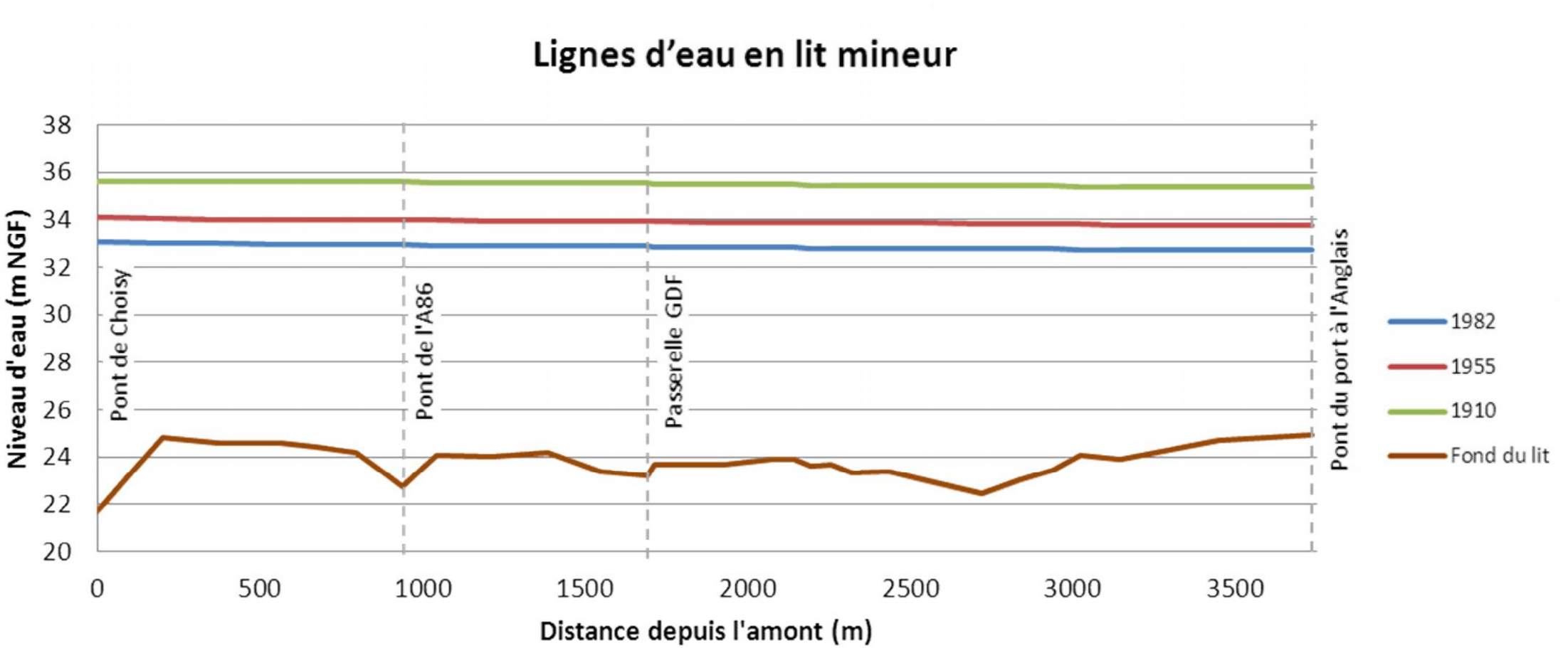
Tableau 25 : Niveaux d'eaux simulés au droit des ouvrages

Ouvrage	Niveau d'eau simulé lors des crues (m NGF)		
	1982	1955	1910
OA Centre technique municipal	32.90*	33.96*	35.41
OA Rue Gabriel Péri	32.85*	33.91*	35.4
Gare Les Ardoines	32.90*	33.96*	35.42
SMI	32.96*	34.01*	35.46 à 35.56
OA Friche Arrighi	32.83*	33.89*	35.47
OA Rue de Rome	32.79*	33.85*	35.49
Gare Le Vert-de-Maisons	32.79*	33.85*	35.41
OA Université Créteil	32.78*	33.84*	35.41
Gare Créteil l'Echat	32.76*	33.82*	35.41

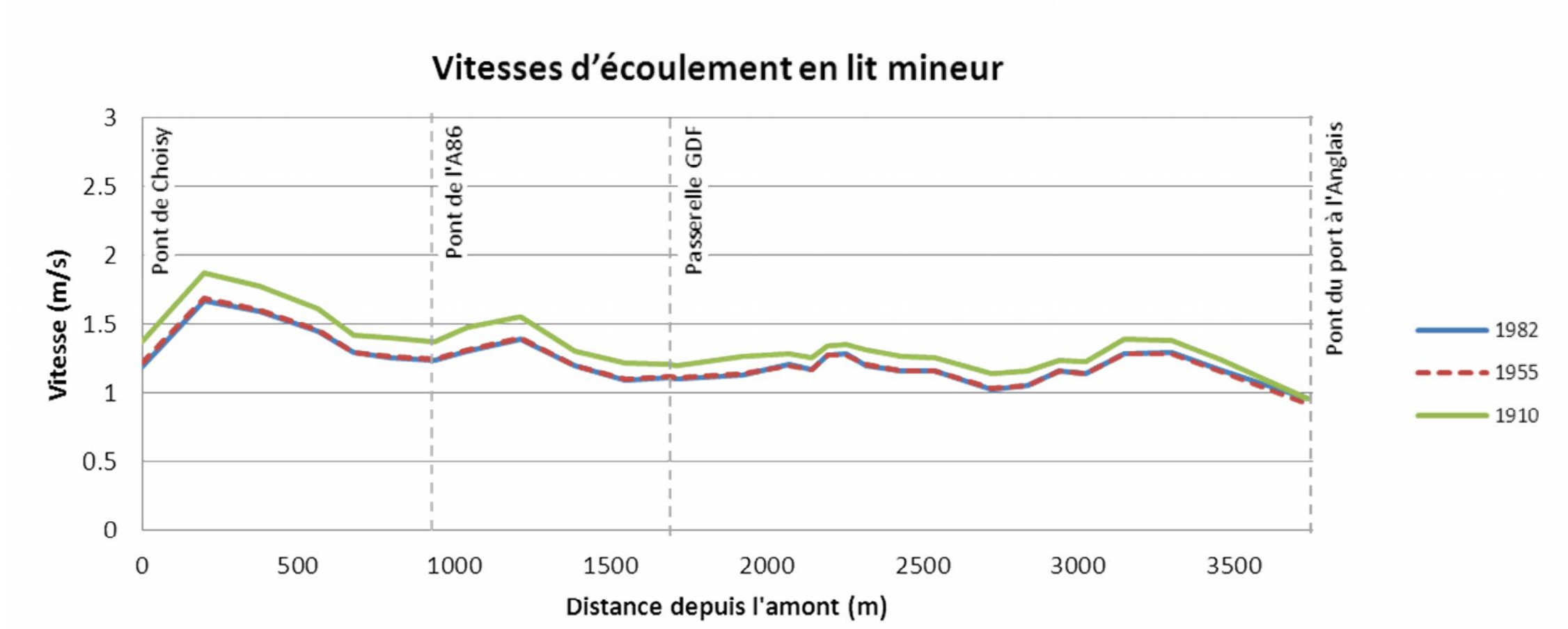
* niveau d'eau simulé dans le lit mineur (ouvrage non submersible lors de la crue)

Les graphiques, figurant pages suivantes, présentent les profils en long des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement de la Seine obtenues lors de la simulation des différentes crues.

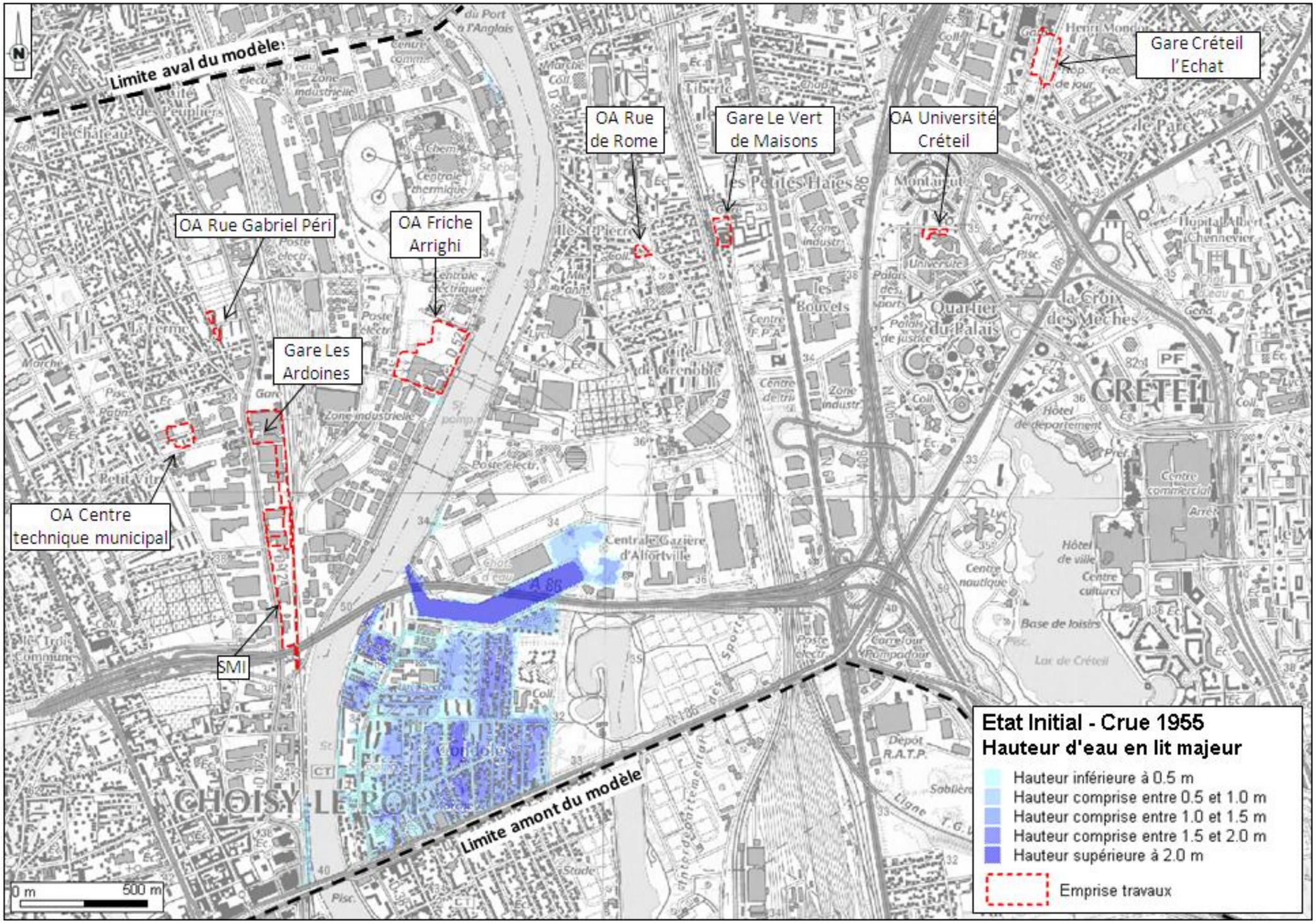
Les cartographies des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement en lit majeur obtenues par la simulation des crues débordantes sont présentées à la suite des profils en long des lignes d'eau et des vitesses d'écoulement des différents évènements.



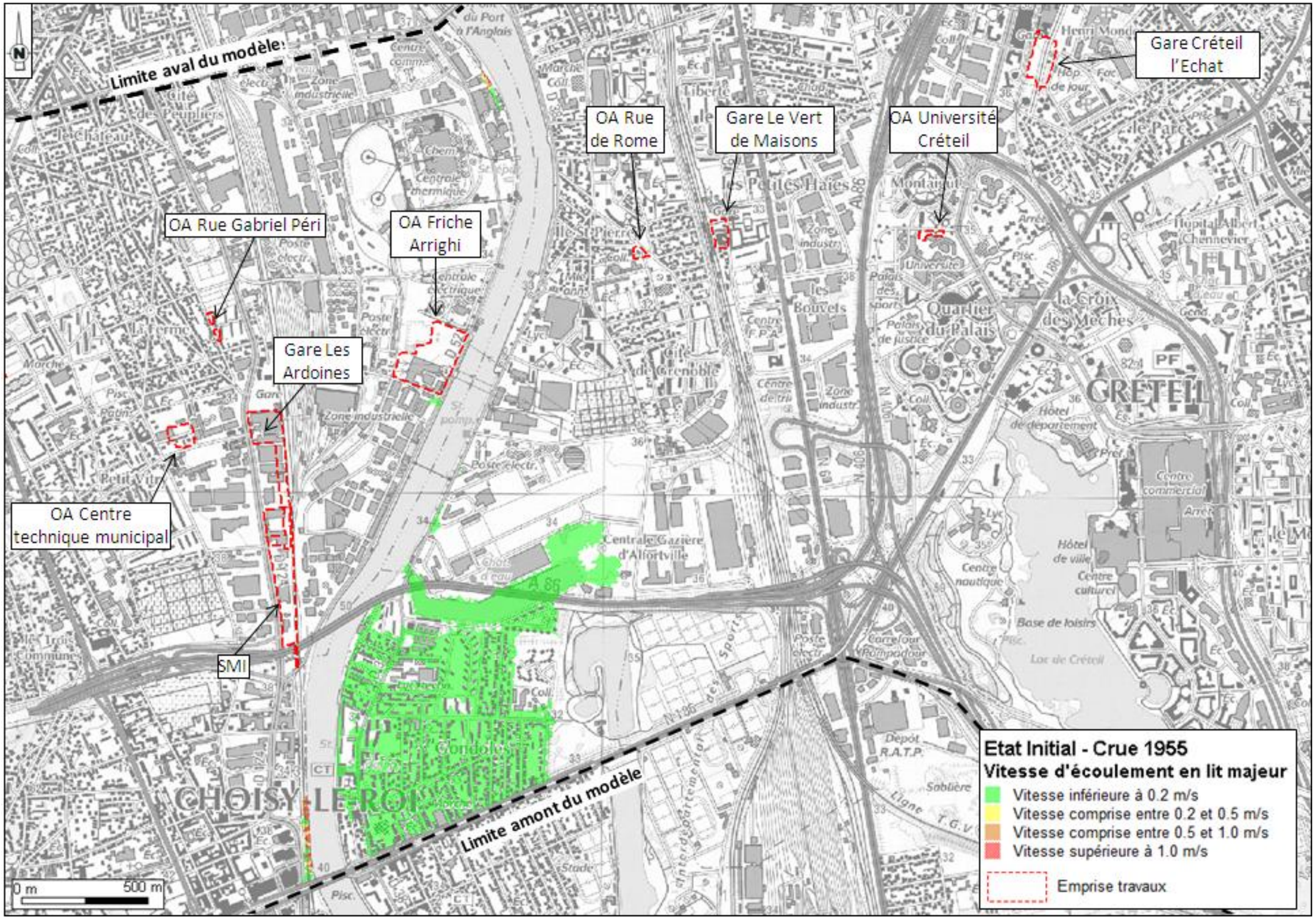
Graphique 13 : Lignes d'eau de la Seine en lit mineur



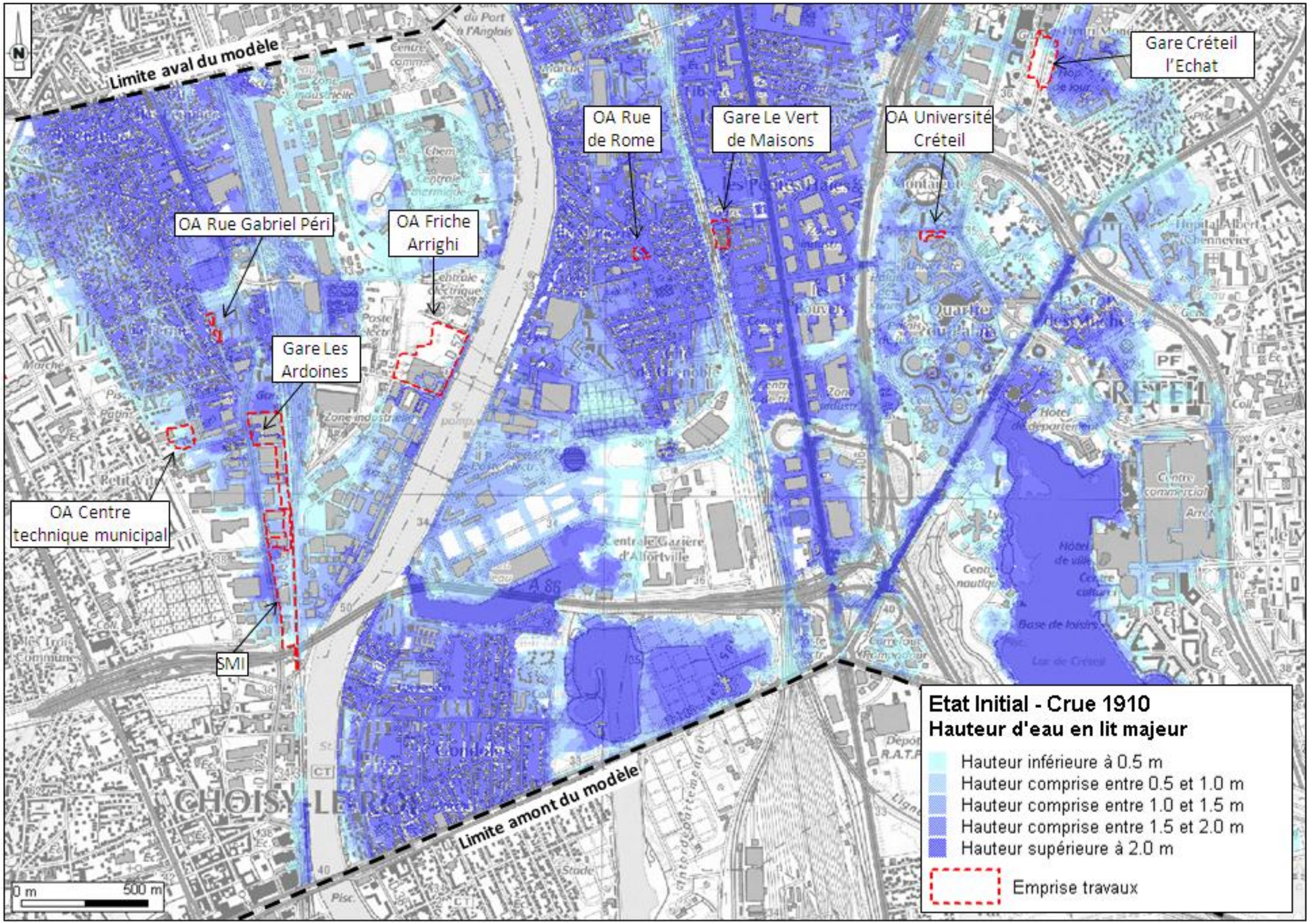
Graphique 14 : Evolution des vitesses d'écoulement en lit mineur de l'amont vers l'aval



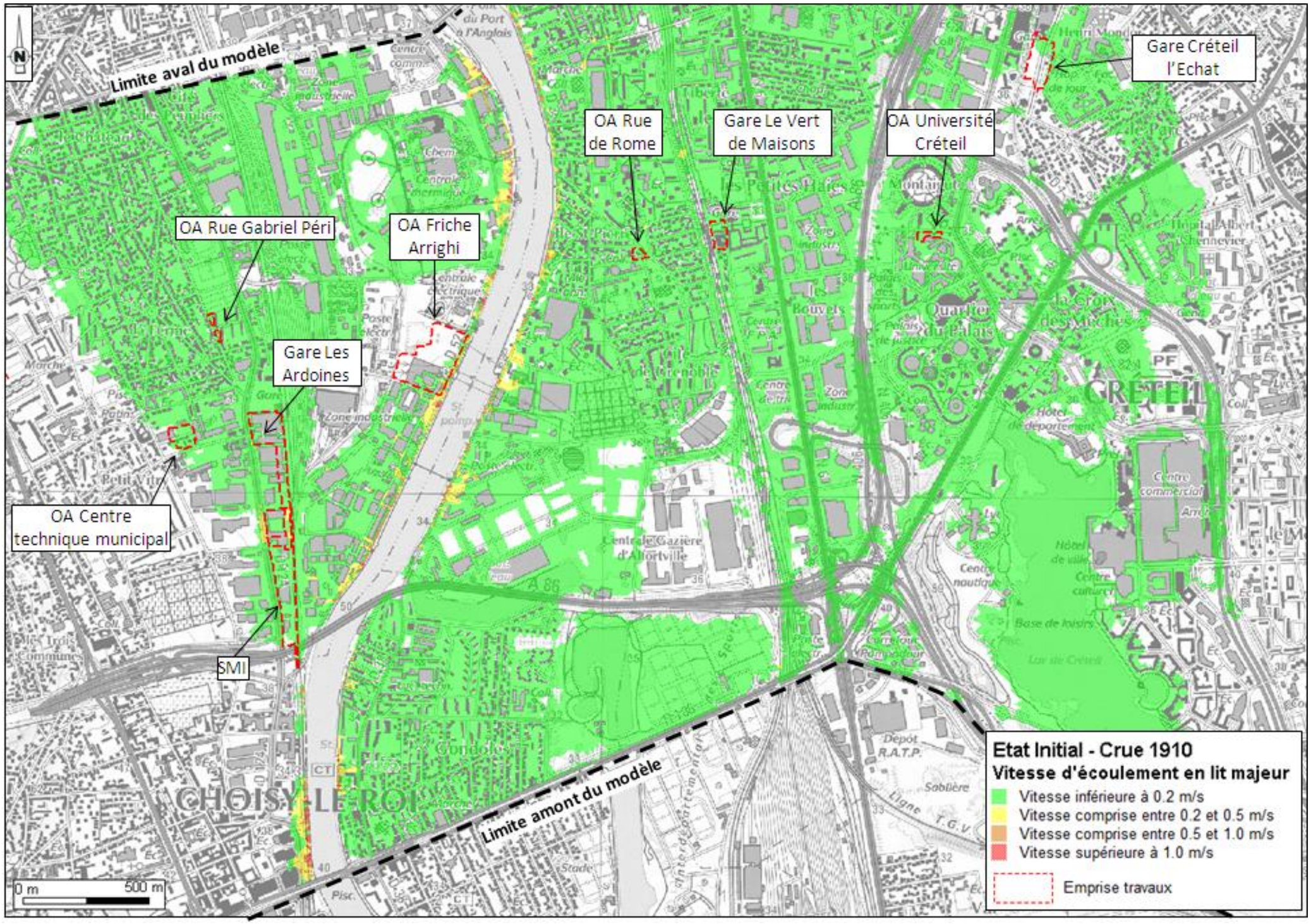
Carte 44 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue 1955



Carte 45 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1955



Carte 46 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue 1910



Carte 47 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910

2.4.2 Phase chantier

2.4.2.1 Définition et modélisation de la phase chantier

La phase chantier correspond à la période durant laquelle les travaux du projet du Grand Paris Express auront lieu. Il s'agit d'une phase temporaire.

L'ensemble des puits (puits d'attaque, puits des ouvrages annexes, boîte gare) sera mis hors d'eau afin d'éviter toute entrée d'eau dans le tunnel pour les crues similaires à la crue de 1910.

La modélisation de la phase chantier en lit majeur est réalisée en définissant les surfaces non submersibles au cours de la période de chantier (base vie, boite gare et ouvrages annexes) mais également les emprises des centrales à béton et de traitement des boues comme non submersibles. Ces emprises sont donc modélisées en tant que bâtiment insubmersible.

Les différentes phases des chantiers sont modélisées en parallèle : toutes les emprises non submersibles au cours de la durée totale du chantier sont modélisées. Il s'agit d'une hypothèse pessimiste.

a. Ouvrages Annexes

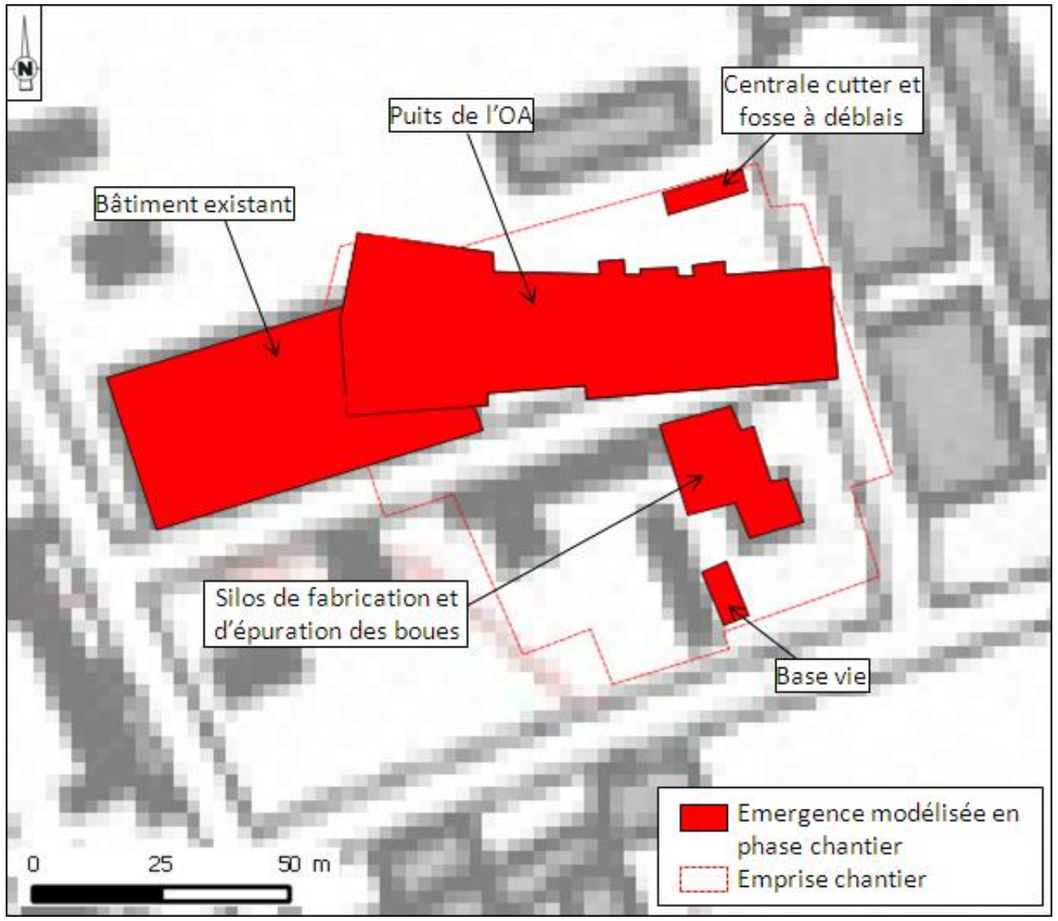
Pendant toute la durée du chantier, les parois des infrastructures sont rehaussées de 20 cm par rapport à la cote de la crue de 1910 afin d'éviter toute entrée d'eau dans le tunnel. La hauteur de cette rehausse, spécifique à la phase travaux, a été fixée dans le cadre de la stratégie inondation de la SGP.

Les modélisations de la phase chantier au droit des ouvrages annexes Centre technique municipal, Rue Gabriel Péri, Rue de Rome et Université Créteil consistent à considérer comme non submersibles les emprises :

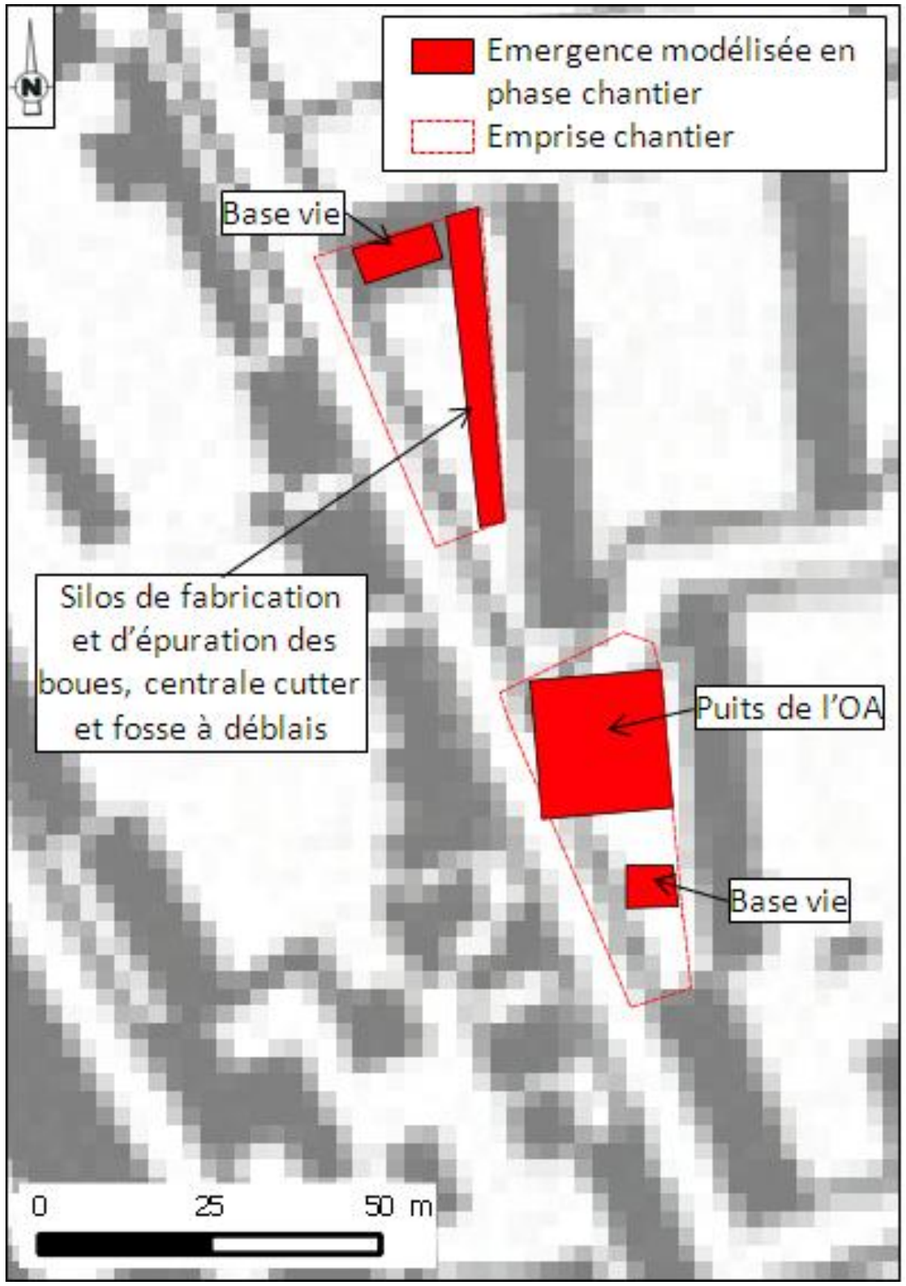
- des bâtiments existants voués à être démolis,
- des puits des ouvrages annexes,
- des bases vie,
- des centrales cutter,
- des fosses à déblais,
- des cuves à fuel,
- des silos de fabrication et d'épuration des boues.

Les déblais et les engins de chantier seront évacués en cas d'alerte de crue. La topographie des emprises chantier est donc identique à la topographie actuelle, mise à part les modifications citées précédemment.

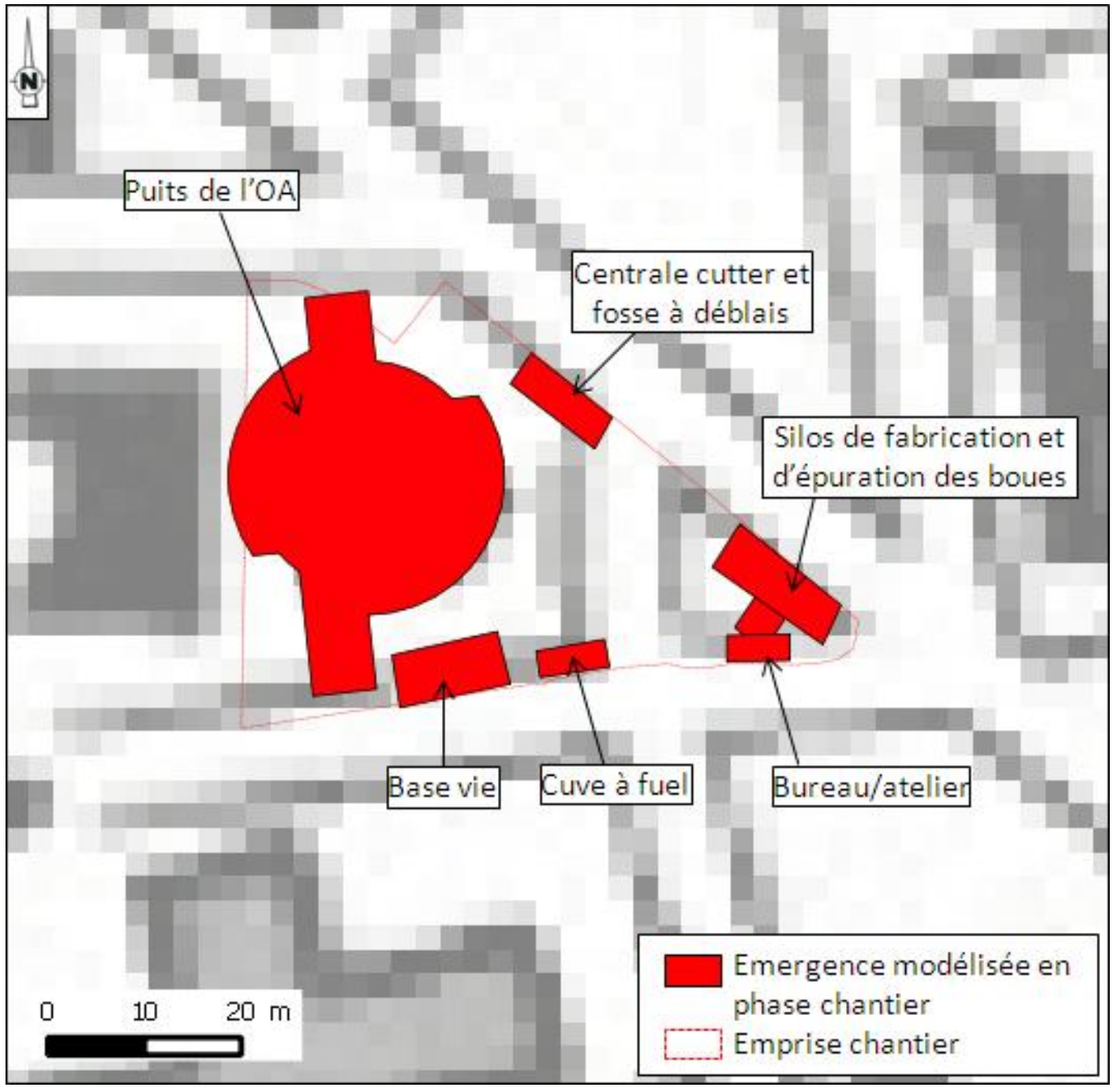
Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées à travers les cartes suivantes, pour chacun des ouvrages annexes (l'OA Friche Arrighi est traité séparément).



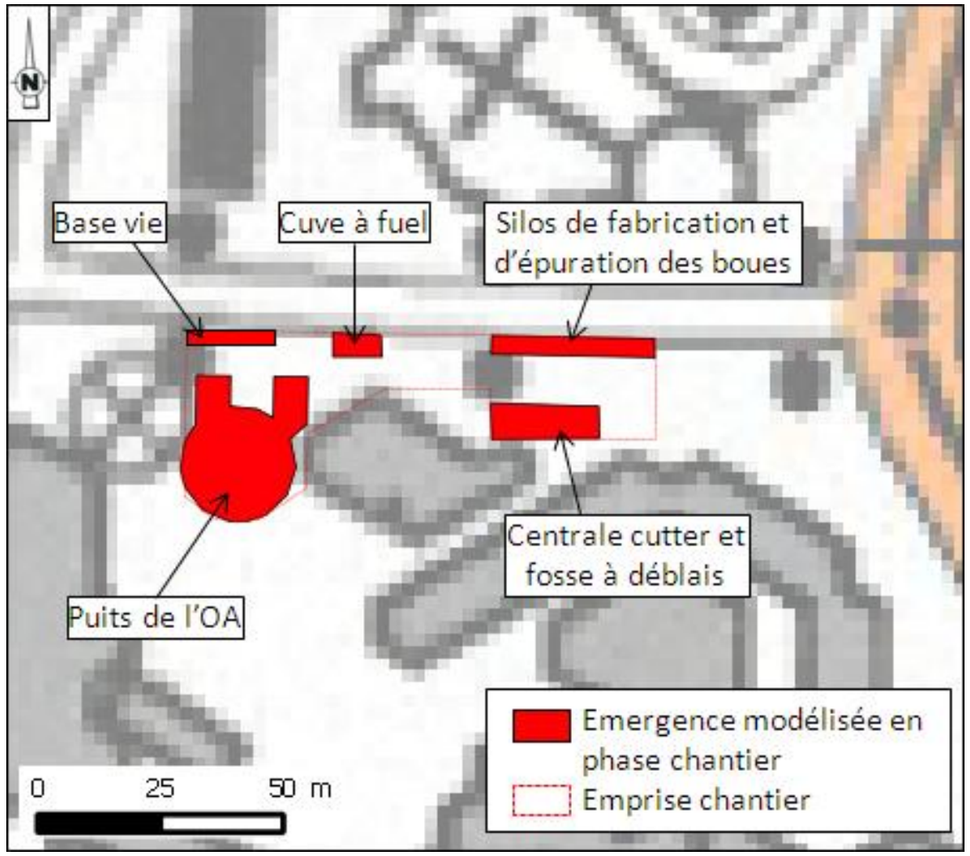
Carte 48 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Centre technique municipal



Carte 49 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Rue Gabriel Péri



Carte 50 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Rue de Rome



Carte 51 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Université Créteil

b. Gare Les Ardoines

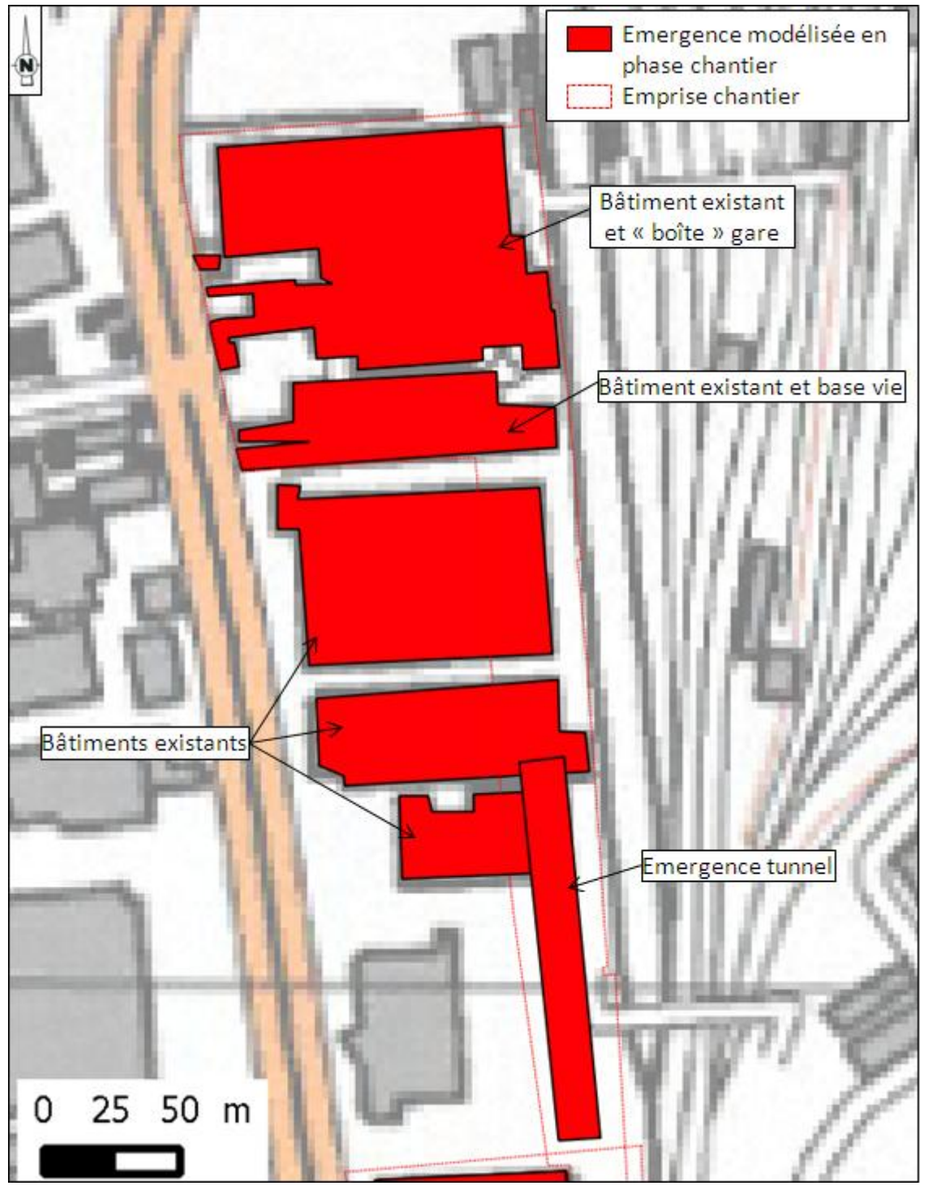
Pendant toute la durée du chantier, les parois des infrastructures sont rehaussées de 20 cm par rapport à la cote de la crue de 1910 afin d'éviter toute entrée d'eau dans le tunnel. La hauteur de cette rehausse, spécifique à la phase travaux, a été fixée dans le cadre de la stratégie inondation de la SGP.

Entre la gare et le SMI, le tunnel émerge au niveau du terrain naturel pour connecter le site de maintenance au réseau de la ligne 15 Sud. Cette émergence est conçue pour être hors d'eau en cas d'inondation par une crue de type 1910 (paroi rehaussée de 20 cm par rapport à la cote de 1910). Cette émergence est considérée comme non submersible dans la modélisation de la phase chantier.

La modélisation de la phase chantier au droit de la gare Les Ardoines consiste à considérer comme non submersibles les emprises :

- des bâtiments existants voués à être démolis,
- de la « boîte » gare,
- de la base vie,
- l'émergence du tunnel.

Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées à travers la carte suivante.



Carte 52 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de la gare Les Ardoines

c. SMI de Vitry-sur-Seine

Deux états projet sont actuellement envisagés pour le Site de Maintenance des Infrastructures (SMI) de Vitry-sur-Seine.

Les aménagements prévus pour l'état projet 1 sont :

- une plate-forme de circulation ferroviaire et routière et de stockage, occupée seulement par quelques locaux en dur (cote 34,68 NGF),
- le bâtiment du SMI (rez-de-chaussée à la cote 35,83 NGF),
- le hall de maintenance VMI (rez-de-chaussée à la cote 34,68 NGF),
- le quai de chargement (cote 35.83 NGF).

L'état projet 2 est une variante de l'état projet 1. La seule différence consiste à placer la plate-forme de circulation ferroviaire à la cote 34,34 NGF (la plate-forme de circulation routière et de stockage étant maintenue à la cote 34.68 NGF).

Le cas le plus pénalisant vis-à-vis des inondations est le projet n°1 (nivellement de la plateforme de circulation ferroviaire à 34,68 m NGF). Ce projet a été utilisé pour la modélisation de la phase travaux.

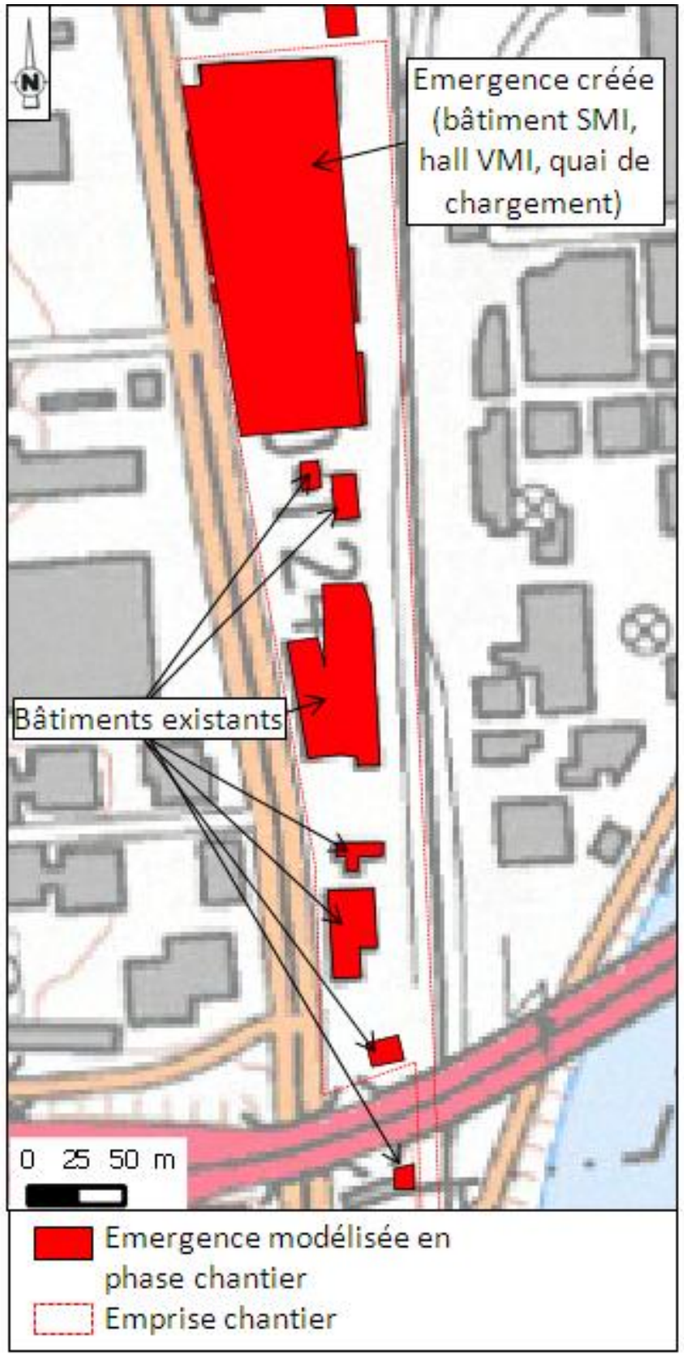
Durant la phase chantier, les bâtiments existant sur le site seront démolis. Cependant, ceux-ci sont pris en compte dans la modélisation pour se placer dans le cas le plus défavorable de la phase chantier.

Ainsi, la modélisation de la phase chantier au droit du SMI consiste à considérer comme non submersibles les emprises :

- des bâtiments existants voués à être démolis,
- du bâtiment SMI,
- du hall de maintenance VMI,
- du quai de chargement.

Le reste du site est considéré nivelé à la cote 34,68 m NGF.

Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées à travers la carte suivante.



Carte 53 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit du SMI

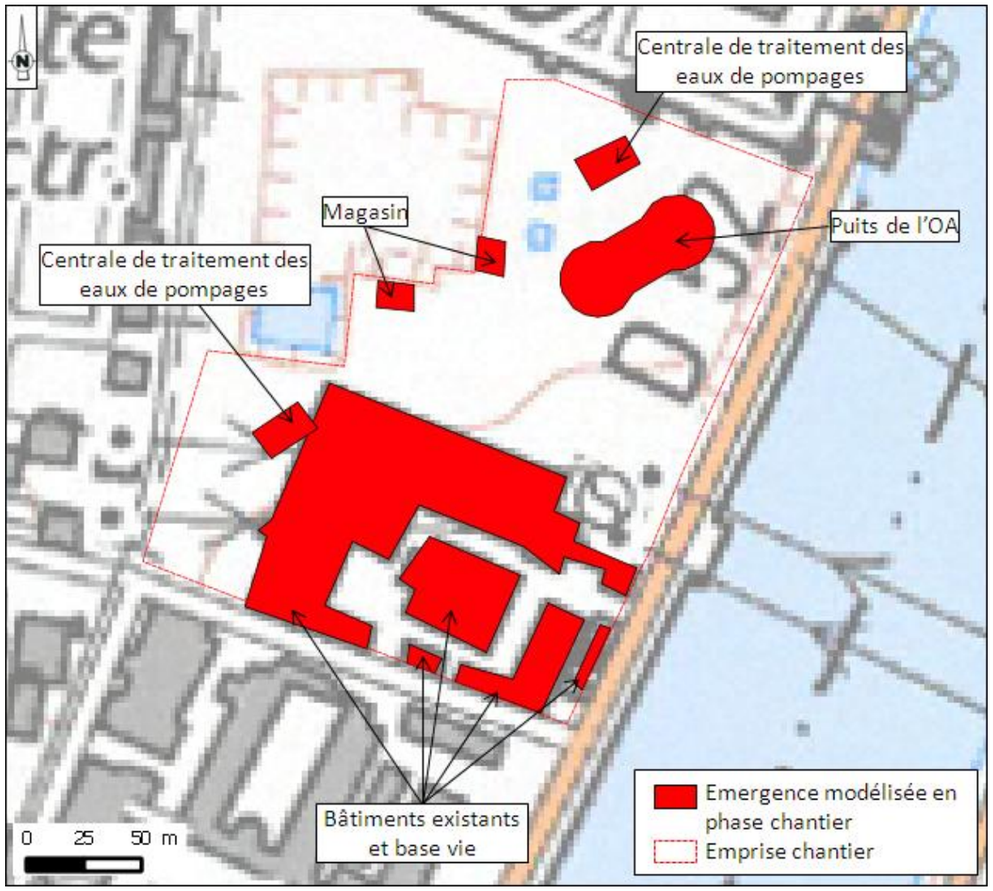
d.OA Friche Arrighi

La modélisation de la phase chantier au droit de l'OA Friche Arrighi consiste à considérer comme non submersibles les emprises :

- des bâtiments existants voués à être démolis,
- du puits de l'ouvrage annexe,
- de la base vie,
- des centrales de traitement des eaux de pompages,
- des magasins.

Les déblais et les engins de chantier seront évacués en cas d'alerte à la crue. La topographie des emprises chantier est donc identique à la topographie actuelle, mise à part les modifications citées précédemment.

Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées sur la carte suivante.



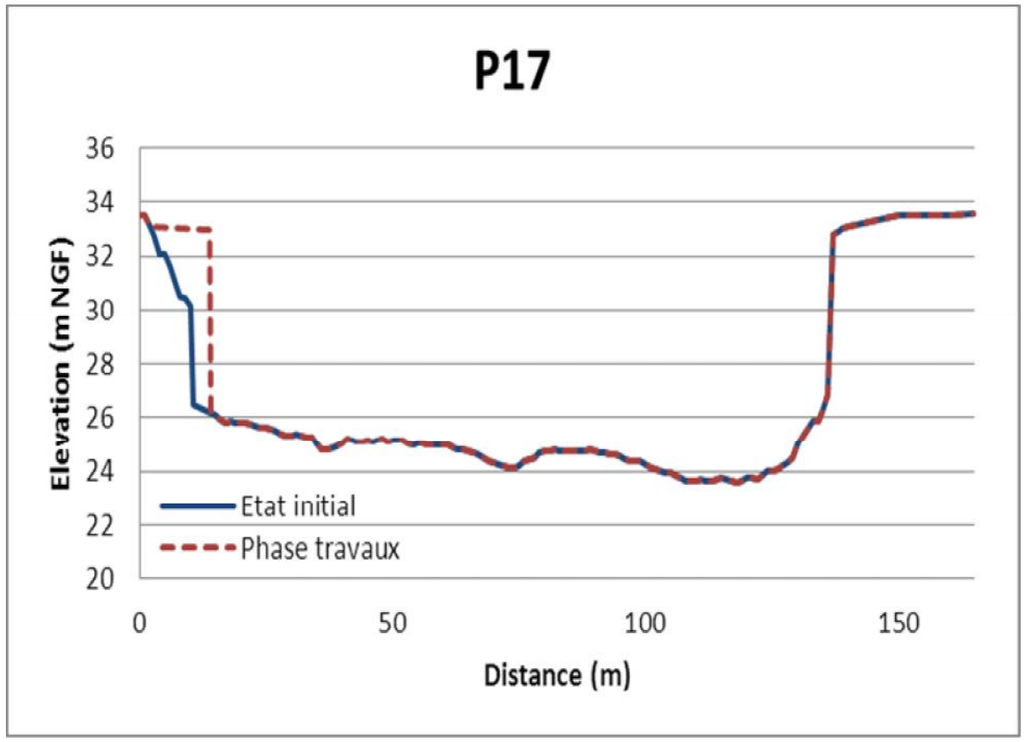
Carte 54 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Friche Arrighi

Au droit de la Friche Arrighi, il est prévu d'évacuer les déblais par la Seine. L'accostage des barges peut nécessiter de changer les ducs d'Albe déjà en place si ceux-ci sont en mauvais état.

Les espaces libres entre les Ducs d'Albe de remplacement au droit de la Friche Arrighi étant estimés à moins de 5 m (d'après les plans masse disponibles), ceux-ci sont considérés comme complétement obstrués. L'implantation de nouveaux Ducs d'Albe est donc modélisée par un remblai en lit mineur (hypothèse pessimiste). En effet, conformément à la doctrine DRIEE « Aménagement impactant le libre écoulement des eaux », la distance entre les ducs d'Albe et la berge étant de l'ordre de 5 m, l'espace libre doit être considéré comme complètement obstrué (prise en compte d'éventuels embâcles).

Les infrastructures de chantier dans le lit mineur de la Seine (Ducs d'Albe) sont modélisées par un reprofilage des profils en travers au droit du secteur concerné sur un linéaire d'environ 250 m (du profil P15 à P19).

Le graphique ci-après illustre un exemple des reprofilages mis en œuvre pour la modélisation de la phase chantier.

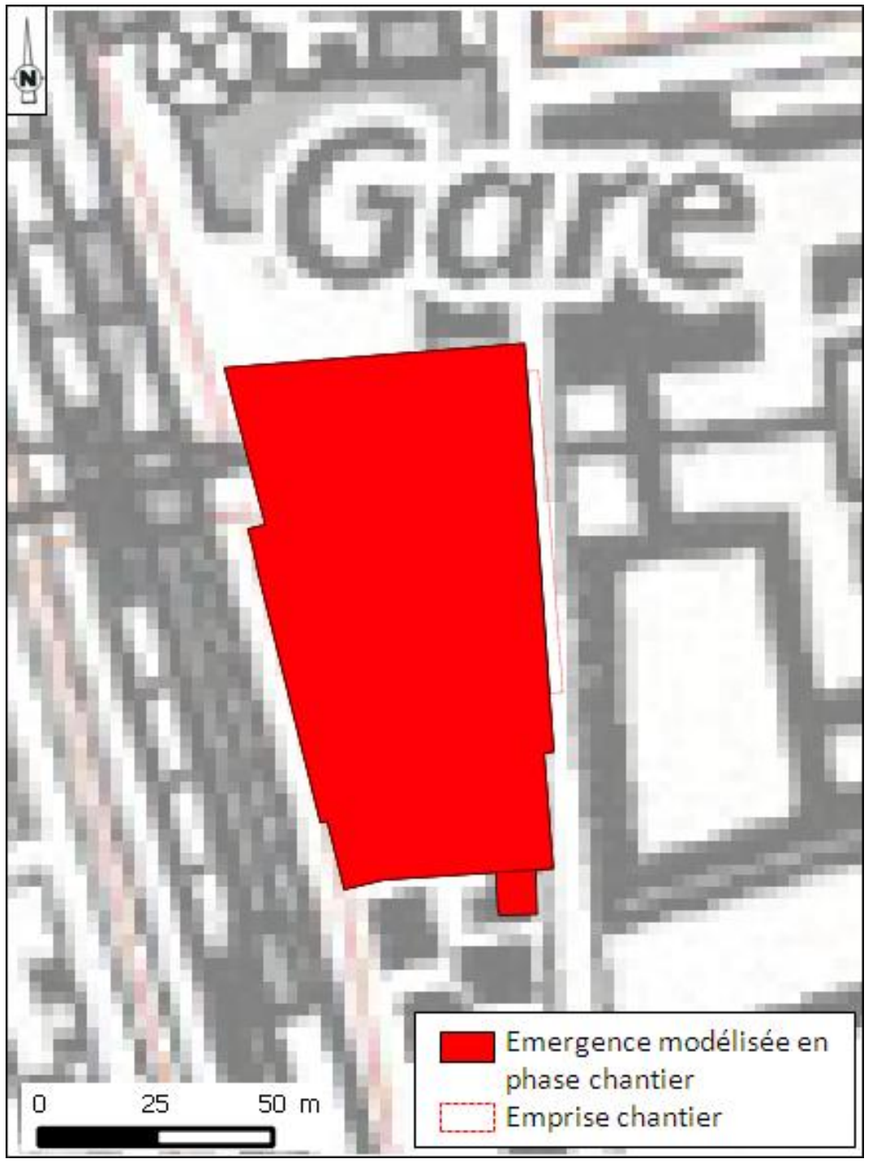


Graphique 15 : Exemple de prise en compte de la phase travaux en lit mineur – Profil P17

e. Gare Le Vert-de-Maisons

La totalité de l'emprise chantier est considéré comme insubmersible en phase travaux. Il s'agit d'une hypothèse pessimiste : les impacts réels en phase travaux seront inférieurs à ceux modélisés.

L'emprise ainsi considérée comme non submersible est présentée sur la carte suivante.



Carte 55 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de la gare Le Vert-de-Maisons

f. Gare Créteil l'Echat

La modélisation de la phase chantier au droit de la gare de Créteil l'Echat consiste à considérer comme non submersibles les emprises :

- des bâtiments existants voués à être démolis,
- de la « boîte » gare,
- de la base vie,
- de la centrale cutter,
- de la fosse à déblais,
- les silos de fabrication et d'épuration des boues.

Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées à travers la carte suivante.



Carte 56 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de la gare Créteil l'Echat

2.4.2.2 Incidences hydrauliques en phase chantier

a. Crue de 1982 (crue décennale)

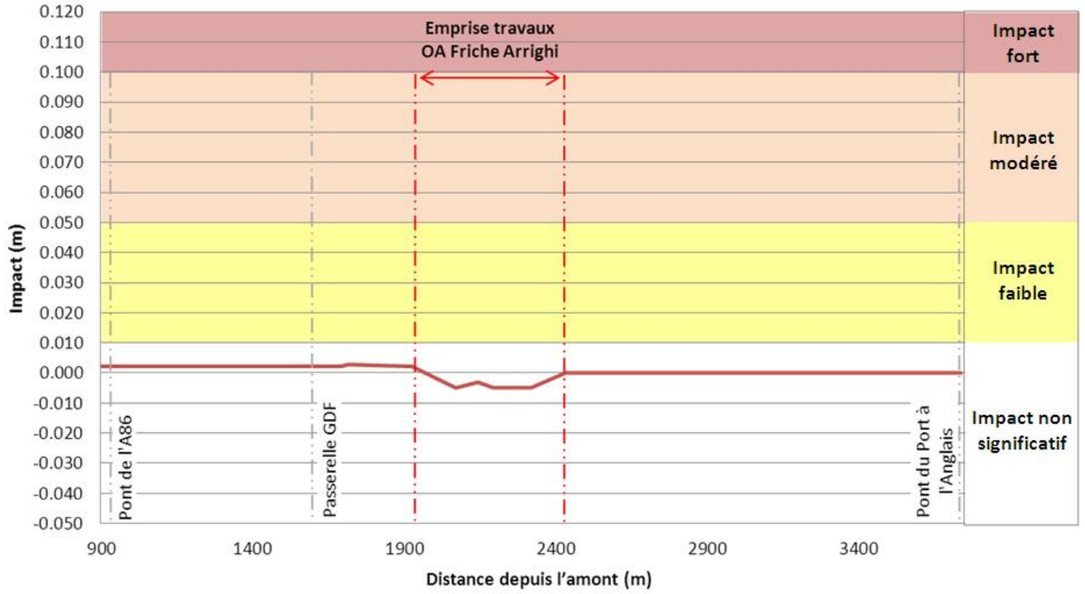
La crue de 1982 étant non débordante, le projet n'a aucun impact en lit majeur. Les seuls impacts potentiels sont donc situés en lit mineur.

Lors de la phase chantier, le projet a un impact non significatif sur les niveaux d'eau pour la crue de 1982 (variation du niveau de +/- 0.5 cm).

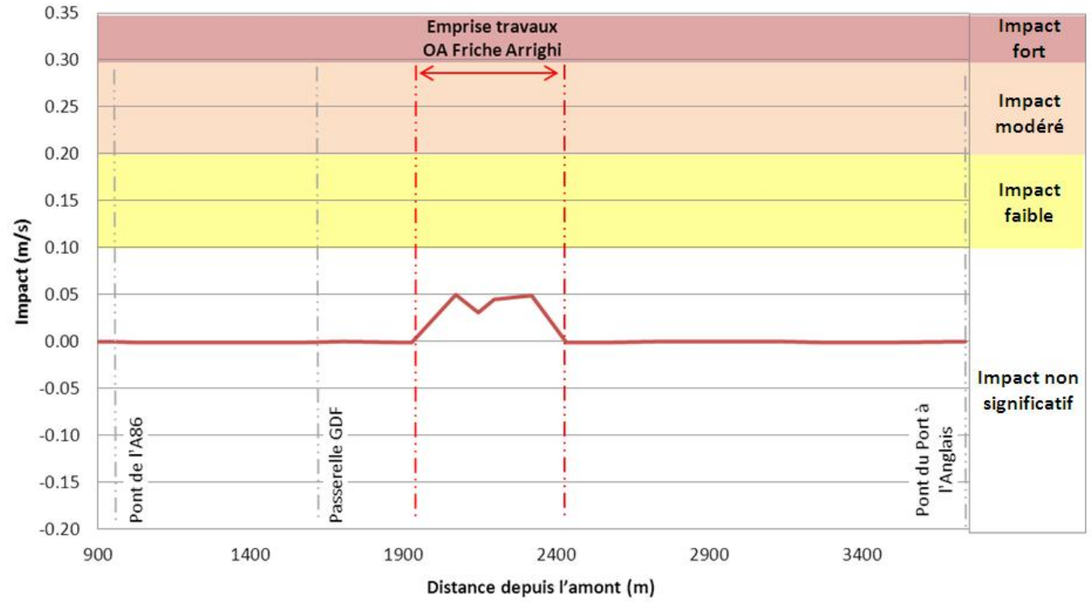
Lors de la phase chantier, le projet a un impact non significatif sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1982 (incidence de l'ordre de 0.05 m/s).

La phase travaux présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau (impact inférieur à 1 cm) et les vitesses d'écoulement en lit mineur (impact inférieur à 0.1 m/s) pour la crue de 1982. Aucune incidence n'est observée en lit majeur (crue non débordante).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase chantier) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les profils en long ci-après.



Graphique 16 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1982



Graphique 17 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1982

b. Crue de 1955 (crue trentennale)

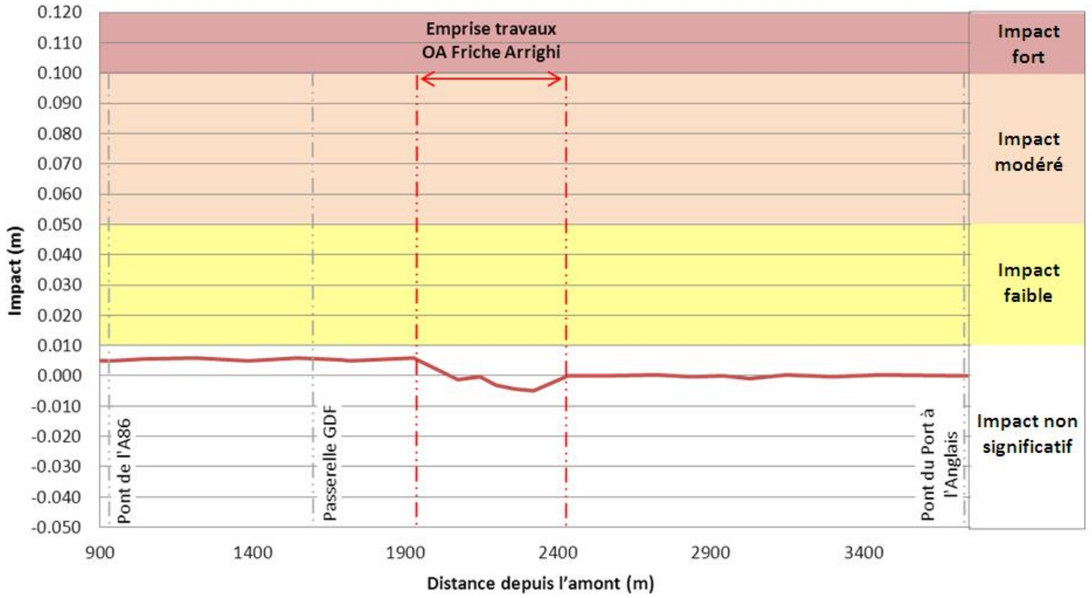
La crue de 1955 étant non débordante au droit des ouvrages, le projet n'a aucun impact en lit majeur. Les seuls impacts potentiels sont donc situés en lit mineur.

Lors de la phase chantier, le projet a un impact non significatif sur les niveaux d'eau pour la crue de 1955 (variation du niveau de +/- 0.5 cm).

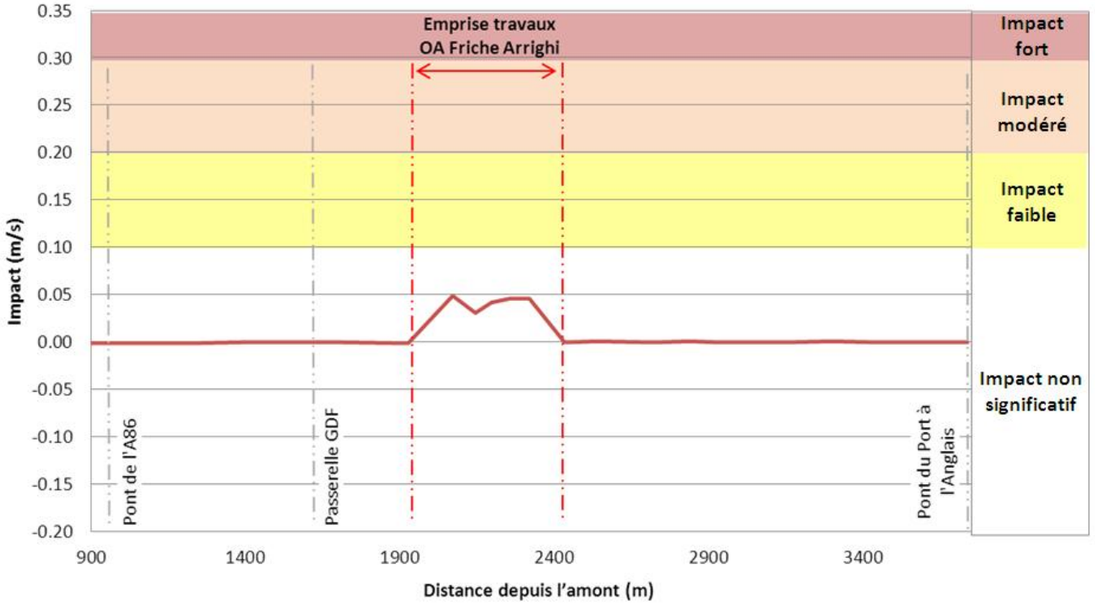
Lors de la phase chantier, le projet a un impact non significatif sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1955 (incidence de l'ordre de 0.05 m/s).

La phase travaux présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau (impact inférieur à 1 cm) et les vitesses d'écoulement en lit mineur (incidence inférieure à 0.1 m/s) pour la crue de 1955. Aucune incidence n'est observée en lit majeur (crue non débordante au droit des ouvrages).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase chantier) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les profils en long ci-après.



Graphique 18 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1955



Graphique 19 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1955

c. Crue de 1910 (crue centennale)

La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI du Val de Marne. Les niveaux d'eau et les vitesses de cette crue débordante peuvent être impactés par l'OA Centre technique municipal, l'OA Rue Gabriel Péri, la gare Les Ardoines, le SMI, l'OA Friche Arrighi, l'OA Rue de Rome, la gare Le Vert-de-Maisons, l'OA Université Créteil et la gare Créteil l'Echat. Seuls ces ouvrages sont situés dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1910 sont :

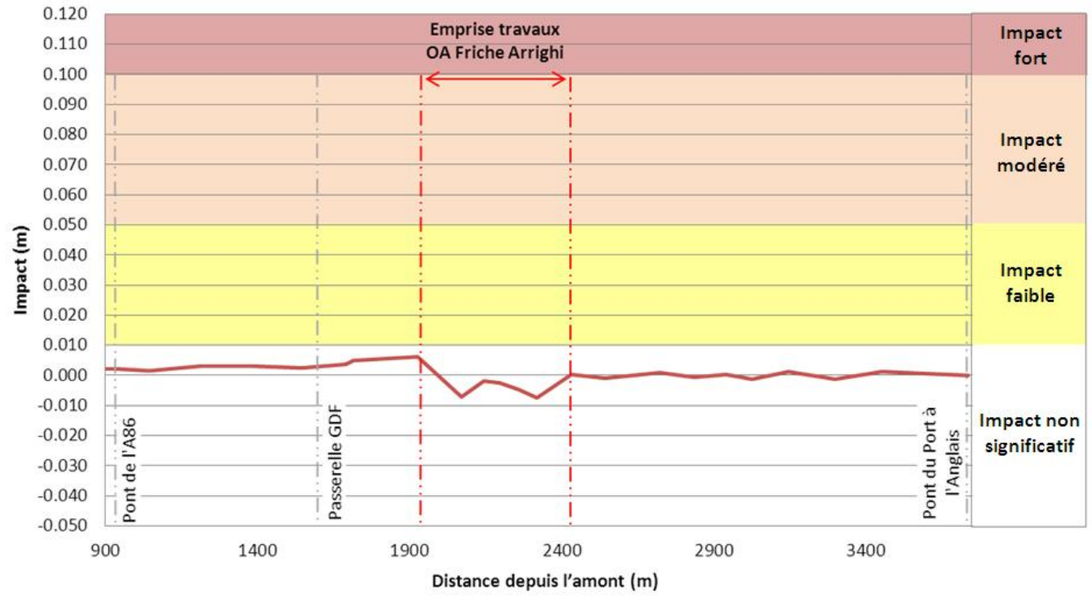
- un léger rehaussement de la ligne d'eau (inférieur à 1 cm) en amont de l'OA Friche Arrighi (en lit mineur et majeur), correspondant à un impact non significatif,
- un abaissement de la ligne d'eau (de l'ordre du centimètre) au droit de l'OA Friche Arrighi en lit mineur,
- un rehaussement local des niveaux d'eau d'environ 2,5 cm au droit du futur SMI correspondant à un impact faible.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1910 sont :

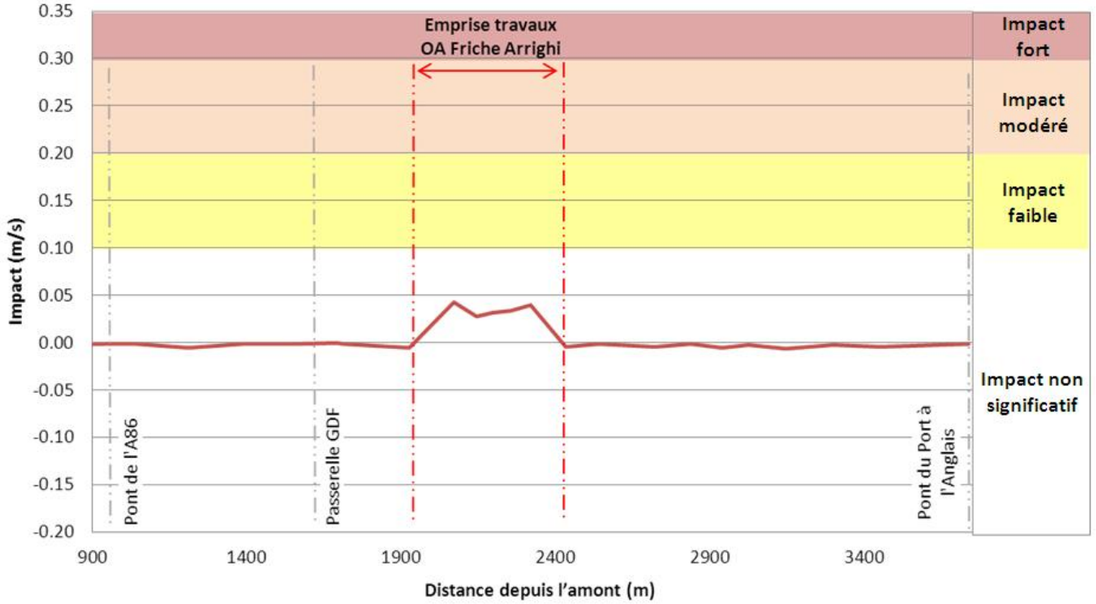
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (jusqu'à 0,04 m/s) au droit de l'OA Friche Arrighi, correspondant à un impact non significatif,
- une augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,08 m/s) à proximité immédiate du SMI correspondant à un impact faible.

La phase travaux présente donc un impact faible et local (au droit du futur SMI) sur les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement en lit majeur pour la crue de 1910. Un impact non significatif est observé en lit mineur et au droit des autres ouvrages présents sur le secteur modélisé.

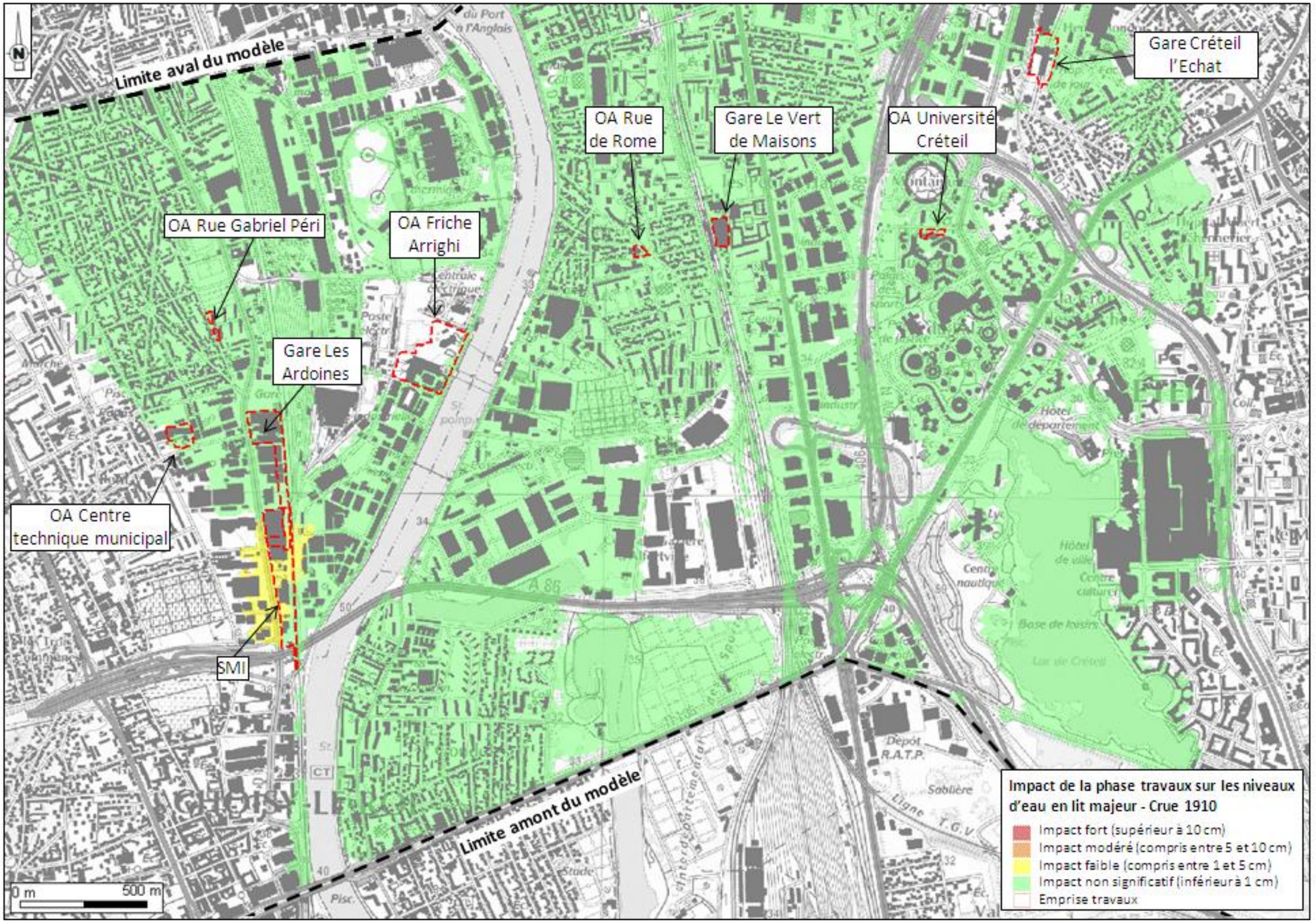
Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase chantier) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



Graphique 20 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1910



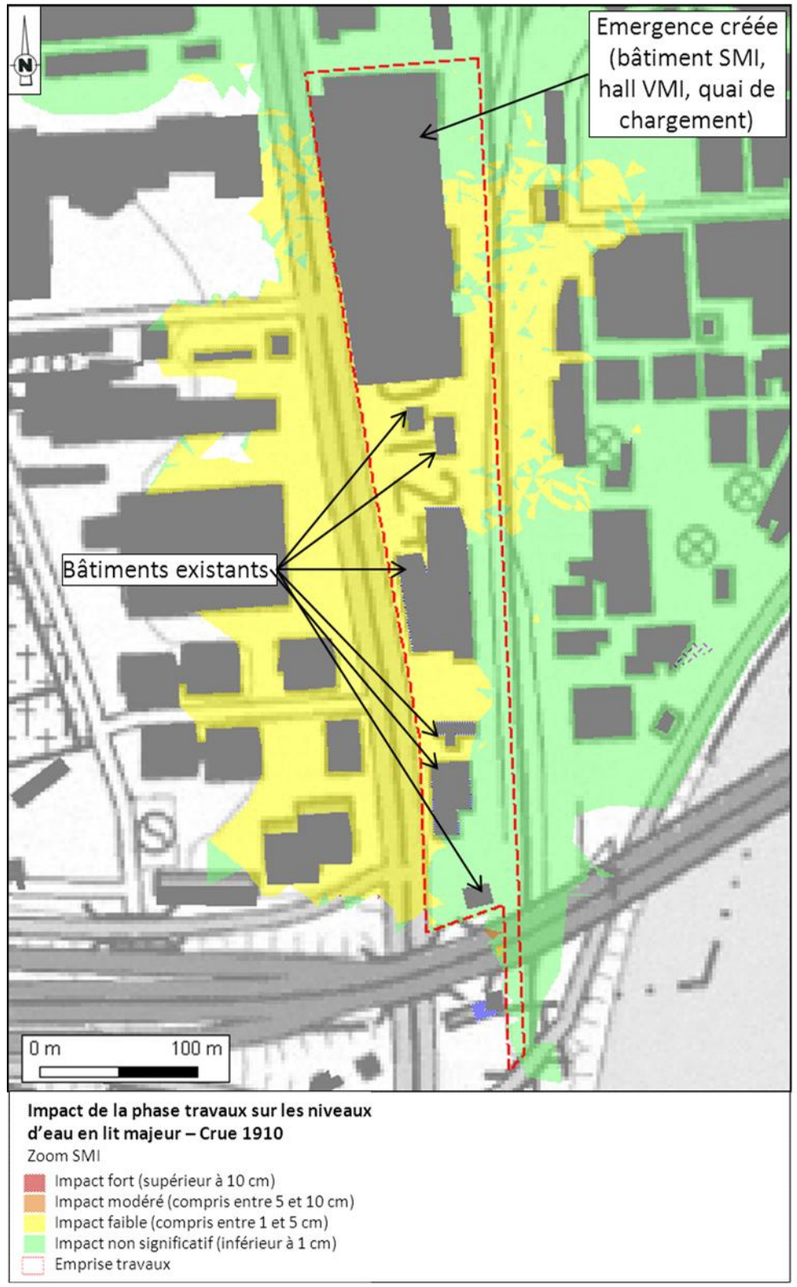
Graphique 21 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1910



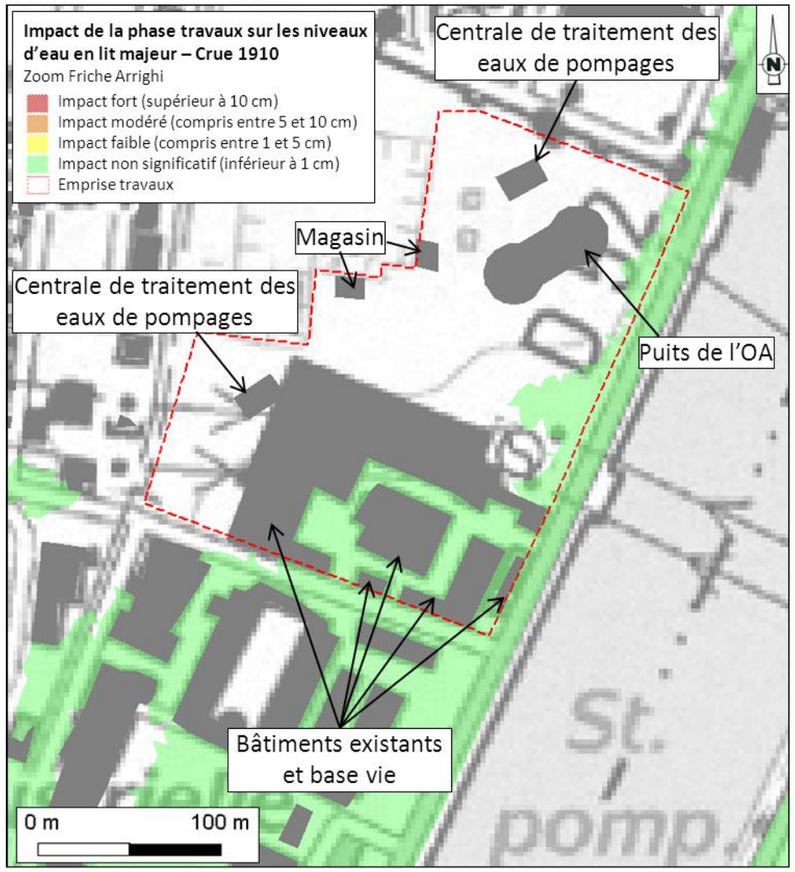
Carte 57 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910



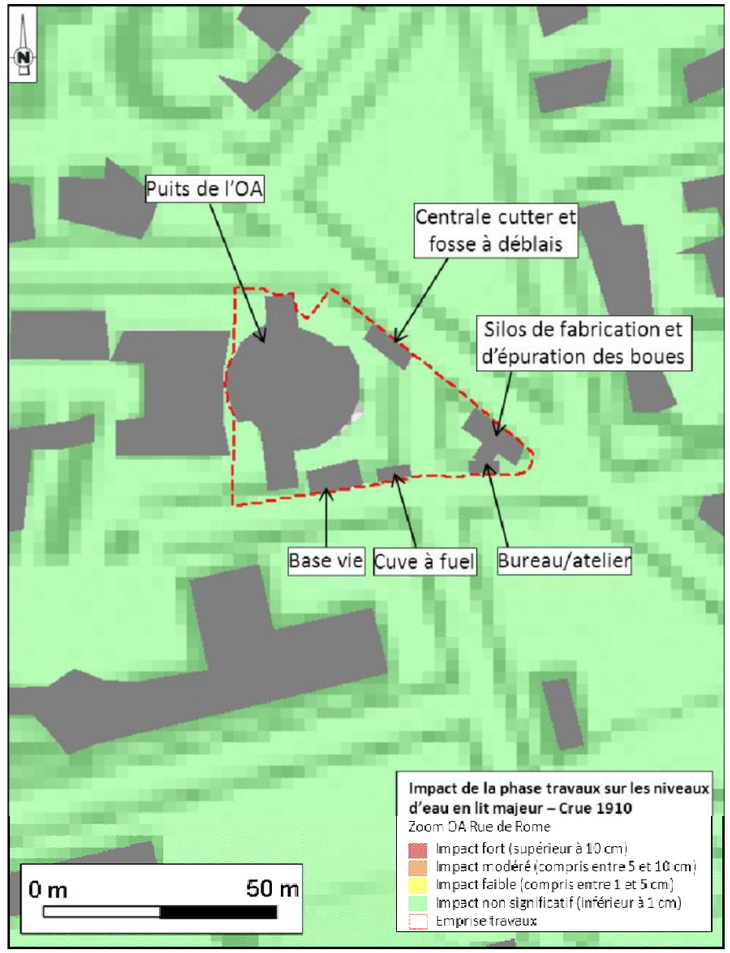
Carte 58 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Secteur des Ardoines



Carte 24 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom SMI



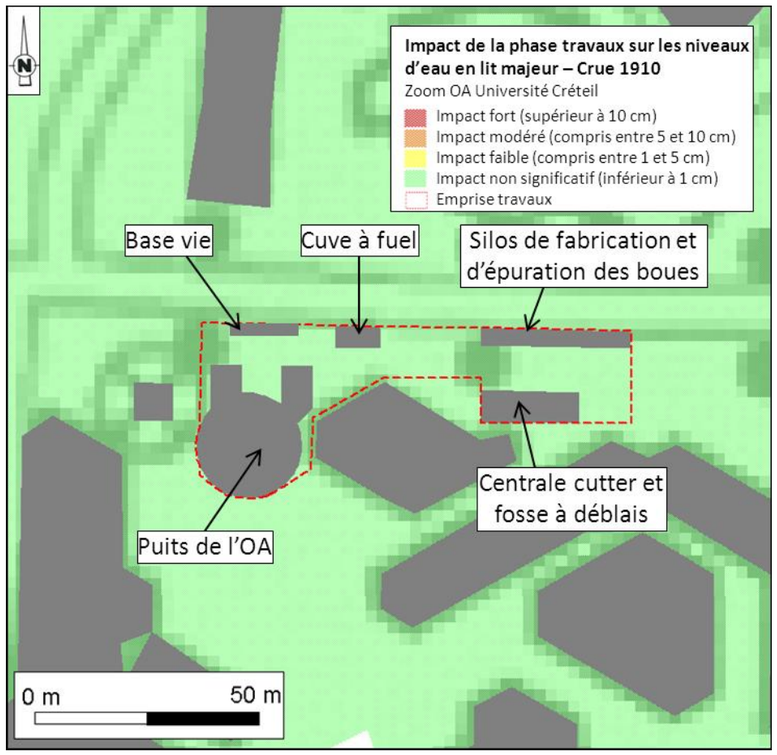
Carte 25 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Friche Arrighi



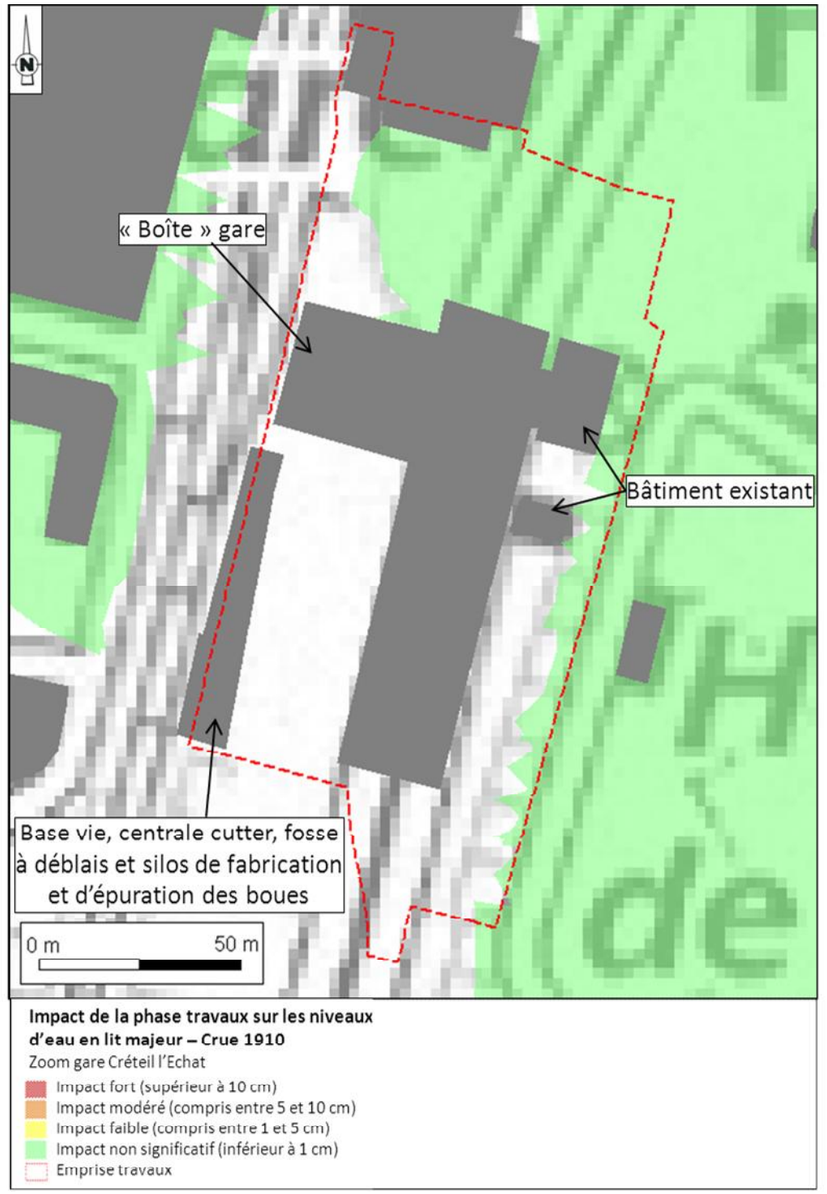
Carte 26 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Rue de Rome



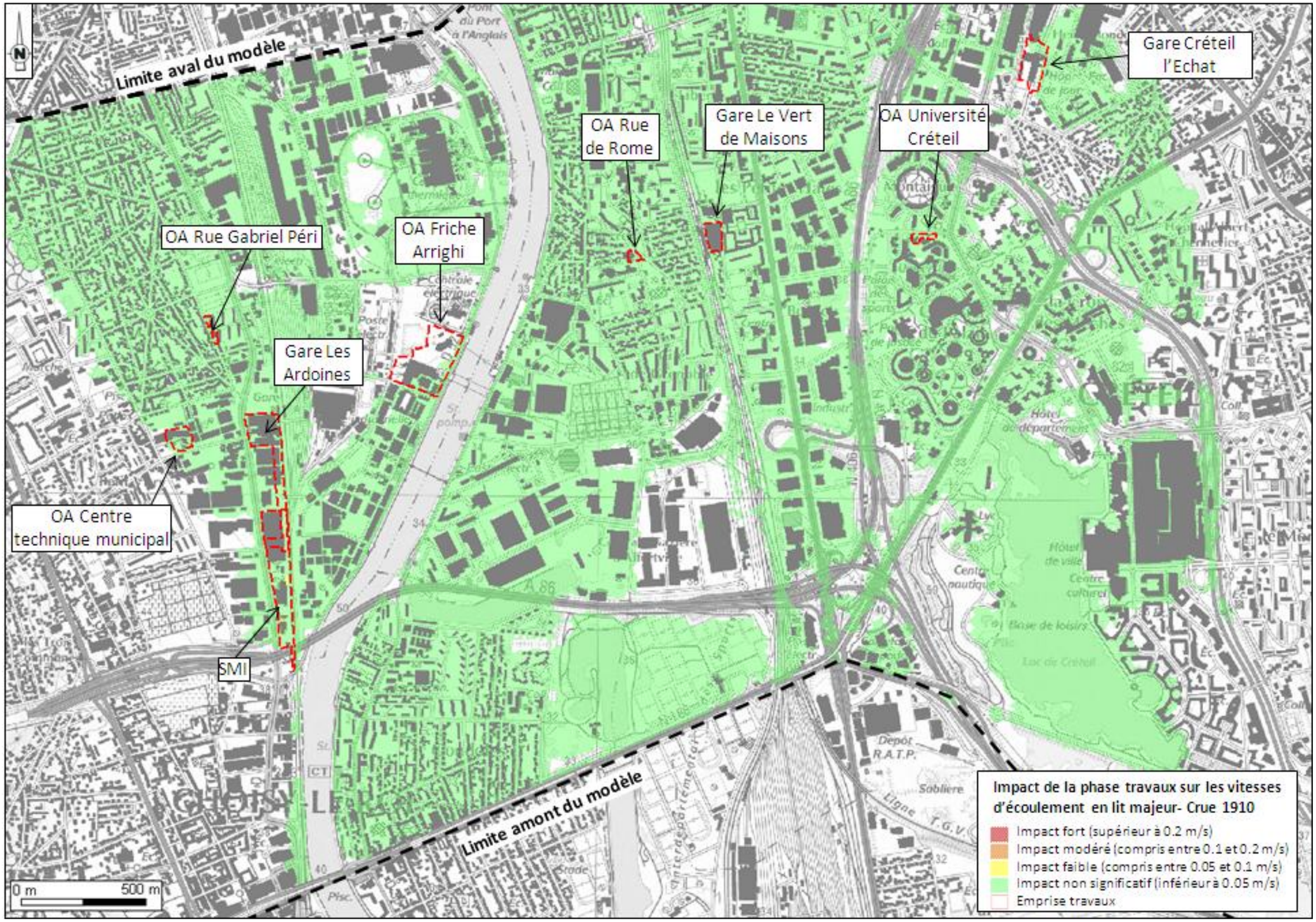
Carte 27 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom



Carte 28 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom



Carte 29 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom



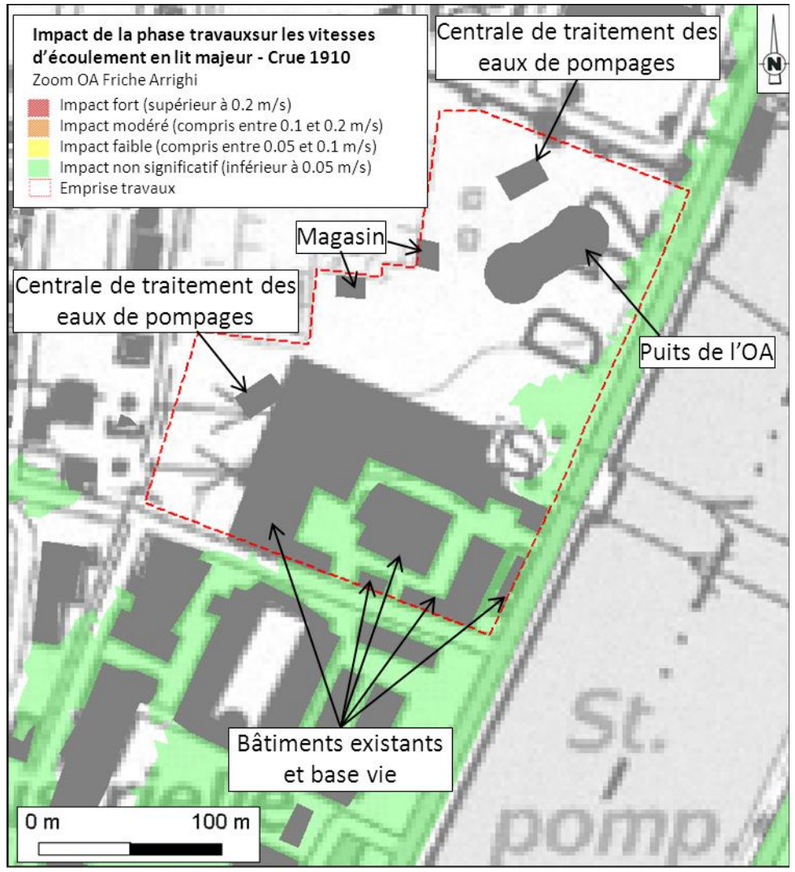
Carte 65 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910



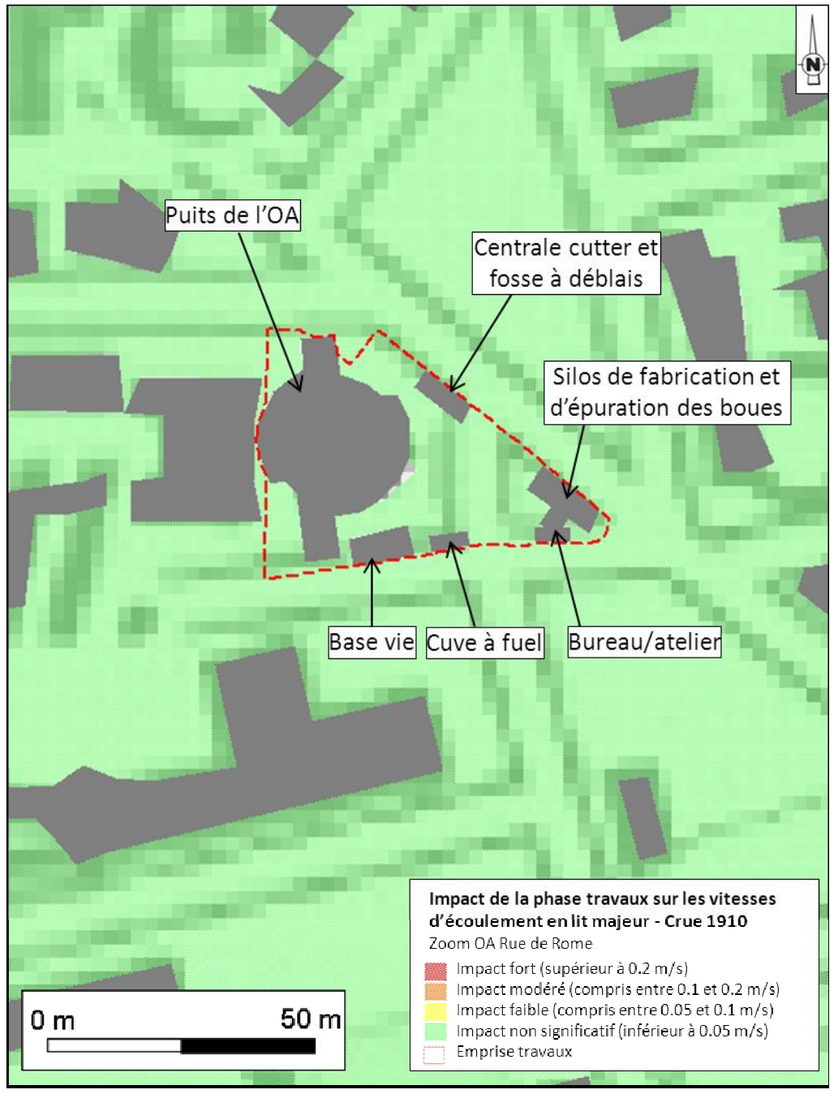
Carte 66 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Secteur des Ardoines



Carte 32 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom SMI



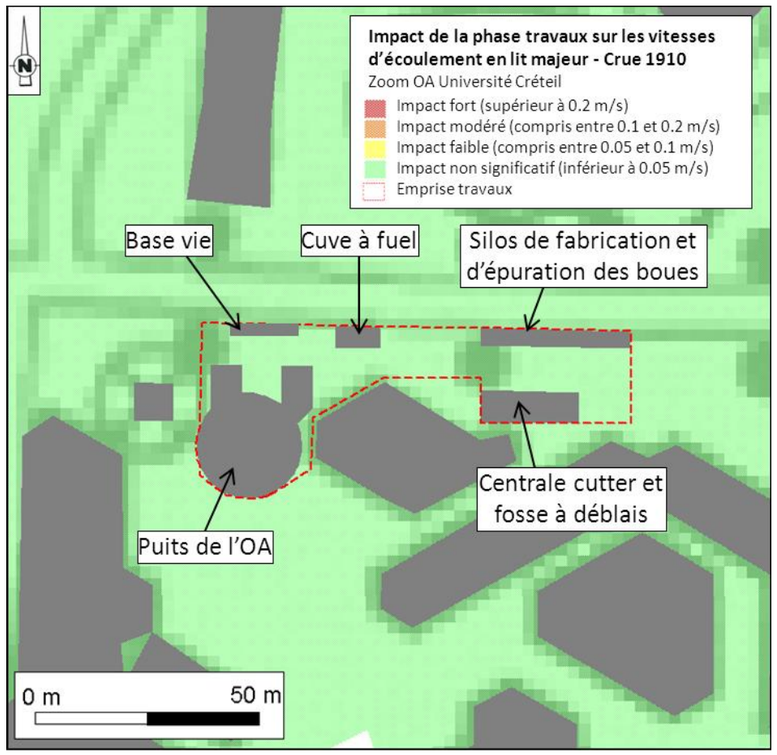
Carte 33 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Friche Arrighi



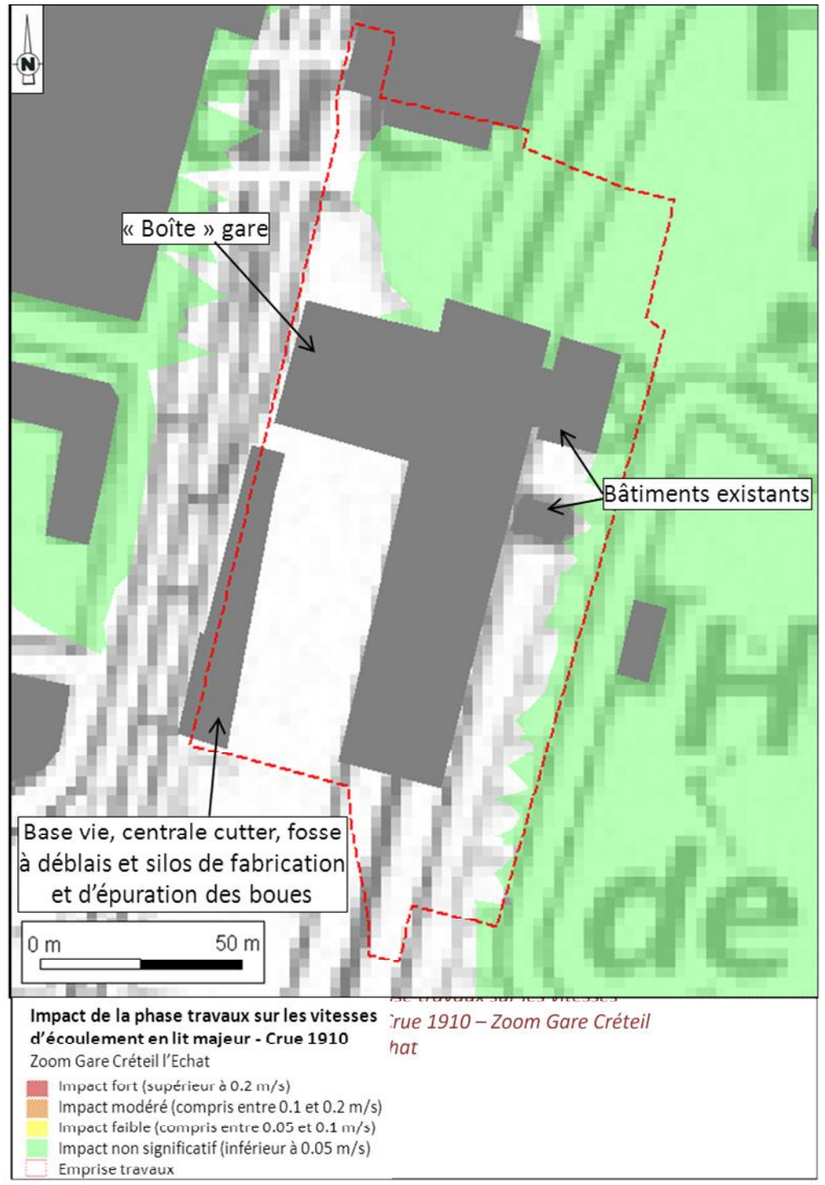
Carte 34 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Rue de Rome



Carte 35 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Le



Carte 36 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Université



Carte 37 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Créteil l'Echat

2.4.3 Phase exploitation

2.4.3.1 Définition et modélisation de la phase exploitation

La phase exploitation correspond à la période durant laquelle le métro de la ligne 15 Sud sera en service. Il s'agit de l'état final du projet.

a. OA Centre technique municipal

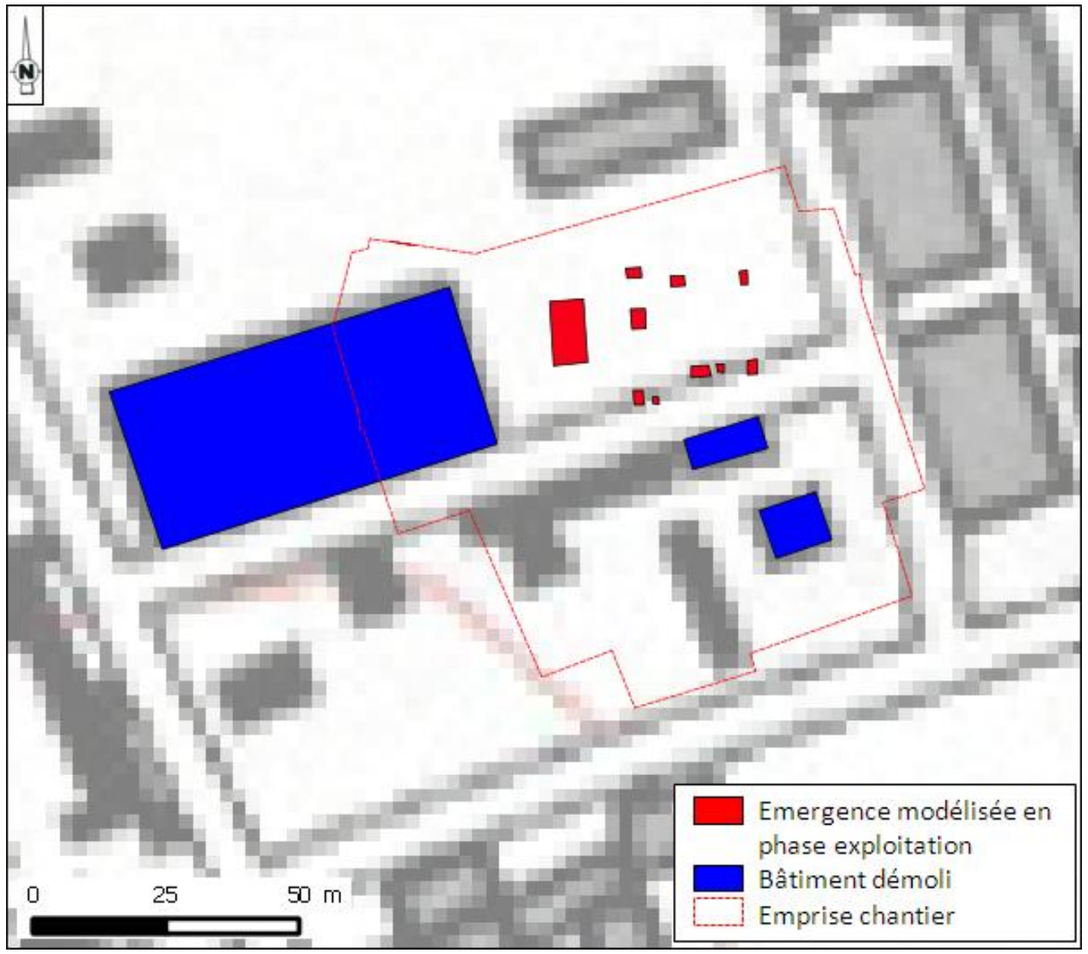
Au niveau de l'OA Centre technique municipal, les principales émergences en phase exploitation sont :

- une grille de désenfumage de 60 m² minimum
- divers grilles de prise et rejet d'air.
- une trappe d'accès secours,
- des trappes de colonne sèche, fourniture de matériel …

Les grilles de ventilation et autres émergences de l'ouvrage se situeront au minimum au niveau PHEC (Plus Hautes Eaux Connues) à 35,49 m NGF dans le secteur.

Les bâtiments démolis lors de la phase chantier ne sont plus modélisés.

Les émergences, ainsi considérées comme non submersibles et les bâtiments qui ne sont plus modélisés, sont présentés sur la carte ci-dessous.



Carte 73 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Centre technique municipal

b. OA Rue Gabriel Péri

En surface, l'ouvrage présente les émergences suivantes :

- une trappe d'accès secours pompiers,
- divers trappes pour trémie matériel, colonne sèche, matériel d'épuisement,
- divers grilles pour la prise et le rejet d'air.

Les grilles de ventilation et autres émergences se situeront au minimum au niveau PHEC (Plus Hautes Eaux Connues) à 35,49 m NGF dans le secteur. Des édicules surélevés de 1,80 m par rapport au TN ont été réalisés pour le placement de prises et rejets d'air, ainsi que pour des trappes, accès…etc.

Les émergences, ainsi considérées comme non submersibles, sont présentées sur la carte ci-après.



Carte 74 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Rue Gabriel Péri

c. Gare Les Ardoines

La gare Les Ardoines est prévue en émergence : un bâtiment sera créé au-dessus de la gare. Ce bâtiment est considéré comme insubmersible dans la modélisation de la phase exploitation.

Des parvis seront créés de part et d'autres de la gare sur l'emprise chantier. Les niveaux altimétriques de ces parvis (38.47 à 39.58 m NGF) sont situés au-dessus de la cote d'inondation de la crue de 1910. Ces parvis sont donc considérés comme insubmersibles.

Des bâtiments situés au sud de la gare vont être démolis durant l'opération. Ceux-ci ne sont plus modélisés en phase exploitation.

Entre la gare et le SMI, le tunnel émerge au niveau du terrain naturel pour connecter le site de maintenance au réseau de la ligne 15 Sud. Cette émergence est conçue pour être hors d'eau en cas d'inondation par une crue de type 1910. Cette émergence est considérée comme insubmersible dans la modélisation de la phase exploitation.

Ainsi, la modélisation de la phase exploitation au droit de la gare Les Ardoines consiste à considérer non submersibles les emprises :

- du bâtiment gare,
- des parvis,
- de l'émergence du tunnel.

L'emprise insubmersible ainsi considérée et les bâtiments démolis sont présentés sur la carte suivante.



Carte 75 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de la gare Les Ardoines

d.SMI de Vitry-sur-Seine

Deux états projet sont actuellement envisagés pour le Site de Maintenance des Infrastructures de Vitry-sur-Seine.

Les aménagements prévus pour l'état projet 1 sont :

- une plate-forme de circulation ferroviaire et routière et de stockage, occupée seulement par quelques locaux en dur (cote 34,68 NGF),
- le bâtiment du SMI (rez-de-chaussée à la cote 35,83 NGF),
- le hall de maintenance VMI (rez-de-chaussée à la cote 34,68 NGF),
- le quai de chargement (cote 35.83 NGF).

L'état projet 2 est une variante de l'état projet 1. La seule différence consiste à placer la plate-forme de circulation ferroviaire à la cote 34,34 NGF (la plate-forme de circulation routière et de stockage étant maintenue à la cote 34.68 NGF.

Le cas le plus pénalisant vis-à-vis des inondations est le projet n°1 (nivellement de la plateforme de circulation ferroviaire à 34,68 m NGF). Ce projet a été utilisé pour la modélisation de la phase travaux.

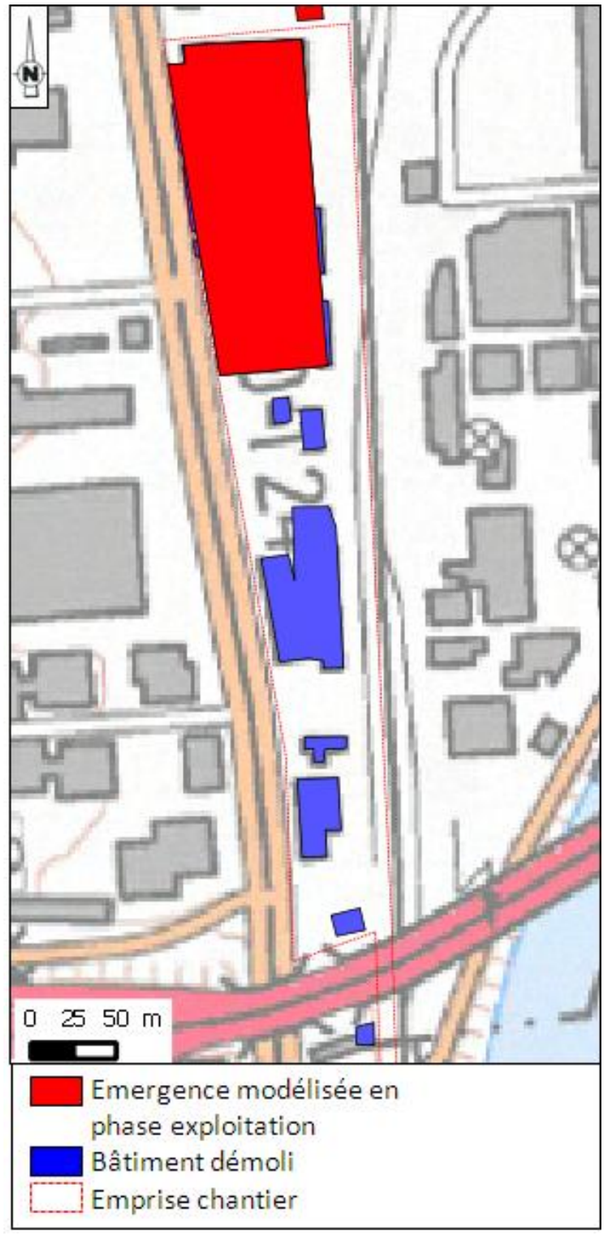
Les bâtiments existant sur le site étant voués à être démolis, ceux-ci ne sont pas pris en compte dans la modélisation.

Ainsi, la modélisation de la phase exploitation au droit du SMI consiste à considérer non submersibles les emprises :

- du bâtiment SMI,
- du hall de maintenance VMI,
- du quai de chargement.

Le reste du site est considéré nivelé à la cote 34,68 m NGF.

Les émergences considérées comme non submersibles et les bâtiments démolis, sont présentés sur la carte ci-après.



Carte 76 : Emprise des zones modélisées en exploitation chantier au droit du SMI

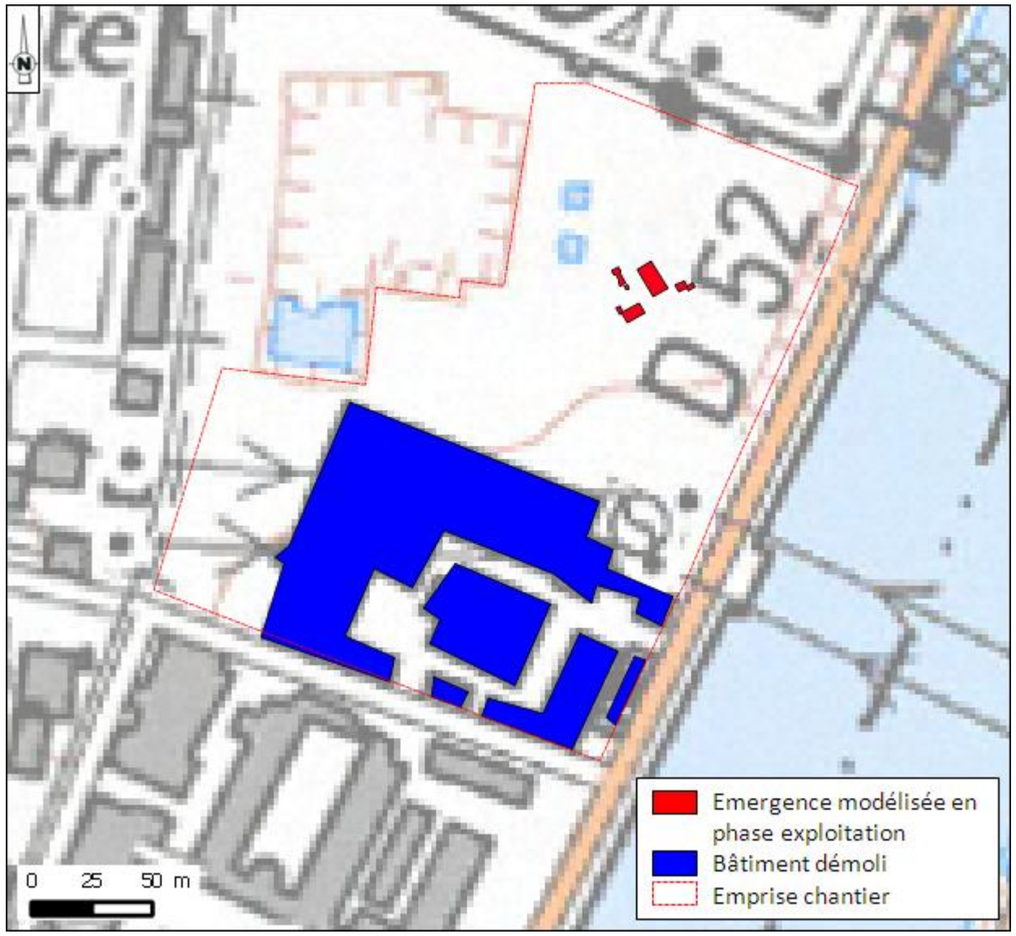
e. OA Friche Arrighi

Le puits d'attaque de la Friche Arrighi est situé hors zone inondable pour la crue de 1910.

Les futures émergences (grilles de désenfumage et de prises d'air, trappes d'accès et matériel, …) ont tout de même été modélisées.

Les bâtiments démolis lors de la phase chantier ne sont plus modélisés.

La carte suivante présente les émergences modélisées et les bâtiments démolis.



Carte 77 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Friche Arrighi

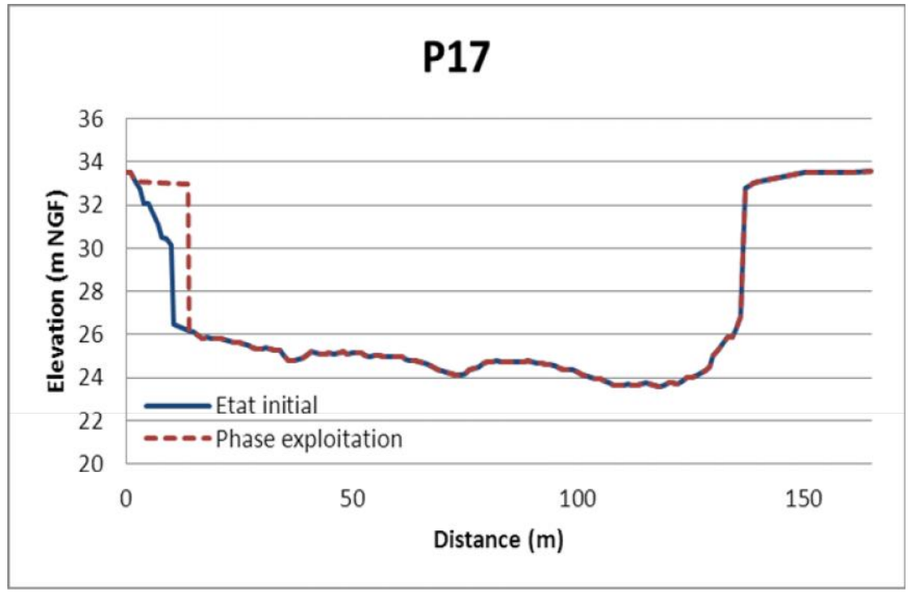
Au droit de la Friche Arrighi, il est prévu d'évacuer les déblais par la Seine. L'accostage des barges peut nécessiter de changer les ducs d'Albe déjà en place dans le cas ou ceux-ci soient en mauvais état.

Les ducs d'Albe étant laissé en place en phase exploitation, leur potentiel remplacement est pris en compte dans la modélisation de la phase définitive.

Les espaces libres entre les Ducs d'Albe de remplacement au droit de la Friche Arrighi étant estimés à moins de 5 m (d'après les plans masse disponibles), ceux-ci sont considérés comme complétement obstrués. L'implantation de nouveaux Ducs d'Albe est donc modélisée par un remblai en lit mineur (hypothèse pessimiste). En effet, conformément à la doctrine DRIEE « Aménagement impactant le libre écoulement des eaux », la distance entre les ducs d'Albe et la berge étant de l'ordre de 5 m, l'espace libre doit être considéré comme complètement obstrué (prise en compte d'éventuels embâcles).

Les infrastructures d'exploitation dans le lit mineur de la Seine (Ducs d'Albe) sont modélisées par un reprofilage des profils en travers au droit du secteur concerné sur un linéaire d'environ 250 m (du profil P15 à P19).

Le graphique ci-après illustre un exemple des reprofilages mis en œuvre pour la modélisation de la phase chantier.



Graphique 22 : Exemple de prise en compte de la phase exploitation en lit mineur – Profil P17

f. OA Rue de Rome

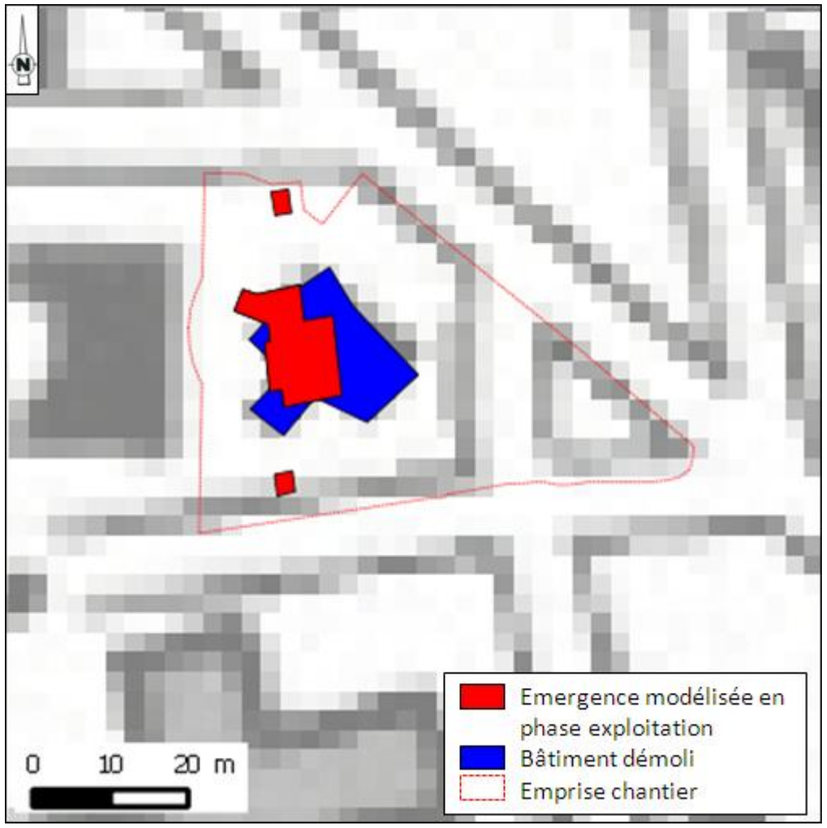
En surface, l'ouvrage présente les émergences suivantes :

- une grille de désenfumage,
- une trappe d'accès secours pompiers,
- divers trappes pour trémie matériel, colonne sèche, matériel d'épuisement,
- divers grilles pour la prise et le rejet d'air.

Les grilles de ventilation et autres émergences se situeront à environ 40 cm au dessus les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues) de 35,49 m NGF dans le secteur. Ainsi, des édicules surélevés de 4,20 m par rapport au terrain naturel (31,69 m NGF) ont été réalisés pour le placement de prises et rejets d'air, ainsi que pour des trappes, accès…etc.

Le bâtiment démoli lors de la phase chantier n'est plus modélisé.

Les émergences, ainsi considérées comme non submersibles et le bâtiment qui n'est plus modélisé, sont présentés sur la carte ci-après.



Carte 78 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Rue de Rome

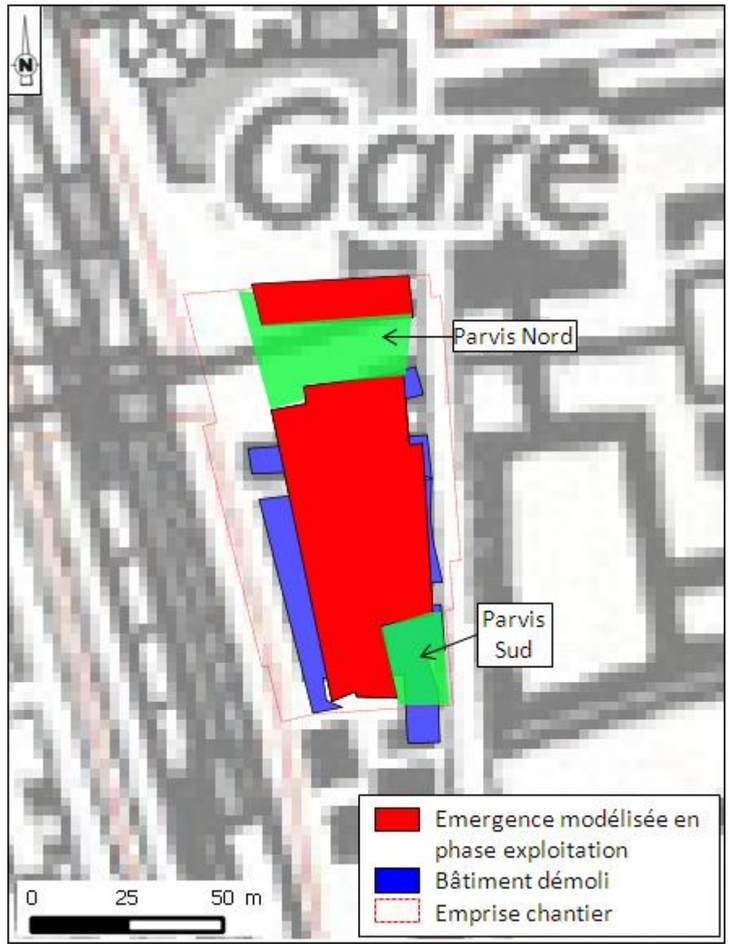
g. Gare Le Vert-de-Maisons

La gare Le Vert-de-Maisons est prévue en émergence : un bâtiment sera créé au-dessus de la gare permettant la jonction au quai du RER. Ce bâtiment est considéré comme insubmersible dans la modélisation de la phase exploitation.

Des parvis seront créés de part et d'autres de la gare sur l'emprise chantier. Le niveau du parvis nord sera à la cote 32.75 m NGF. Le parvis sud sera, quant à lui, à la cote 33.88 m NGF. Ces parvis, submersibles, ont été intégrés à la modélisation.

Les bâtiments existants actuellement sur l'emprise travaux seront démolis. Ils ne sont plus pris en compte dans la modélisation de la phase exploitation.

L'emprise insubmersible ainsi considérée, les parvis et les bâtiments démolis sont présentés sur la carte suivante.



Carte 79 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de la gare Le Vert-de-Maisons

h. OA Université Créteil

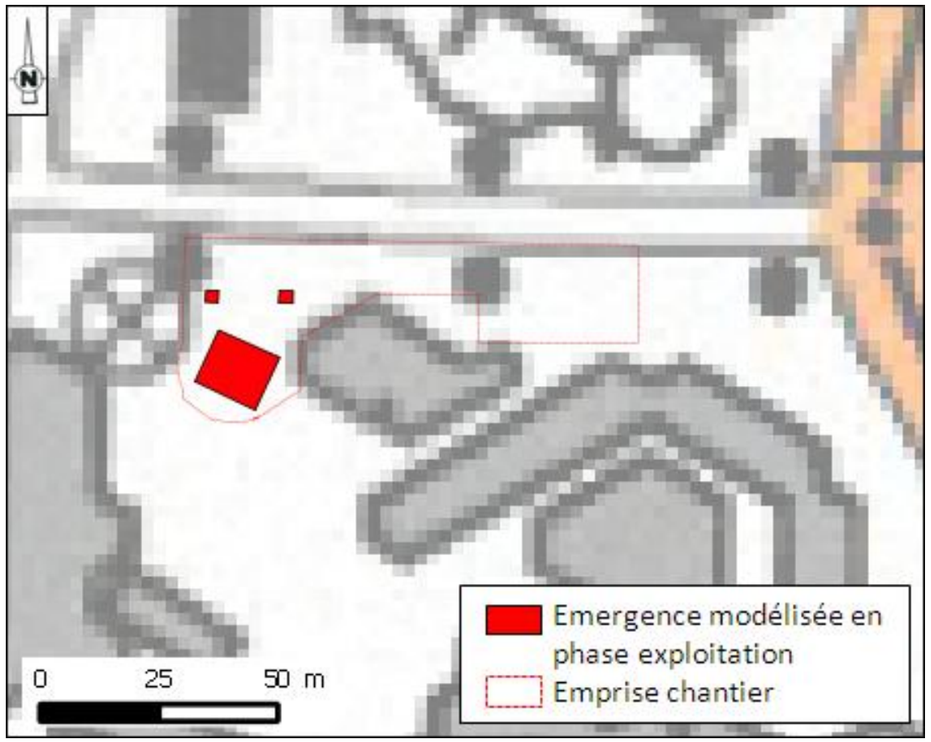
En surface, l'ouvrage présente les émergences suivantes :

- Une grille de désenfumage rehaussée,
- Une trappe d'accès secours pompiers,
- Divers trappes pour trémie matériel, colonne sèche, matériel d'épuisement,
- Divers grilles pour la prise et le rejet d'air.

Les grilles de ventilation et autres émergences se situeront à environ 30 cm au-dessus PHEC (Plus Hautes Eaux Connues) à 35,48 m NGF dans le secteur. Des édicules surélevés de 1,80 m par

rapport au terrain naturel (34 m NGF) ont été réalisés pour le placement de prises et rejets d'air, ainsi que pour des trappes, accès…etc.

Les émergences, ainsi considérées comme non submersibles, sont présentées sur la carte suivante.



Carte 80 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Université Créteil

i. Gare Créteil l'Echat

Au droit de la gare de Créteil l'Echat, un projet connexe prévoit la construction d'un bâtiment en prolongement de l'existant. Une sortie de la gare est prévue au sein de ce bâtiment.

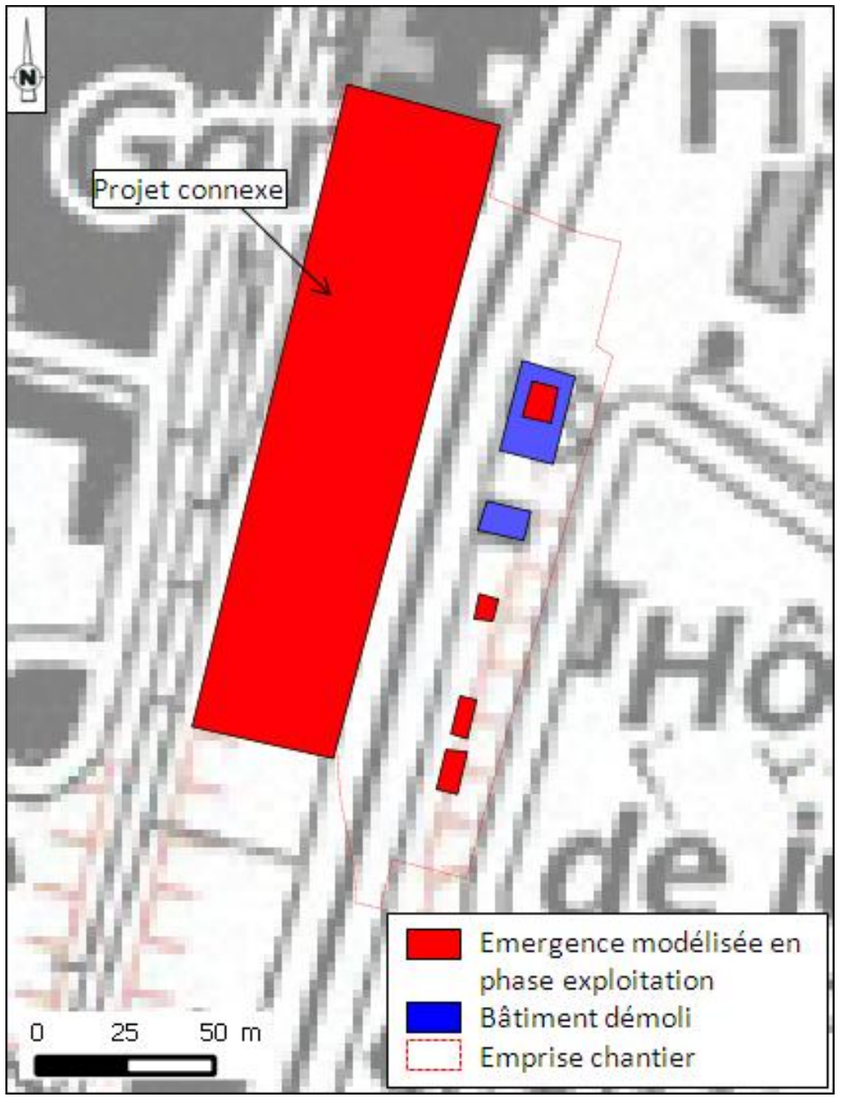
Le projet prévoit également l'émergence d'une des sorties de la gare ainsi que des grilles de décompression et de désenfumage.

Ainsi, la modélisation de la phase exploitation consiste à considérer non submersibles :

- le bâtiment du projet connexe,
- la sortie de la gare,
- les grilles de désenfumage et de décompression.

Par ailleurs, deux bâtiments existants actuellement seront démolis. Ils ne sont plus pris en compte dans la modélisation de la phase exploitation.

Les émergences modélisées ainsi que les bâtiments démolis sont présentés sur la carte suivante.



Carte 81 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de la gare Créteil l'Echat

2.4.3.2 Incidences hydrauliques en phase exploitation

a. Crue de 1982 (crue décennale)

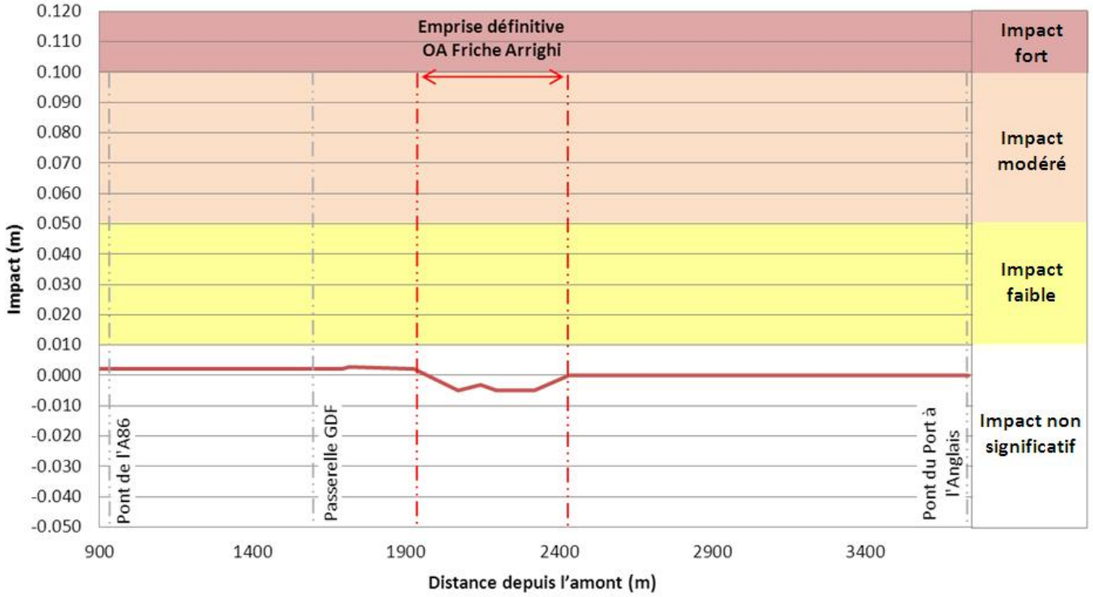
La crue de 1982 étant non débordante, le projet n'a aucun impact en lit majeur. Les seuls impacts potentiels sont donc situés en lit mineur.

Lors de la phase d'exploitation, le projet a un impact non significatif sur les niveaux d'eau pour la crue de 1982 (variation du niveau de +/- 0.5 cm).

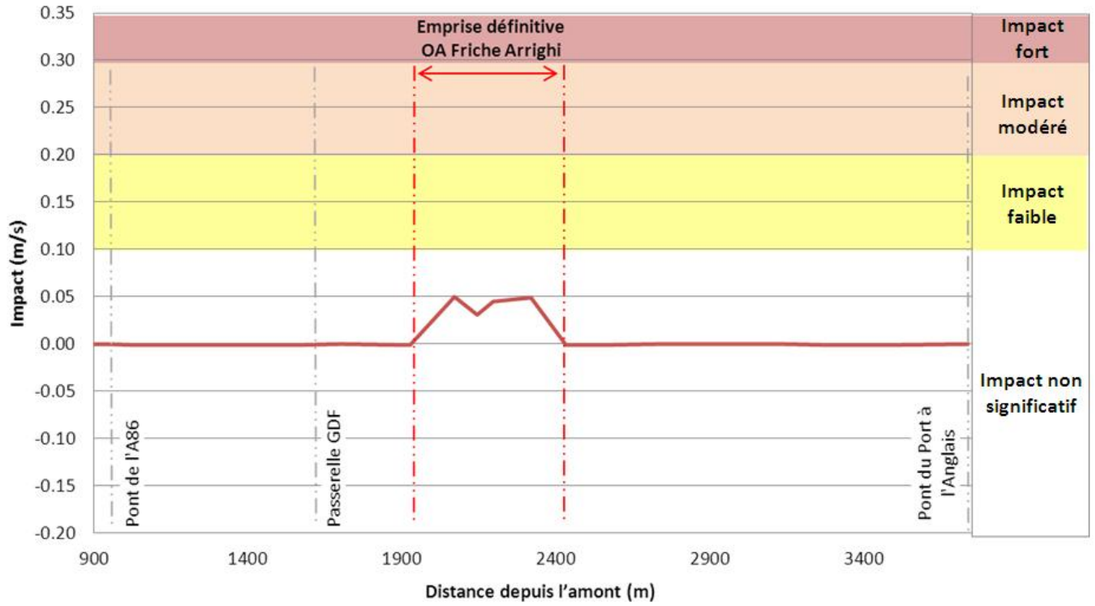
Lors de la phase d'exploitation, le projet a un impact non significatif sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1982 (incidence de l'ordre de 0.05 m/s).

La phase exploitation présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau (impact inférieur à 1 cm) et les vitesses d'écoulement en lit mineur (incidence inférieure à 0.1 m/s) pour la crue de 1982. Aucune incidence n'est observée en lit majeur (crue non débordante).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les profils en long ci-après.



Graphique 23 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1982



Graphique 24 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1982

b. Crue de 1955 (crue trentennale)

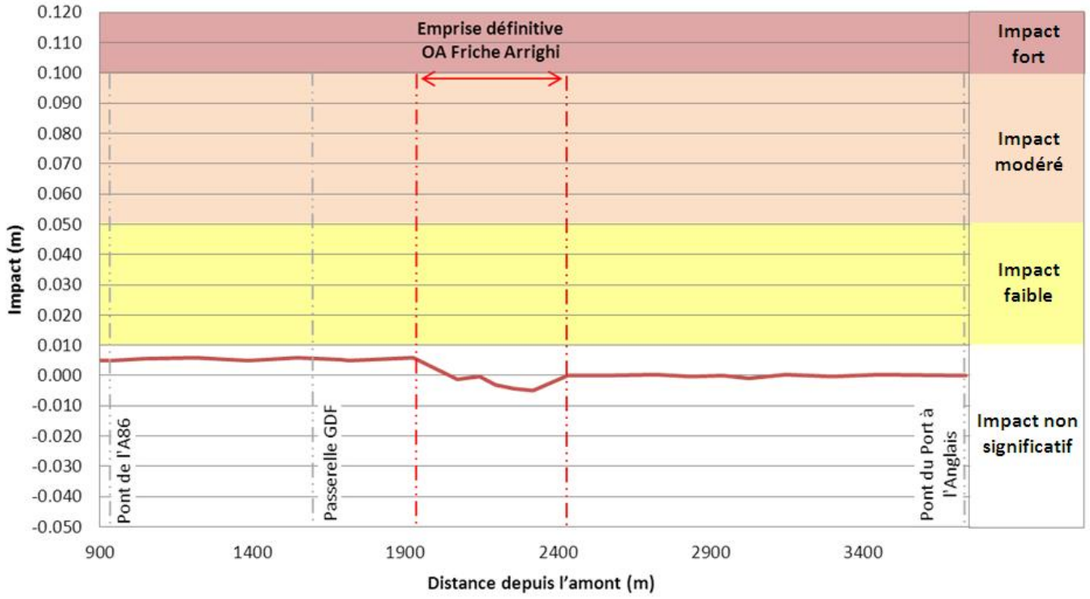
La crue de 1955 étant non débordante au droit des ouvrages, le projet n'a aucun impact en lit majeur. Les seuls impacts potentiels sont donc situés en lit mineur.

Lors de la phase d'exploitation, le projet a un impact non significatif sur les niveaux d'eau pour la crue de 1955 (variation du niveau de +/- 0.5 cm).

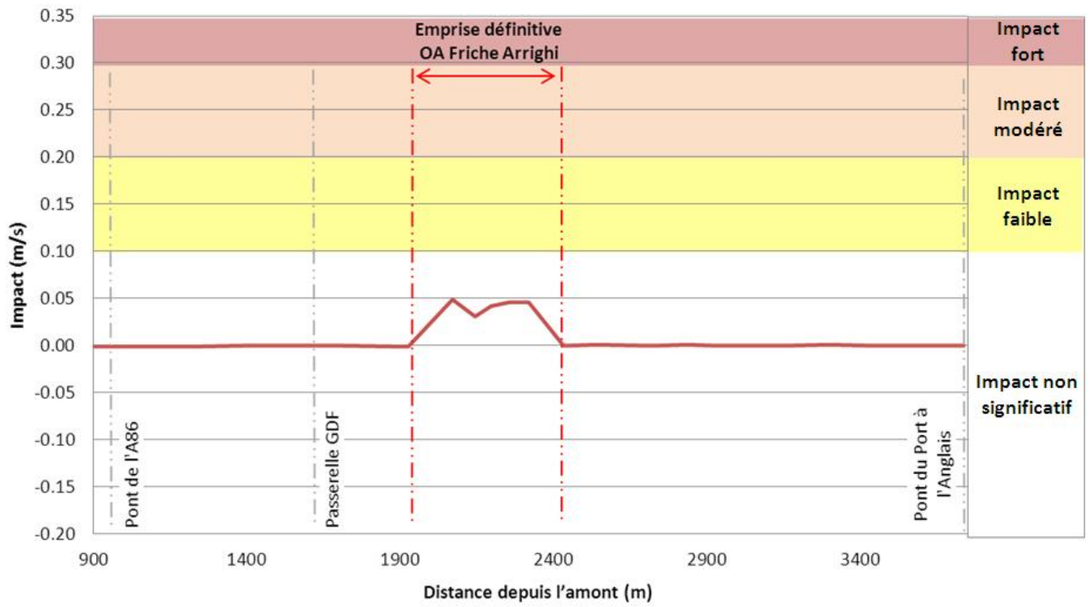
Lors de la phase d'exploitation, le projet a un impact non significatif sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1955 (incidence de l'ordre de 0.05 m/s).

La phase exploitation présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau (impact inférieur à 1 cm) et les vitesses d'écoulement en lit mineur (incidence inférieure à 0.1 m/s) pour la crue de 1955. Aucune incidence n'est observée en lit majeur (crue non débordante au droit des ouvrages).

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



Graphique 25 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1955



Graphique 26 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit mineur en lit mineur – Crue 1955

c. Crue de 1910 (crue centennale)

La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI du Val de Marne. Cette crue débordante peut être impactée par l'OA Centre technique municipal, l'OA Rue Gabriel Péri, la gare Les Ardoines, le SMI, l'OA Friche Arrighi, l'OA Rue de Rome, la gare Le Vert-de-Maisons, l'OA Université Créteil et la gare Créteil l'Echat. Seuls ces ouvrages sont situés dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910.

Lors de la phase exploitation, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1910 sont :

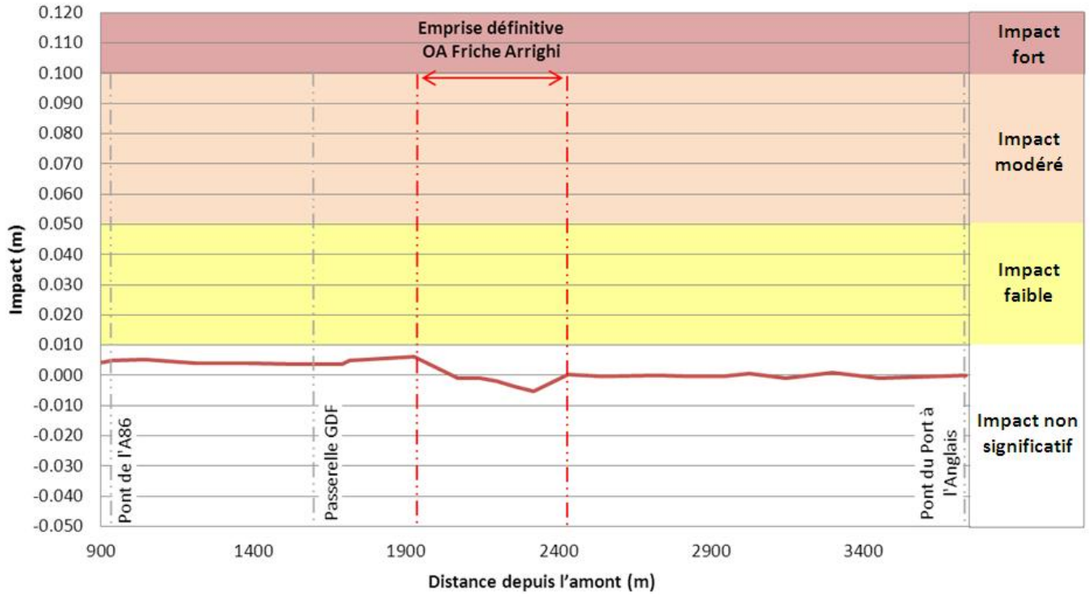
- un léger rehaussement de la ligne d'eau (inférieur à 1 cm) en amont de l'OA Friche Arrighi (en lit mineur et majeur), correspondant à un impact non significatif,
- un abaissement de la ligne d'eau (de l'ordre du centimètre) au droit de l'OA Friche Arrighi en lit mineur,
- un rehaussement très localisé des niveaux d'eau d'environ 1,5 cm à proximité de la future gare correspondant à un impact faible
- un rehaussement local des niveaux d'eau d'environ 2,5 cm au droit du futur SMI correspondant à un impact faible.

Lors de la phase exploitation, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1910 sont :

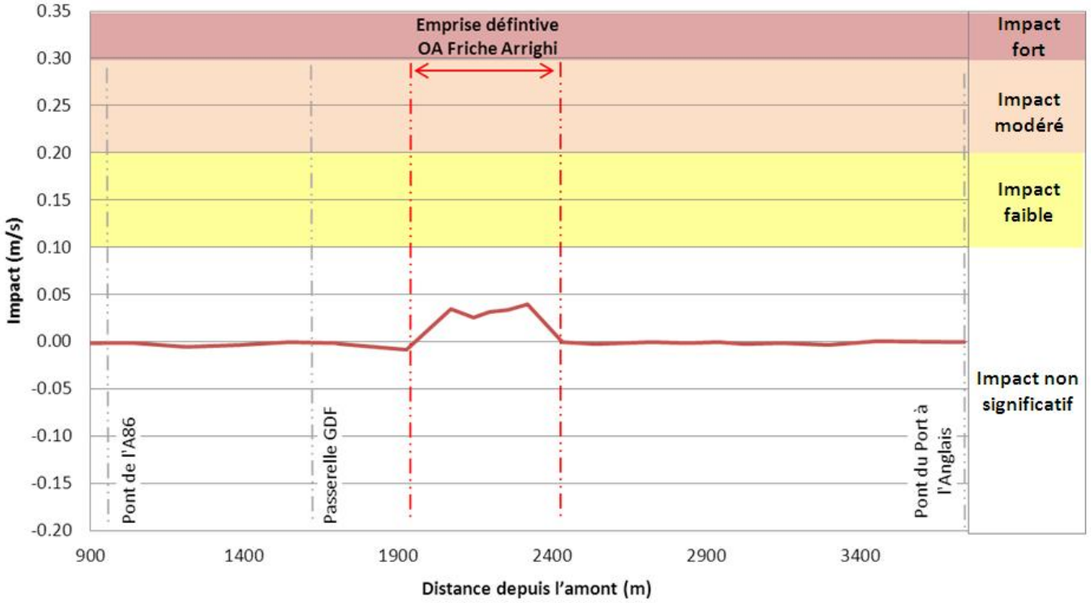
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (jusqu'à 0,04 m/s) au droit de l'OA Friche Arrighi, correspondant à un impact non significatif,
- une légère augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,07 m/s) à proximité immédiate des aménagements de la gare Les Ardoines correspondant à un impact faible,
- une augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,09 m/s) à proximité immédiate du SMI correspondant à un impact faible.

La phase exploitation présente donc un impact faible et local sur les niveaux d'eau (jusqu'à 2,5 cm au droit du futur SMI et de la gare Les Ardoines) et les vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,09 m/s) pour la crue de 1910. Un impact non significatif est observé en lit mineur et au droit des autres ouvrages présents sur le secteur modélisé.

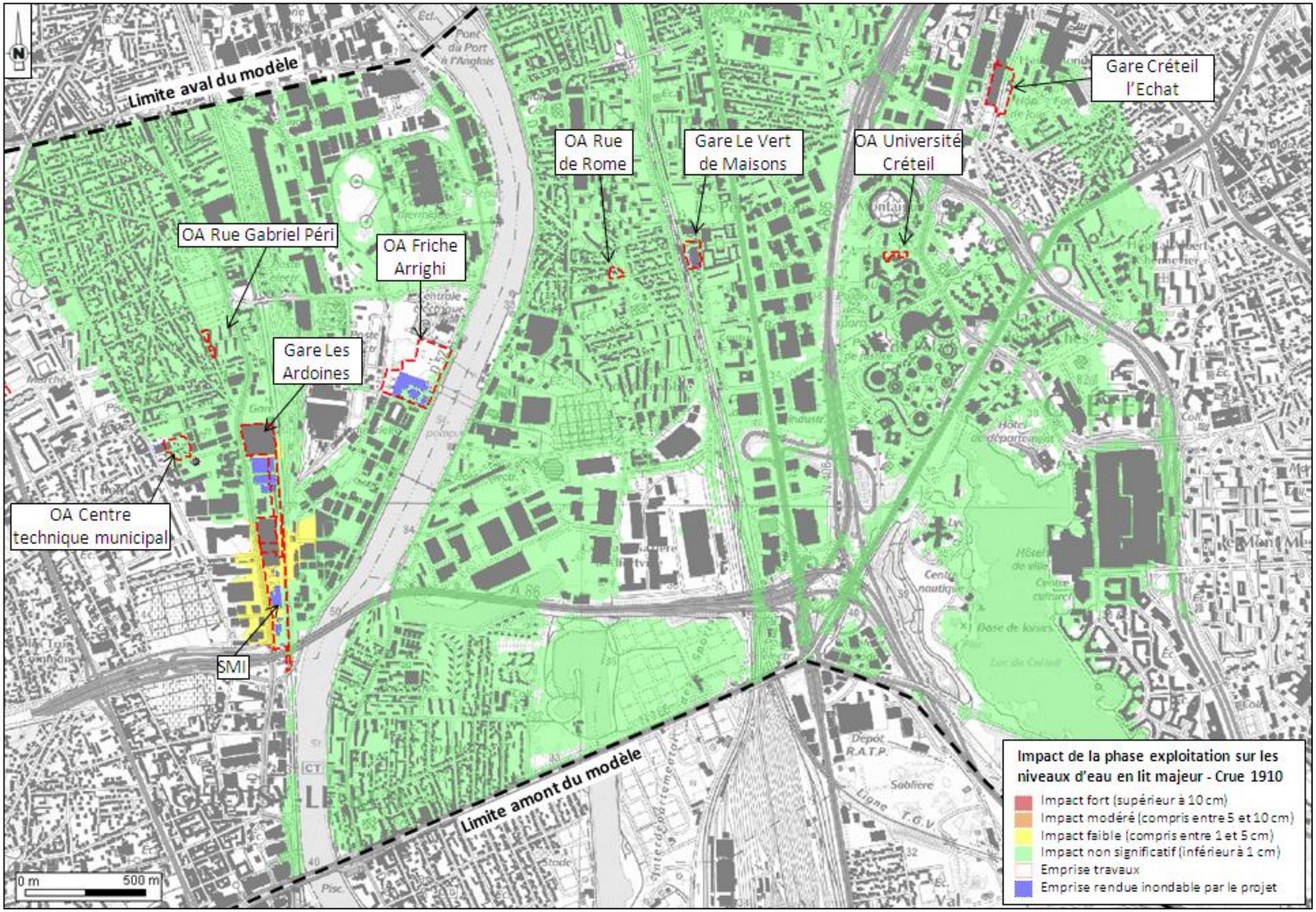
Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



Graphique 27 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1910



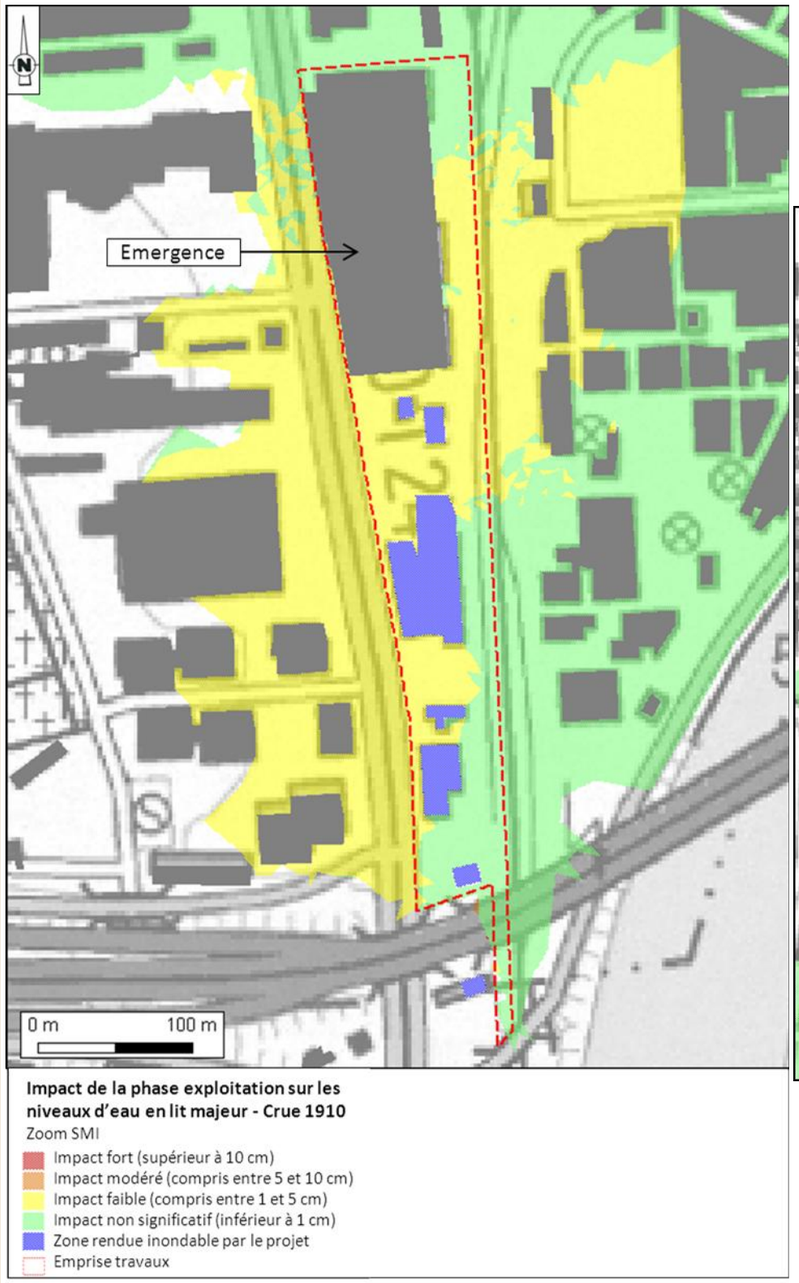
Graphique 28 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1910



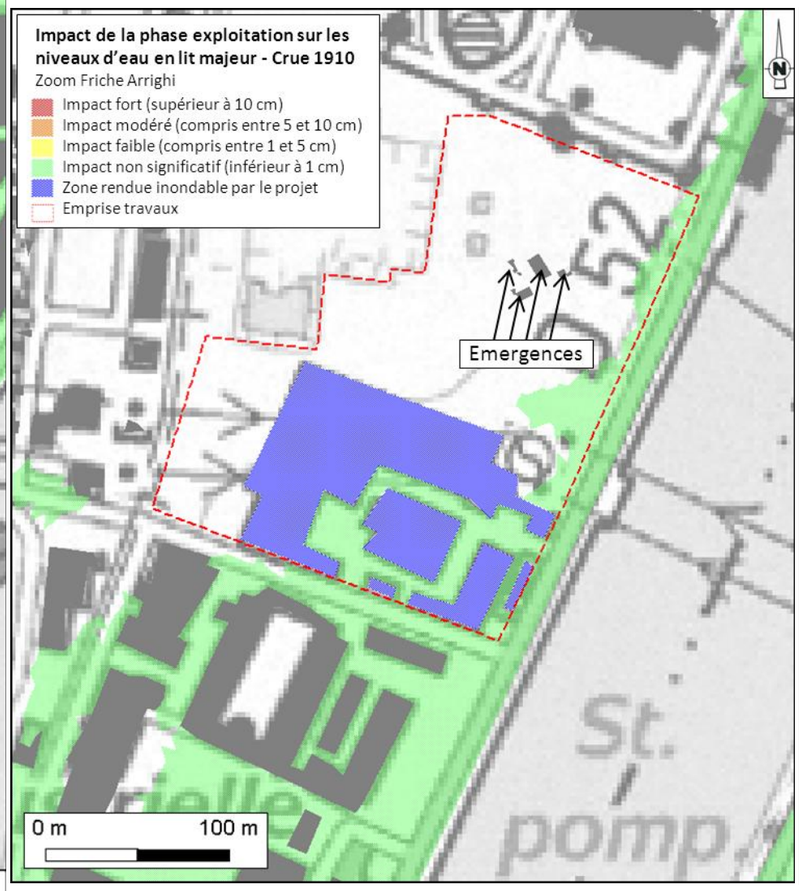
Carte 82 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910



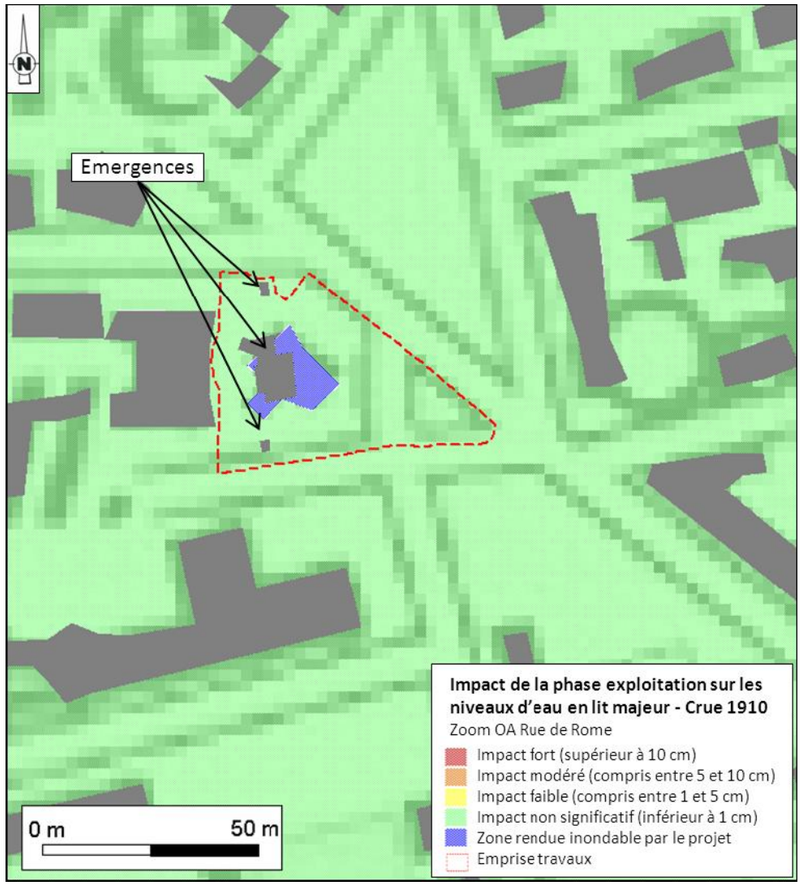
Carte 83 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Secteur des Ardoines



Carte 49 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom SMI



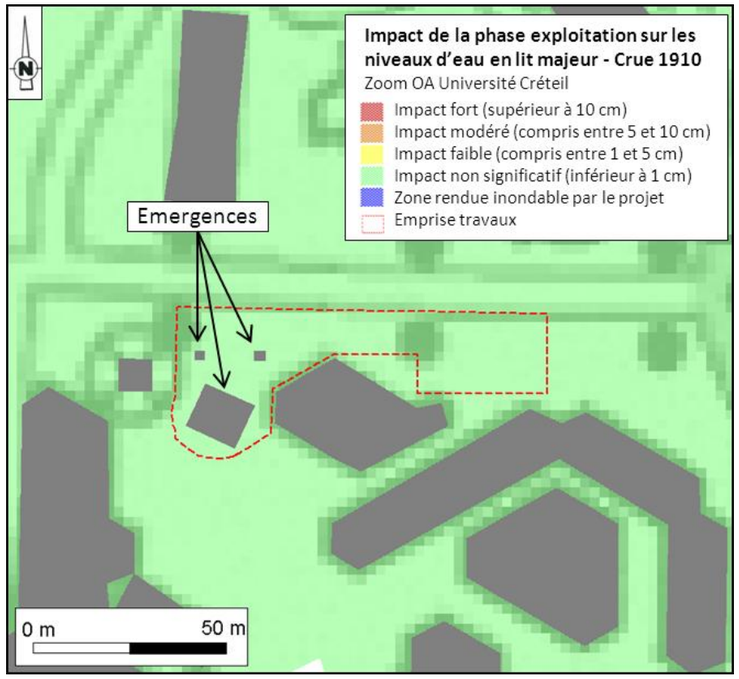
Carte 50 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Friche Arrighi



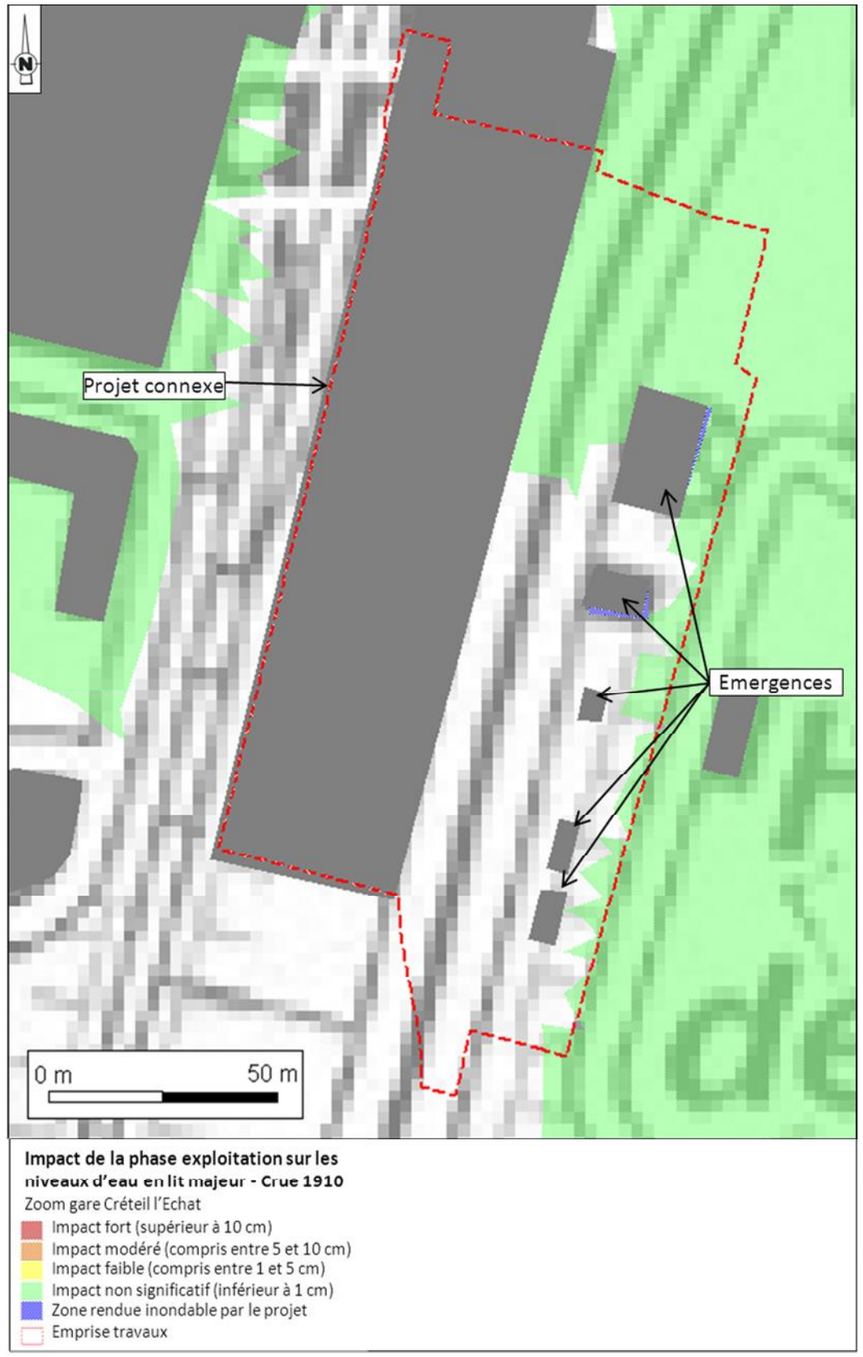
Carte 51 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Rue de Rome



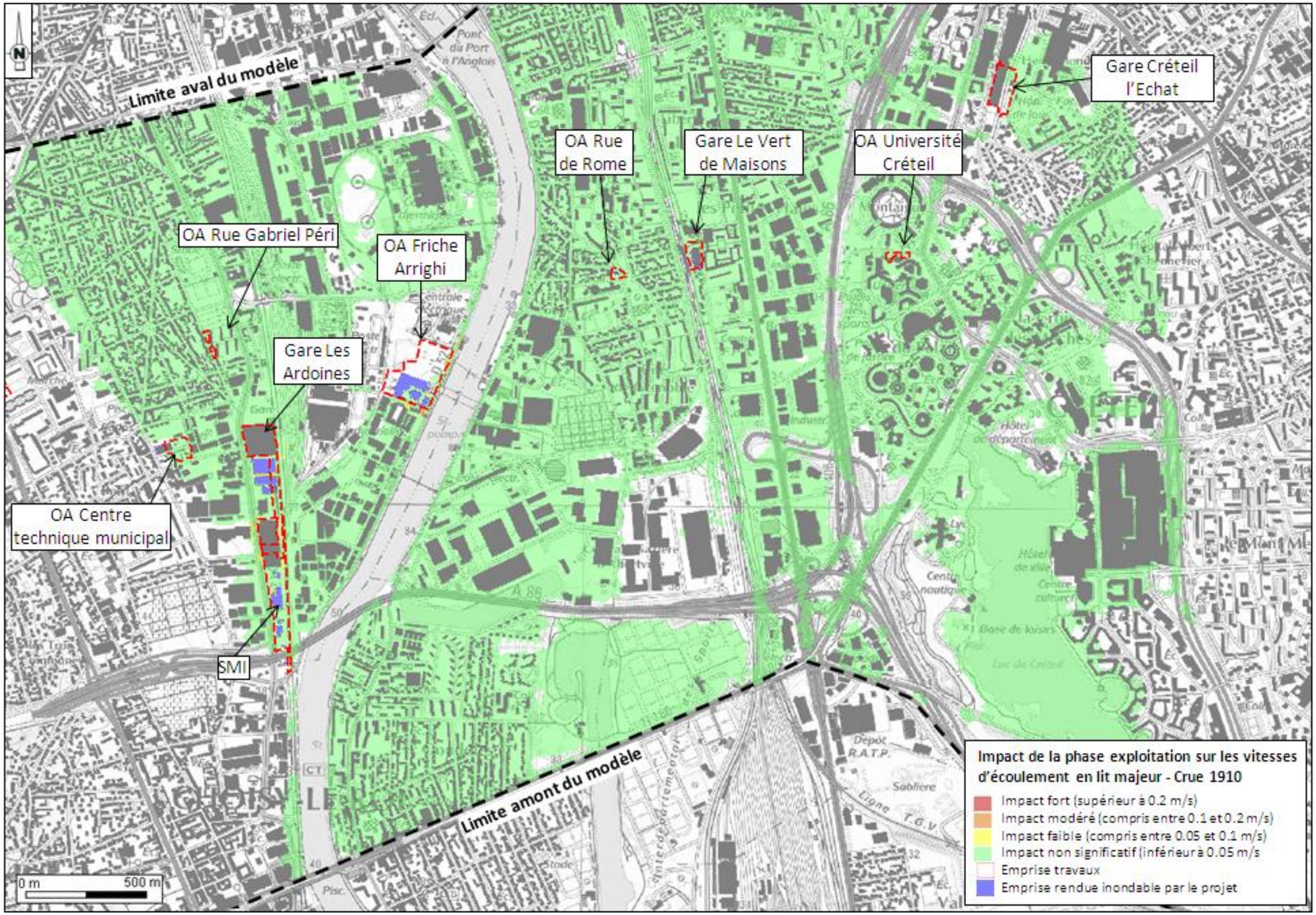
Carte 52 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Le Vert-de-Maisons



Carte 53 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Université Créteil



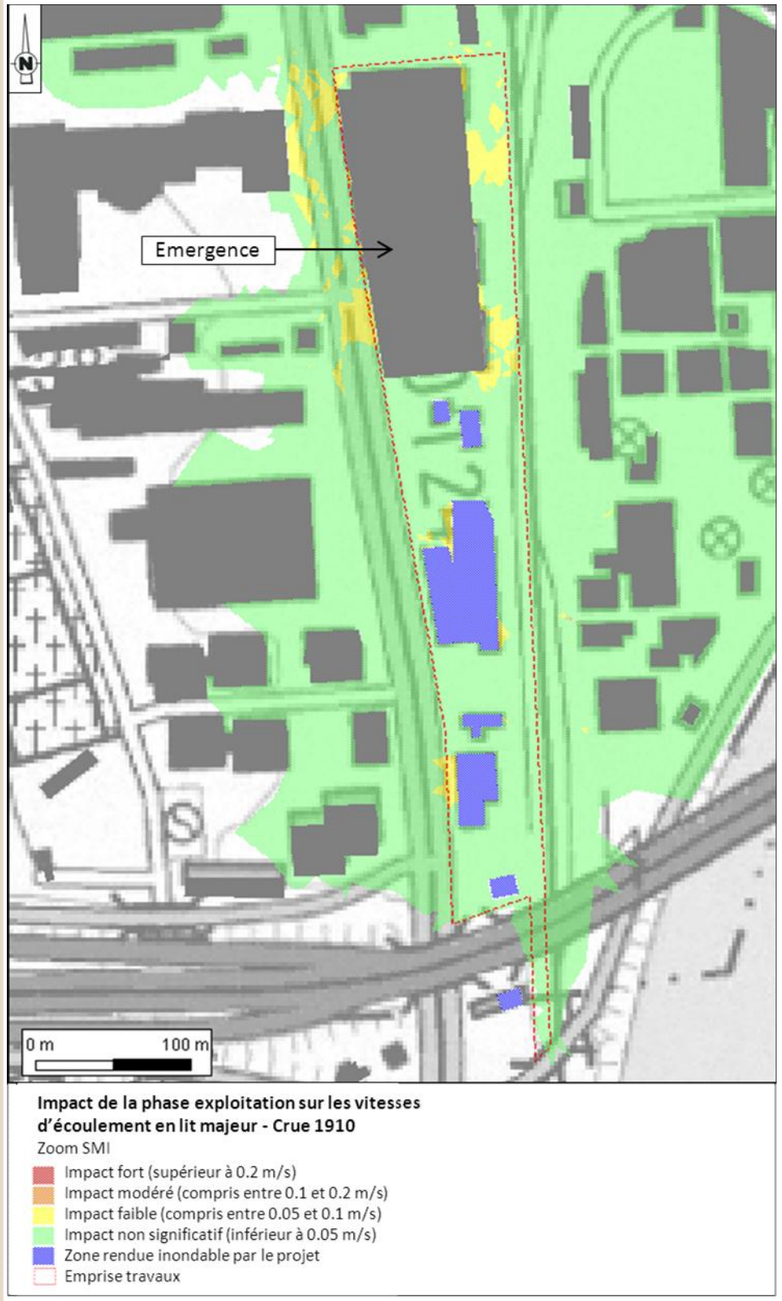
Carte 54 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Créteil l'Echat



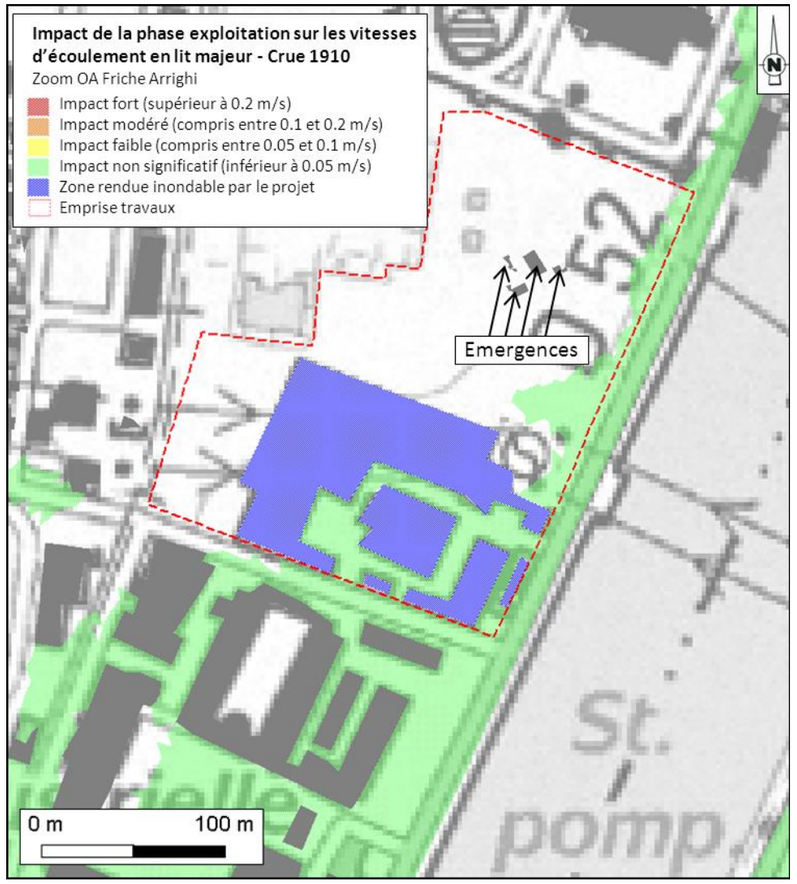
Carte 90 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910



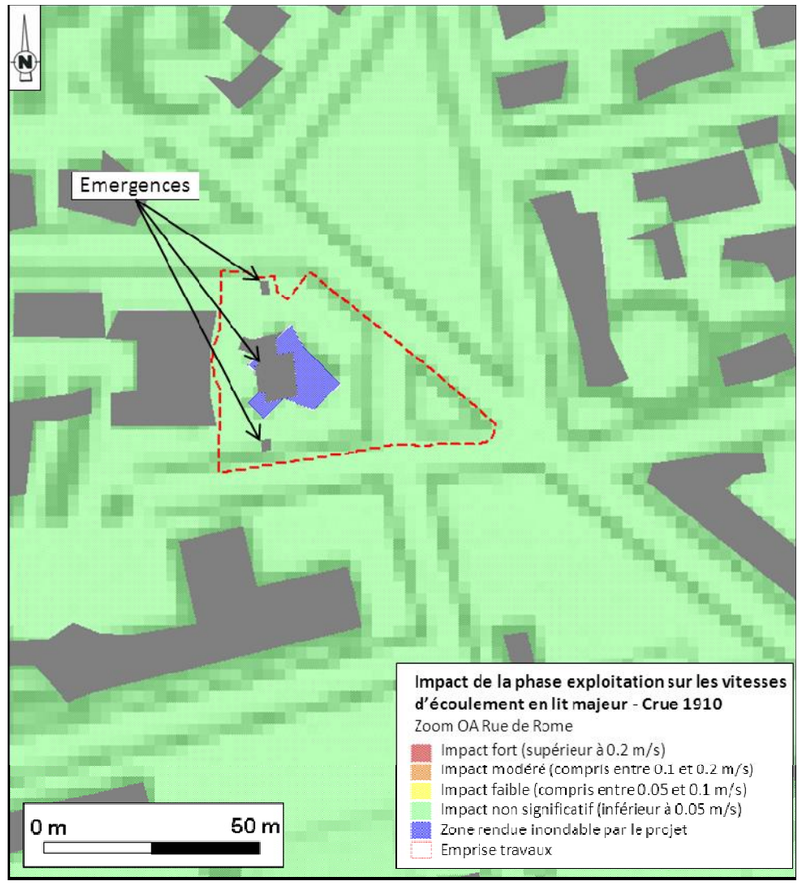
Carte 91 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910



Carte 57 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom SMI



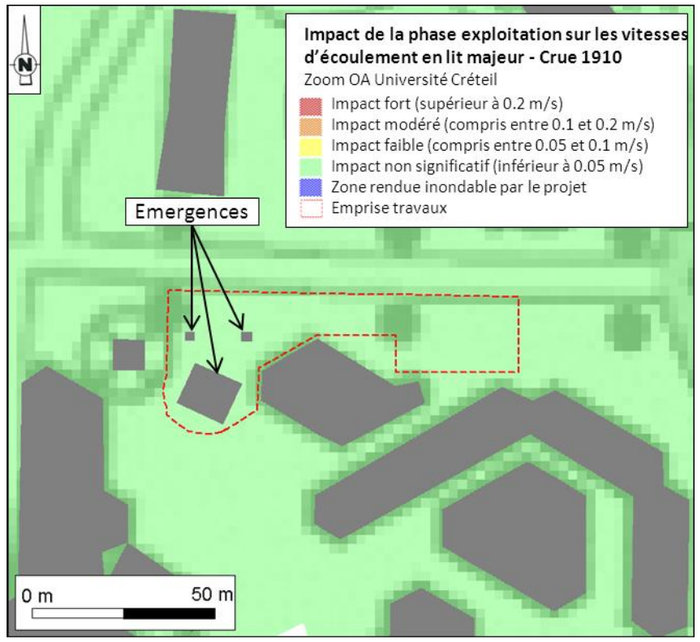
Carte 58 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Friche Arrighi



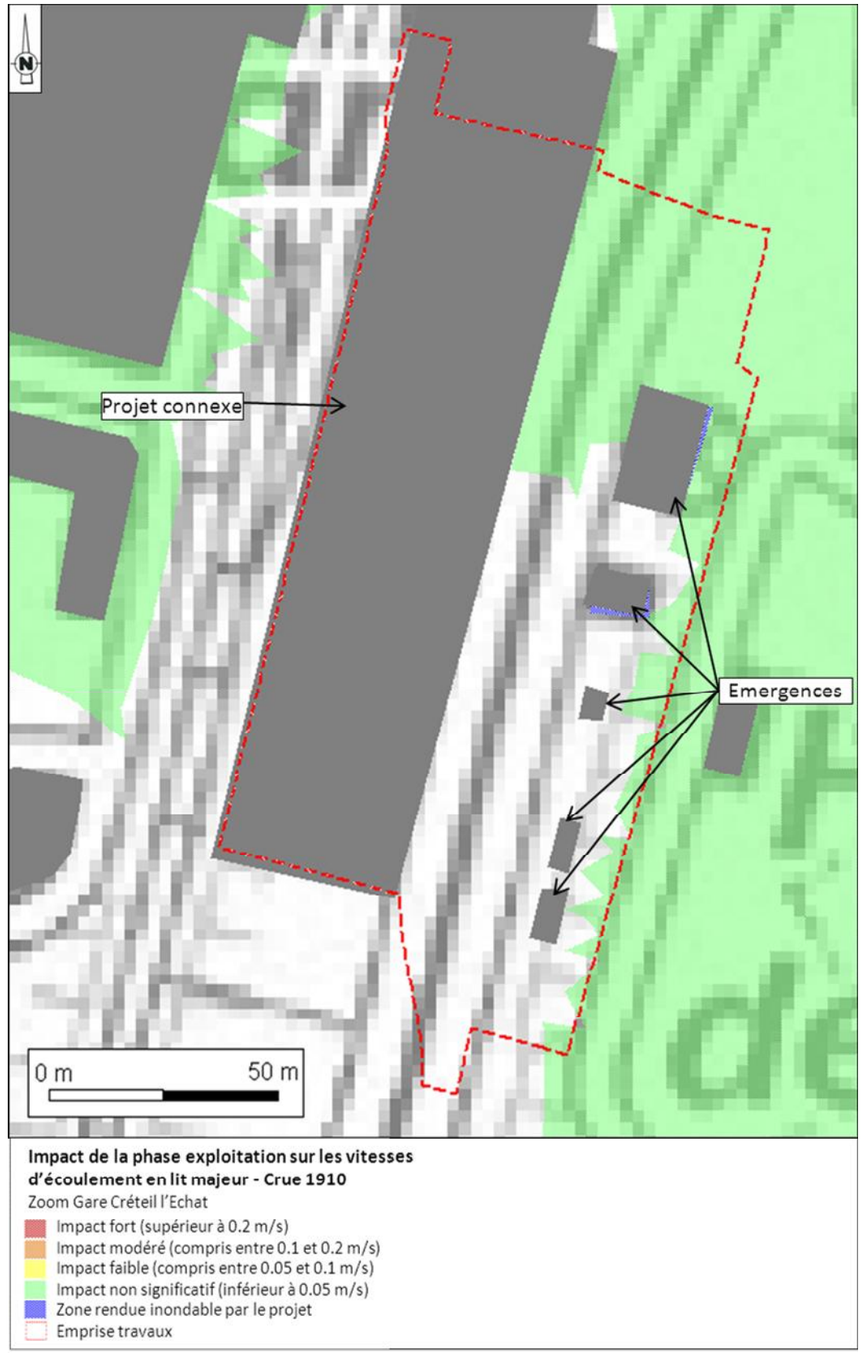
Carte 59 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Rue de Rome



Carte 60 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Le Vert-de-



Carte 61 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Université Créteil



Carte 62 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Créteil l'Echat

2.4.4 Conclusion sur les incidences hydrauliques

2.4.4.1 Phase travaux

En phase travaux, le projet du Grand Paris Express a un impact non significatif sur les niveaux d'eau (inférieur à 1 cm) et sur les vitesses d'écoulement en lit mineur (inférieur à 0.1 m/s) quelle que soit la crue étudiée. L'implantation de ducs d'Albe en lit mineur a donc un impact non significatif.

Des impacts faibles et très localisés sur les vitesses d'écoulement (jusqu'à 0.08 m/s) et sur les niveaux d'eau (environ 2.5 cm) apparaissent en lit majeur pour la crue de 1910 au droit du SMI. Les impacts au droit des autres ouvrages présents sur le secteur modélisé sont non significatifs (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau et inférieur à 0.1 m/s pour les vitesses d'écoulement).

2.4.4.1 Phase exploitation

En phase exploitation, le projet du Grand Paris Express a un impact non significatif sur les niveaux d'eau (inférieur à 1 cm) et sur les vitesses d'écoulement en lit mineur (inférieur à 0.1 m/s) quelle que soit la crue étudiée. L'implantation de ducs d'Albe en lit mineur a donc un impact non significatif.

Des impacts faibles et très localisés sur les vitesses d'écoulement (jusqu'à 0.09 m/s au droit du SMI et 0.07 m/s au droit de la gare Les Ardoines) et sur les niveaux d'eau (jusqu'à 2.5 cm au droit du SMI et 1.5 cm au droit de la gare Les Ardoines) apparaissent en lit majeur pour la crue de 1910. Les impacts au droit des autres ouvrages présents sur le secteur modélisé sont non significatifs (inférieur à 1 cm pour les niveaux d'eau et inférieur à 0.05 m/s pour les vitesses d'écoulement).

2.5 Mise en œuvre de mesures de réduction et/ou de compensation

2.5.1 Mesures générales de limitation des impacts

La principale mesure d'évitement du risque inondation est d'éviter de construire en zone inondable.

Les gares Les Ardoines, Le Vert-de-Maisons et Créteil l'Echat sont toutefois située en zone inondable.

Leur localisation, comme celle de l'ensemble des gares, a été arrêtée dans le cadre de l'approbation du schéma d'ensemble du réseau de transport public du Grand Paris par décret n°2011-1011 du 24 août 2011, version consolidée au 27 août 2011. Cette approbation repose en particulier sur l'acte motivé, prévu par l'article 3 de la loi du 3 juin 2010 relative au Grand Paris[3]. Ce document précise les modifications apportées au projet soumis au débat public et aux personnes consultées.

La principale mesure de réduction du risque inondation est de réduire la vulnérabilité des futurs aménagements. Pour ce faire, l'ensemble des infrastructures sera mis hors d'eau à la cote casier (cote de crue centennale) + 20 cm.

En phase travaux, l'ensemble des puits sera mis hors d'eau à la cote casier (cote de crue centennale) + 20 cm. Une paroi périphérique permettra ainsi de rehausser celles des puits. Cette mesure essentielle permettra d'éviter les entrées d'eau dans ces derniers et dans le tunnel.

Un important travail d'optimisation a été réalisé en phase de conception afin de réduire l'impact des aménagements sur les crues.

Un bilan systématique des volumes soustraits à la crue a été réalisé à l'échelle de chaque ouvrage (voir détails par ouvrage dans le chapitre suivant).

Des mesures compensatoires ont été trouvées afin de compenser ces volumes soustraits, parmi les principales mesures :

- la suppression de bâtiments existants qui permet de restituer un espace de crue ;
- le décaissement du terrain naturel ;
- l'inondation contrôlée de parkings souterrains d'opérations immobilières connexes au projet d'infrastructures ;
- la création de bassins enterrés dédiés à la compensation des crues.

En phase chantier, les bases vie seront installées sur pilotis au-dessus de la côte de crue centennale pour permettre la libre circulation des eaux. Les installations sur pilotis sont modélisées comme insubmersibles dans la modélisation hydraulique. Il s'agit d'une hypothèse pessimiste permettant de prendre en compte les éventuels embâcles pouvant perturber l'écoulement entre les pilotis.

[3] Loi n° 2010-597 du 3 juin 2010 relative au Grand Paris, version consolidée au 02 août 2014.

2.5.2 Compensation des volumes prélevés à la crue

2.5.2.1 Méthodologie retenue

Le règlement du PPRI de la Marne et de la Seine dans le Val-de-Marne fait que les « infrastructures de transport ainsi que les équipements nécessaires à leur fonctionnement et leur exploitation sont autorisées sous réserve d'étude hydraulique et de mesures compensatoires garantissant la transparence hydraulique et le maintien du champ d'expansion des crues pour une crue centennale » (Titre 2-Art.3.2.1, chapitres 1 à 5). Le règlement précise en outre que « tout remblaiement ou réduction de la capacité de stockage des eaux de la crue de référence devra être compensé par un volume égal de déblais pris sur la zone d'aménagement. » (Titre 2-Art.3.2.2, chapitres 1 à 5). Le projet s'attache à compenser les volumes de remblais et locaux étanches en lit majeur uniquement.

Le projet vise à compenser les volumes de remblais et locaux étanches en phase exploitation et chantier, le cas échéant.

En effet, les textes réglementaires en vigueur imposent d'assurer la conservation des champs d'expansion des crues (principalement par la compensation des volumes de remblais et locaux étanches en lit majeur) en phase exploitation, une fois la période de travaux achevée. La phase chantier n'est pas évoquée au sein des PPRI en vigueur.

2.5.2.2 Evaluation de la réduction de l'expansion des crues en phase travaux

Pour rappel, la méthodologie retenue pour l'évaluation de la réduction de l'expansion des crues repose sur l'évaluation des volumes soustraits à la crue.

a. Gare et ouvrages annexes du secteur des Ardoines

Au droit de la gare des ardoines, les volumes prélevés à la crue en phase chantier sont compensés par les volumes rendues à la crue grâce à la démolitiion des bâtiments existants.

b. SMI de Vitry-sur-Seine

Sans objet.

c. OA Friche Arrighi

Sans objet.

d. OA Rue de Rome

Sans objet.

e. Gare Le Vert-de-Maisons

Au droit de la gare de Vert de Maisons, les travaux se décomposent, globalement, en deux phases :

- Le terrassement et la construction du génie civil des volumes souterrains

Durant cette phase provisoire, les structures des gares ne sont pas construites dans leur intégralité. En cas de crue, le poids de ces structures ne permet pas de compenser la poussée verticale que subit l'ouvrage en raison du niveau d'eau. De même l'absence des dalles ne permet pas d'équilibrer la pression horizontale qui s'exerce entre les parois moulées. Ainsi, seule l'inondation des fouilles permet de garantir la stabilité des ouvrages et la sécurité.

Des niveaux de crue seront donc définis, à partir desquels les entreprises de génie civil évacueront les matériels et les personnels avant de laisser l'eau pénétrer dans les fouilles. Les portions de tunnel seront auparavant rendues étanches au moyen de parois situées au droit des tympans, afin de protéger les installations (notamment les tunneliers).

Durant cette première phase, les volumes des fouilles compensent très largement les volumes pris à la crue provenant des installations de chantier, même si la correspondance exacte par tranches altimétriques n'est pas assurée.

- La construction du génie civil des émergences, ainsi que des aménagements et du second œuvre de l'ensemble des volumes

Durant cette phase, les fouilles ne sont plus inondables. Des bassins de compensation sont prévus en phase définitive mais, à ce stade des études, il n'est pas garanti qu'ils soient disponibles dès le début de la phase. Néanmoins, la durée de cette phase transitoire est très inférieure à la durée totale des travaux, et ne justifie pas une compensation des volumes telle qu'en phase définitive. Les seules installations de chantier susceptibles de mobiliser un volume de crue sont les bungalows de chantier de la gare, représentant environ 1 625 m^3. Le tableau ci-dessous présente les volumes pris à la crue par les bungalows.

Tableau 11 : Volume pris à la crue par les bungalows

Hauteur d'eau			Surfaces Bungalows		Volume à compenser	
TN moyen	Cote PHEC	Δ	SGP	SNCF	SGP	SNCF
31,92	35,48	3,56	457	156	1,625	555

Remarque : les bungalows sont de forme parallélépipède et possède une section horizontale constante quelle que soit la hauteur.

Si ce volume est considéré comme trop important, les bungalows pourront être installés sur pilotis, ou une compensation pourra éventuellement être recherchée en dehors des emprises.

f. OA Université Créteil.

Sans objet.

g. Gare Créteil l'Echat

Au droit de la gare de Créteil l'Echat, les travaux se décomposent, globalement, en deux phases :

- Le terrassement et la construction du génie civil des volumes souterrains

Durant cette phase provisoire, les structures des gares ne sont pas construites dans leur intégralité. En cas de crue, le poids de ces structures ne permet pas de compenser la poussée verticale que subit l'ouvrage en raison du niveau d'eau. De même l'absence des dalles ne permet pas d'équilibrer la pression horizontale qui s'exerce entre les parois moulées. Ainsi, seule l'inondation des fouilles permet de garantir la stabilité des ouvrages et la sécurité.

Des niveaux de crue seront donc définis, à partir desquels les entreprises de génie civil évacueront les matériels et les personnels avant de laisser l'eau pénétrer dans les fouilles. Les portions de tunnel seront auparavant rendues étanches au moyen de parois situées au droit des tympans, afin de protéger les installations (notamment les tunneliers).

Durant cette première phase, les volumes des fouilles compensent très largement les volumes pris à la crue provenant des installations de chantier, même si la correspondance exacte par tranches altimétriques n'est pas assurée.

- La construction du génie civil des émergences, ainsi que des aménagements et du second œuvre de l'ensemble des volumes

Durant cette phase, les fouilles ne sont plus inondables. Des bassins de compensation sont prévus en phase définitive mais, à ce stade des études, il n'est pas garanti qu'ils soient disponibles dès le début de la phase. Néanmoins, la durée de cette phase transitoire est très inférieure à la durée totale des travaux, et ne justifie pas une compensation des volumes telle qu'en phase définitive. Les seules installations de chantier susceptibles de mobiliser un volume de crue sont les bungalows de chantier de la gare. Afin de ne pas prélever de volume à la crue, ceux-ci sont placés hors zone inondable.

2.5.2.3 Evaluation de la réduction de l'expansion des crues en phase d'exploitation

Pour rappel, la méthodologie retenue pour l'évaluation de la réduction de l'expansion des crues repose sur l'évaluation des volumes soustraits à la crue.

Les classes d'impacts sur les volumes soustraits ont été définies comme suit :

- Impact non significatif : volume soustrait à la crue inférieure à 200 m^3. Cette classe correspond en général à des aménagements limités en surface, tels que de l'habitat individuel ou des édicules ;
- Impact faible : volume soustrait à la crue entre 200 m^3 et 1 000 m^3. Cette classe correspond à des aménagements ayant en général une surface inférieure à 5 000 m², tels que de l'habitat collectif ou des émergences de gare ;
- Impact modéré : volume soustrait à la crue entre 1 000 m^3 et 5 000 m^3. Cette classe correspond à des aménagements ayant en général une surface de l'ordre de l'hectare, tels que des lotissements ;
- Impact fort : volume soustrait à la crue au-delà de 5 000 m^3. Cette classe correspond en général à des aménagements en surface au-delà de 5 hectares. Il s'agit alors de projets d'aménagement d'envergure, tels que des Zones d'Aménagement Concerté (ZAC).

Le tableau suivant récapitule les classes d'impacts définies en fonction du critère étudié.

Tableau 26 : Définition des classes d'impact par rapports aux volumes soustraits à la crue

Classe	Critère sur les volumes soustraits à la crue
Impact non significatif	V < 200 m^3
Impact faible	200 m^3 ≤ V < 1 000 m^3
Impact modéré	1 000 m^3 ≤ V < 5 000 m^3
Impact fort	V ≤ 5 000 m^3

a. Gare et ouvrages annexes du secteur des Ardoines

Le secteur des Ardoines concerne la gare Les Ardoines et les ouvrages annexes Gabriel Péri et Centre technique municipal.

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des surfaces et des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de quatre pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 27 : Calcul des volumes soustraits à la crue – Secteur des Ardoines

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m^3)
1	[33,50 ; 34,00]	0,50	4 040	1 920
2	[34,00 ; 34,50]	0,50	4 550	1 960
3	[34,50 ; 35,00]	0,50	5 080	2 365
4	[35,00 ; 35,49]	0,49	4 915	2 370
TOTAL	[33,50 ; 35,49]	1,99	-	8 615

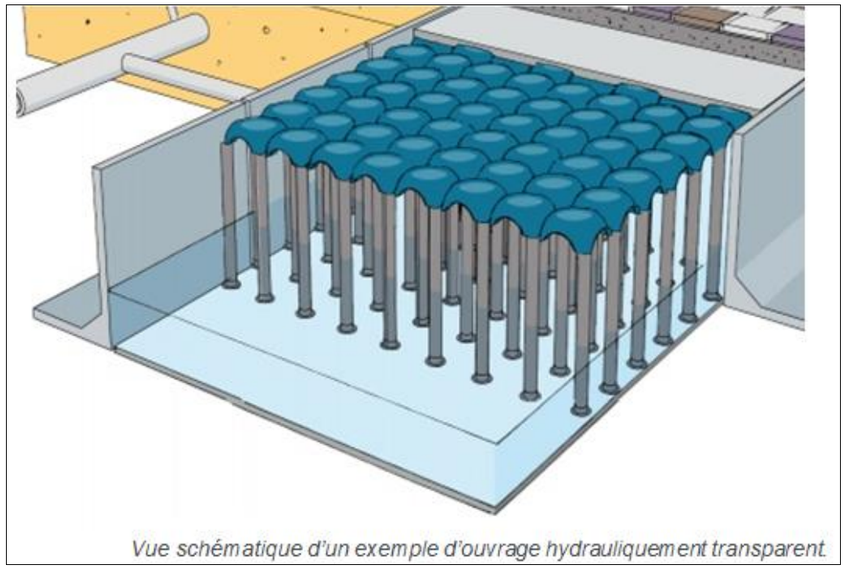
L'essentiel des surfaces et des volumes pris à la crue est lié à l'émergence de la gare, mise hors d'eau. L'émergence du tunnel en direction du SMI soustrait 15% du volume total. Les ouvrages annexes contribuent également mais dans une moindre mesure à limiter le champ d'expansion de crue, en raison principalement d'une emprise au sol limitée (moins de 150 m² pour chacun d'eux).

Toutefois, l'aménagement du site prévoit la démolition de bâtiments existants.

Le projet de la gare des Ardoines prévoit une interconnexion avec la gare existante du RER C de la SCNF. Le réaménagement des quais consiste à un élargissement pour assurer l'augmentation de la fréquentation du fait de l'arrivée de la gare de la Ligne 15 Sud.

La réalisation des extensions de quais par une méthode traditionnelle, de type grave compactée, conduit à un besoin de compensation de près de 4000 m³. Il a donc été décidé de rechercher des solutions techniques maximisant la transparence à la crue des extensions de quais.

Le principe général est de construire un ouvrage creux pouvant se remplir lors des crues. Une des techniques envisagées consiste à réaliser l'élargissement des quais par le biais de coffrages perdus en dôme reposant sur des « pilotis ».



Vue schématique d'un exemple d'ouvrage hydrauliquement transparent.

Figure 2 : Exemple de *coffrage perdu en dôme reposant sur des « pilotis »*

L'alimentation et la vidange de la structure se fera par des buses ou des ovoïdes en bout de quai. La mise en place de barbacanes, espacées régulièrement sur les bordures du quai permettra une transparence accrue : la restitution des eaux à la décrue sera plus diffuse.

Selon la technique utilisée et compte tenu de la spécificité du site et du programme d'interconnexions à réaliser, il est imaginé, à ce stade des études, de pouvoir réaliser des extensions de quais présentant une transparence de 50%.Il restera donc à compenser un volume de 2000 m³.

Ces 2000 m³ s'ajoutent à ceux nécessaires pour la réalisation de la gare des Ardoines et des ouvrages annexes. Il convient donc de compenser sur ce secteur 10 615 m³.

La réalisation du projet de la Ligne 15 Sud nécessite sur ce secteur des démolitions de bâtiments existants. Elles sont réalisées sur des parcelles dont la Société du Grand Paris est propriétaire. Ces bâtiments considérés comme non inondables vont permettre de contribuer à assurer l'équilibre pour le maintien des volumes d'expansion des crues.

Ces démolitions vont contribuer de manière significative à rendre de nouveaux espaces libres pour l'expansion de la crue. Le tableau suivant détaille, pour chaque tranche altimétrique, les volumes ainsi libérés.

Tableau 14 : Calcul des volumes redonnés à la crue – Secteur des Ardoines

Localisation	Surface libérée (en m²)	Niveau TN (m NGF)	Volume libéré (en m³)
Tranchée SMI	5 905	34,36	5 482
Gare Les Ardoines	7 312	33,50	14 231
OA Centre Technique Municipal	710	35,40	0
TOTAL	13 927	-	19 714

Les démolitions prévues sur le secteur permettent de dégager des volumes d'expansion pour les crues. Ce volume est estimé à environ 19 714 m3.

Les bâtiments concernés par la démolition sont sur des terrains de la Société du Grand Paris et de l'EPAORSA. Un accord de l'EPAORSA a été donné pour retenir ce volume pour le projet du Grand Paris Express.

Par conséquent et conformément au règlement du PPRI, en tenant compte de ces démolitions, les volumes soustraits sont totalement compensés. Les volumes supplémentaires dégagés permettront de contribuer à la compensation du site de maintenance des infrastructures de la Ligne 15 Sud, situé à proximité, au Sud de ce secteur. Cet ouvrage est analysé à partir de la page suivante.

b.<u>SMI de Vitry-sur-Seine</u>

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de cinq pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Le site concerné comporte actuellement des bâtiments d'activités considérés comme non inondable. La construction du SMI nécessitera leur démolition, ce qui permettra de récupérer un volume d'expansion des eaux de crue, pris en compte dans le calcul d'équilibre déblais/remblais. Ces bâtiments occupent une surface de 12 500 m² et se développent jusqu'à la cote de la crue centennale.

Tableau 28 : Calcul des volumes soustraits à la crue – SMI

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Volume soustrait par tranche (en m³)
1	[32,50 ; 33,00]	0,50	170
2	[33,00 ; 33,50]	0,50	1 105
3	[33,50 ; 34,00]	0,50	2 070
4	[34,00 ; 34,50]	0,50	5 060
5	[34,50 ; 34,68]	0,18	2 910
6	[34,68 ; 35,00]	0,32	- 2 290
7	[35,00 ; 35,49]	0,49	- 1 040
TOTAL	[32,50 ; 35,49]	2,99	7 985

En prenant en compte les démolitions des bâtiments existants sur le site du SMI, l'aménagement du SMI soustrait un volume à la crue de 7 985 m^3 pour la crue centennale.

Pour la réalisation de la gare des Ardoines et des ouvrages annexes, des démolitions de bâtiments existants sont nécessaires (voir rubrique précédente). Cela permet de dégager un volume disponible pour l'expansion des crues. En retirant les besoins de compensation de ces ouvrages de la Ligne 15 Sud, il restait 9 099 m^3 disponibles.

Du fait de l'implantation du SMI dans le même secteur urbain et soumis au même aléa, cette compensation est considérée comme cohérente. Par conséquent, les volumes soustraits à la crue par le site de maintenance des infrastructures (SMI) sont totalement compensés.

c. OA Friche Arrighi

Dans ce secteur, le niveau des PHEC est à 35,49 m NGF. Bien que l'ouvrage se situe dans la zone PPRI, le TN actuel, dans la zone d'implantation future de l'ouvrage de la friche, est à 35,80 m NGF en moyenne, soit au-dessus des PHEC. En effet, le niveau du TN a été remonté à 35,50 m NGF au moment de la construction de la centrale Arrighi, démolie depuis.

L'ouvrage s'inscrit sur un site essentiellement hors d'eau pour la crue centennale. Par conséquent, les volumes pour cet ouvrage sont nuls.

En conclusion et conformément au règlement du PPRI, l'aménagement de l'ouvrage annexe ne nécessite pas de volume compensatoire.

d. OA Rue de Rome

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des surfaces et des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de sept pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 16 : Calcul des volumes soustraits à la crue – OA Rue de Rome

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m^3)
1	[32,19 ; 32,69]	0,50	130	65
2	[32,69 ; 33,19]	0,50	130	65
3	[33,19 ; 33,69]	0,50	130	65
4	[33,69 ; 34,19]	0,50	130	65
5	[34,19 ; 34,69]	0,50	130	65
6	[34,69 ; 35,19]	0,50	130	65
7	[35,19 ; 35,49]	0,30	130	35
TOTAL	[32,19 ; 35,49]	3,30	-	425

L'essentiel des volumes pris à la crue est lié notamment à l'émergence des grilles de ventilation, mise hors d'eau.

Toutefois, l'aménagement du site prévoit la démolition de bâtiments existants.

Ces démolitions vont contribuer de manière significative à rendre de nouveaux espaces libres pour l'expansion de la crue. Le tableau suivant détaille, pour chaque tranche altimétrique, les surfaces et les volumes ainsi libérés.

Tableau 17 : Calcul des volumes redonnés à la crue – OA Rue de Rome

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface libérée par tranche (en m²)	Volume libéré par tranche (en m^3)
1	[32,19 ; 32,69]	0,50	170	85
2	[32,69 ; 33,19]	0,50	170	85
3	[33,19 ; 33,69]	0,50	170	85
4	[33,69 ; 34,19]	0,50	145	70
5	[34,19 ; 34,69]	0,50	145	70
6	[34,69 ; 35,19]	0,50	145	70
7	[35,19 ; 35,49]	0,30	145	45
TOTAL	[32,19 ; 35,49]	3,30	-	510

Par conséquent et conformément au règlement du PPRI, en tenant compte de ces démolitions, les volumes soustraits sont totalement compensés. Un surplus de 85 m^3 est constaté, soit près de 20 % en plus du volume soustrait.

e. Gare Le Vert-de-Maisons

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de sept pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 18 : Calcul des volumes soustraits à la crue – Gare Le Vert-de-Maisons

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m^3)
1	[32,06 ; 32,56]	0,50	2 460	485
2	[32,56 ; 33,06]	0,50	2 460	1 015
3	[33,06 ; 33,56]	0,50	2 460	1 225
4	[33,56 ; 34,06]	0,50	2 460	1 225
5	[34,06 ; 34,56]	0,50	2 460	1 225
6	[34,56 ; 35,06]	0,50	2 460	1 225
7	[35,06 ; 35,48]	0,42	2 460	1 045
TOTAL	[32,06 ; 35,48]	3,42	-	7 445

L'essentiel des surfaces et des volumes pris à la crue est lié à l'émergence de la gare, mise hors d'eau. Les locaux nord et la mise en place de système anti-crue contribuent également à limiter le champ d'expansion de crue.

Toutefois, l'aménagement du site prévoit la démolition de bâtiments existants. Ces démolitions vont contribuer de manière significative à rendre de nouveaux espaces libres pour l'expansion de la crue. Le tableau suivant détaille, pour chaque tranche altimétrique, les volumes ainsi libérés.

Tableau 19 : Calcul des volumes redonnés à la crue – Gare Le Vert-de-Maisons

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface libérée par tranche (en m²)	Volume libéré par tranche (en m³)
1	[32,06 ; 32,56]	0,50	1 590	270
2	[32,56 ; 33,06]	0,50	1 750	850
3	[33,06 ; 33,56]	0,50	1 750	875
4	[33,56 ; 34,06]	0,50	1 750	875
5	[34,06 ; 34,56]	0,50	1 750	875
6	[34,56 ; 35,06]	0,50	1 750	875
7	[35,06 ; 35,48]	0,42	1 750	735
TOTAL	[32,06 ; 35,48]	3,42	-	5 355

Par conséquent, en tenant compte de ces démolitions, les volumes soustraits sont réduits, comme le présente le tableau suivant. Le volume global soustrait à la crue passe ainsi de 7 445 m³ à 2 090 m³, soit une diminution de plus de 70%. Cet abattement est sensiblement homogène pour chacune des tranches garantissant ainsi une « compensation dynamique » de la crue.

Tableau 20 : Calcul des volumes réellement soustraits à la crue – Gare Le Vert-de-Maisons

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m³)
1	[32,06 ; 32,56]	0,50	870	215
2	[32,56 ; 33,06]	0,50	710	165
3	[33,06 ; 33,56]	0,50	710	350
4	[33,56 ; 34,06]	0,50	710	350
5	[34,06 ; 34,56]	0,50	710	350
6	[34,56 ; 35,06]	0,50	710	350
7	[35,06 ; 35,48]	0,42	710	310
TOTAL	[32,06 ; 35,48]	3,42	-	2 090

Il nécessaire de compenser 2 090 m3 pour la gare de Vert de Maisons.

Au vu du contexte urbain de ce secteur, il n'est pas possible de prévoir un décaissement du niveau du terrain naturel pour récupérer ce volume. Dans le cadre du projet connexe prévu au niveau de cette gare, il est prévu la création d'un parking souterrain qui permettra d'assurer la compensation en cas de crue.

Par conséquent, les volumes soustraits à la crue par la gare de Vert de Maisons sont totalement compensés.

f. OA Université Créteil.

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des surfaces et des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de trois pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 21 : Calcul des volumes soustraits à la crue – OA Université Créteil

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m³)
1	[34,21 ; 34,71]	0,50	180	90
2	[34,71 ; 35,21]	0,50	180	90
3	[35,21 ; 35,71]	0,50	180	50
TOTAL	[34,21 ; 35,71]	1,50	-	230

L'essentiel des volumes pris à la crue est lié notamment à l'émergence des grilles de ventilation, mise hors d'eau, soit un volume soustrait global de 230 m³.

La réalisation d'un bassin de compensation à proximité de l'ouvrage est prévue, équipé des dispositifs nécessaires pour la temporisation de la compensation (respect des tranches de compensation). Le fond du bassin ne descendra en-dessous de la cote de la Retenue Normale +29.65 NGF (RN). Ce bassin doit permettre la compensation du volume occupé, soit 230 m³.

Par conséquent et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait sera totalement compensé grâce à l'aménagement du bassin de compensation.

g.Gare Créteil l'Echat

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des surfaces et des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de sept pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.Tableau 21 : Calcul des volumes soustraits à la crue – Gare Créteil l'Echat

Tableau 22 : Calcul des volumes soustraits à la crue – Gare de Créteil l'Echat

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m³)
1	[33,29 ; 33,79]	0,50	390	130

2	[33,79 ; 34,29]	0,50	490	240
3	[34,29 ; 34,79]	0,50	1 080	330
4	[34,79 ; 35,29]	0,50	1 930	740
5	[35,29 ; 35,48]	0,19	2 590	490
TOTAL	[34,21 ; 35,48]	2,19	-	1 930

L'essentiel des volumes pris à la crue est lié notamment à l'émergence de la gare et la mise hors d'eau du parvis, soit un volume soustrait global de 1 930 m^3.

Dans le cadre de la gare de Créteil l'Echat, il est prévu l'implantation d'un projet dit connexe porté par un promoteur pour développer une opération immobilière sur la parcelle mitoyenne à la gare du Grand Paris Express. Ce projet est notamment présenté dans la pièce B.2 de la présente étude d'impact, au niveau des éléments sur la gare concernée.

Pour compenser les volumes pris à la crue par la gare de Créteil l'Échat, le cahier des charges élaboré par la Société du Grand Paris pour la désignation d'un promoteur prend bien en compte ce besoin, et prescrit la mise en place d'un volume dédié au 1930 m^3 nécessaire.

Cette mesure pourra se traduire par la mise en place par le promoteur d'un parking souterrain à proximité immédiate de la gare permettant de libérer 3000 m^3. Elle permettra de compenser le volume pris à la crue par l'implantation de la gare de Créteil l'Echat. Du fait du fonctionnement de la gare et de la nécessité d'assurer l'accès aux quais de la gare, il n'est pas possible d'intégrer ces volumes de compensation directement dans la boite souterraine de la gare.

Des dispositifs seront prévus dans le parking du projet connexe pour assurer l'évacuation des eaux de crue en dehors de l'ouvrage.

Par conséquent et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait devra être totalement compensé grâce à l'aménagement du parking souterrain du projet connexe.

2.5.3 Conformité et compatibilité des aménagements de la Ligne 15 sud sur le secteur de Vitry-sur-Seine

2.5.3.1 PPRI 94

Le règlement du PPRI de la Marne et de la Seine dans le département du Val-de-Marne précise, pour chacune des zones réglementées, à l'article 3.1 que les « infrastructures de transport ainsi que les équipements nécessaires à leur fonctionnement et leur exploitation sont autorisés […] ».

A la lecture du règlement, l'aménagement des gares Les Ardoines, Le Vert-de-Maisons, Créteil l'Echat et des sept ouvrages annexes concernés apparaît donc autorisé par le règlement du PPRI de la Marne et de la Seine dans le département du Val-de-Marne.

L'article 3.1 conditionne toutefois l'autorisation « sous réserve d'étude hydraulique et de mesures compensatoires garantissant la transparence hydraulique et le maintien du champ d'expansion des crues pour une crue centennale ».

Le règlement précise en outre que « tout remblaiement ou réduction de la capacité de stockage des eaux de la crue de référence devra être compensé par un volume égal de déblais pris sur la zone d'aménagement. » (Titre 2-Art.3.2.2, chapitres 1 à 5).

Commentaires : l'ensemble des volumes soustraits à la crue liés aux émergences des ouvrages annexes est compensé (cf. paragraphe 5.2). Le règlement précise explicitement la nécessité de la réalisation d'une étude hydraulique. Cette étude hydraulique, basée sur une modélisation hydrodynamique, est l'objet de ce présent rapport

Le règlement du PPRI fixe des prescriptions sur les cotes plancher des aménagements en fonction des zones réglementaires concernées mais aussi de la typologie d'aménagement ou de bâtiment (habitations, activités…).

En terme de cote réglementaire, la plus contraignante est celle de fixer la cote du 1er plancher au minimum à la cote des PHEC (crue centennale).

Commentaires : l'ensemble de l'infrastructure (gare, ouvrage annexe, tunnel…) sera mis hors d'eau jusqu'à la cote casier (crue centennale) + 20 cm. Cet objectif est donc cohérent avec les prescriptions abordées ci-avant.

2.5.3.2 SDAGE du bassin de la Seine et cours d'eau côtiers normands

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2010-2015 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands rappelle que la prévention du risque d'inondation doit être cohérente à l'échelle d'un bassin versant et intégrer l'ensemble des composantes suivantes : évaluation du risque, information préventive, réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes, préservation des zones naturelles d'expansion des crues, urbanisation raisonnée, gestion adaptée des eaux de ruissellement pluviales.

La prévention du risque doit systématiquement être privilégiée à la protection qui peut aggraver la situation en amont et en aval de la zone protégée et dégrader les espaces naturels.

La prévention du risque d'inondation se décline dans le SDAGE au défi n°8 « limiter et prévenir le risque inondation » en cinq orientations, dont notamment :

- Orientation 30 : réduire la vulnérabilité des personnes et des biens exposés au risque d'inondation ;
- Orientation 31 : préserver et reconquérir les zones naturelles d'expansion des crues.

Chacune de ces orientations est déclinée en dispositions.

Le projet prend en compte les orientations susmentionnées du SDAGE et les dispositions liées, notamment :

- Orientation 30, disposition 134. « Développer la prise en compte du risque d'inondation pour les projets situés en zone inondable »

  L'ensemble des infrastructures sera mis hors d'eau jusqu'à la cote de crue centennale + 20 cm. D'autre part, chaque ouvrage a fait l'objet d'une compensation systématique des volumes soustraits à la crue et a fait l'objet d'une analyse des incidences en lit mineur et lit majeur par une modélisation hydro-dynamique (objet du présent rapport) ;

- Orientation 31, disposition 139. « Compenser les remblais autorisés permettant de conserver les conditions d'expansion des crues »

  Bien qu'on ne puisse pas considérer, compte tenu du caractère très urbanisé du secteur du projet, que les zones actuelles d'expansion des crues sont des zones « naturelles », le projet s'attache à compenser systématiquement les remblais ou espaces pris à la crue (gares et ouvrages annexes mis hors d'eau), ceci afin de conserver les conditions actuelles d'expansion des crues.

Révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands

Le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands est en cours de révision. Pour réviser le SDAGE, le Comité de bassin a d'abord élaboré un «état des lieux», approuvé en décembre 2013, permettant de délimiter les masses d'eau du bassin Seine et cours d'eau côtiers normands, de réévaluer leur état et d'identifier les sources de pollutions à l'origine de leur dégradation. Cet état des lieux a permis de mettre en avant les principaux enjeux de la gestion de l'eau à l'horizon 2021, c'est-à-dire les facteurs empêchant d'atteindre les objectifs demandés par la Directive Cadre sur l'Eau.

La révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands et l'élaboration du plan de gestion des risques d'inondation PGRI font l'objet conformément au code de l'environnement d'une consultation du public du 19 décembre 2014 au 18 juin 2015 dans les préfectures et au siège de l'Agence de l'Eau. Il est prévu d'entrer en vigueur au 1er janvier 2016.

Le défi 8 du projet de SDAGE 2016-2021 traite du volet « inondation », ses dispositions sont articulées avec la mise en œuvre de la directive inondation (et notamment du PGRI).

La figure suivante présente de manière synthétique le projet des orientations et dispositions du défi 8.

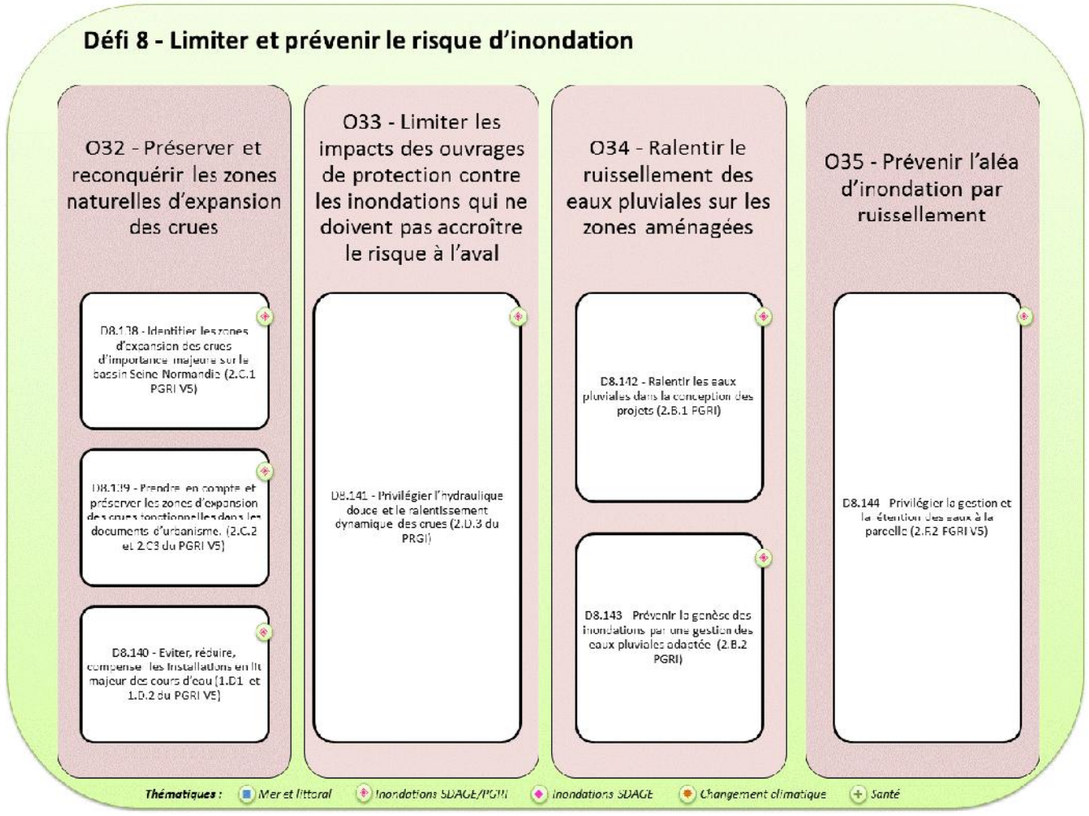


Figure 5 : Projet des orientations et des dispositions du défi 8 de la révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands.

Le projet d'infrastructure détaillé dans le présent rapport est compatible avec le SDAGE en vigueur et conforme à la réglementation en vigueur (PPRI notamment).

En fonction des dispositions qui seront in fine approuvées du SDAGE révisé, le projet s'attachera à les intégrer.

Dès à présent, le projet est cohérent avec la principale disposition concernée, la disposition D8.140. « Eviter, réduire, compenser les installations en lit majeur des cours d'eau » (1.D1 et 1.D.2 du PGRI) :

« Les aménagements dans le lit majeur des cours d'eau doivent satisfaire un principe de neutralité hydraulique : ils ne doivent pas aggraver le phénomène d'inondation et ses impacts potentiels en amont et en aval. De plus, ces aménagements ne doivent pas compromettre les capacités d'expansion des crues.

Pour satisfaire ce principe une réflexion doit être menée sur l'implantation des aménagements et leur conception.

S'il n'est pas possible d'éviter l'implantation de ces aménagements dans le lit majeur des cours d'eau, leurs impacts sur l'écoulement des crues doivent être réduits.

Les impacts de ces aménagements qui ne pourraient pas être réduits font l'objet de mesures compensatoires permettant de restituer intégralement au lit majeur du cours d'eau les surfaces d'écoulement et les volumes de stockage soustraits.

Les compensations doivent intervenir par restitution de volumes et de surface à partir de la cote du pied de remblai. Le déblai d'un volume de matériaux en dessous de la cote du pied de remblais ne permet pas de satisfaire l'objectif de restitution de volumes et de surfaces d'écoulement.

Afin de garantir l'efficience des mesures compensatoires, il est recommandé de les regrouper sur un même site à proximité des projets d'aménagement.

La recherche de compensations des impacts hydrauliques doit être mobilisée en dernier recours. »

Ainsi, le projet s'attache à compenser systématiquement les remblais ou espaces pris à la crue (gares et ouvrages annexes mis hors d'eau), ceci afin de conserver les conditions actuelles d'expansion des crues.

De plus, la neutralité hydraulique a été évaluée avec la modélisation hydrodynamique en lit mineur et en lit majeur, pour l'ensemble des ouvrages concernés.

2.5.3.3 SAGE Bièvre

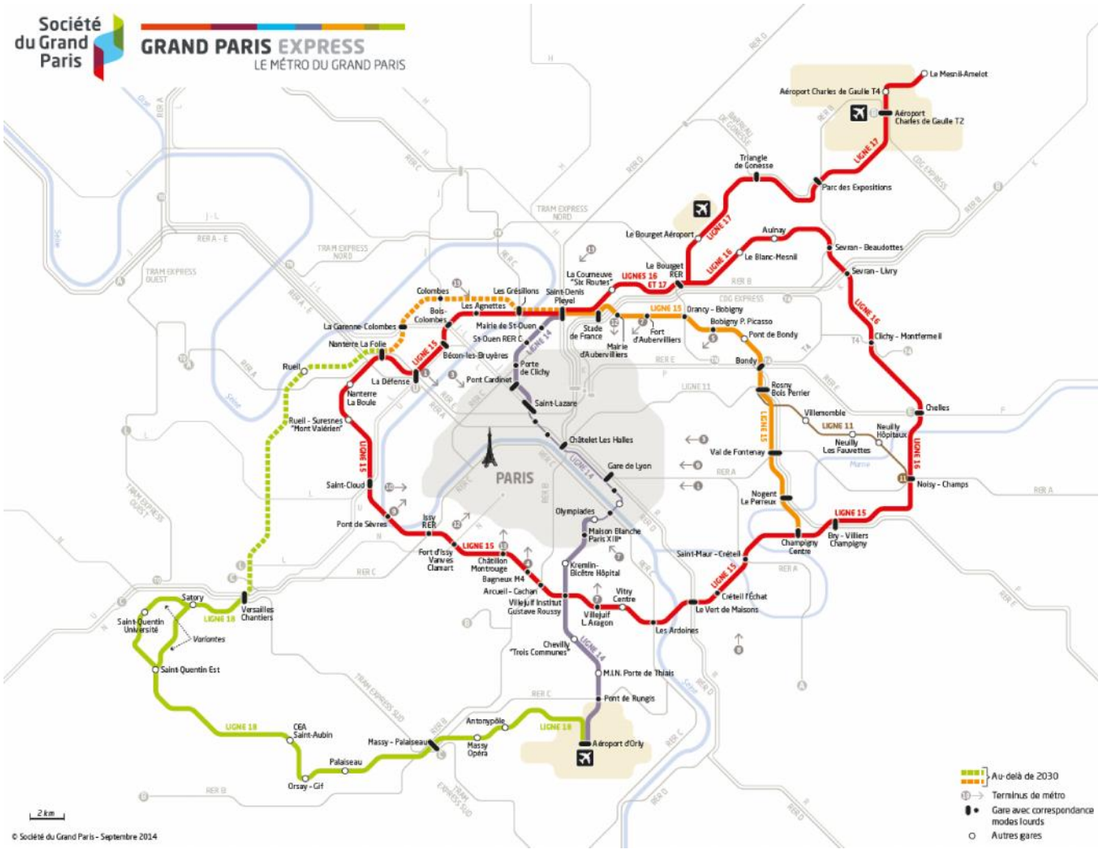
Le SAGE Bièvre est actuellement en cours d'élaboration, aucune compatibilité réglementaire n'est nécessaire, toutefois, le projet est compatible avec les préconisations du SAGE dans sa version actuelle.

3 Annexe 3 : Gestion du risque inondation – Modélisation de la Seine du pont du Garigliano à la passerelle de l'Avre

3.1 Contexte et objet de l'étude

3.1.1 Contexte général

Le Grand Paris est un projet d'aménagement à l'échelle de la métropole francilienne ayant pour objectif d'améliorer le cadre de vie des habitants, de corriger les inégalités territoriales et de construire une ville durable. Ce projet prévoit la création d'un nouveau réseau de métro : le Grand Paris Express. Ce nouveau réseau porte sur l'extension du réseau existant et sur la création de 4 nouvelles lignes de métro automatique (cf. illustration ci-dessous).



Carte 98 : Projet du Grand Paris Express (Source : Société du Grand Paris, Septembre 2014)

La ligne 15 est une ligne entièrement nouvelle qui constitue une rocade proche de Paris d'une longueur d'environ 75 km. Il s'agit d'un métro totalement souterrain qui reliera 36 nouvelles gares. Cette rocade est composée de trois tronçons dont la mise en service s'échelonne dans le temps :

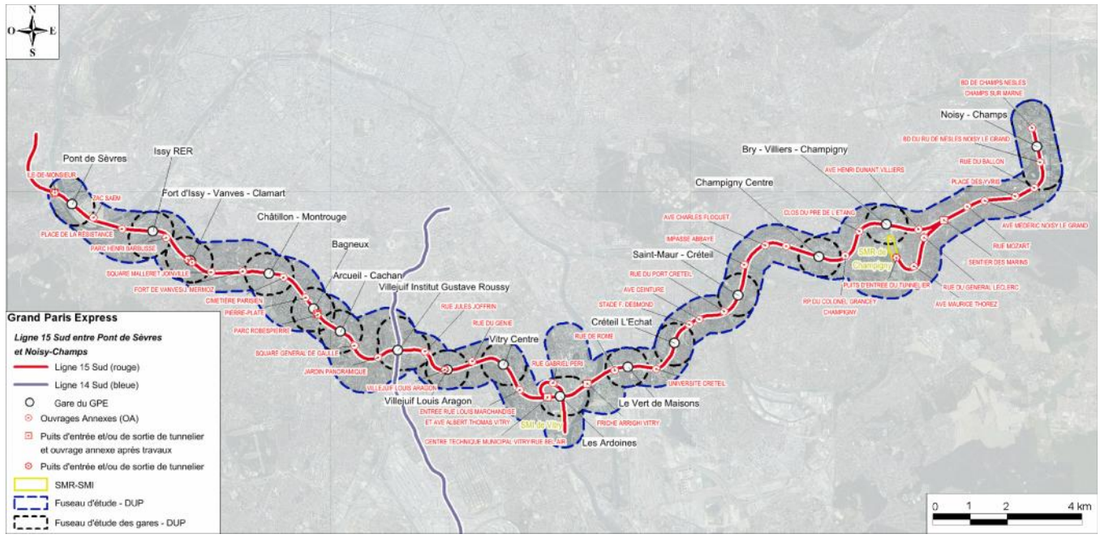
- La Ligne 15 Sud (environ 33 km), sous maîtrise d'ouvrage de la Société du Grand Paris (SGP), qui relie la gare de Pont de Sèvres et celle de Noisy-Champs (mise en service à horizon 2022),

- La Ligne 15 Ouest (environ 21 km), sous maîtrise d'ouvrage SGP, qui relie la gare de Pont de Sèvres à celle de Saint-Denis Pleyel (mise en service à horizons 2025 et 2027),

- La ligne 15 Est (environ 24 km), sous maîtrise d'ouvrage Stif, qui relie la gare de Saint-Denis Pleyel à celle de Champigny-Centre (mise en service à horizons 2025 et 2030).

Ainsi, à l'horizon 2022, le tronçon Sud de la Ligne 15 reliera les gares de Noisy-Champs et Pont de Sèvres sur un linéaire de 33 km en 35 minutes. La totalité des 16 gares de la Ligne 15 Sud seront en correspondance avec les lignes de RER, de métro, de tramway et/ou de transport en commun en site propre.

Cette ligne sera dotée d'un Site de Maintenance des Infrastructures (SMI) situé au sud du secteur des Ardoines sur la commune de Vitry-sur-Seine et d'un Site de Maintenance et Remisage (SMR) sur la commune de Champigny-sur-Marne.



Carte 99 : Ligne 15 Sud du Grand Paris Express (Source : BURGEAP/BIOTOPE, 2014)

Le tracé de la ligne 15 Sud traverse trois cours d'eau :

- la Seine sur le secteur de Vitry-sur-Seine/Alfortville et le secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt,
- la Marne sur le secteur de la boucle de Saint-Maur-des-Fossés,
- la Bièvre pour le secteur Arcueil-Cachan.

La présente étude porte sur le secteur de la boucle de la Seine à Boulogne-Billancourt au droit duquel 2 gares et 3 ouvrages annexes dont un puit d'attaque tunnelier sont présents en zone inondable d'après la cartographie des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) (cf. cartographie suivante).



Carte 100 : Extrait de la cartographie des Plus Hautes Eaux Connues (Source : CARMEN)

3.1.2 Contexte réglementaire

3.1.2.1 Le Plan de Prévention des Risques Inondation des Hauts de Seine (PPRI 92)

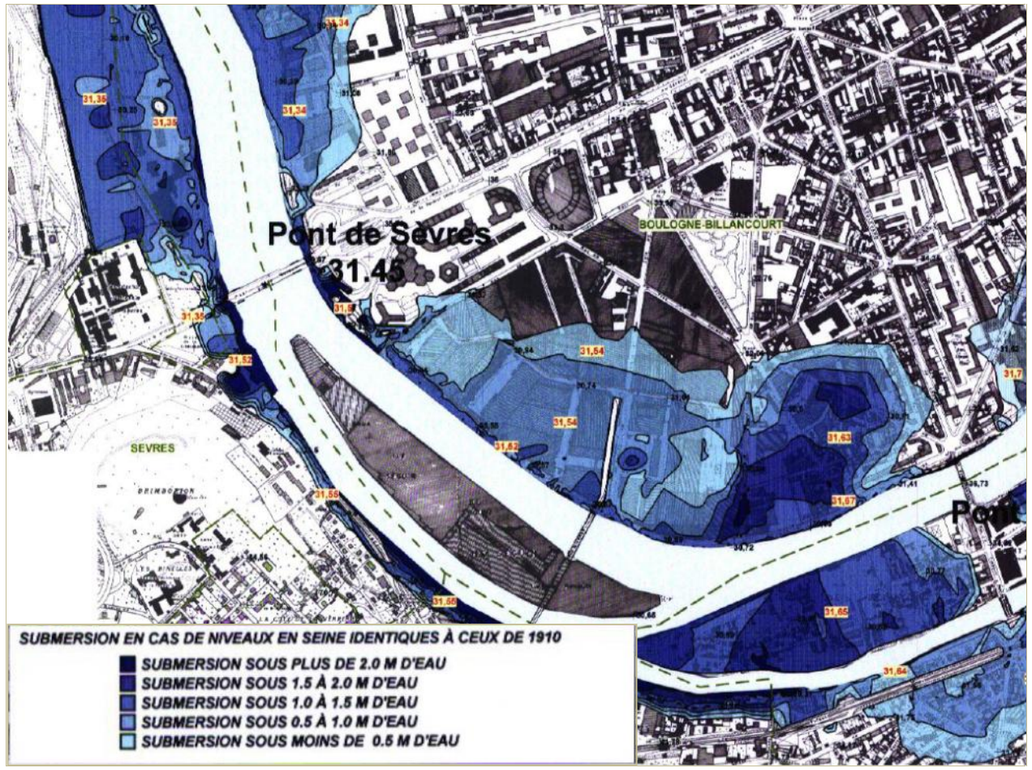
Sur le secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt, le projet est concerné par le Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) de la Seine dans les Hauts-de-Seine.

Ce PPRI concerne 18 communes du département des Hauts-de-Seine. Il a été prescrit par arrêté préfectoral du 29 mai 1998 puis approuvé par arrêté préfectoral du 9 janvier 2004.

Trois niveaux d'aléas ont été retenus :

- aléas très forts correspondant à des hauteurs de submersion de plus de deux mètres,
- aléas forts correspondant à des hauteurs de submersion comprises entre 1 et 2 mètres,
- autres aléas correspondant à des hauteurs de submersion inférieures à 1 mètre.

La carte ci-dessous présente un extrait de la carte de l'aléa « hauteur d'eau » sur les communes de Sèvres et Boulogne-Billancourt dans les Hauts-de-Seine, au droit du secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt.



Carte 101 : Extrait de la carte de l'aléa « hauteur d'eau » sur les communes de Sèvres et Boulogne-Billancourt dans les Hauts-de-Seine (source : PPRI 92)

Conformément à la réglementation en vigueur à la date d'approbation du PPRI , un zonage réglementaire a été élaboré sur la base d'une analyse croisée de l'aléa et des enjeux sur le territoire concerné par le PPRI. Le zonage délimite quatre zones ainsi définies :

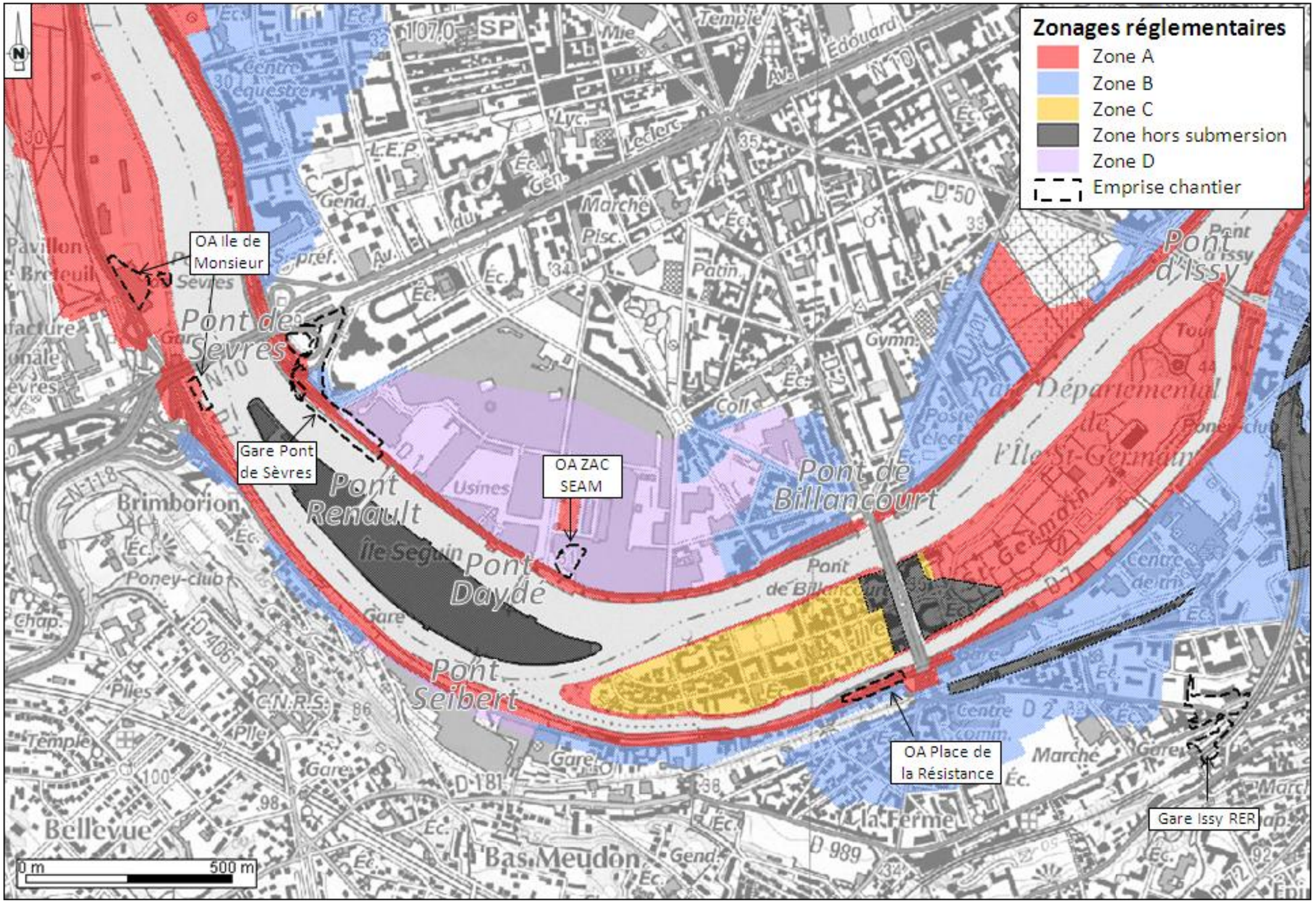
- une zone rouge dite « zone A » correspondant aux zones à forts aléas et aux zones à préserver au titre de la capacité de stockage de la crue quel que soit le niveau d'aléa (berges du fleuve et espaces non bâtis ou très peu bâtis qui constituent des zones d'expansion de crues),
- une zone bleue dite « zone B » correspondant aux « centres urbains ». Ce sont des espaces urbanisés caractérisés par leur histoire, une occupation du sol importante, une continuité du bâti et la mixité des usages entre logements, commerces et services,
- une zone orange dite « zone C » correspondant aux « zones urbaines denses ». Il s'agit de secteurs qui ne répondent pas à toutes les caractéristiques des « centres urbains ». Il convient de limiter la densification de ces territoires,
- une zone violette dite « zone D » correspondant aux « zones de mutations urbaines ». Il s'agit de secteurs dont l'urbanisation est prévue au Schéma Directeur de la Région Ile-de-France et présente un intérêt stratégique au niveau régional. Ces zones concernent les terrains Renault sur Boulogne et Meudon et les terrains Gaz de France à Gennevilliers et Villeneuve-la-Garenne.

Au droit du secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt, 5 sites sont concernés par le zonage réglementaire du PPRI 92 :

- le puits d'attaque de l'Ile de Monsieur est situé en zone rouge,
- le centre de traitement des boues, proche de l'OA[4] Ile de Monsieur, est installé en zone rouge,
- la gare de pont de Sèvres est située en zone rouge,
- l'ouvrage annexe OA ZAC SEAM est situé en zone violette,
- l'ouvrage annexe OA Place de la Résistance est situé en zone rouge.

La carte suivante présente les positions des emprises du projet en phase chantier au droit du secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt par rapport au zonage réglementaire du PPRI 92.

[4] Ouvrage Annexe : Puits secondaires servant d'aération et de sortie de secours au tunnel.



Carte 102 : Extrait de la carte des zonages réglementaires du PPRI des Hauts de Seine (Source : PPRI 92)

3.1.2.2 Le Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) de la métropole francilienne

Le secteur de la boucle de la Seine à Boulogne-Billancourt est concerné par le Territoire à Risque important d'Inondation (TRI) « Métropole francilienne ».

Les TRI découlent de l'application de la directive « inondation », qui fixe une méthode de travail permettant aux territoires exposés au risque d'inondation de travailler à réduire ses conséquences négatives.

Sur le bassin Seine-Normandie, comme sur les autres bassins, cette méthode s'articule autour de trois grands objectifs, auxquels sont associés des délais de réalisation :

- l'Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation (EPRI) constituant un diagnostic global à l'échelle du bassin Seine-Normandie ;
- l'établissement de cartes des zones inondables et des risques d'inondation pour les crues de faible, moyenne et forte probabilité à l'échelle des Territoires à Risque important d'Inondation (TRI) (arrêté d'approbation du 20 décembre 2013). Le choix des TRI a été arrêté le 27 novembre 2012 pour le bassin Seine-Normandie ;
- l'élaboration d'un Plan de Gestion des Risques d'Inondation (PGRI) à l'échelle du bassin Seine-Normandie présentant les objectifs de gestion du risque inondation fixés et les mesures retenues pour les atteindre (échéance décembre 2015).

La directive introduit donc une nouvelle obligation en droit français : réduire les conséquences négatives de tous les types d'inondation pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique.

3.1.2.3 Le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands

La ligne 15 Sud est concernée dans sa totalité par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands. Il s'agit d'un document de planification de la ressource en eau.

Il permet, à la suite d'un état des lieux, de fixer pour six années les orientations et actions pour atteindre les objectifs de qualité et de quantité pour chaque masse d'eau.

Le SDAGE a valeur réglementaire et est opposable aux documents d'urbanisme et aux décisions administratives dans le domaine de l'eau. Il est complété par un plan d'actions, dit « programme de mesures » (PDM), élaboré par l'Etat.

Approuvé fin 2009, le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands 2010-2015 comporte 8 défis généraux et un programme de mesures défini au niveau de chaque masse d'eau.

Le défi n°8 a pour objectif de limiter et de prévenir le risque d'inondation.

Les priorités données à ce thème sont, d'une part de limiter les dégâts liés au risque d'inondation [...], et, d'autre part de ne pas aggraver l'aléa [...]. Il faut systématiquement privilégier la prévention plutôt que la protection qui peut aggraver la situation en amont de la zone protégée et pénaliser les milieux aquatiques.

Les principales orientations de ce défi liées au risque d'inondation sont :

- l'orientation 30 : « Réduire la vulnérabilité des personnes et des biens exposés au risque d'inondation ». Elle contient, notamment, la disposition 134 : « Développer la prise en compte du risque d'inondation pour les projets situés en zone inondable » ;
- l'orientation 31 : « Préserver et reconquérir les zones naturelles d'expansion des crues », avec, notamment, la disposition 139 : « Compenser les remblais autorisés permettant de conserver les conditions d'expansion des crues ».

Une révision du SDAGE pour la période 2016-2021 est en cours pour une adoption prévue en décembre 2015. L'état des lieux du SDAGE a ainsi été validé en décembre 2013.

3.1.2.4 Code de l'environnement et Loi sur l'eau

Ce que l'on appelle couramment Loi sur l'eau est en fait codifié depuis 2009 dans le Code de l'Environnement aux articles L214-1 et suivants.

Une nomenclature des installations, ouvrages, travaux et aménagements (iota) a été élaborée pour définir les seuils et les procédures dont relèvent ces iotas. Elle fait l'objet de l'article R214-1 du Code de l'Environnement.

Les rubriques de cette nomenclature relatives aux lits mineur et majeur d'un cour d'eau et concernées par le projet sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 29 : Position du projet vis-à-vis du titre 3 de la nomenclature de la loi sur l'eau

Rubrique	Intitulé	Critère		Régime	Projet au droit de la boucle de Boulogne-Billancourt
Titre 3 : Impacts sur le milieu aquatique ou la sécurité publique					
3.1.1.0	Installations, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant :	1° Un obstacle à l'écoulement des crues		Autorisation	Gare de Pont de Sèvres : remblai en lit mineur et estacade Ile Monsieur : Installations portuaires sous forme de Ducs d'Albe
		2° Un obstacle à la continuité écologique :	a) Entraînant une différence de niveau supérieure ou égale à 50 cm, pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation	Autorisation	Non concerné – Pas d'obstacle à la continuité écologique
			b) Entraînant une différence de niveau supérieure à 20 cm mais inférieure à 50 cm pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation	Déclaration	
3.1.2.0	Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau :	1° Sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m		Autorisation	Gare de Pont de Sèvres : remblai en lit mineur et estacade Ile Monsieur : Installations portuaires sous forme de Ducs d'Albe
		2° Sur une longueur de cours d'eau inférieure à 100 m		Déclaration	
3.2.1.0	Entretien de cours d'eau ou de canaux, à l'exclusion de l'entretien visé à l'article L. 215-14 réalisé par le propriétaire riverain, des dragages visés à la rubrique 4. 1. 3. 0 et de l'entretien des ouvrages visés à la rubrique 2. 1. 5. 0, le volume des sédiments extraits étant au cours d'une année Est également exclu jusqu'au 1er janvier 2014 l'entretien ayant pour objet le maintien et le rétablissement des caractéristiques des chenaux de navigation lorsque la hauteur de sédiments à enlever est inférieure à 35 cm ou lorsqu'il porte sur des zones d'atterrissement localisées entraînant un risque fort pour la navigation. L'autorisation est valable pour une durée qui ne peut être supérieure à dix ans. L'autorisation prend également en compte les éventuels sous-produits et leur devenir.	1° Supérieur à 2 000 m^3		Autorisation	Dragages envisagés à Ile de Monsieur et Friche Arrighi
		2° Inférieur ou égal à 2 000 m^3 dont la teneur des sédiments extraits est supérieure ou égale au niveau de référence S1		Autorisation	Dragages envisagés à Ile de Monsieur et Friche Arrighi
		3° Inférieur ou égal à 2 000 m^3 dont la teneur des sédiments extraits est inférieure au niveau de référence S1		Déclaration	Dragages envisagés à Ile de Monsieur et Friche Arrighi
3.2.2.0	Installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau :	1° Surface soustraite supérieure ou égale à 10 000 m²		Autorisation	Deux zones concernées pour toute la ligne 15 Sud : - Ile Monsieur – Issy RER (exclue) : lit majeur de la Seine - Ardoines – Saint Maur Créteil (exclue) : lit majeur de la Seine et lit majeur de la Marne Pour chaque gare, la surface soustraite à la crue dépasse 400 m². La surface cumulée de tous les ouvrages dépasse 10 000 m². Le SMI Vitry dépasse à lui seul 10 000 m².
		2° Surface soustraite supérieure ou égale à 400 m² et inférieure à 10 000 m²		Déclaration	

3.1.2.5 Doctrine DRIEE « Aménagements impactant le libre écoulement des eaux »

La Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie d'Ile de France (DRIEE IF) a émis une doctrine, mise à jour en octobre 2010, afin de présenter aux pétitionnaires les préconisations concernant les aménagements présentant un impact sur le libre écoulement des eaux.

Cette doctrine présente, entre autre :

- les éléments réglementaires de référence,
- des éléments techniques sur les crues, les impacts potentiels,
- les éléments attendus dans l'étude des impacts,
- les préconisations de la DRIEE en matière de mesures compensatoires.

Par ailleurs, cette doctrine demande à ce que le pétitionnaire produise une étude hydraulique permettant l'évaluation des impacts pour l'établissement des mesures correctives et/ou compensatoire de son projet.

Cette doctrine a servi de ligne directrice à la rédaction du présent rapport.

3.1.3 Objet de l'étude

Compte tenu des caractéristiques du projet, notamment l'empiètement sur le lit mineur en phase chantier et exploitation au droit de la gare de pont de Sèvres, ce dernier nécessite l'élaboration d'un dossier d'autorisation au titre de la Loi sur l'eau. Dans le cadre de ce dossier, une étude hydraulique permettant d'évaluer les incidences du projet sur le fonctionnement hydraulique de la Seine est nécessaire.

Cette étude a pour vocation de caractériser les impacts du projet vis-à-vis du risque inondation. Compte tenu de la complexité du projet et de son périmètre (plusieurs ouvrages sont référencés en zone inondable au niveau de la boucle de Boulogne-Billancourt), une modélisation hydraulique a été réalisée.

Ce rapport présente donc les caractéristiques du modèle numérique réalisé et les incidences des phases travaux et exploitation du projet de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express sur les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau lors de différentes crues de la Seine. Les modélisations prennent en compte les mesures de compensation volumique.

3.2 Contexte hydrologique et hydraulique

3.2.1 Hydrologie de la Seine

3.2.1.1 Le bassin versant de la Seine

Second fleuve français après la Loire par sa longueur, la Seine prend sa source en Côte-d'Or (21) sur le plateau de Langres pour se jeter après 777 km de parcours au droit de son embouchure dans la Manche, à l'extrémité de l'estuaire de la Seine, au sud du Havre (76).

Cours d'eau pour l'essentiel de plaine, la Seine a formé de multiples et profonds méandres de par sa faible déclivité. Ces méandres sont parfois d'une forte sinuosité sur plusieurs dizaines de kilomètres, comme c'est le cas pour le méandre de Boulogne-Billancourt.

A Paris, son bassin versant s'étend sur 43 800 km². Ses principaux affluents sont la Marne, l'Yonne et l'Aube.

Au droit du secteur d'étude, la Seine est navigable et aménagée. Les berges sont principalement artificialisées. A l'aval, le barrage-écluse de Suresnes, situé au droit du Bois de Boulogne, régule le niveau d'eau dans le bief comprenant le secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt à 26,72 m NGF (retenue normale).

La Seine est un cours d'eau domanial. La berge et le lit appartiennent à l'État, les tronçons navigables sont gérés par l'établissement public Voies Navigables de France.

3.2.1.2 Crues historiques

Au 20ème siècle, la Seine a connu 9 crues majeures. Les quatre principales sont celle de janvier 1910, janvier 1924, janvier 1955 et janvier 1982.

La crue la plus importante est celle de janvier 1910, avec une hauteur d'eau maximale relevée au pont d'Austerlitz de 8,62 m. La durée totale de la crue avait été de 51 jours, dont 13 proches de l'amplitude maximale. Cette crue est dite « centennale ».

Les caractéristiques de la crue de 1910 servent de référence historique pour les crues exceptionnelles sur la Seine et sur la partie aval de la Marne, en application des circulaires interministérielles du 24 avril 1996 et 5 février 1998 relatives à la prise en compte du risque inondation en région Ile-de-France. Il s'agit de la crue de référence du PPRI des Hauts de Seine.

La crue de 1924 est la seconde crue majeure du 20ème siècle avec des niveaux d'eau mesurés à 7,32 m au pont d'Austerlitz à Paris. D'après les ajustements statistiques effectués lors de la cartographie des zones inondables et des risques inondation du TRI Métropole Francilienne, cette crue a une période de retour d'environ 30 ans.

La crue de 1955 présente des débits et hauteurs d'eau similaires à la crue de 1924. La hauteur d'eau mesurée au pont d'Austerlitz le 23 janvier 1955 est de 7,12 m. La période de retour de cette crue est également de l'ordre de 30 ans.

La crue de 1982 a eu lieu après la création des grands lacs permettant d'écrêter les crues en amont de Paris et de protéger la capitale. Cette crue est la moins importante des 4 crues majeures du 20ème siècle avec des hauteurs observées à 6,15 m au pont d'Austerlitz. Cette crue est dite décennale.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des quatre crues majeures enregistrées au pont d'Austerlitz à Paris au cours du 20ème siècle.

Tableau 30 : Hauteur d'eau mesurée au droit du pont d'Austerlitz pour les 4 crues majeures du 20ème siècle

Crues	Hauteur d'eau mesurée au pont d'Austerlitz (m)	Date de la mesure	Débit estimé au pont d'Austerlitz (m^3/s)	Période de retour estimée
Janvier 1910	8,62	28/01/1910	2 560	100 ans
Janvier 1924	7,32	06/01/1924	2 140	30 ans
Janvier 1955	7,12	23/01/1955	2 085	30 ans
Janvier 1982	6,15	14/01/1982	1 790	10 ans

Le tableau suivant présente les repères de crues disponibles sur le secteur d'étude (du pont de Garigliano à la passerelle de l'Avre) pour ces différentes crues.

Tableau 31 : Hauteur d'eau mesurée au droit des ponts du secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt pour les 4 crues majeures du 20ème siècle

Source	Pont du Garigliano				Pont d'Issy			
	1982	1955	1924	1910	1982	1955	1924	1910
SNS (Subdivision de Suresnes)	30.35	31.10	31.36	32.16	30.25	31.04	31.14	31.91
Port Autonome de Paris	30.20	31.09	-	32.15	30.25	31.14	-	31.91
DRIEE IF*	30.20	31.08	31.35	32.15	-	31.04	31.14	31.91
Source	Pont de Billancourt				Pont de Sèvres			
	1982	1955	1924	1910	1982	1955	1924	1910
SNS (Subdivision de Suresnes)	29.89	30.80	30.99	31.68	29.59	30.49	30.63	31.45
Port Autonome de Paris	29.89	30.80	-	31.68	29.63	30.49	-	31.45
DRIEE IF*	-	30.80	30.99	31.68	-	30.48	30.62	31.45
Source	Pont de Saint-Cloud				Passerelle de l'Avre			
	1982	1955	1924	1910	1982	1955	1924	1910
SNS (Subdivision de Suresnes)	29.54	30.32	30.53	31.26	29.42	30.22	30.40	31.12
Port Autonome de Paris	29.64	30.32	-	31.26	29.42	30.22	-	31.12
DRIEE IF*	-	30.32	30.53	31.26	-	30.22	30.40	31.12

* Niveaux extraits du document DRIEE IF – SPRN/PCPAN/UEHM répertoriant les niveaux d'eau pour les crues de la Seine à Paris et fournit en 2011 (cf. annexe 1).

3.2.1.3 Evénements hydrologiques étudiés

Six événements hydrologique sont modélisés afin d'évaluer les éventuels impacts du projet :

- 3 crues historiques :
  - la crue de janvier 1982 (période de retour d'environ 10 ans),
  - la crue de janvier 1955 (période de retour d'environ 30 ans),
  - la crue de janvier 1910 (période de retour d'environ 100 ans) ;
- 1 crue théorique : la crue de période de retour 50 ans.

Deux évènements exceptionnels ont également été modélisés afin d'établir leur aléa :

- la crue « EA2012 R1.15 » dont le débit correspond au débit de la crue de 1910 multiplié d'un coefficient de 1.15 (période de retour d'environ 500 ans),
- la crue extrême au sens de la directive inondation et définit dans le cadre de l'élaboration des TRI (période de retour d'environ 1 000 ans).

Ces crues sont conformes aux demandes de la doctrine DRIEE intitulée « Aménagements impactant le libre écoulement des eaux ». En effet, celle-ci définie les crues à considérer lors de l'étude des impacts :

- en zone urbaine, la crue de plein bord ou faiblement débordante est à prendre en compte. Ce scénario est étudié à travers les crues de 1982 (faiblement débordante) et 1955 (faiblement débordante).
- en zone où les enjeux sont vulnérables au risque inondation, la crue de référence PPRI et crue moyenne (période de retour entre 35 et 60 ans) sont à considérer. L'étude de la crue d'occurrence 50 ans (crue moyenne) et de la crue de 1910 (crue de référence du PPRI 92) permet de répondre à cette demande ;
- en zone impactée par le chantier ou subissant des obstructions temporaires, il faut considérer au minimum la crue décennale ou la crue de période de retour 10 fois la durée du chantier en années. La crue centennale (occurrence supérieure à la crue décennale ou à 10 fois la durée des chantiers) a été considérée pour évaluer les impacts.

Le tableau suivant présente les débits des différentes crues simulées à l'aide du modèle numérique construit.

Tableau 32 : Récapitulatif des débits de crue étudiés

Crue (période de retour)	Débit (m^3/s)	Source
1982 (environ 10 ans)	1 790	DRIEE IF, 2013*
1955 (environ 30 ans)	2 085	DRIEE IF, 2011**
50 ans	2 220	Calculé par la méthode de Gumbel
1910 (environ 100 ans)	2 600	DRIEE IF, 2013
R1.15 (environ 500 ans)	2 990	Calculé (Q1910 x 1.15)
Extrême (environ 1 000 ans)	3 300	DRIEE IF, 2013

* Débits au droit du pont d'Austerlitz, extraits du rapport explicatif de la Cartographie des zones inondables et des risques inondation du TRI Métropole francilienne, DRIEE-IF, Décembre 2013

** Débit au droit du pont d'Austerlitz, extrait du document DRIEE IF – SPRN/PCPAN/UEHM répertoriant les niveaux d'eau pour les crues de la Seine à Paris et fournit en 2011 (cf. annexe 1).

Niveaux de crues – Source DRIEE IF – SPRN/PCPAN/UEHM

DRIEE IF - SPRN/PCPAN/UEHM

PK **AESN** : Kilométrage dans le système de repérage de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, le PK 1000.000 correspond à l'embouchure de la Seine
PK **SNS** : Kilométrage dans le système de repérage du Service de la Navigation de la Seine.

	Pont d'Austerlitz	Pont-Viaduc d'Auteuil (Pont de Garigliano)	Pont d'Issy	Pont de Billancourt	Pont RNUR	Pont de Sèvres	Pont de St Cloud	Passerelle de l'Avre	Pont de Suresnes	Barrage de Suresnes amont	Barrage de Suresnes aval	Pont de Puteaux	Pont de Neuilly	Pont de Courbevoie	Pont de Levallois	Pont SNCF d'Asnières	Pont d'Asnières	Pont de Clichy
PK AESN précision : 100 m			665.950	666.950	668.000 668.000	668.950 0.950	670.500 1.550	671.750 1.250	673.350 1.600	673.900 0.550	673.900							
PK SNS			9.342	10.342	11.162 11.162	12.012 0.850	13.492 1.480	14.782 1.290	16.432 1.650	16.822 0.390		18.072	19.322	20.662	21.692	22.532	22.652	23.612
PK en km distances partielles	-0.980	8.230	9.342	10.342	11.162	12.012	13.492	14.782	16.432	16.822		18.072	19.322	20.662	21.692	22.532	22.652	23.612
n°carte IGN Correction Lallemand-IGN69	0.34		0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
Rive																		
PHEN	30.22	28.73	28.63	28.56		28.34	28.16	28.04	27.89	27.84	27.74	27.74	27.61	27.50	27.39	27.30	27.29	27.20
RN	26.72	26.72	26.72	26.72	26.72	26.72	26.72	26.72	26.72	26.73	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56	23.56
débordement																		
submersion grave																		
Crue centennale PHEC 1910	**34.60**	**32.15**	**31.91**	**31.68**	*31.57 ?*	**31.45**	**31.26**	**31.12**	**30.97**	**30.91**	**30.80**	**30.80**	**30.49**	**30.30**	**30.19**		**30.12**	**30.01**
1920																		
1924	33.22	31.35	31.14	30.99		30.62	30.53	30.40	30.29	30.26	30.13	30.13	29.94	29.75	29.63		29.49	29.35
1936																		
1939																		
1952																		
Crue cinquantennale 1955	**33.02**	**31.08**	**31.04**	**30.80**		**30.48**	**30.32**	**30.22**	**30.00**	**29.95**	**29.77**	**29.77**	**29.68**	**29.43**	**29.32**	**29.25**	**29.20**	**29.04**
1970	31.53	29.81	29.55	29.46		29.24	29.16	29.06	28.84	28.83	28.55	28.55	28.37	28.30	28.15		28.07	27.94
1977	30.81	28.96																
1978	31.63									28.65	28.37	28.37						
Crue décennale 1982	**32.05**	**30.20**				*29.94*				**29.16**	**28.77**	**28.77**		*28.51*	*28.40*	*28.32*	*28.31*	*28.21*
1983	31.12					29.08				28.32	27.83	27.83						
1988	31.27	29.57				29.28				28.55	28.11	28.11						
1994	30.73																	
1995	30.86	29.12				28.93				28.21	27.71	27.71						
1999	31.12					29.12				28.38	27.87	27.87						
2000	31.11																	
2001	31.13					29.23				28.53	28.13	28.13						
2002	30.02					28.12				27.42								
2003	30.05					28.10				27.38								
2004	29.66					*27.68*				26.95								
2005	27.89					*26.98*				26.64								
2006	29.33					*27.41*				26.70								

Les valeurs en italique sont des cotes interpollées à partir de cotes relevées sur les profils en long du SNS ou calculées dans ce tableau.

3.2.2 Fonctionnement Hydraulique

Les crues de Seine sont des crues lentes : la montée des eaux est en général de l'ordre de 30 à 50 cm par jour. Elles sont la conséquence de plusieurs phénomènes concomitants :

- L'arrivée de fortes pluies sur les massifs amont : plateau de Langres pour la Seine, l'Aube et la Marne, plateau du Morvan pour l'Yonne et ses affluents ;
- L'imperméabilisation naturelle et temporaire (gel ou saturation des sols) ou artificielle des sols.

Les crues majeures surviennent généralement entre novembre et mars. En Ile-de-France, les inondations les plus importantes se produisent lorsqu'il y a concomitance des crues des différents affluents de la Seine. Les crues majeures sont généralement dues à la superposition des crues lentes de l'Aube, de la Seine et de la Marne avec les crues rapides de l'Yonne et des affluents de la Marne tels que le Petit et le Grand Morin.

Au droit du secteur de la boucle de la Seine à Boulogne-Billancourt, des murettes anti-crues ont été installées afin de protéger les constructions existantes contre les crues de période de retour similaires à la crue de 1924 (période de retour d'environ 30 ans).

Afin d'augmenter la protection de la capitale contre le risque inondation, quatre barrages-réservoirs ont été installés en amont de l'agglomération parisienne sur la Seine, la Marne, l'Aube et l'Yonne. Ces bassins assurent trois fonctions :

- le soutien d'étiage,
- l'alimentation en eau potable,
- l'écrêtement des crues.

Grâce aux barrages, la majeure partie de la région parisienne est protégée de crues identiques à celles de 1924 et 1955. Leur rôle écrêteur a diminué la fréquence d'apparition et a permis de réduire les temps de submersion des crues petites et moyennes. Cependant, les barrages ont un effet limité sur les crues exceptionnelles du fait de l'importance des volumes de ruissellement mis en jeu et de la limitation de leur capacité de stockage. En effet, la fonction de stockage n'est pas assurée efficacement pour des crues tardives (avril-mai) du fait du remplissage des réservoirs pendant la période hivernale.

3.2.3 Définition des classes d'impact

Les incidences du projet d'aménagement du Grand Paris Express sur les écoulements de la Seine en cas de crue sont définies selon deux critères : les impacts sur les niveaux d'eau et sur les vitesses d'écoulement. Etant donnés les enjeux différents en lit mineur et lit majeur, une distinction des classes d'impacts concernant les vitesses d'écoulement est réalisée.

Les classes d'impact sur les écoulements ont été définies comme suit :

- Classes d'impacts sur les niveaux d'eau :
  - Impact non significatif : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 1 cm. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle hydraulique ;
  - Impact faible : 1 à 5 cm de différence entre les niveaux d'eau de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur d'un remous très localisé créé par un petit obstacle dans une zone d'écoulement marqué (véhicule par exemple) ;
  - Impact modéré : 5 à 10 cm de différence entre les niveaux d'eau de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à l'amplitude des vagues générées lors des crues ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 10 cm. L'impact de l'ouvrage sur les lignes d'eau est supérieur à l'amplitude des vagues observées lors d'une crue.

- Classes d'impacts sur les vitesses d'écoulement en lit majeur :
  - Impact non significatif : différence de vitesse d'écoulement entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 5 cm/s. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle hydraulique ;
  - Impact faible : 5 à 10 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur des variations créé par un petit obstacle (véhicules) ;
  - Impact modéré : 10 à 20 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à un risque de changement d'une classe d'aléa ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 20 cm/s. Cette classe correspond à un risque de changement d'une à deux classes d'aléa.

- Classes d'impacts sur les vitesses d'écoulement en lit mineur :
  - Impact non significatif : différence de vitesse d'écoulement entre l'état aménagé et l'état initial inférieure à 10 cm/s. Cette classe correspond à la plage d'incertitude du modèle sur la vitesse maximale au sein de la section en travers ;
  - Impact faible : 10 à 20 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond aux ordres de grandeur des variations naturelles des vitesses au sein d'une section en travers ;
  - Impact modéré : 20 à 30 cm/s de différence entre les vitesses de l'état aménagé et de l'état initial. Cette classe correspond à l'ordre de grandeur des accélérations de vitesses générées par une pile de pont ;
  - Impact fort : différence de niveau d'eau entre l'état aménagé et l'état initial supérieure à 30 cm/s. Cette classe correspond à une forte perturbation de l'écoulement pouvant déstabiliser des embarcations légères.

Le tableau suivant récapitule les classes d'impacts définies en fonction du critère étudié.

Tableau 33 : Définition des classes d'impact par rapports aux écoulements des crues

Classe	Critère sur les différences (ΔN) de niveaux d'eau	Critère sur les différences (ΔV) de vitesses d'écoulement en lit mineur	Critère sur les différences (ΔV) de vitesses d'écoulement en lit majeur
Impact non significatif	ΔN < 1 cm	ΔV < 0.10 m/s	ΔV < 0.05 m/s
Impact faible	1 cm ≤ ΔN < 5 cm	0.10 m/s ≤ ΔV < 0.20 m/s	0.05 m/s ≤ ΔV < 0.10 m/s
Impact modéré	5 cm ≤ ΔN < 10 cm	0.20 m/s ≤ ΔV < 0.30 m/s	0.10 m/s ≤ ΔV < 0.20 m/s
Impact fort	10 cm ≤ ΔN	0.30 m/s ≤ ΔV	0.20 m/s ≤ ΔV

3.3 Modélisation Hydraulique

3.3.1 Généralités

3.3.1.1 Système de mesure altimétrique

Dans la suite de l'annexe, les niveaux altimétriques sont exprimés en mètre NGF (Nivellement Général de la France) normal soit IGN 69. Ainsi, les niveaux et altitudes seront exprimés en m NGF.

3.3.1.2 Présentation du logiciel

La modélisation hydraulique a été réalisée grâce au logiciel InfoWorks® RS de la société INOVYZE. Ce logiciel permet de construire des modèles 1D-linéaire à casiers ou 2D et ainsi de réaliser des simulations en régime permanent ou transitoire. Les facteurs qui déterminent la solution sont classés suivant trois types :

- les effets hydrodynamiques : les écoulements à surface libre peuvent être décrits par les équations de Barré de Saint-Venant qui expriment la conservation de la masse et des quantités de mouvement. Elles prennent en compte l'ensemble des forces de diffusion, de gravité, et de friction sans aucune simplification. Elles sont résolues par la méthode du schéma implicite de Preissman ;
- les conditions limites internes : sous ce terme, sont regroupés les ouvrages de contrôle, les pertes de charge singulières ou les confluences/diffluences. Ces structures imposent des relations débit-hauteur aux points considérés et divisent le modèle en biefs ;
- les conditions limites externes : des conditions limites sont nécessaires aux deux extrémités amont et aval du système étudié. Elles peuvent être représentées par des relations reliant deux des paramètres débit, hauteur, temps.

Ce logiciel a été développé afin de reproduire les écoulements de la Tamise au Royaume-Uni. Ce fleuve présente des caractéristiques similaires à la Seine (largeur, pente, débits, etc.). Infoworks RS est donc bien adapté à la modélisation de la Seine à Paris.

NB : Pour ce logiciel, le remous en amont d'un ouvrage (de type pont, busage ou seuil) est calculé par la mise en charge des ouvrages, les réductions de sections induites par les culées et les piles. Pour le calcul des pertes de charge d'un ouvrage, il n'utilise pas les fentes de Preissman, principalement utilisées pour modéliser un long linéaire de cours d'eau couvert par un écoulement à surface libre.

3.3.1.3 Emprise du modèle hydraulique

L'emprise du modèle a été définie de manière à intégrer l'ensemble des gares, ouvrages annexes et emprises travaux situées en zone inondable pour une crue millénale.

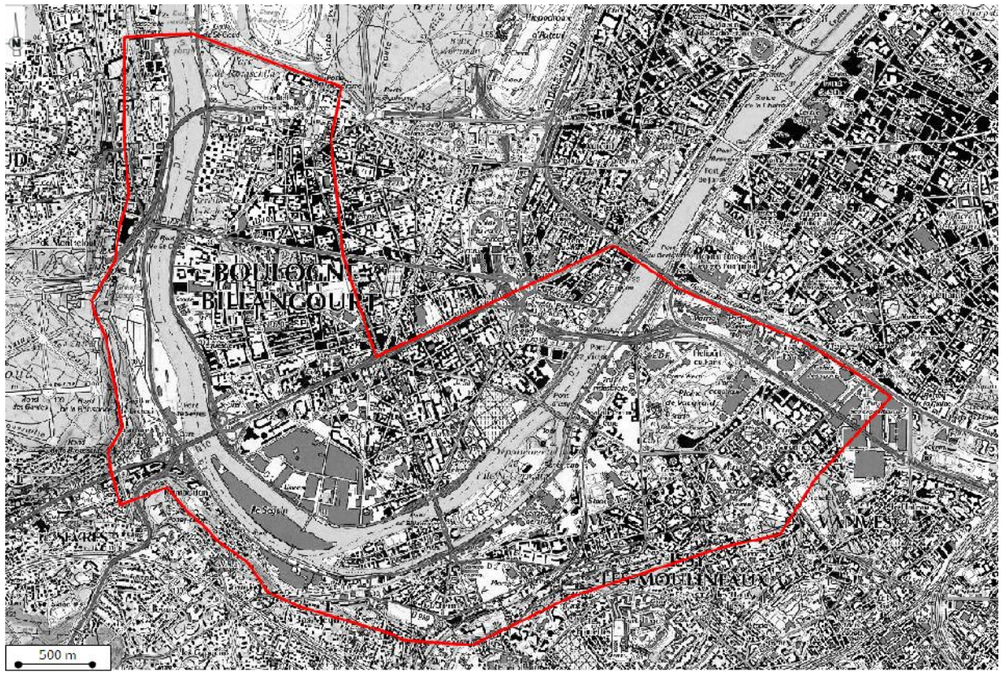
Les limites latérales du modèle ont donc été choisies de manière à intégrer la totalité de la zone inondable telle que définie dans la cartographie de l'événement millénale par la DRIEE-IF.

La condition limite aval est prise au droit d'observation historiques et de résultats de modélisations validées obtenus pour la réalisation du PPRI et du TRI ce qui permet des modèles plus court avec une condition aval réaliste. Ainsi, les éventuelles incertitudes sur la condition limite aval sont liées aux incertitudes des observations ou des modèles hydrauliques validés. Pour rappel, l'objectif est de comparer un état aménagé à un état de référence réaliste.

La limite aval du modèle a été choisie au niveau de la passerelle de l'Avre. Au droit de cet ouvrages, les niveaux d'eau historiques sont connus et validés. En effet, ils ont été soit mesurés lors de crues historiques, soit calculés et validés par modélisation lors de l'élaboration des TRI. Ainsi, les éventuelles incertitudes sur la condition limite aval sont négligeables (incertitude de la mesure ou du modèle hydraulique).

La condition limite amont a été choisie au pont de Garigliano, suffisamment loin en amont des principales zones d'études (Ile de Monsieur et Pont de Sèvres) afin de se placer, le plus possible, en dehors de la zone des éventuelles incidences du projet.

L'emprise du modèle est présentée sur la cartographie suivante.



Carte 103 : Emprise du modèle hydraulique

3.3.2 Construction du modèle hydraulique – Etat de référence

3.3.2.1 Données de construction

Les données utilisées pour la construction du modèle hydraulique sont :

- Les données bathymétriques pour le chenal de navigation, fournies par Voies Navigables de France (2009).
- Le Modèle Numérique de Terrain obtenu par des relevés LIDAR (pas d'espace de 1 m, précision altimétrique de 0.2 m), fourni par l'Institut Géographique National (2014).
- L'implantation des bâtiments (couche de la BDtopo référençant les bâtiments) acquis auprès de l'IGN (2009).
- Les profils en long des murettes anti-crue, fournies par le CG92 (1995).
- L'occupation du sol (Corine Land Cover, 2006).
- Le fond de plan cartographique acquis auprès de l'IGN (SCAN 25, 2008).
- Les photos aériennes acquises auprès de l'IGN (BDortho, 2012).
- Le rapport explicatif de la cartographie des zones inondables et des risques inondation du TRI Métropole francilienne (DRIEE IF, décembre 2013).
- Les données disponibles auprès de la maîtrise d'œuvre (plans, coupes, topographie, etc.) au droit des futurs aménagements (SETEC, octobre 2014).

3.3.2.2 Architecture du modèle

Le modèle construit repose sur le couplage d'un modèle filaire à une dimension avec un maillage en deux dimensions :

- les écoulements au sein du lit mineur de la Seine étant principalement monodirectionnels, celui –ci est modélisé en une dimension (modèle filaire) ;
- les lits majeurs en rive droite et rive gauche sont modélisées en deux dimensions afin de reproduire de manière fidèle les écoulements complexes des crues (forte urbanisation, présence de remblais jouant le rôle de digue (route, voie ferrée, etc.)).

a. Construction du lit mineur

Le modèle hydraulique filaire est composé de 84 profils en travers dont 58 sur le bras principal de la Seine (bras droit) soit environ 1 profil tous les 120 m. Le nombre de profil en travers a été densifié (environ 1 profil tous les 30 m) au droit de la future gare de Pont de Sèvres et au droit du futur puits d'attaque de l'Ile de Monsieur afin d'étudier plus précisément les éventuels impacts en lit mineur.

11 ouvrages transversaux (exclusivement des ouvrages de franchissement) ont été modélisés afin de reproduire leurs influences sur les écoulements.

Profil en travers

Le lit mineur de la Seine (bras droit et bras gauche au droit de l'Ile Seguin) est construit sur la base des données bathymétrique de VNF (pour les fonds de lit des cours d'eau) et sur les données LIDAR pour les berges.

La jonction entre les deux types de données est réalisé par interpolation et en considérant une pente des berges plus ou moins verticale (berges quasiment verticale au droit des quais et pente plus douce lorsque la berge est végétalisée).

Au droit du projet de la gare de pont de Sèvres, la géométrie des berges étant disponible sur les plans en coupe établis par la maitrise d'œuvre, celle-ci a été intégrée au profil au travers (géométrie plus précise que les données LIDAR).

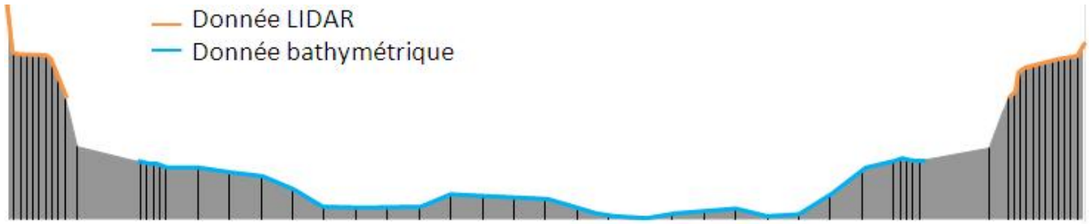


Figure 6 : Exemple d'interpolation entre les données LIDAR et bathymétriques

Pour le bras gauche de l'Ile Saint-Germain où aucune donnée bathymétrique n'est disponible, des profils types ont été construits. Les profils ont été construits de manière à avoir une pente moyenne entre les profils amont et aval de l'Ile. Leur largeur ont été fixées à partir des données MNT.

La forme des profils construits est basée sur la forme générale des profils amont et aval comme présentée sur la figure suivante. Les pieds de berge et le fond du lit sont déterminés par interpolation entre les profils amont et aval.



Figure 7 : Exemple d'un profil situé sur le bras gauche de la Seine au niveau de l'Ile Saint-Germain

Ouvrages de franchissement

Pour les ponts dont la géométrie (largeur des arches, nombre de piles, altimétrie de l'arche…) est imprécise, des hypothèses ont été fixées afin de reproduire au mieux les conditions d'écoulement.

Le nombre et les dimensions des piles de ponts ont été fixés à partir des observations de terrains et des données disponibles (photos, schémas des ouvrages, présence des piles sur la bathymétrie…). La longueur des piles est supposée égale à la largeur des tabliers des ponts.

La mise en charge de chaque ouvrage a été appréciée sur la base des données disponibles (MNT, observations in situ, plans disponibles) afin de représenter au mieux l'influence de l'ouvrage sur les écoulements (accélération des vitesses et augmentation des niveaux d'eau).

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques retenues pour les ouvrages de franchissement afin de les modéliser.

Tableau 34 : Caractéristiques des pont situés entre le pont de Garigliano et la passerelle de l'Avre

Pont	Nombre de pile	Largeur de la pile (m)	Niveau altimétrique du tablier* (m NGF)	Epaisseur estimée du tablier (m)	Niveau sous poutre supposé (m NGF)	Niveau crue 1910 (m NGF)
Boulevard Périphérique	2	5	41	5	36	>32.15
Issy (Bras droit)	1	3	36	3	33	31.91
Issy (Bras gauche)	1	3	36	3	33	31.91
Parc de l'Ile Saint Germain	0	0	31.5	2.5**	29	>31.91
Billancourt (Bras droit)	1	4	36	3	33	31.68
Billancourt (Bras gauche)	0	0	33	2.5**	31.5	31.68
Seibert***	0	0	37	2	35	>31.68
Daydé	2	4	36.5	2	34.5	>31.68
Renault	1	3	37.5	4	33.5	>31.68
Sèvres	3	5	38	4	34	31.45
Saint Cloud	4	2	34.5	3	31.5	31.26
A13	2	3.5	36.5	4	34.5	>31.26

*Niveau estimé à partir des données LIDAR à proximité immédiate des ponts.
**Epaisseur estimée lors des observation in situ.
*** Non modélisé : aucune pile en lit mineur et cote sous-poutre du tablier supérieure à la cote de la crue millénale telle que définie par la cartographie de l'évènement extrême dans le cadre du TRI métropole francilienne.

b.Construction du lit majeur

Le lit majeur est construit sur la base des données LIDAR et des données disponibles sur les bâtiments existants (BDtopo IGN). Les données concernant les bâtiments datant de 2009, une mise à jour a été effectuée sur la base de la BDortho (IGN, 2012). Ainsi, des bâtiments non existant en 2009 ont été pris en compte. Les bâtiments sont modélisés en tant qu'obstacles insubmersibles.

L'aménagement de l'île Seguin n'a pas été pris en compte dans la modélisation hydraulique. En effet, cette île est insubmersible pour une crue de type 1910 : les futurs bâtiments n'auront donc pas d'impact sur les caractéristiques de l'écoulement. De plus, cet aménagement ne prévoit pas, à priori, de modification de lit mineur. Les incidences dues aux ouvrages de la ligne 15 sud seront alors inchangées.

Les données MNT ont été retravaillées ponctuellement afin d'intégrer les tunnels et ouvertures au sein des remblais permettant l'inondation des secteurs situés derrière ces barrières naturelles.

Le maillage est constitué, pour l'état initial, de 124 864 mailles dont la surface varie de 1 m² à 500 m². Le maillage a été densifié au droit des futurs aménagements et travaux afin d'en mesurer plus finement les incidences. Ainsi, la surface des mailles y est au maximum de 50 m².

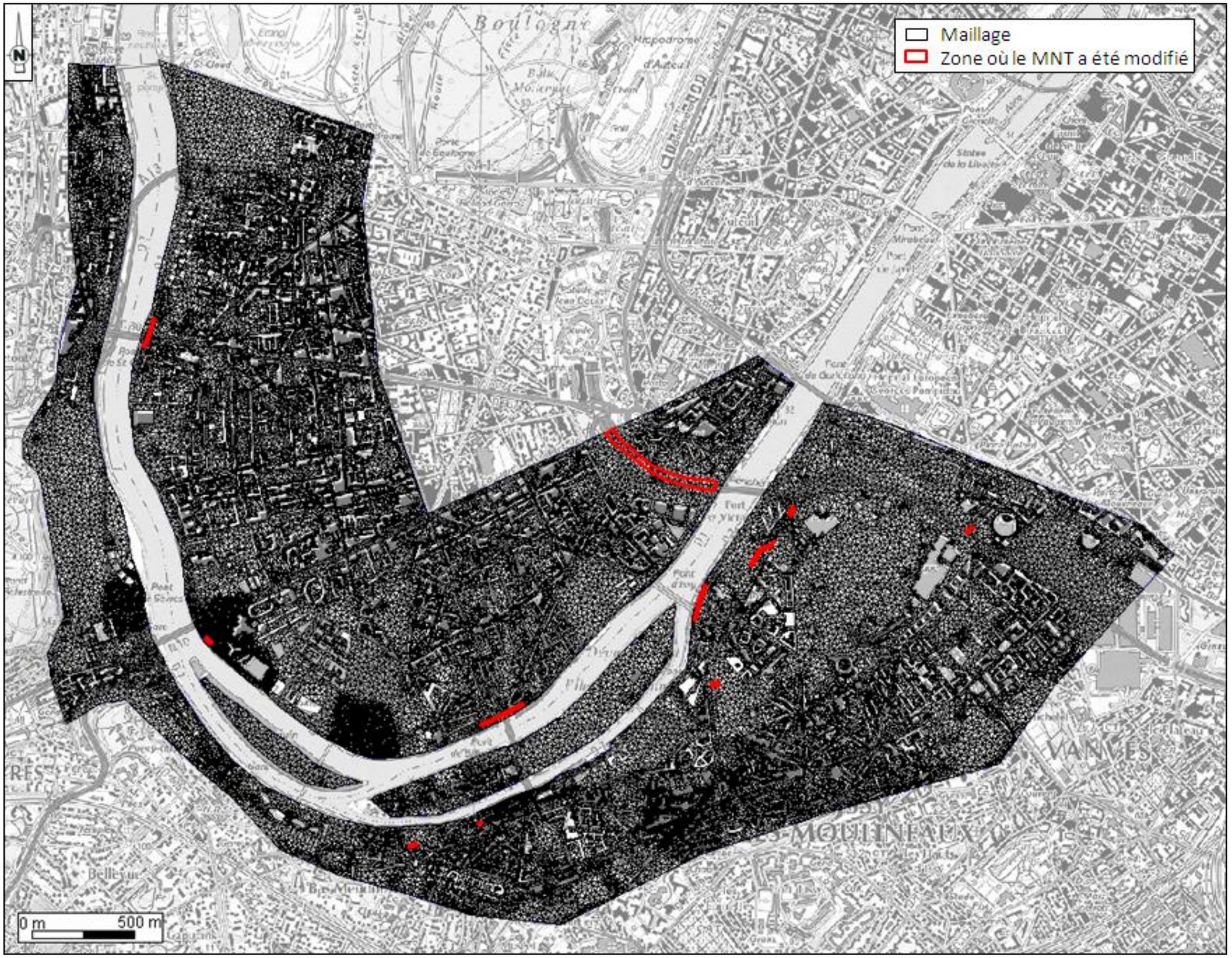
Le maillage ainsi que les zones au droit desquelles le MNT a été retravaillé sont présentés sur la cartographie figurant page 24.

c. Interface lit mineur / lit majeur

Les connexions entre le lit mineur et le lit majeur sont assurées par des surverses latérales. Ces surverses sont construites :

- sur la base des données altimétriques fournies par le CG92 pour les murettes anti-crue lorsqu'elles existent. De manière générale, les murettes protègent contre les crues de type 1924 ou 1955 ;
- à partir du LIDAR lorsqu'aucune murette n'est existante (Ile Seguin et Ile Saint Germain) : le niveau des surverses correspond au niveau du terrain naturel.

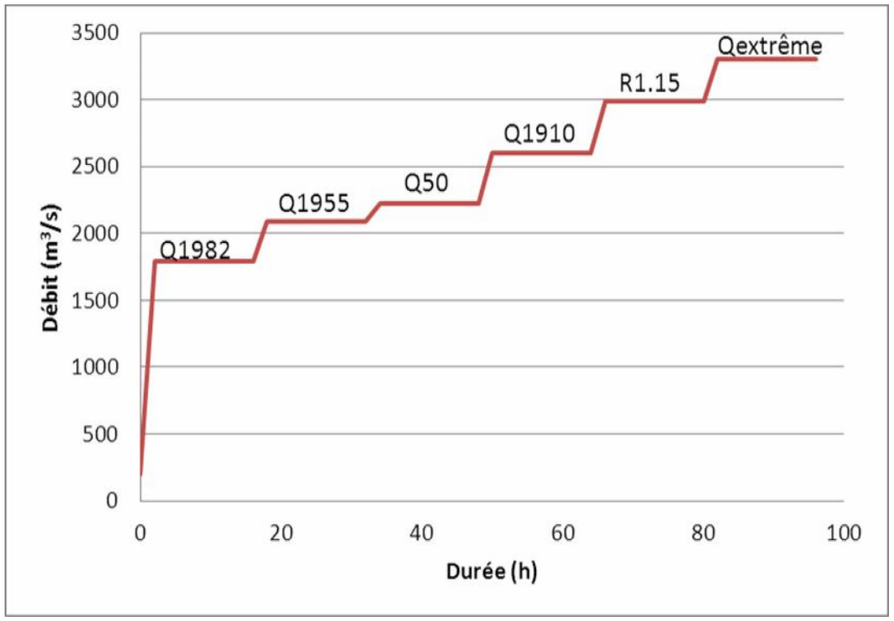
124 surverses latérales ont ainsi été construites afin d'assurer la connexion entre le modèle 1D et le modèle 2D.



Carte 104 : Présentation du maillage modélisant le lit majeur

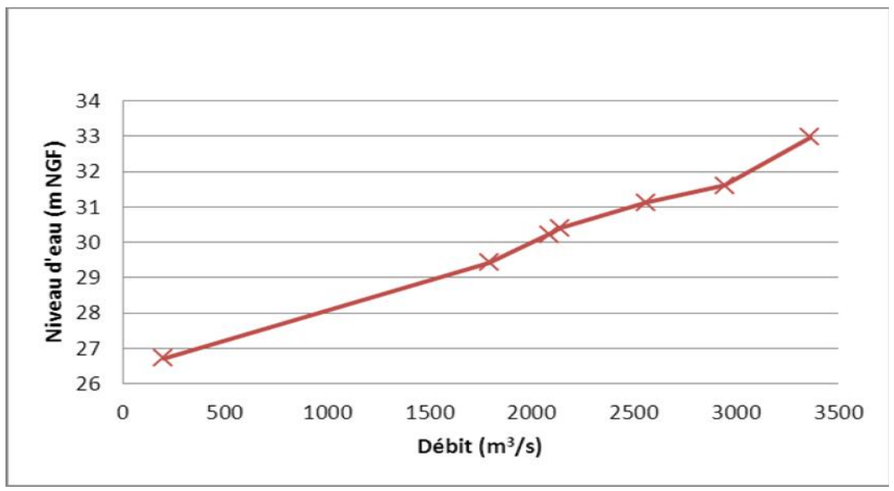
3.3.2.3 Conditions aux limites

Les conditions limites amont sont les débits des différentes crues étudiées (cf. paragraphe 2.1.3). L'évolution de la condition limite amont dans le temps est présentée sur le graphique suivant.



Graphique 29 : Condition limite amont du modèle hydraulique

La condition limite aval du modèle est une loi niveau-débit construite à partir des repères de crues disponibles. Le graphique suivant représente la condition limite aval au niveau de la passerelle de l'Avre.



Graphique 30 : Condition limite aval du modèle hydraulique

3.3.3 Régime de simulation

Les crues de la Seine sont des crues lentes et durent plusieurs jours (13 jours proche de l'amplitude maximale pour la crue de 1910).

Afin de reproduire les inondations de la Seine les simulations ont été réalisées en régime pseudo-permanent : le débit de chaque évènement est injecté pendant une durée suffisamment longue afin que la ligne d'eau devienne stable sur l'ensemble de la zone modélisée.

Ainsi, les durées de simulation ont été ajustées de manières à avoir des lignes d'eau stabilisées en lit mineur et en lit majeur pendant au moins deux heures.

3.3.4 Calage du modèle hydraulique – Etat de référence

3.3.4.1 Principe

Le calage consiste à injecter le débit total mesuré lors d'un évènement historique en entrée du modèle et à ajuster les paramètres de modélisation (rugosité des lits mineur et majeur) afin d'obtenir les niveaux d'eau des repères de crues et les emprises de zones inondables observées lors de ce même évènement.

3.3.4.2 Crues de calage

Le calage du lit mineur est réalisé à partir des niveaux d'eau des crues de 1982 (crue non débordante), 1955 et 1910 et des débits correspondants présentés au paragraphe 2. Ainsi :

- le calage du lit mineur est effectué pour la crue de 1982 (crue non débordante) ;
- le calage des coefficients de rugosité du lit majeur est effectué pour la crue centennale (1910) ;
- la crue de 1955 sert de crue de validation des paramètres.

3.3.4.3 Résultats du calage

Le calage des coefficients de rugosité du lit mineur est réalisé grâce à la crue historique non débordante de 1982. Cette étape a permis de fixer la rugosité du lit mineur de la Seine. Afin d'obtenir des niveaux d'eaux modélisés similaires aux niveaux d'eau historiques, les coefficients de Manning (n, paramètre de rugosité) ont été fixés entre 0.03 $s.m^{-1/3}$ et 0.034 $s.m^{-1/3}$. Ces valeurs sont proches de celle généralement admises pour un lit naturel propre à fond rugueux (n = 0.03 $s.m^{-1/3}$).

Les résultats du calage du lit mineur sont présentés dans le tableau suivant. L'écart moyen calculé entre la ligne d'eau modélisée et les niveaux d'eau mesurés pour la crue de 1982 est de 4 cm à 6 cm, correspondant à l'ordre de grandeur de la précision absolue du modèle. Le lit mineur est donc convenablement calé avec des coefficients de rugosité réalistes.

Tableau 35 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1982

Pont	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau mesuré (m NGF)			Δ = Nmodélisé – Nmesuré (m)		
		SNS	Port de Paris	DRIEE	SNS	Port de Paris	DRIEE
Garigliano	30.29	30.35	30.2	30.2	-0.06	0.09	0.09
Issy	30.15	30.25	30.25	-	-0.10	-0.10	-
Billancourt (Bras droit)	29.90	29.89	29.89	-	0.01	0.01	-
Sèvres	29.68	29.59	29.63	-	0.09	0.05	-
Saint Cloud	29.54	29.54	29.64	-	0.00	-0.10	-
Avre	29.43	29.42	29.42	-	0.01	0.01	-
Ecart maximal (m)					0.10	0.10	0.09
Ecart moyen (m)					0.04	0.06	0.09

Le calage du lit majeur est réalisé grâce à la crue historique débordante de 1910. Cette étape a permis de fixer la rugosité du lit majeur de la Seine. Afin d'obtenir des niveaux d'eaux modélisés similaires aux niveaux d'eau historiques, les coefficients de Manning (n, paramètre de rugosité) ont été fixé à :

- 0.04 $s.m^{-1/3}$ pour les parcs,
- 0.10 $s.m^{-1/3}$ pour les espaces urbanisés.

Les résultats du calage du lit majeur sont présentés dans le tableau suivant. L'écart moyen calculé entre la ligne d'eau modélisée et les niveaux d'eau mesurés pour la crue de 1910 est d'environ 4 cm, correspondant à l'ordre de grandeur de la précision absolue du modèle. Le lit majeur est donc convenablement calé avec des coefficients de rugosité réalistes.

Tableau 36 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1910

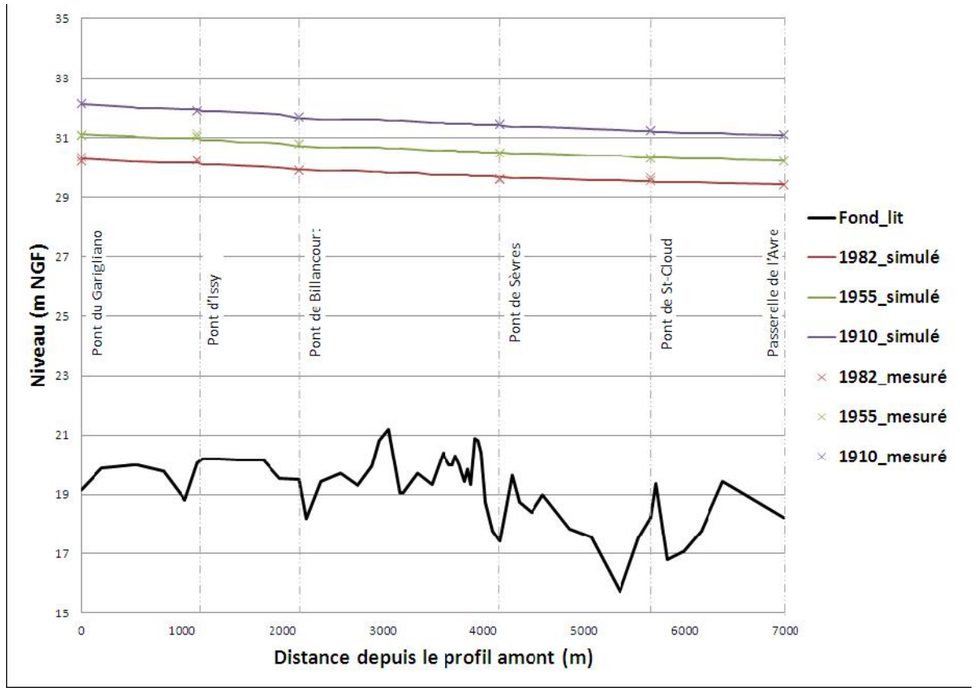
Pont	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau mesuré (m NGF)			Δ = Nmodélisé – Nmesuré (m)		
		SNS	Port de Paris	DRIEE	SNS	Port de Paris	DRIEE
Garigliano	32.11	32.16	32.15	32.15	-0.05	-0.04	-0.04
Issy	31.97	31.91	31.91	31.91	0.06	0.06	0.06
Billancourt (Bras droit)	31.66	31.68	31.68	31.68	-0.02	-0.02	-0.02
Sèvres	31.42	31.45	31.45	31.45	-0.03	-0.03	-0.03
Saint Cloud	31.23	31.26	31.26	31.26	-0.03	-0.03	-0.03
Avre	31.08	31.12	31.12	31.12	-0.04	-0.04	-0.04
Ecart maximal (m)					0.05	0.05	0.05
Ecart moyen (m)					0.04	0.04	0.04

La crue de 1955, dont le débit et les niveaux d'eau au droit des ponts sont connus, permet de vérifier le calage du modèle hydraulique. Malgré un écart ponctuel de 16 cm, l'écart moyen calculé

Tableau 37 : Comparaison des niveaux d'eau modélisés et mesurés pour la crue de 1955

Pont	Niveau modélisé (m NGF)	Niveau mesuré (m NGF)			Δ = Nmodélisé – Nmesuré (m)		
		SNS	Port de Paris	DRIEE	SNS	Port de Paris	DRIEE
Garigliano	31.12	31.10	31.09	31.08	0.02	0.03	0.04
Issy	30.98	31.04	31.14	31.04	-0.06	-0.16	-0.06
Billancourt (Bras droit)	30.71	30.80	30.80	30.80	-0.09	-0.09	-0.09
Sèvres	30.51	30.49	30.49	30.48	0.02	0.02	0.03
Saint Cloud	30.35	30.32	30.32	30.32	0.03	0.03	0.03
Avre	30.21	30.22	30.22	30.22	-0.01	-0.01	-0.01
Ecart maximal (m)					0.09	0.16	0.09
Ecart moyen (m)					0.04	0.06	0.04

Le graphique suivant présente les lignes d'eau calculées comparativement aux niveaux d'eau observés lors des événements hydrologiques de calage (1982, 1955 et 1910).



Graphique 31 : Comparaison des niveaux d'eau simulés et mesurés pour les crues de 1910, 1955 et 1982

3.3.5 Test de sensibilité

Dans les règles de l'art, la condition limite aval d'un modèle hydraulique peut être soit :

- une cote fiable extraite de repère de crues ou de documents réglementaires découlant d'un modèle hydraulique reconnu, approuvé et validé par les services de l'Etat ;
- une cote incertaine : aucune mesure disponible, cote estimée à partir de souvenir, de calcul hydraulique empirique ou de la hauteur normale (pas d'influence d'éventuel ouvrage aval).

La disponibilité de valeurs fiables permet de créer des modèles hydrauliques courts. En effet, ces valeurs prennent en compte les influences des ouvrages situés en aval du modèle et pouvant influencer les conditions d'écoulement. Ainsi, grâce à une condition limite aval ne présentant pas ou peu d'incertitude, les lignes d'eau simulées par la modélisation sont réalistes (ce qui est confirmé par le calage du modèle).

A l'inverse, si aucune valeur fiable n'est disponible, le modèle hydraulique doit posséder une longueur suffisamment importante afin de s'affranchir des incertitudes liées à la condition limite aval. Dans ce cas un test de sensibilité doit être réalisé afin de quantifier l'impact de cette donnée d'entrée incertaine sur les résultats du modèle et de s'assurer de la validité de la modélisation (modèle suffisamment long pour que la zone étudiée ne soit pas influencée par la condition limite aval).

Dans le cas du modèle hydraulique de la Seine du Pont de Garigliano à la passerelle de l'Avre, les conditions limites aval correspondent à des niveaux d'eau mesurés pour des crues historiques. Il s'agit donc de données connues et validées. Les repères de crues disponibles au droit de la passerelle de l'Avre sont rappellés dans le tableau suivant.

Repères de crues disponibles à la passerelle de l'Avre

Source	1982	1955	1924	1910
SNS (Subdivision de Suresnes)	29.42	30.22	30.40	31.12
Port Autonome de Paris	29.42	30.22	-	31.12
DRIEE IF*	-	30.22	30.40	31.12
PPRI 92 (carte des aléas)	-	-	-	31.12
Valeur retenue pour la condition limite aval	29.42	30.22	30.40	31.12

* Niveaux extraits du document DRIEE IF – SPRN/PCPAN/UEHM répertoriant les niveaux d'eau pour les crues de la Seine à Paris et fournit en 2011 (cf. tableau 5, page 137).

Le tableau précédent montre que la condition limite aval a été extraite d'au moins deux sources différentes (trois pour la crues de 1955 et quatre pour la crues de 1910). De plus, concernant la crue de 1910, la cote de crue est disponible dans le PPRI 92, document réglementaire approuvé, reconnu et validé par les services de l'Etat. La condition limite aval du modèle hydraulique peut donc être qualifiée de fiable.

Dans ce cas, la possibilité de créer un modèle court, basé sur ces valeurs fiables, est réaliste et suffisante.

De plus, le modèle est calé convenablement (cf. paragraphe 3.3.4) : les lignes d'eau simulées sont cohérentes avec les mesures historiques sur le secteur d'études. Les niveaux d'eau au droit des zones impactées par le projet étant réalistes et la condition limite aval fiable, un test de sensibilité sur cette dernière n'est pas nécessaire.

Enfin, il convient de rappeler que l'objectif des modélisations est d'étudier l'impact du projet sur les écoulements et non la détermination de niveaux d'inondation (ceux-ci étant déjà déterminés dans le cadre des études hydraulique pour l'établissement des cartes PPRi et TRI). Par conséquent, la seule modification entre les états initiaux et les phases aménagées (travaux et exploitation) consiste en l'intégration des ouvrages qui seront créés. Les différents états modélisés (initial et travaux/exploitation) possèdent donc les mêmes conditions aval (il en est de même pour les coefficients de rugosité, ouvrages hors travaux, etc.) afin de ne pas introduire de perturbations autres que les travaux envisagés.

3.4 Incidences hydrauliques du projet

3.4.1 Etat de référence

3.4.1.1 Descriptifs des zones inondées en fonction des crues simulées

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982, d'occurrence décennale, est une crue non débordante : aucune inondation du lit majeure n'est observée.

Cette crue étant contenue dans le lit mineur, seuls des ouvrages qui y sont implantés peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement.

b. Crue de 1955 (crue trentennale)

La crue de 1955, d'occurrence environ trente ans, est une crue faiblement débordante. En effet, comme le montre les cartographies ci-après, les seules inondations observées lors de cet évènement se situent au niveau de l'Ile Saint Germain et en aval immédiat du pont de Sèvres, en rive gauche.

Ainsi, seuls des ouvrages présents au droit de ces zones ou en lit mineur peuvent avoir une incidence sur les caractéristiques de l'écoulement. L'Ouvrage Annexe (OA) Ile de Monsieur, en partie inondé par cette crue sera donc le seul ouvrage annexe à pouvoir générer un impact en lit majeur.

Les vitesses d'écoulement observées en lit majeur sont faibles (inférieures à 0,2 m/s). Les hauteurs de submersion varient entre 0 et 1,5 m en aval du pont de Sèvres et entre 0 et 2 m sur l'Ile St-Germain.

c. Crue cinquantennale

La crue d'occurrence cinquante ans présente des débordements similaires à la crue de 1955. Les zones inondables sont toutefois légèrement plus étendues que celles de la crue historique.

Les ouvrages risquant de modifier les conditions d'écoulement sont les mêmes que pour la crue de 1955. L'Ouvrage Annexe (OA) Ile de Monsieur, en partie inondé par cette crue sera a donc le seul ouvrage annexe à pouvoir générer un impact en lit majeur.

Les vitesses d'écoulement observées en lit majeur sont faibles (inférieures à 0,2 m/s). Les hauteurs de submersion varient entre 0 et 1,5 m en aval du pont de Sèvres et entre 0 et 2 m sur l'Ile St-Germain.

d. Crue de 1910 (crue centennale)

La crue de 1910, d'occurrence centennale, est la crue de référence du PPRI 92. Cette crue inonde les lits majeurs droit et gauche de la Seine ainsi que l'Ile Saint Germain. L'Ile Seguin est, quant à elle, seulement inondée au niveau de sa pointe aval.

Ainsi, tout ouvrage présent dans la zone inondable telle que définie au PPRI des Hauts de Seine peut influer sur les caractéristiques des écoulements de la Seine.

Les ouvrages inondés par cette crue sont : l'OA ile de Monsieur, la gare de Pont de Sèvres, l'OA ZAC SEAM et l'OA Place de la Résistance.

Les vitesses d'écoulement observées en lit majeur sont majoritairement faibles (inférieures à 0,2 m/s). Des vitesses modérées sont toutefois observables au droit de l'Ile Saint Germain et en aval du pont de Sèvres. Les hauteurs de submersion varient entre 0 et 1,5 m en aval du pont de Sèvres et entre 0 et 2 m sur l'Ile St-Germain.

3.4.1.2 Présentation des résultats

Le tableau suivant récapitule les niveaux d'eau calculés pour chacune des crues au droit des ouvrages de la ligne 15 Sud.

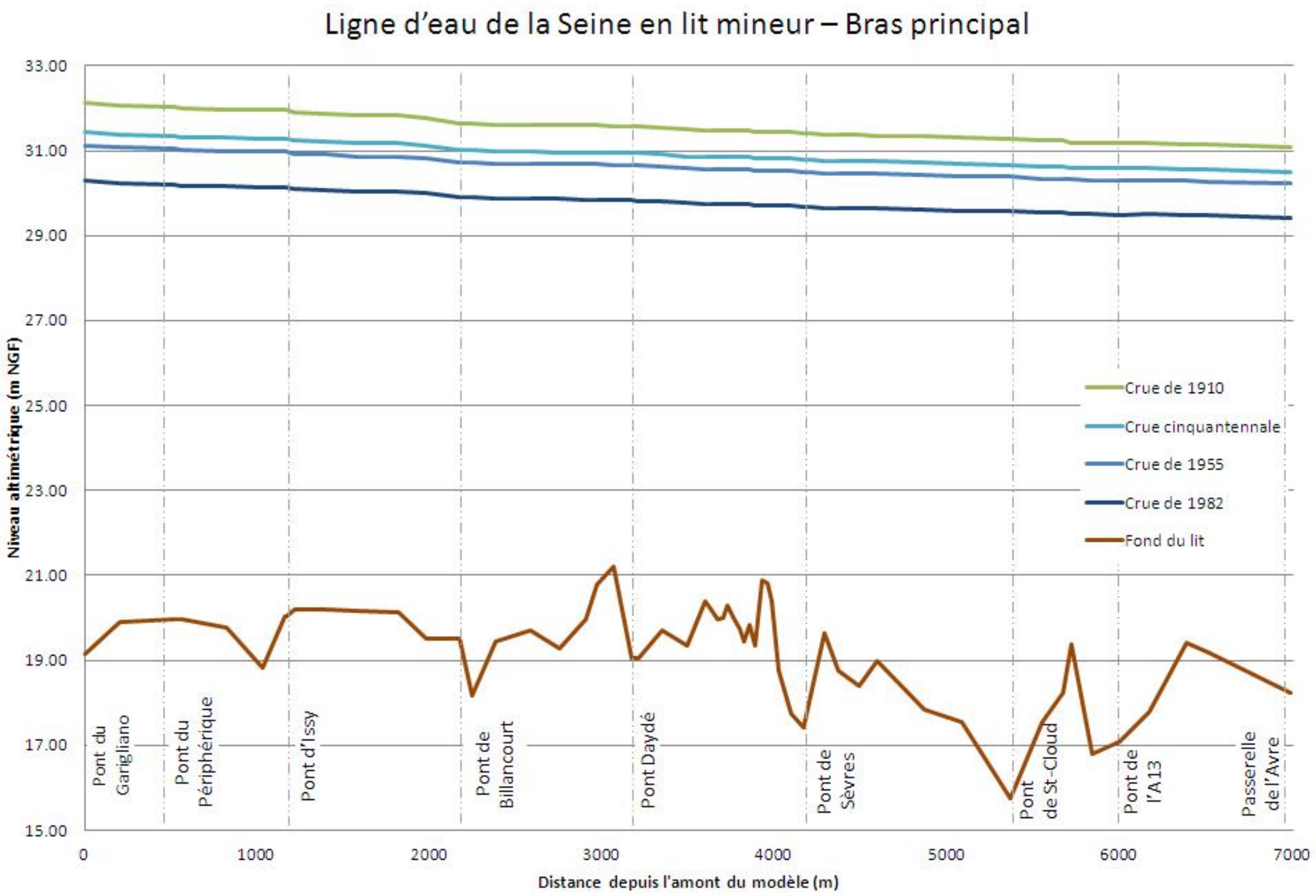
Tableau 38 : Niveaux d'eaux simulés au droit des ouvrages

Ouvrage	Niveau d'eau simulé lors des crues (m NGF)			
	1982	1955	Q50	1910
OA Ile de Monsieur	29.65	30.47	30.77	31.40
Gare Pont de Sèvres	29.73	30.56	30.85	31.49
OA ZAC SEAM	29.83*	30.65*	30.96*	31.58
OA Place de la Résistance	29.95*	30.76*	31.06*	31.68

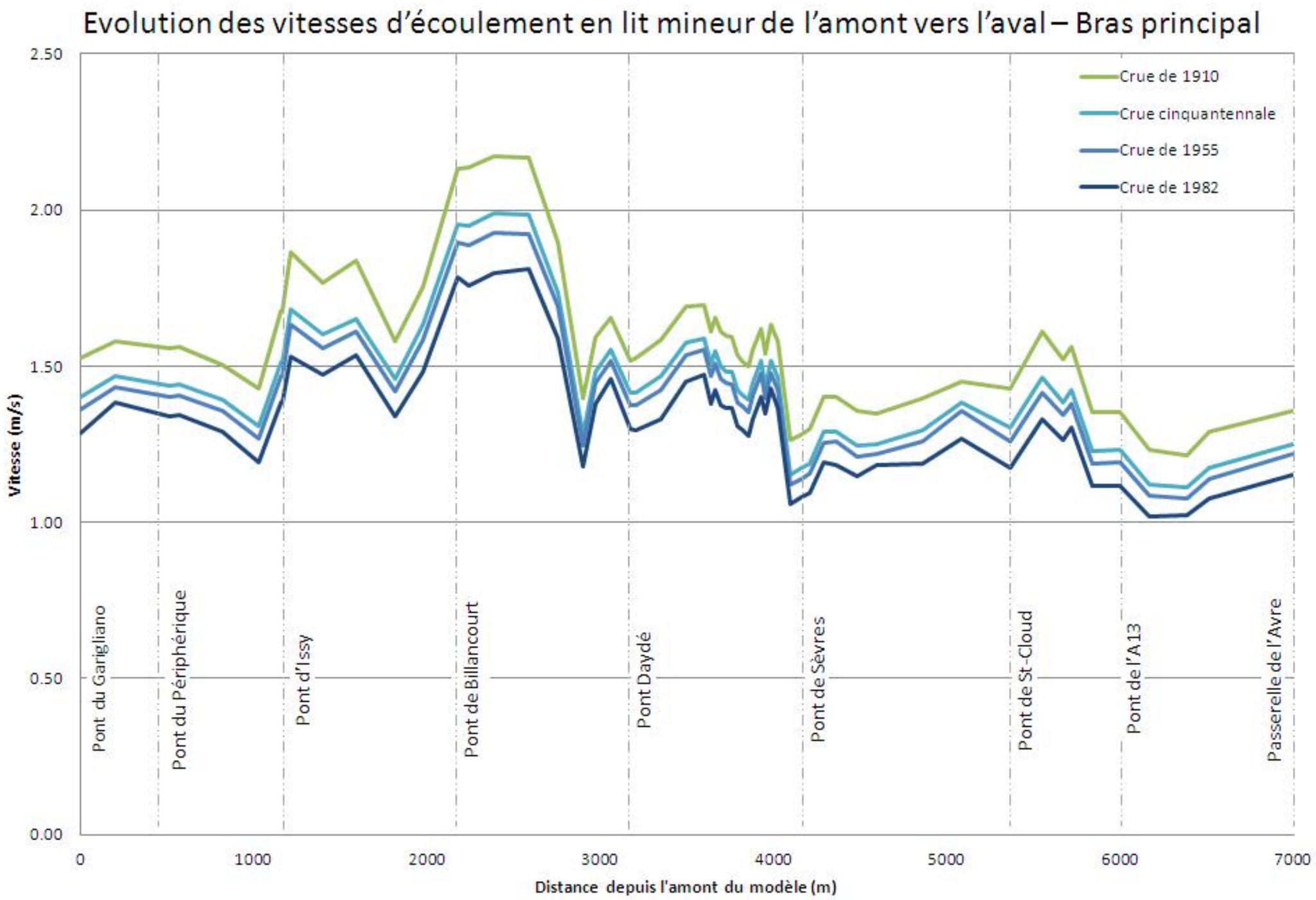
* niveau d'eau simulé dans le lit mineur (ouvrage non inondé lors de la crue)

Les graphiques, figurant pages suivantes, présentent les profils en long des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement sur le bras principal de la Seine obtenues lors de la simulation des différentes crues.

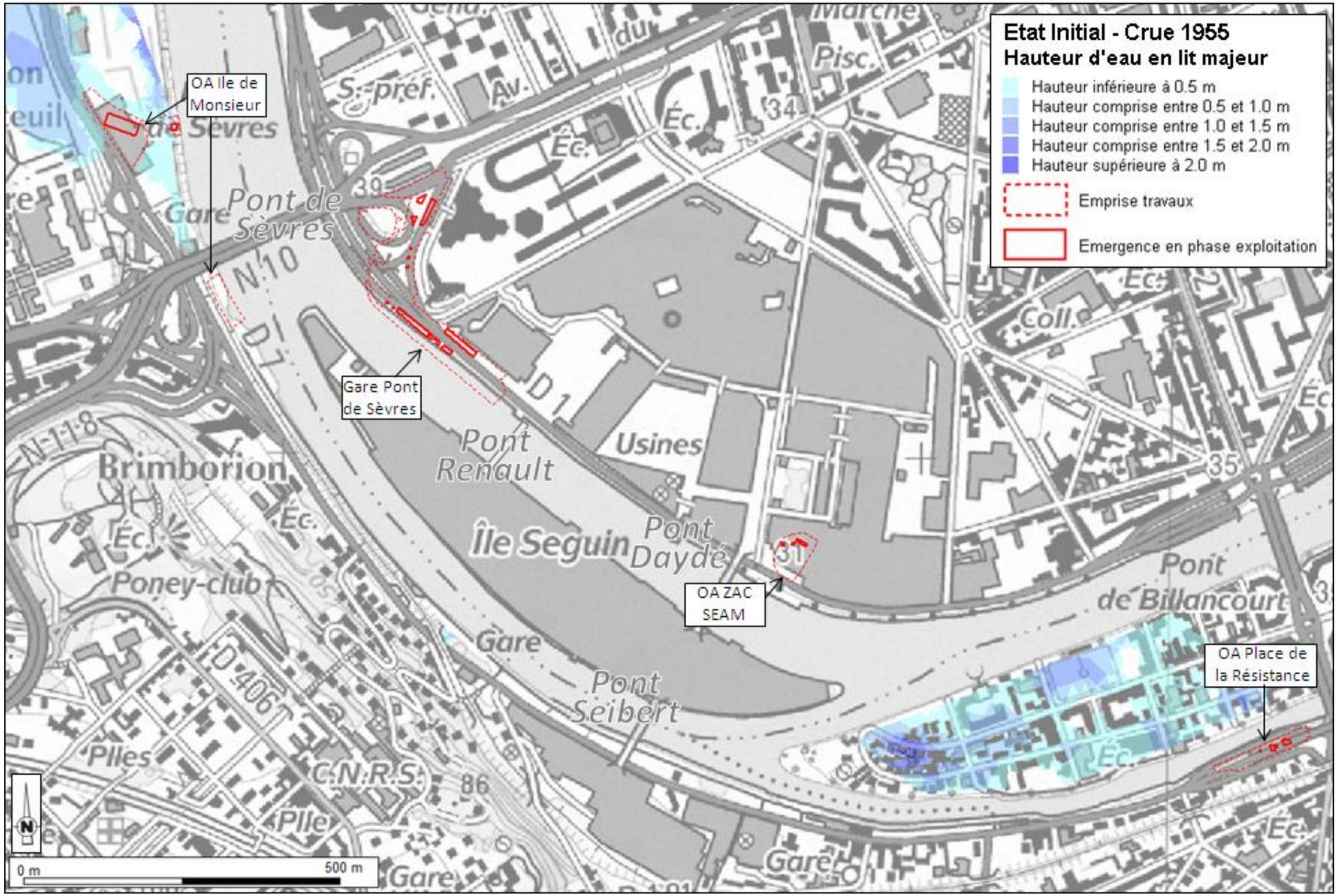
Les cartographies des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement en lit majeur obtenues par la simulation des crues débordantes sont présentées à la suite des profils en long des lignes d'eau et des vitesses d'écoulement des différents évènements.



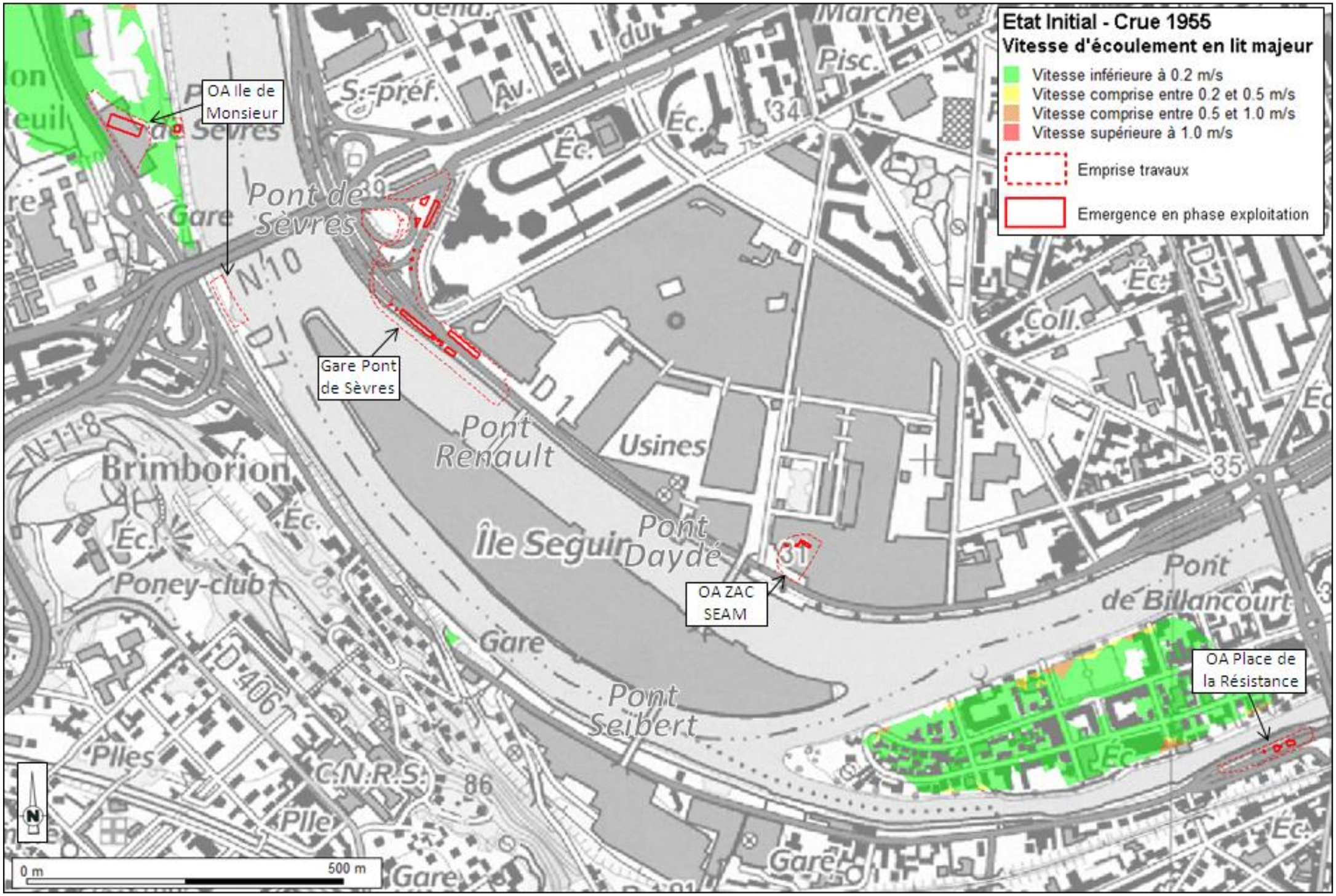
Graphique 32 : Ligne d'eau de la Seine en lit mineur – Bras principal



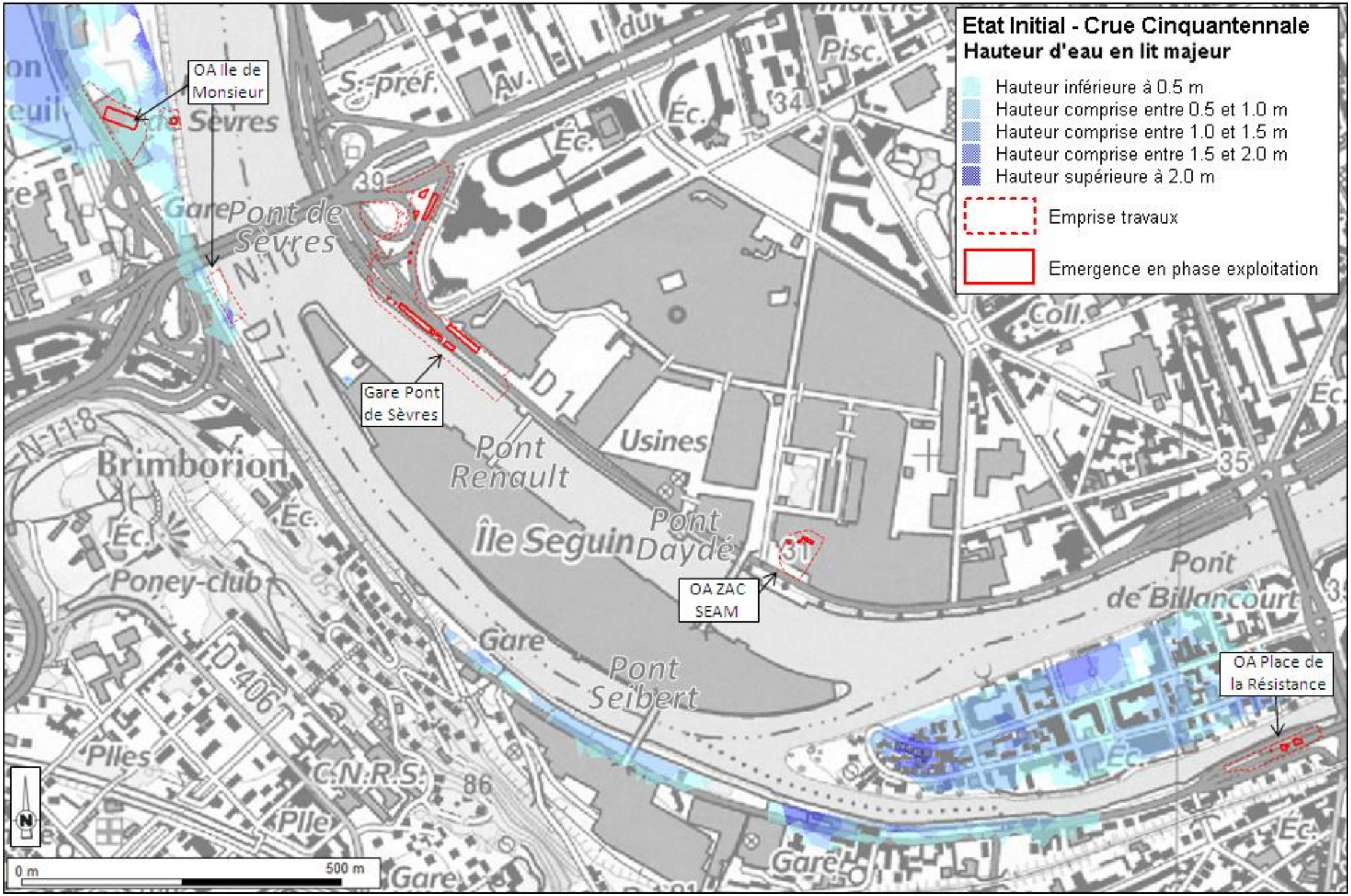
Graphique 33 : Evolution des vitesses d'écoulement en lit mineur de l'amont vers l'aval – Bras principal



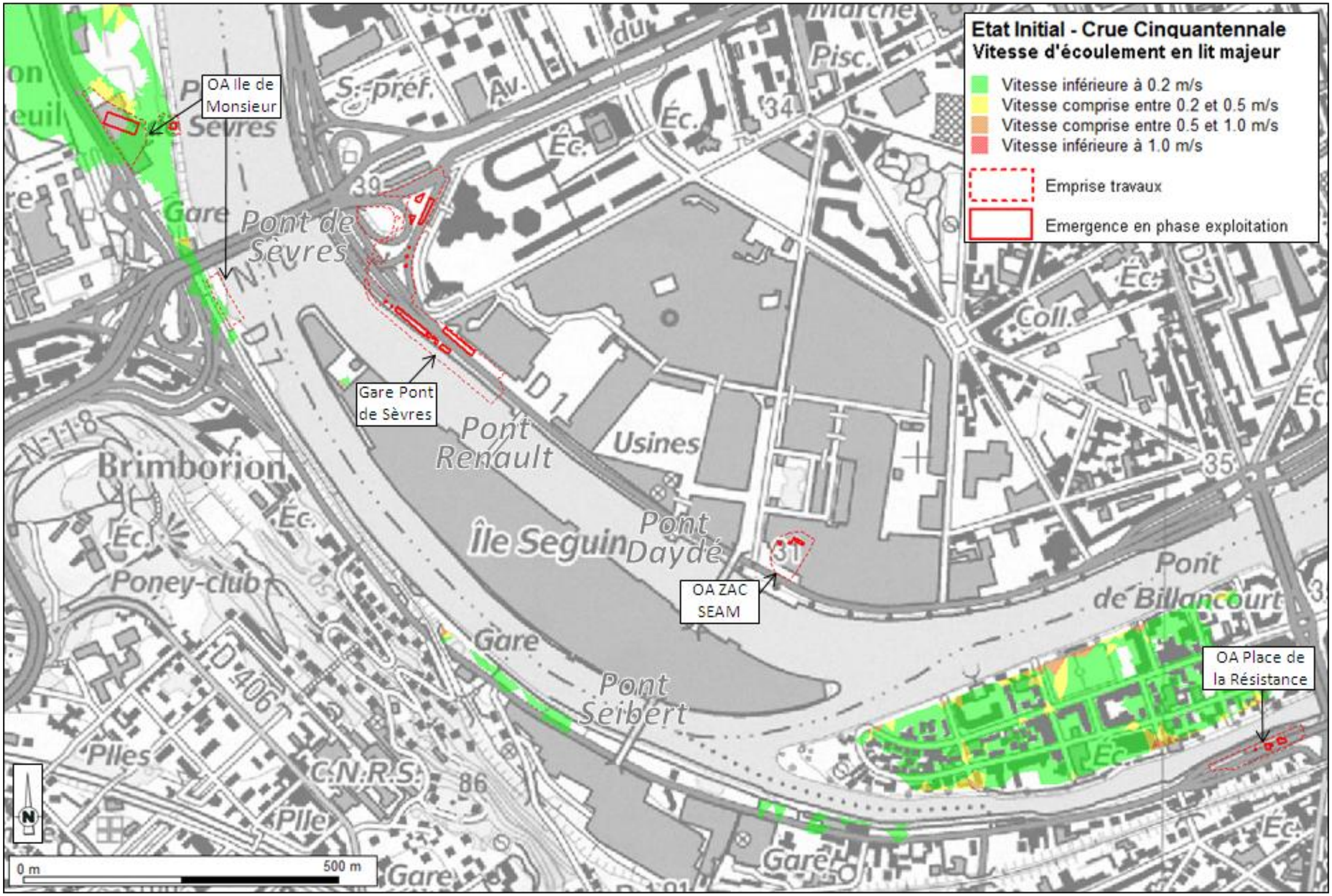
Carte 105 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur– Crue 1955



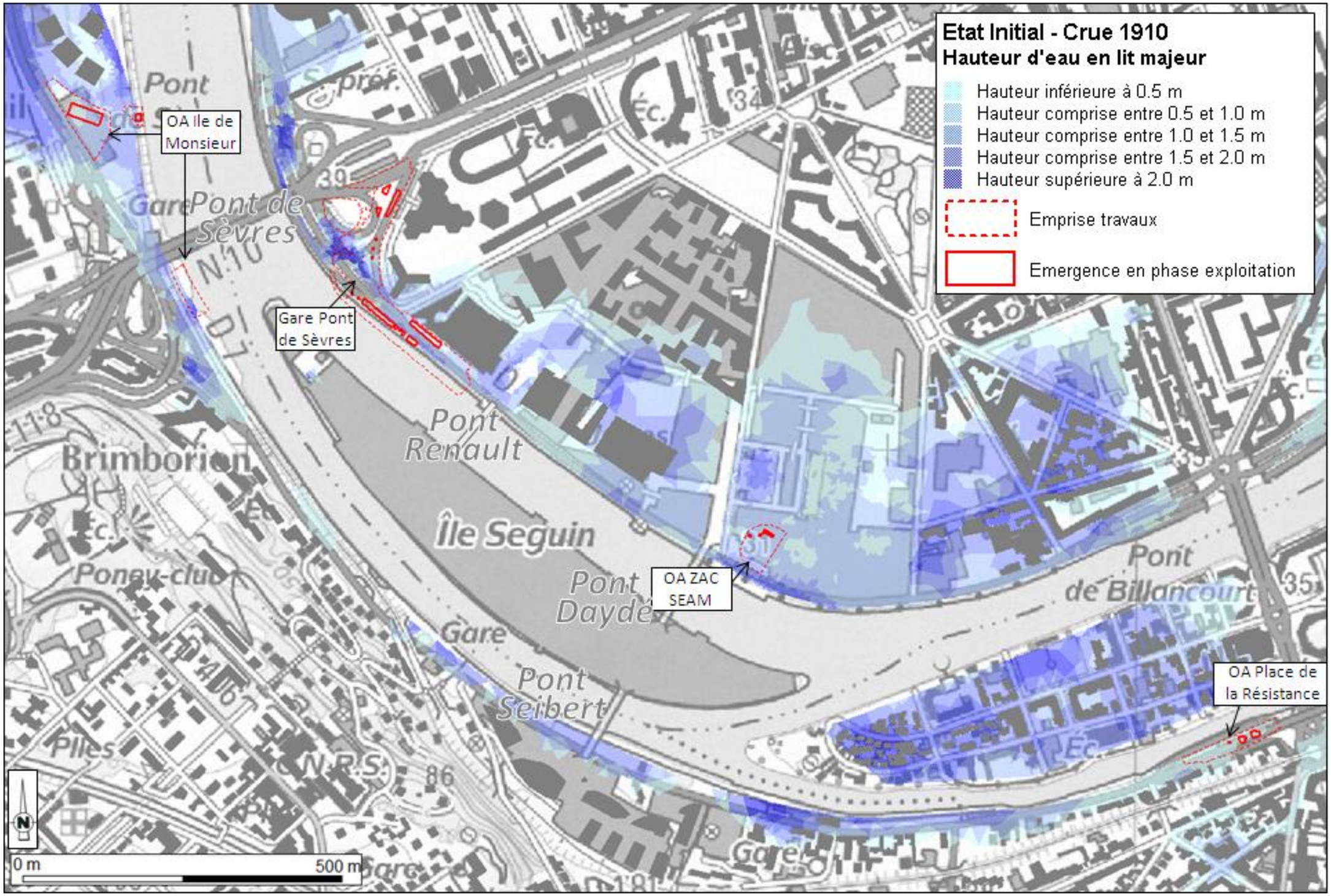
Carte 106 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1955



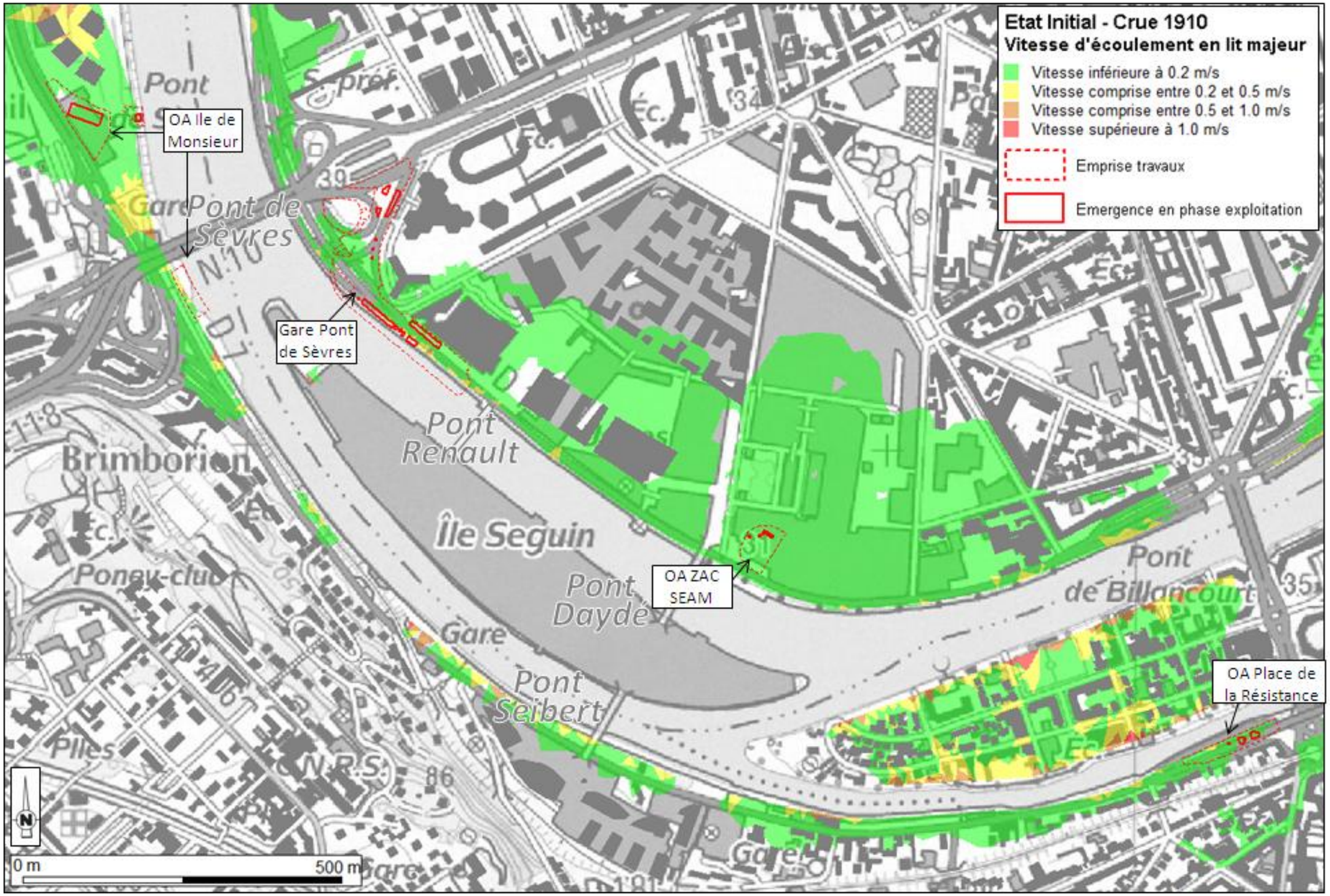
Carte 107 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue cinquantennale



Carte 108 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue cinquantennale



Carte 109 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue 1910



Carte 110 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910

3.4.2 Phase Chantier

3.4.2.1 Définition et modélisation de la phase chantier

La phase chantier correspond à la période durant laquelle les travaux du projet du Grand Paris Express auront lieu. Il s'agit d'une phase temporaire allant de un an pour les ouvrages annexes ZAC SEAM et Place de la Résistance à 7 ans pour la Gare de Pont de Sèvres. Le puits d'attaque de l'OA Ile de Monsieur restera en place pour une durée plus importante pour pouvoir être utilisé lors de la construction de la ligne 15 Ouest.

La modélisation de la phase chantier en lit majeur est réalisée en définissant les surfaces non submersibles au cours de la période de chantier (base vie, boite gare et ouvrages annexes) mais également les emprises des centrales à béton et de traitement des boues comme non inondables. Ces emprises sont donc modélisées en tant que bâtiment insubmersible.

Les différentes phases des chantiers sont modélisées en parallèle : toutes les emprises non submersibles au cours de la durée totale du chantier sont modélisées. Il s'agit d'une hypothèse pessimiste.

La modélisation de la phase chantier en lit mineur consiste à modifier les profils en travers de la Seine afin de représenter les aménagements projetés.

a. OA Ile de Monsieur

En phase travaux, une paroi périphérique permettant de rehausser de 20 cm celles des puits (puits d'attaque et puits d'extraction des déblais) par rapport à la cote de la crue de 1910 (31,35 m NGF au droit de l'ouvrage selon le PPRI 92) sera mise en place afin d'éviter les entrées d'eau dans ces derniers, soit une rehausse des parois des puits à la cote 31,55 m NGF. La hauteur de cette rehausse, spécifique à la phase travaux, a été fixée dans le cadre de la stratégie inondation de la SGP.

La centrale à boue ainsi que la base vie seront installées sur pilotis au-dessus de la cote de crue centennale pour permettre la libre circulation des eaux en cas de crue centennale. Le bassin d'exhaure sera réalisé au niveau du terrain naturel avec une enceinte étanche au-dessus de la cote de la crue de 1910. Les installations de chantier placées sur pilotis sont prises en compte dans la modélisation de la phase travaux.

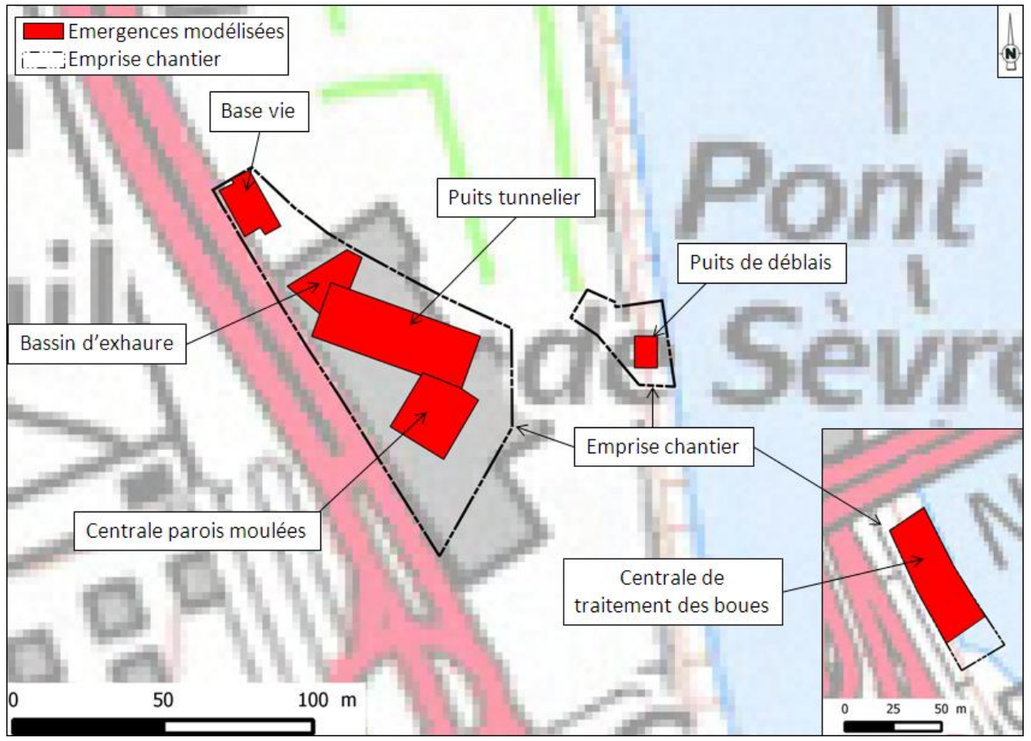
Au droit de l'ouvrage annexe de l'Ile de Monsieur, la modélisation de la phase chantier en lit majeur consiste à considérer non submersibles les emprises :

- de la base vie,
- du puits tunnelier,
- du puits servant à l'extraction des déblais,
- du centrale parois moulée,
- du bassin d'exhaure,
- de la centrale de traitement des boues (située en amont du pont de Sèvres).

Le stockage tampon de déblais sera évacué en cas d'alerte crue. Il n'est donc pas représenté au sein du modèle hydraulique.

Le niveau du terrain naturel sera abaissé de 45 cm sur l'ensemble de l'emprise travaux, soit à la cote moyenne de 29.75 m NGF, afin de compenser les volumes pris à la crue. La compensation volumique prévue en phase définitive est donc effective dès la phase chantier.

Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées sur la carte suivante.



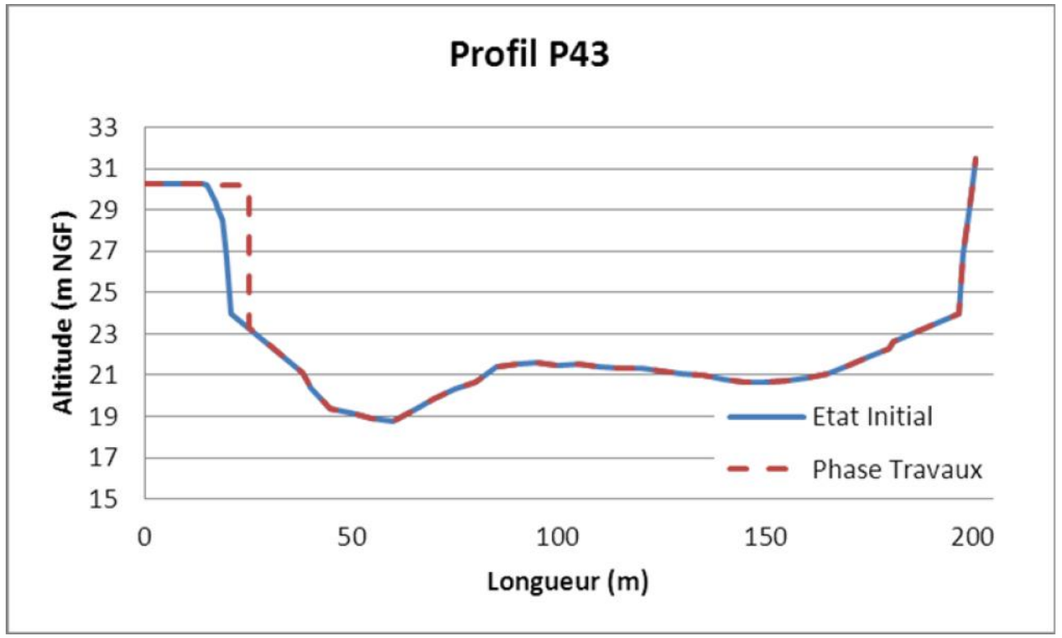
Carte 111 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Ile de Monsieur

Au droit de l'OA Ile de Monsieur, il est prévu d'évacuer les déblais par la Seine. L'accostage des barges peut nécessiter de changer les ducs d'Albe déjà en place si ceux-ci sont en mauvais état.

Les espaces libres entre les Ducs d'Albe de remplacement au droit de l'OA Ile de Monsieur étant estimés à environ 5 m (d'après les plans masse disponibles), ceux-ci sont considérés comme complétement obstrués. L'implantation de nouveaux Ducs d'Albe est donc modélisée par un remblai en lit mineur (hypothèse pessimiste). En effet, conformément à la doctrine DRIEE « Aménagement impactant le libre écoulement des eaux », la distance entre les ducs d'Albe et la berge étant de l'ordre de 5 m, l'espace libre doit être considéré comme complètement obstrué (prise en compte d'éventuels embâcles).

Les infrastructures de chantier dans le lit mineur de la Seine (Ducs d'Albe) sont modélisées par un reprofilage des profils en travers au droit du secteur concerné sur un linéaire d'environ 200 m (du profil P43 à P45).

Le graphique ci-après illustre un exemple des reprofilages mis en œuvre pour la modélisation de la phase chantier.



Graphique 34 : Exemple de prise en compte de la phase travaux en lit mineur – OA Ile de Monsieur – Profil P43

b.Gare de Pont de Sèvres

En phase travaux, les principales installations de chantier seront implantées dans l'échangeur de la RD910/RD1 situé hors zones inondables. Les autres installations seront placées sur pilotis ou au-dessus de la cote de la crue de 1910 pour permettre le libre écoulement des eaux, notamment la centrale à boue. Les installations de chantier placées sur pilotis sont prises en compte dans la modélisation de la phase travaux.

Une paroi périphérique rehaussée de 20 cm par rapport à la cote de la crue de 1910 (31.55 m NGF) sera créée afin d'éviter les entrées d'eau en cas de crue, soit une rehausse des parois du puits à la cote 31.75 m NGF. La hauteur de cette rehausse, spécifique à la phase travaux, a été fixée dans le cadre de la stratégie inondation de la SGP.

Par ailleurs, la réalisation de la boîte gare et le maintien de la circulation par déviation de voirie nécessite la réalisation d'un remblai et d'une estacade en Seine avec mise en œuvre d'un rideau de palplanches sur 230 ml. Le remblai a été réduit dans la limite des contraintes techniques (parois avec refends pour consolider la boîte au regard de la nature géologique des terrains). Ces ouvrages provisoires en Seine (remblais, estacades) seront placés à une cote de mise hors crue de 31.55 m NGF + 20 cm.

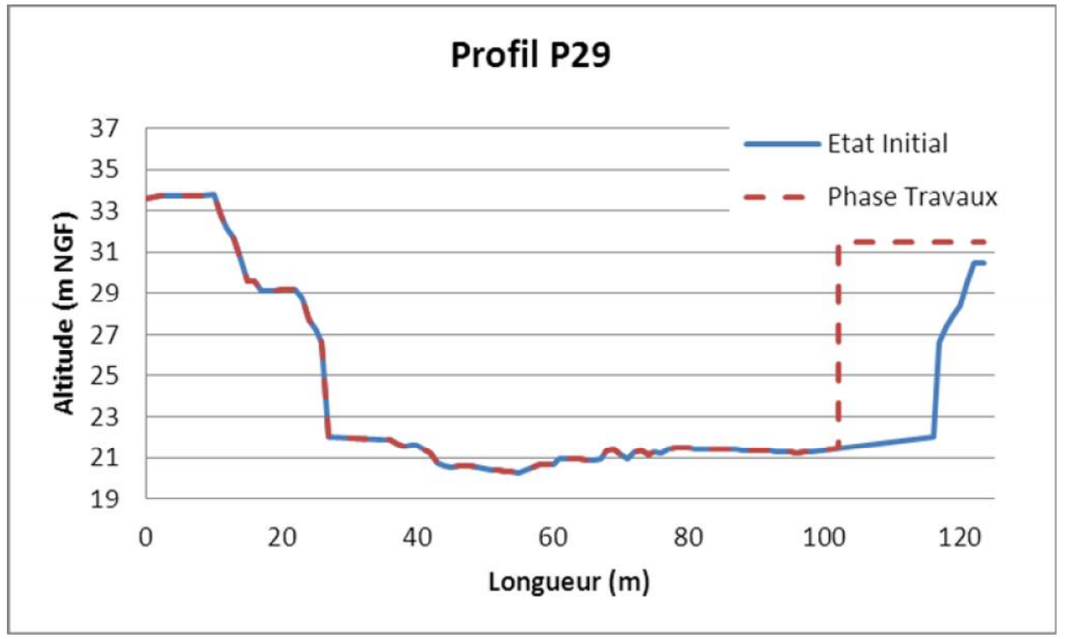
Ainsi, la phase travaux prévoit :

- la mise hors d'eau de la boîte gare pour la crue de 1910 (rehausse de la paroi moulée au-dessus des 31.55 m NGF) ;
- la création d'un remblai en lit mineur par l'installation d'un rideau de palplanches sur 230 ml ;
- la création d'une estacade en lit mineur.

L'estacade au droit de la gare de pont de Sèvres est considérée comme un remblai en phase travaux. En effet, conformément à la doctrine DRIEE « Aménagement impactant le libre écoulement des eaux », la distance entre chaque pile de l'estacade (pouvant être assimilée à des Ducs d'Albe) étant de l'ordre de 5 m, l'espace libre entre chaque pile doit être considéré comme complètement obstrué (prise en compte d'éventuels embâcles).

Les infrastructures de chantier dans le lit mineur de la Seine (rideau de palplanches et estacades) ont été modélisées par un reprofilage des profils en travers au droit de la gare de Pont de Sèvres sur un linéaire d'environ 250 m (du profil P29 à P38) afin de reproduire la réduction de la surface mouillée.

Le graphique ci-après illustre un exemple des reprofilages mis en œuvre pour la modélisation de la phase chantier.



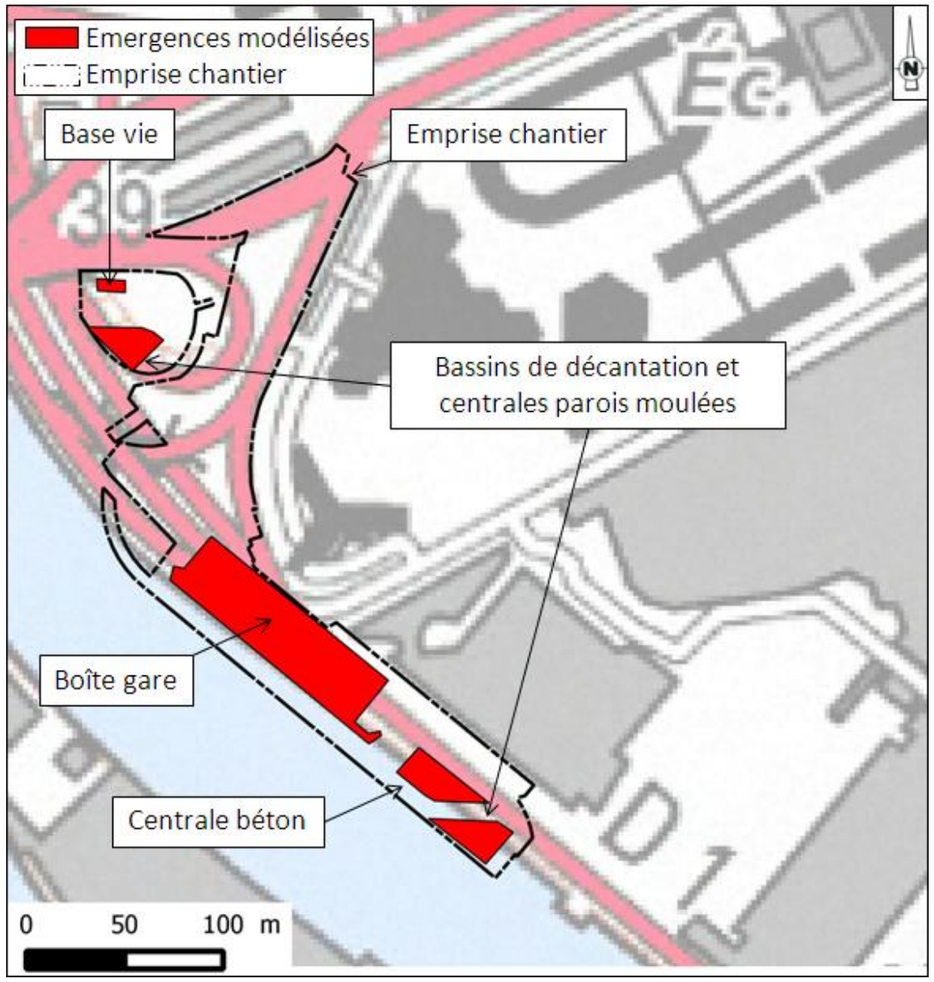
Graphique 35 : Exemple de prise en compte de la phase travaux en lit mineur – Gare de Pont de Sèvres – Profil P29

Au droit de la Gare de Pont de Sèvres, la modélisation de la phase chantier en lit majeur consiste à considérer non submersibles les emprises :

- de la base vie,
- des bassins de décantation et des centrales parois moulées,
- de la boite gare,
- de la centrale à béton.

Les déblais et les engins de chantier seront évacués en cas d'alerte à la crue. Ils ne sont pas représentés au sein du modèle hydraulique. La topographie de l'emprise chantier est donc identique à la topographie actuelle, mise à part les modifications citées précédemment.

Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées sur la carte suivante.



Carte 112 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de la gare Pont de Sèvres

c. OA ZAC SEAM

Au regard des emprises chantier assez réduites, l'ensemble des installations chantiers seront rehaussées sur pilotis au-dessus-de la cote de la crue de 1910 (centrale à boue, bungalows de chantier, stockage produits polluants en cuves étanches, bassin d'exhaure si possible). Les installations de chantier placées sur pilotis sont prises en compte dans la modélisation de la phase travaux.

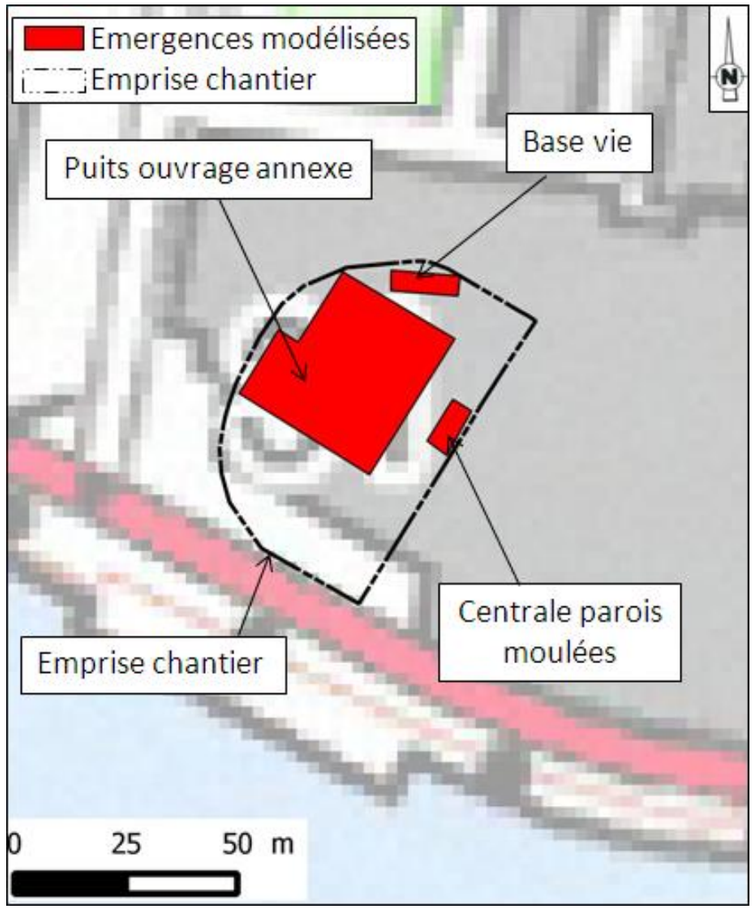
Par ailleurs, afin de protéger les excavations et d'éviter les entrées d'eau dans le tunnel pour une crue de type 1910, des parois périphériques étanches seront installées en prolongement des parois du puits jusqu'à la cote 31.75 m NGF (cote de la crue de 1910 + 20 cm). La hauteur de cette rehausse, spécifique à la phase travaux, a été fixée dans le cadre de la stratégie inondation de la SGP.

Ainsi, au droit de l'ouvrage annexe de la ZAC SEAM, la modélisation de la phase chantier consiste à considérer non submersibles les emprises :

- du puits de fouille de l'ouvrage,
- de la base vie,
- de la centrale parois moulées.

Le terrain de l'emprise chantier est nivelé à la cote du terrain naturel actuel abaissé de 2 cm, soit à la cote moyenne de 30.98 m NGF, afin de compenser les volumes prélevés à la crue. La compensation volumique prévue en phase définitive est donc effective dès la phase chantier.

Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées sur la carte suivante.



Carte 113 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA ZAC SEAM

d. Place de la Résistance

Au regard des emprises chantier assez réduites, l'ensemble des installations chantiers seront rehaussées sur pilotis au-dessus-de la cote de la crue de 1910 (centrale à boue, bungalows de chantier, stockage produits polluants en cuves étanches, bassin d'exhaure si possible). Les installations de chantier placées sur pilotis sont prises en compte dans la modélisation de la phase travaux.

Par ailleurs, afin de protéger les excavations et d'éviter les entrées d'eau dans le tunnel pour une crue de type 1910, des parois périphériques étanches seront installées en prolongement des parois du puits jusqu'à la cote 31.85 m NGF (cote de la crue de 1910 + 20 cm). La hauteur de cette rehausse, spécifique à la phase travaux, a été fixée dans le cadre de la stratégie inondation de la SGP.

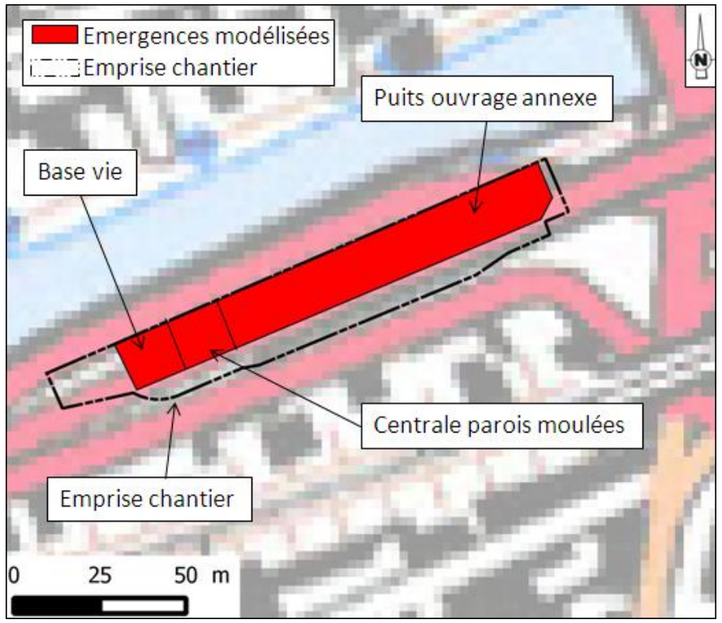
Il est à noter que la réalisation des travaux de l'OA Place de la Résistance ne nécessite aucune intervention en lit mineur. En phase définitive, aucune émergence n'est réalisée au sein du lit mineur. L'ouvrage vient s'appuyer sur les palplanches existantes du quai.

Au droit de l'ouvrage annexe de la ZAC SEAM, la modélisation de la phase chantier consiste à considérer non submersibles les emprises :

- du puits de fouille de l'ouvrage,
- de la base vie,
- de la centrale parois moulées.

Le niveau du terrain naturel sera abaissé de 8 cm sur l'ensemble de l'emprise travaux, soit à la cote moyenne de 30.74 m NGF, afin de compenser les volumes pris à la crue. La compensation volumique prévue en phase définitive est donc effective dès la phase chantier.

Les emprises ainsi considérées comme non submersibles sont présentées sur la carte suivante.



Carte 114 : Emprise des zones modélisées en phase chantier au droit de l'OA Place de la Résistance

e. Gare d'Issy RER

Cette gare étant située hors zone inondable pour les différentes crues simulées, elle n'a pas été intégrée au modèle hydraulique.

3.4.2.2 Incidences hydrauliques en phase chantier

a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982 étant non débordante, le projet n'a aucun impact en lit majeur. Les seuls impacts potentiels sont donc situés en lit mineur.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1982 sont :

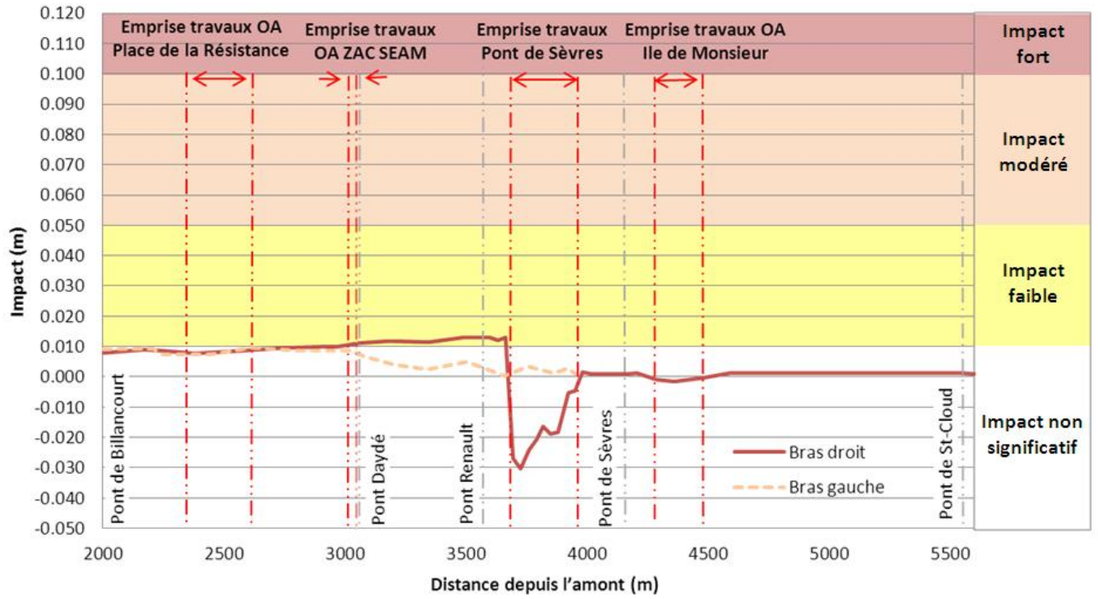
- un léger rehaussement de la ligne d'eau (de l'ordre du centimètre) sur environ 1 km en amont de la gare de Pont de Sèvres (impact faible),
- un abaissement de la ligne d'eau (de 2 à 3 cm) au droit de la gare de Pont de Sèvres.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1982 sont :

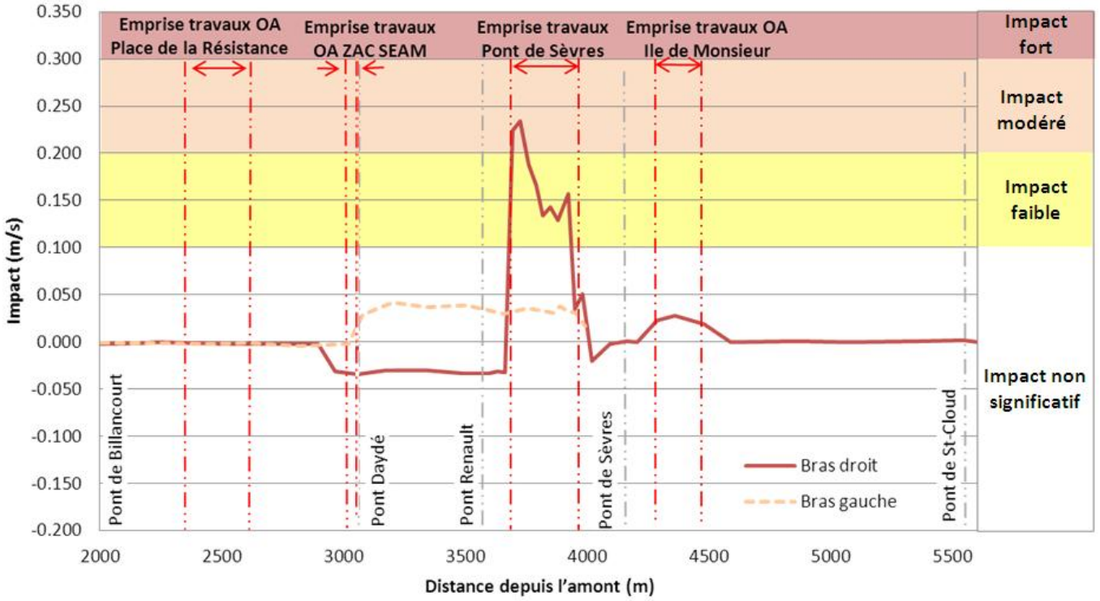
- une légère diminution des vitesses d'écoulement en lit mineur (de l'ordre de 0,03 m/s) en amont de la gare de Pont de Sèvres,
- une augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (jusqu'à 0,23 m/s) au droit de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact modéré,
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (de l'ordre de 0,03 m/s) au droit de l'OA Ile de Monsieur.

La phase travaux présente donc un impact faible sur les niveaux d'eau (de l'ordre de 1 cm) et un impact modéré sur les vitesses d'écoulement (inférieur à 0.25 m/s) au droit de la gare de Pont de Sèvres en lit mineur pour la crue de 1982. Aucune incidence n'est observée en lit majeur.

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase travaux) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement en lit mineur sont présentées à travers les profils en long ci-après.



Graphique 36 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1982



Graphique 37 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1982

b.Crue de 1955 (crue trentennale)

La crue de 1955 étant faiblement débordante, le seul l'ouvrage annexe pouvant avoir un impact sur les inondations en lit majeur est l'OA Ile de Monsieur.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1955 sont :

- un très léger rehaussement de la ligne d'eau (inférieur à 1 cm) en amont de l'OA Ile de Monsieur correspondant à un impact non significatif,
- un léger rehaussement de la ligne d'eau (inférieur à 2,5 cm) sur un linéaire d'environ 1 km en amont de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact faible,
- un abaissement de la ligne d'eau (de 2 à 3 cm) au droit de la gare de Pont de Sèvres,
- un impact non significatif est observé en lit majeur.

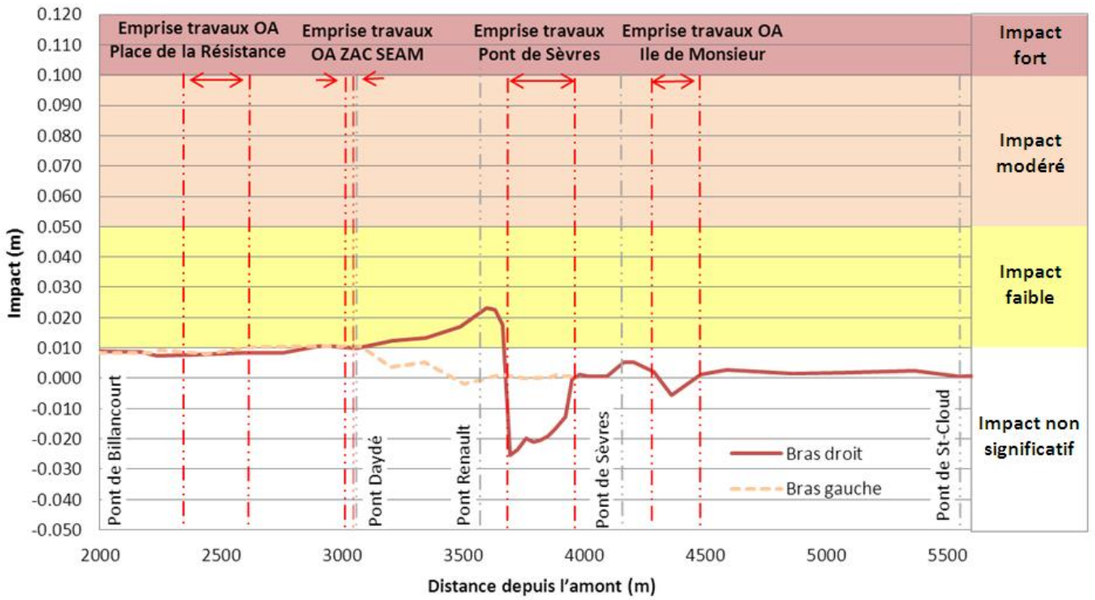
Lors de la phase travaux, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1955 sont :

- une légère diminution des vitesses d'écoulement en lit mineur (de l'ordre de 0,05 m/s) en amont de la gare de Pont de Sèvres,
- une augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (jusqu'à 0,23 m/s) au droit de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact modéré,
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement du lit mineur (de l'ordre de 0,05 m/s) au droit de l'OA Ile de Monsieur,
- un impact non significatif est observé en lit majeur.

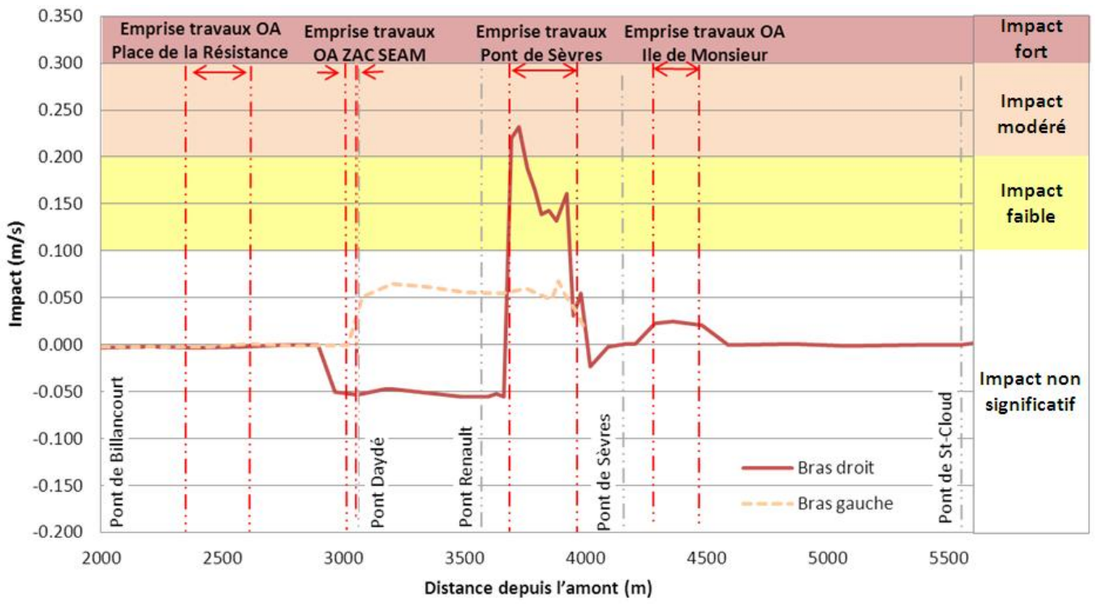
L'emprise travaux de l'OA Ile de Monsieur étant décaissée en phase travaux, une zone, non inondable à l'état actuel, est rendue accessible à la crue.

La phase travaux présente donc un impact faible sur les niveaux d'eau (environ 2.5 cm) et un impact modéré au droit de la gare de Pont de Sèvres (inférieur à 0.25 m/s) sur les vitesses d'écoulement en lit mineur pour la crue de 1955. Un impact non significatif est observé en lit majeur.

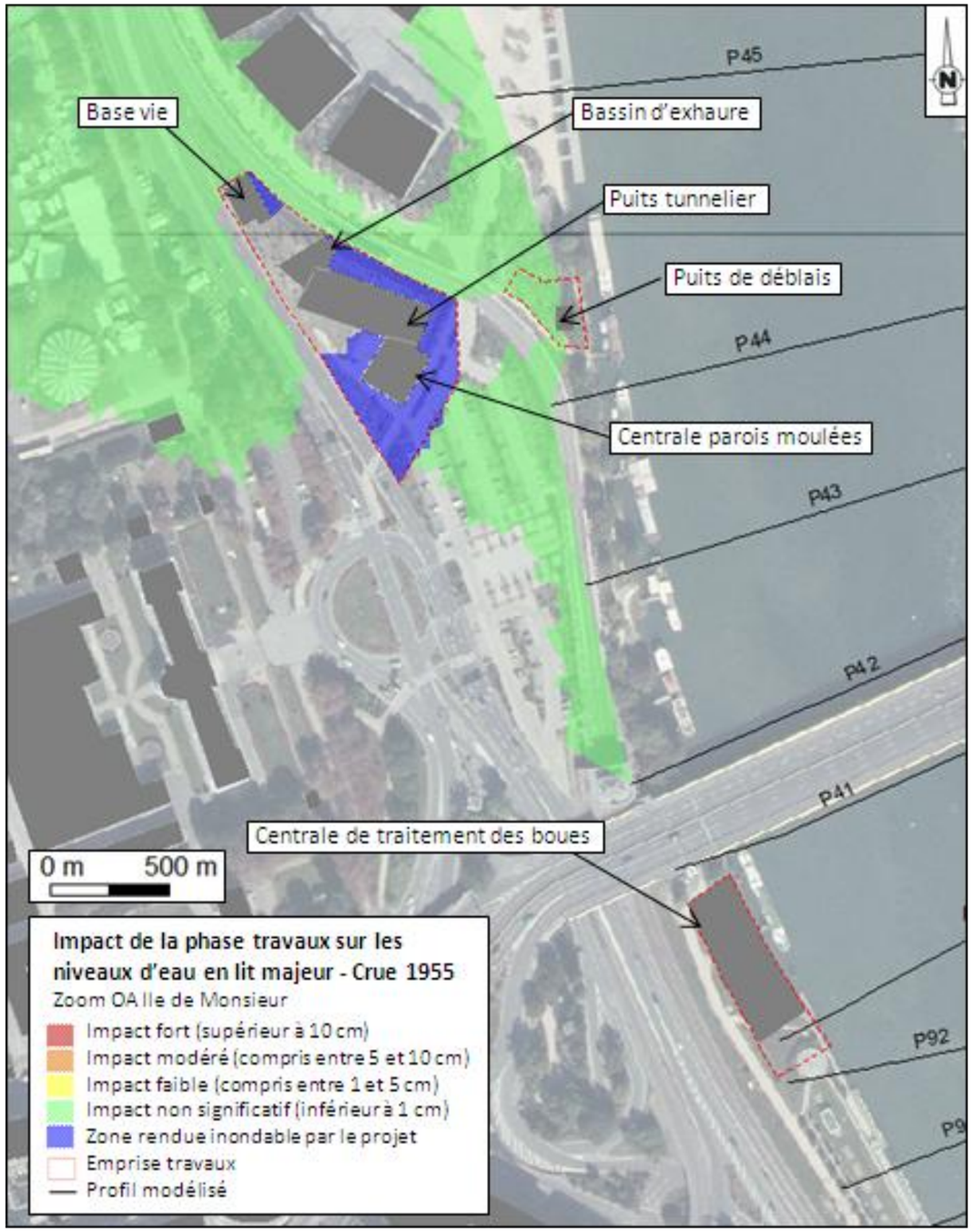
Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase travaux) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



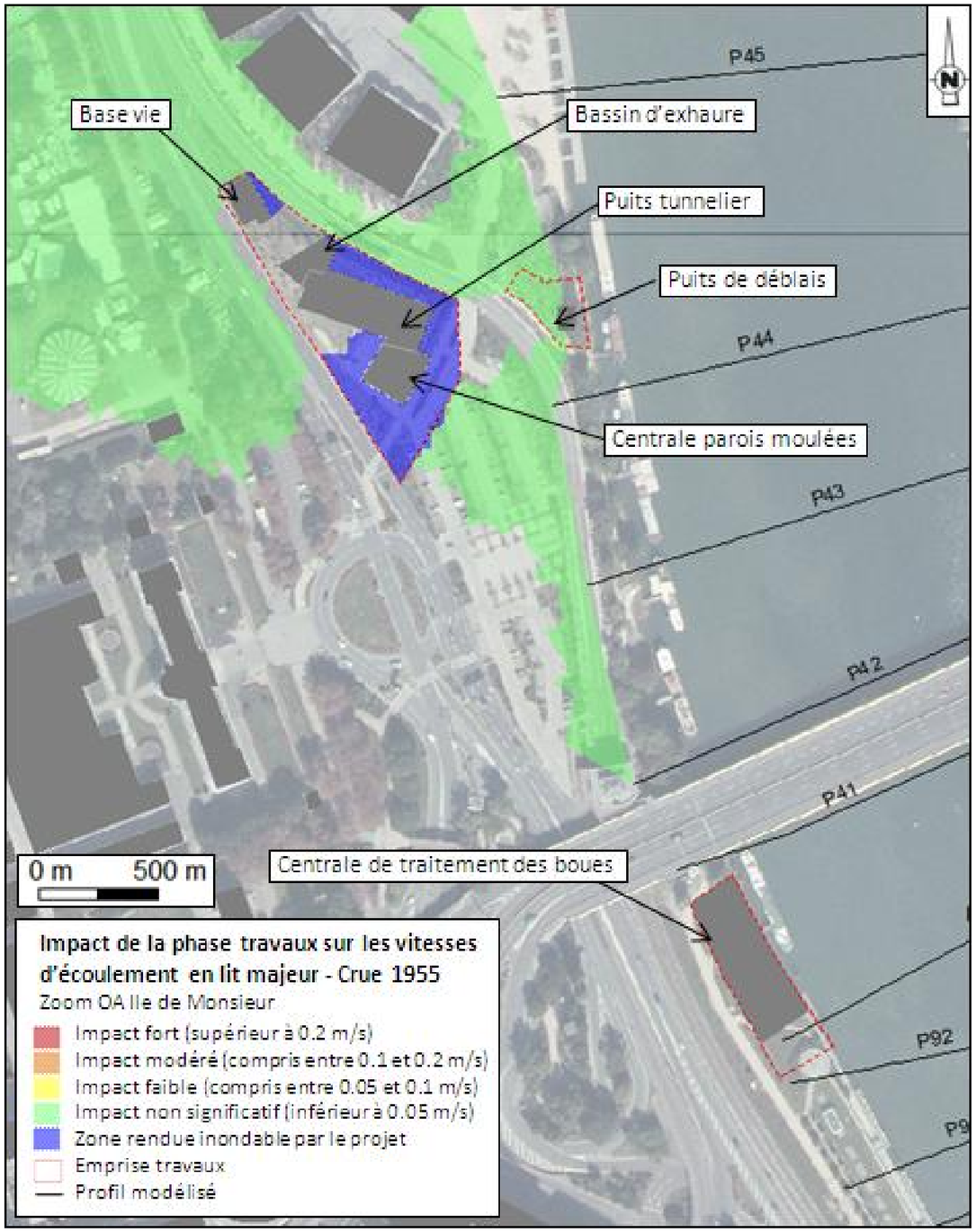
Graphique 38 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1955



Graphique 39 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1955



Carte 115 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1955 – Zoom OA Ile de Monsieur



Carte 116 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1955 – Zoom OA Ile de Monsieur

c. Crue cinquantennale

La crue cinquantennale, similaire à la crue de 1955, est faiblement débordante. Ainsi, le seul l'ouvrage annexe pouvant avoir un impact sur les inondations en lit majeur est l'OA Ile de Monsieur.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue cinquantennale sont :

- un très léger rehaussement de la ligne d'eau (inférieur à 1 cm) en amont de l'OA Ile de Monsieur correspondant à un impact non significatif,
- un léger rehaussement de la ligne d'eau (de l'ordre de 2 centimètres) en amont de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact faible,
- un abaissement de la ligne d'eau (de 2 à 3 cm) au droit de la gare de Pont de Sèvres,
- un impact non significatif est observé en lit majeur.

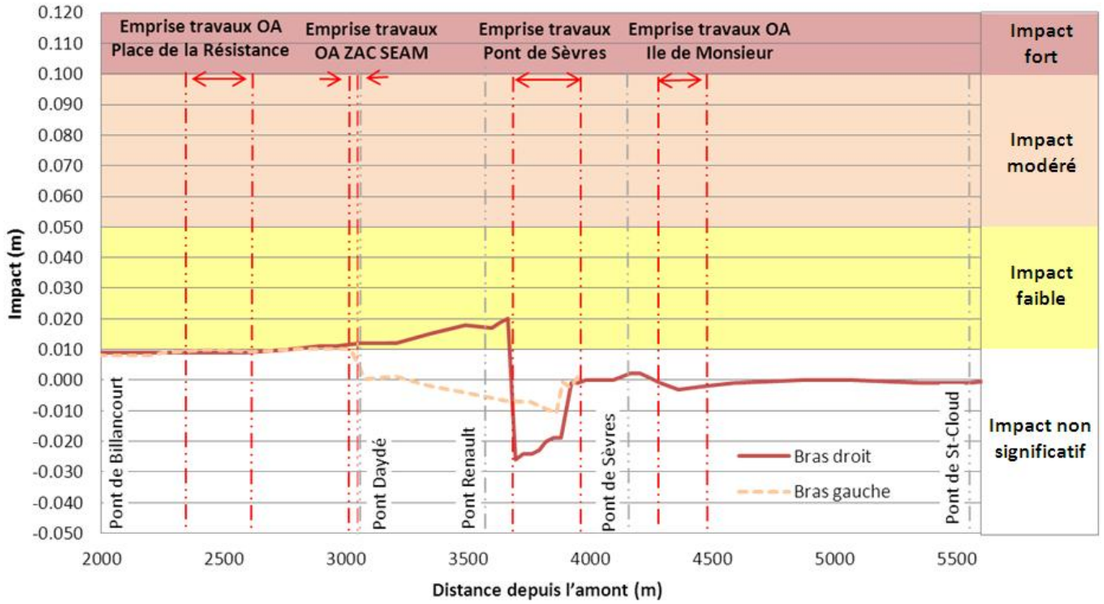
Lors de la phase travaux, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue cinquantennale sont :

- une légère diminution des vitesses d'écoulement en lit mineur (de l'ordre de 0,06 m/s) en amont de la gare de Pont de Sèvres,
- une augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (jusqu'à 0,23 m/s) au droit de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact modéré,
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement du lit mineur (de l'ordre de 0,03 m/s) au droit de l'OA Ile de Monsieur,
- une augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,18 m/s) à proximité immédiate de l'OA Ile de Monsieur correspondant à un impact modéré.

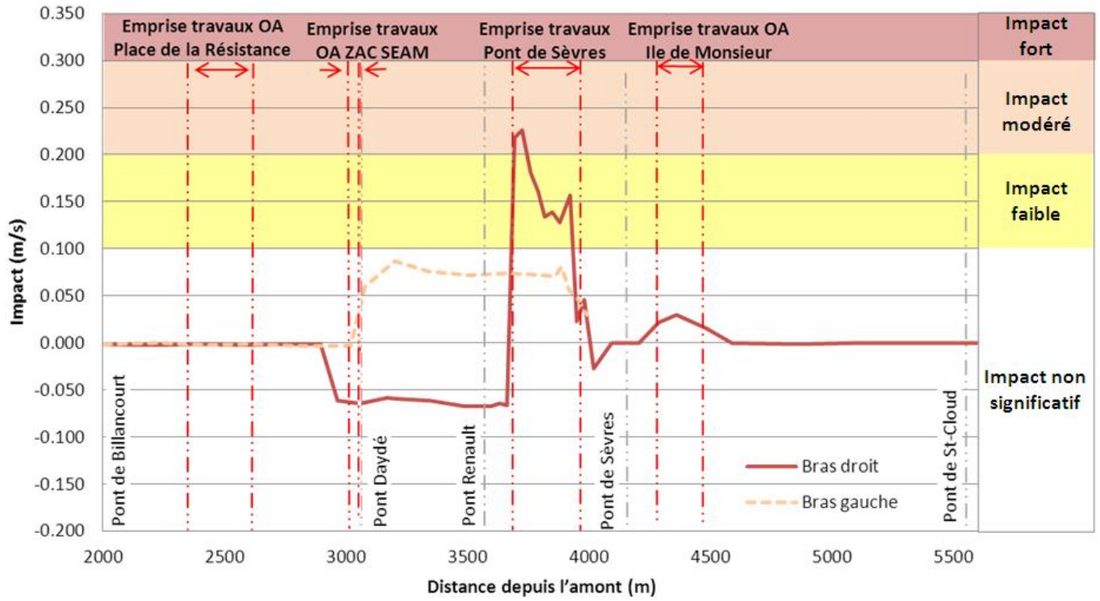
L'emprise travaux de l'OA Ile de Monsieur étant décaissée en phase travaux, une zone, non inondable à l'état actuel, est rendue accessible à la crue.

La phase travaux présente donc un impact faible sur les niveaux d'eau (environ 2 cm) en lit mineur et un impact modéré sur les vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur (inférieur à 0.25 m/s en lit mineur et environ 0.18 m/s en lit majeur) pour la crue cinquantennale. Un impact non significatif sur les niveaux d'eau est observé en lit majeur.

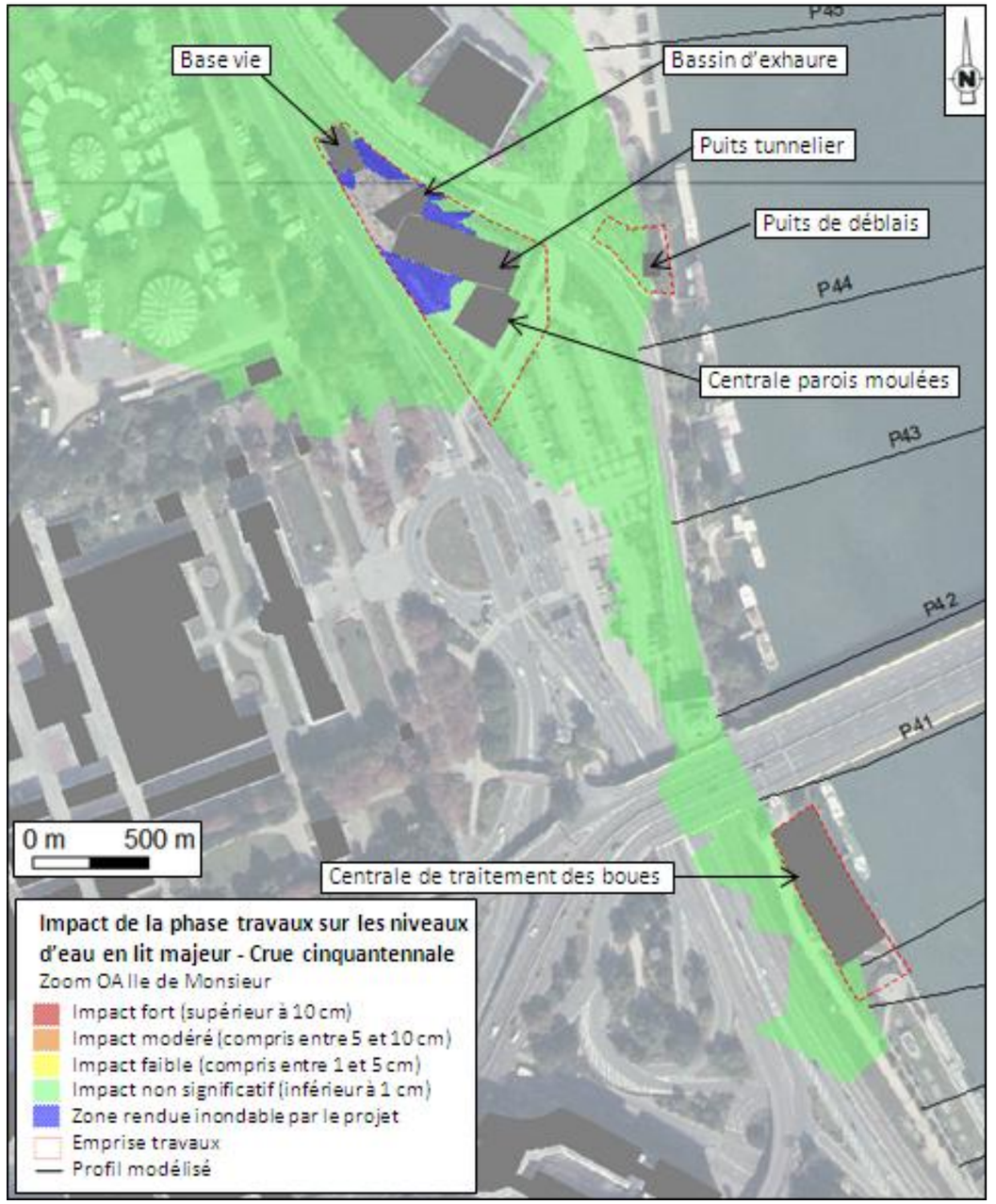
Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase travaux) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



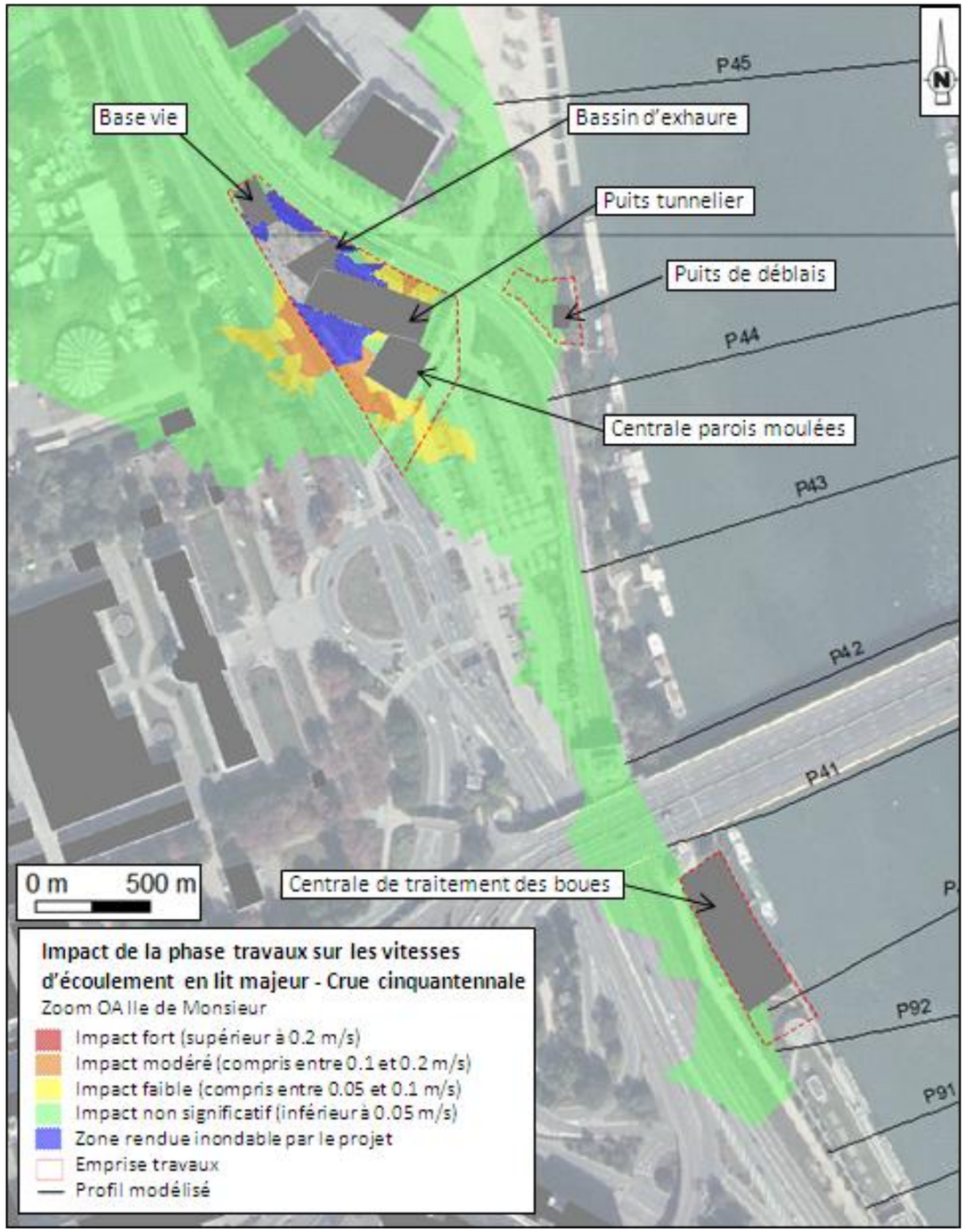
Graphique 40 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue cinquantennale



Graphique 41 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue cinquantennale



Carte 117 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue cinquantennale – Zoom OA Ile de Monsieur



Carte 118 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue cinquantennale – Zoom OA Ile de Monsieur

d.Crue de 1910 (crue centennale)

La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI des Hauts-de Seine. Cette crue débordante peut être impactée par l'OA Ile de Monsieur, la gare de Pont de Sèvres, l'OA ZAC SEAM et l'OA place de la Résistance. Seuls ces ouvrages sont situés dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1910 sont :

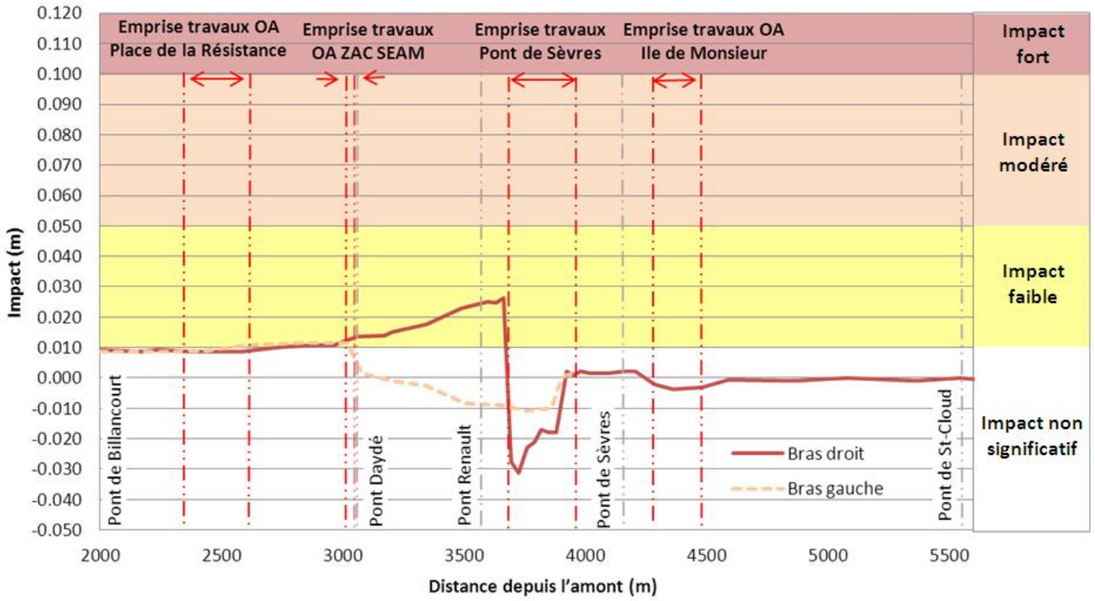
- un léger rehaussement de la ligne d'eau (de 2 à 3 centimètres) en amont de la gare de Pont de Sèvres (en lit mineur et majeur) correspondant à un impact faible sur une distance d'environ 1 000 m,
- un abaissement de la ligne d'eau (de 2 à 3 cm) au droit de la gare de Pont de Sèvres.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1910 sont :

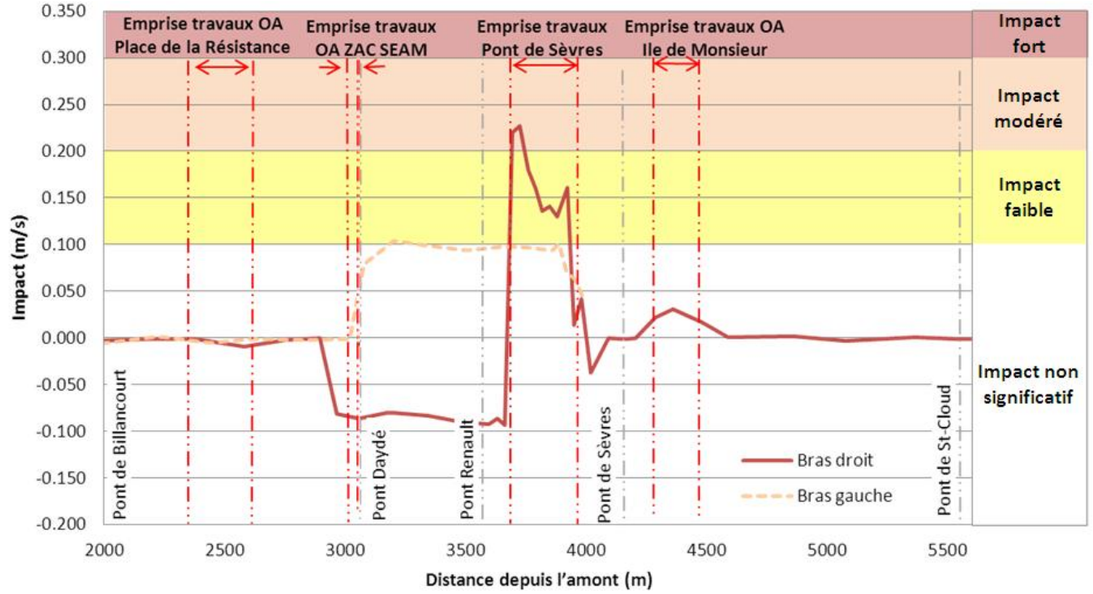
- une diminution des vitesses d'écoulement en lit mineur (de l'ordre de 0,1 m/s) en amont de la gare de Pont de Sèvres,
- une augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (jusqu'à 0,23 m/s) au droit de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact modéré,
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement du lit mineur (de l'ordre de 0,04 m/s) au droit de l'OA Ile de Monsieur,
- une augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,14 m/s) à proximité immédiate des aménagements de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact modéré.

La phase travaux présente donc un impact faible sur les niveaux d'eau (impact inférieur à 3 cm) ainsi qu'un impact modéré et local sur les vitesses d'écoulement en lit mineur (0.23 m/s) et majeur (0.14 m/s) pour la crue de 1910.

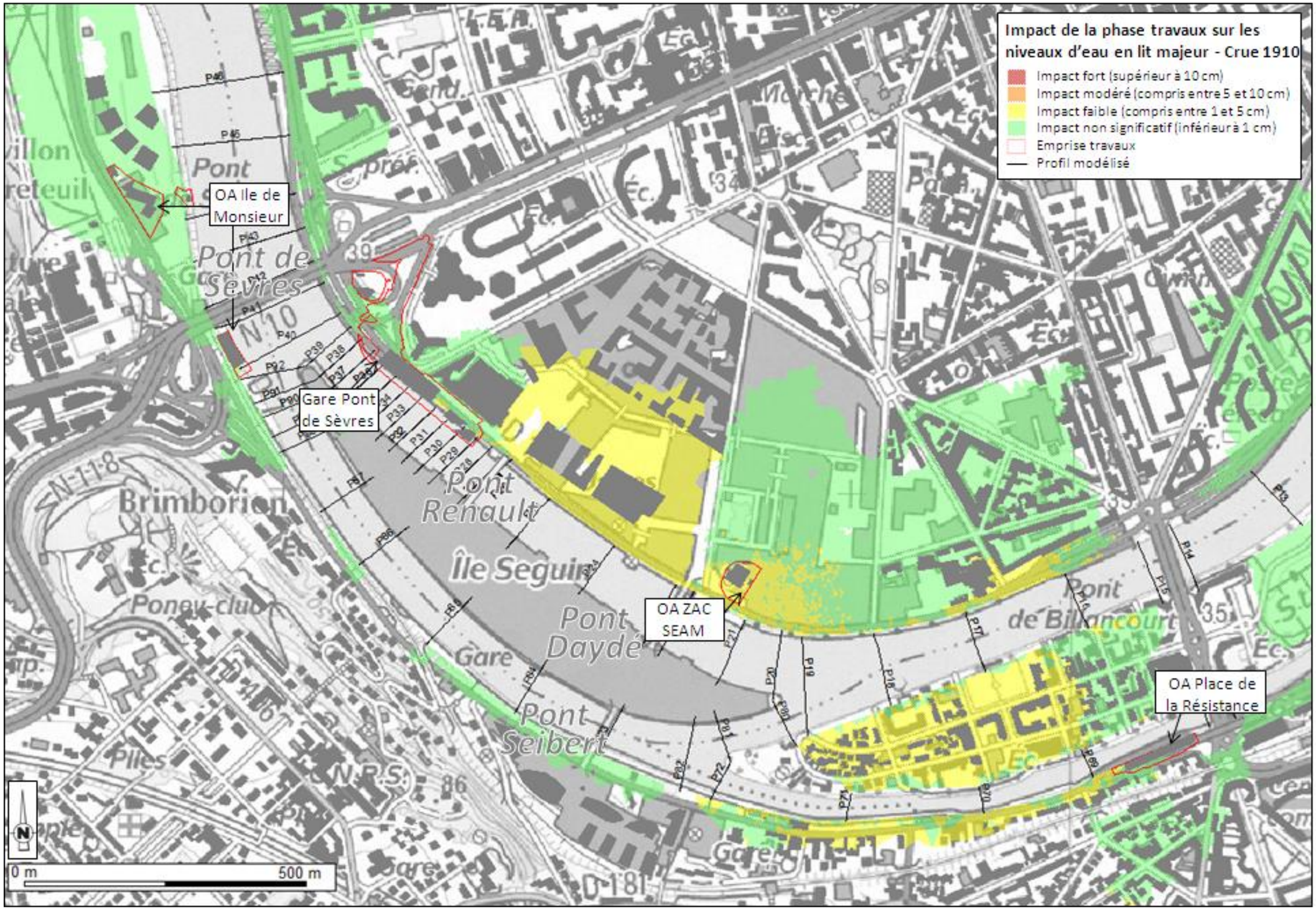
Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase travaux) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



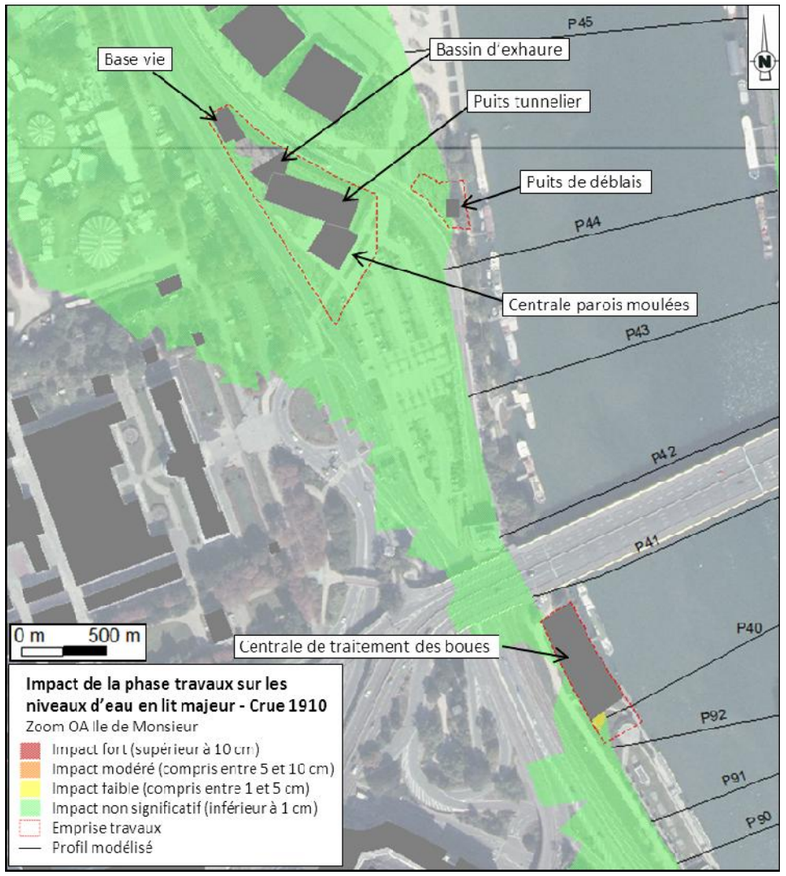
Graphique 42 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1910



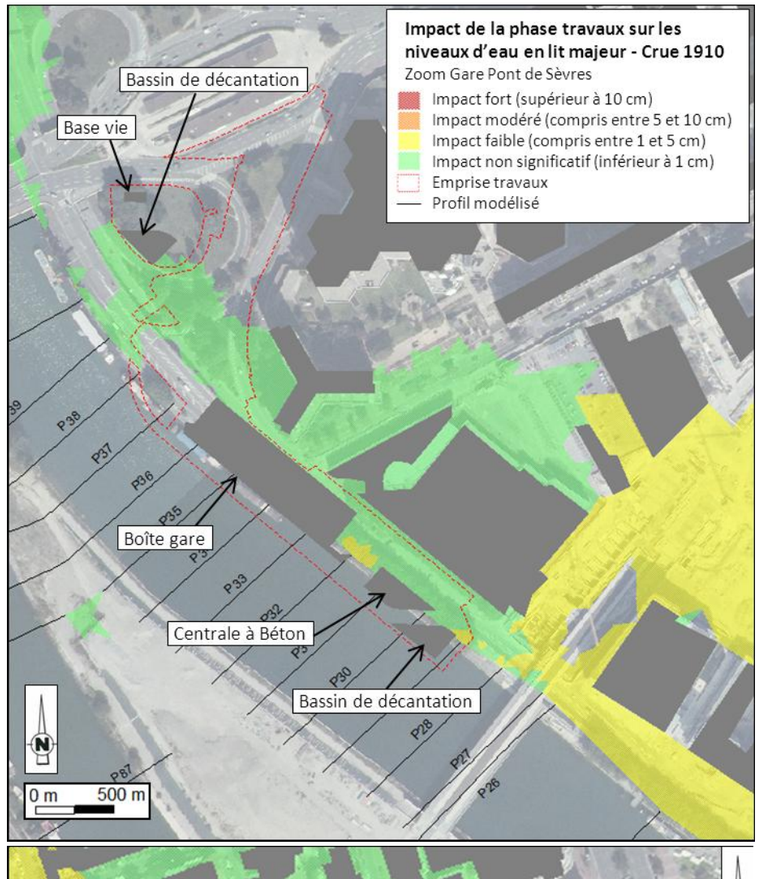
Graphique 43 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1910



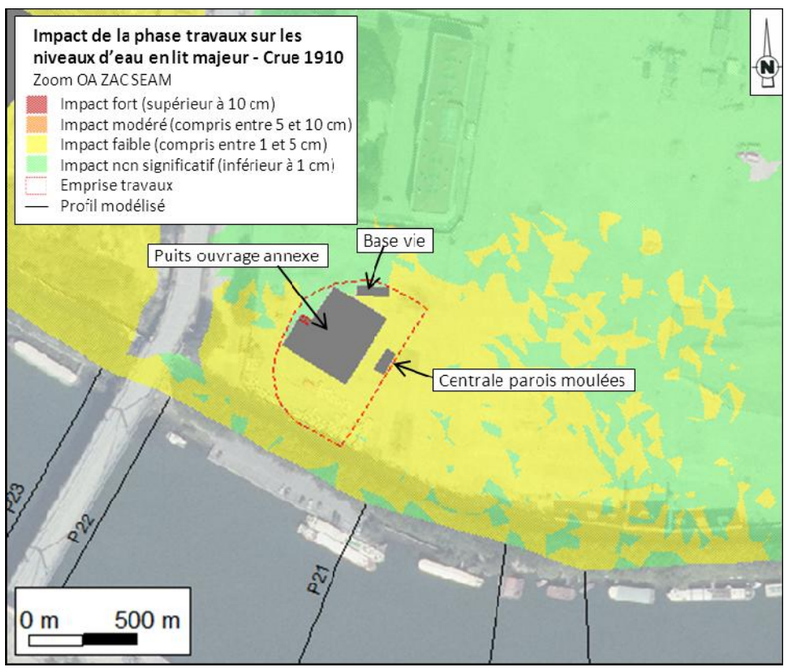
Carte 119 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910



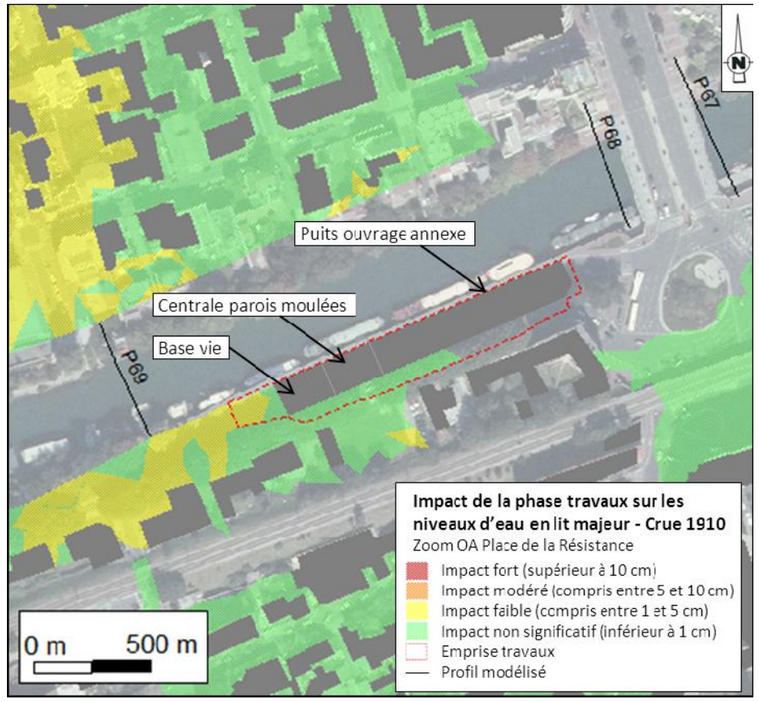
Carte 120 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Ile de Monsieur



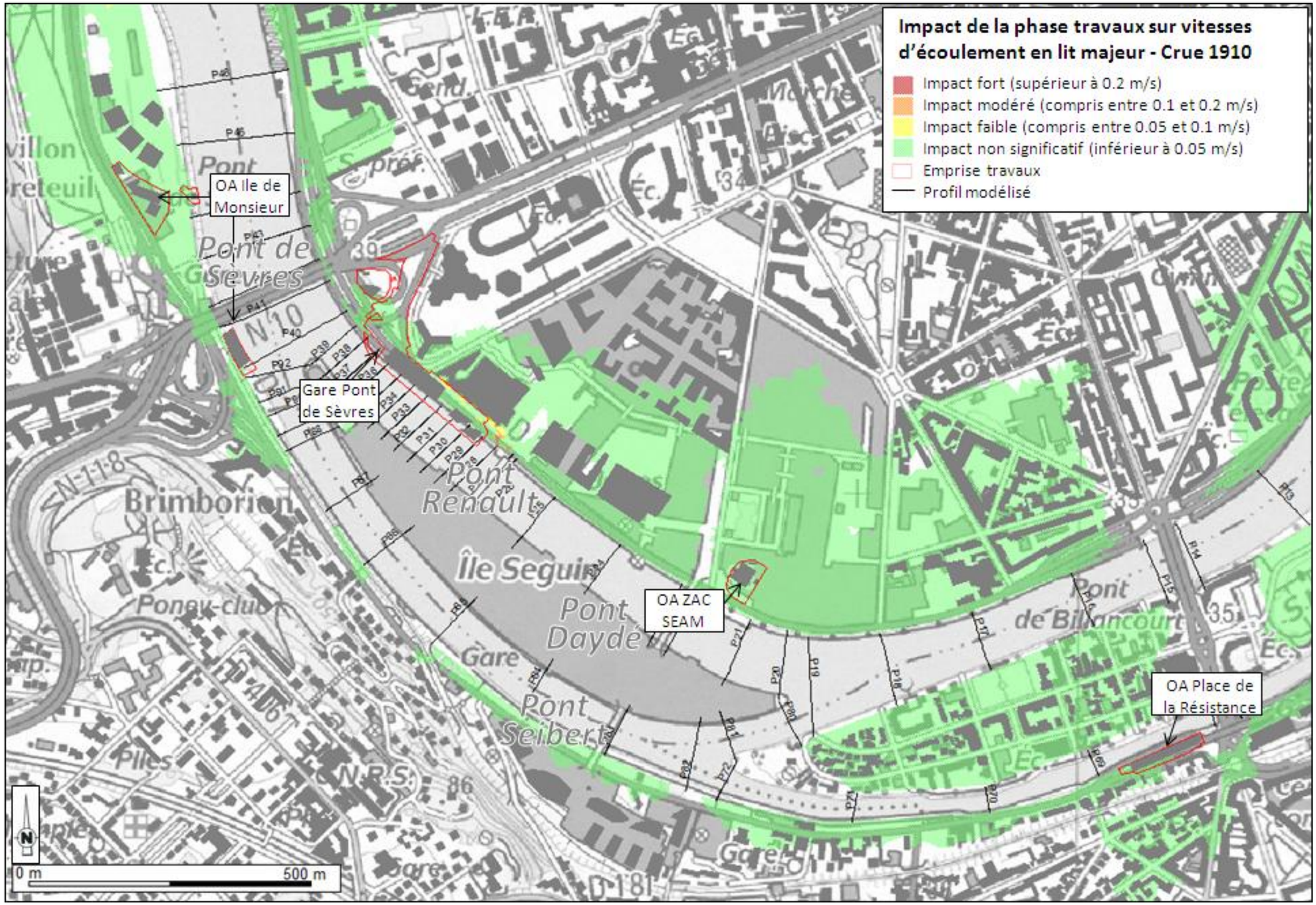
Carte 121 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Pont de Sèvres



Carte 122 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA ZAC SEAM

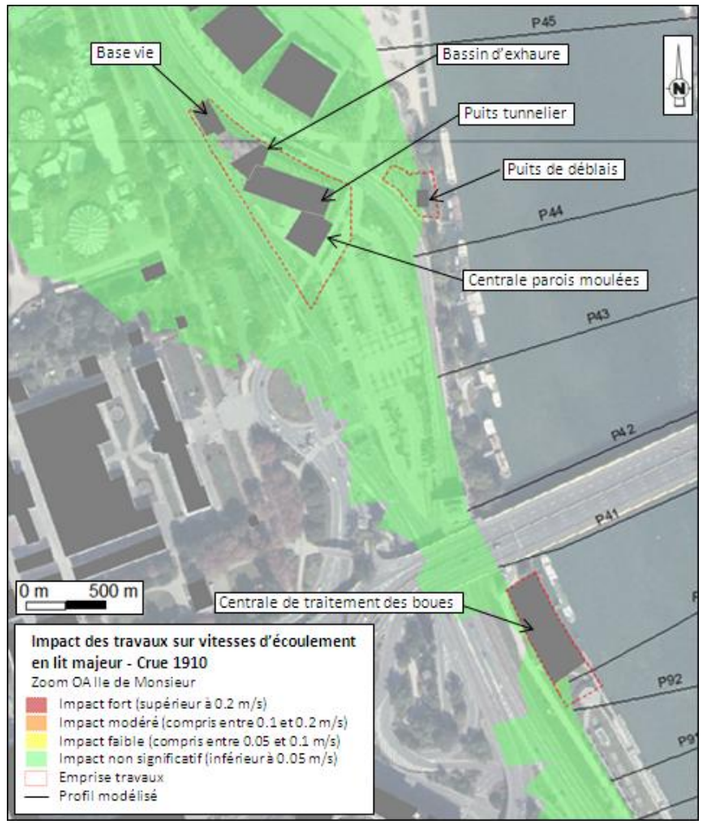


Carte 123 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 –Zoom OA Place de la Résistance

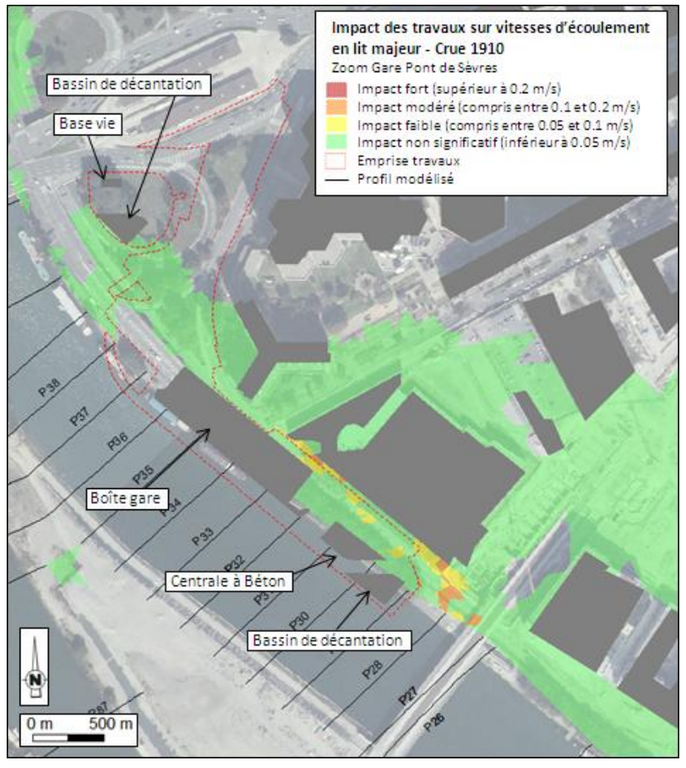


Carte 124 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910

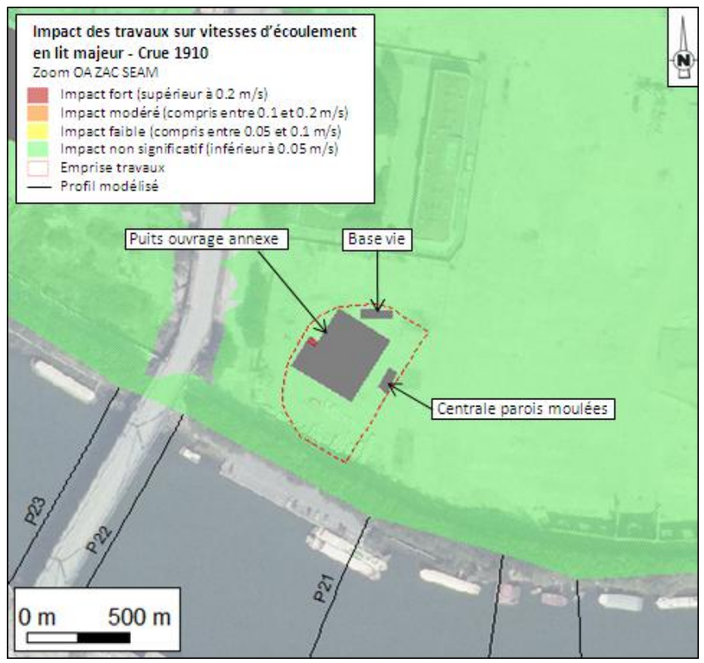
Carte 125 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Ile de Monsieur



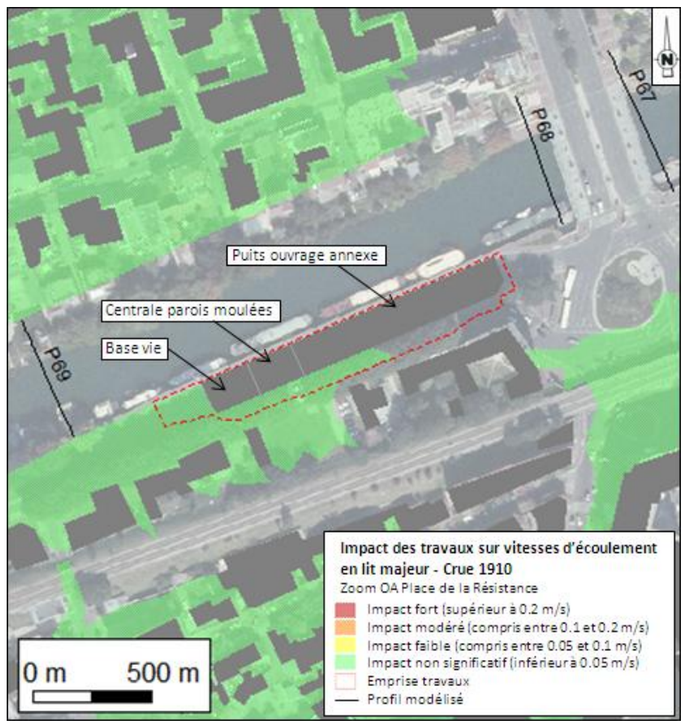
Carte 126 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Gare Pont de Sèvres



Carte 127 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA ZAC SEAM



Carte 128 : Impact de la phase travaux sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Place de la Résistance



3.4.3 Phase Exploitation

3.4.3.1 Définition et modélisation de la phase exploitation

La phase exploitation correspond à la période durant laquelle le métro de la ligne 15 Sud sera en service. Il s'agit de l'état final du projet, excepté pour l'OA de l'Ile de Monsieur voué à être utilisé dans le projet de la ligne 15 Ouest.

a. OA Ile de Monsieur

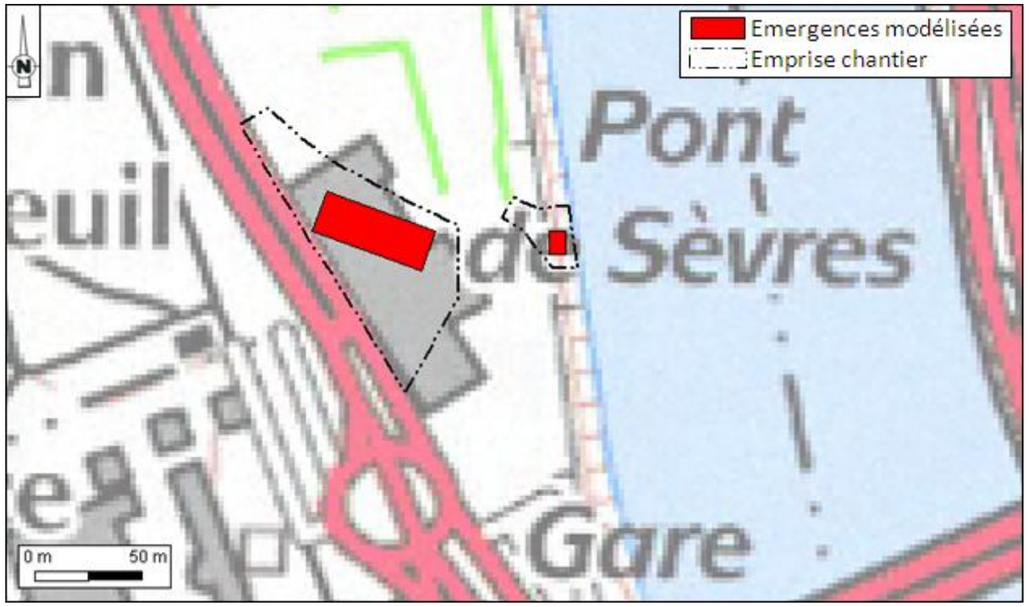
En phase définitive, les parois périphériques des puits seront conservées dans l'attente de la poursuite des travaux sur le tronçon de la ligne 15 Ouest, soit une rehausse des parois des puits à la cote 31,55 m NGF (cote de la crue de 1910 (31.35 m NGF) + 20 cm).

L'altimétrie de l'emprise chantier est la même qu'en phase travaux, soit à la cote moyenne de 29.75 m NGF (état initial abaissée de 45 cm), afin d'assurer la compensation des volumes prélevés par les émergences.

Au droit de l'Ouvrage Annexe de l'Ile de Monsieur, la modélisation de la phase exploitation consiste donc à considérer :

- le puits d'attaque et le puits de déblais non submersibles (puits utilisés pour la création de la ligne 15 Ouest),
- un niveau de terrain égal au terrain naturel actuel abaissé de 45 cm.

Les émergences ainsi considérées comme non inondables sont présentées sur la carte suivante.



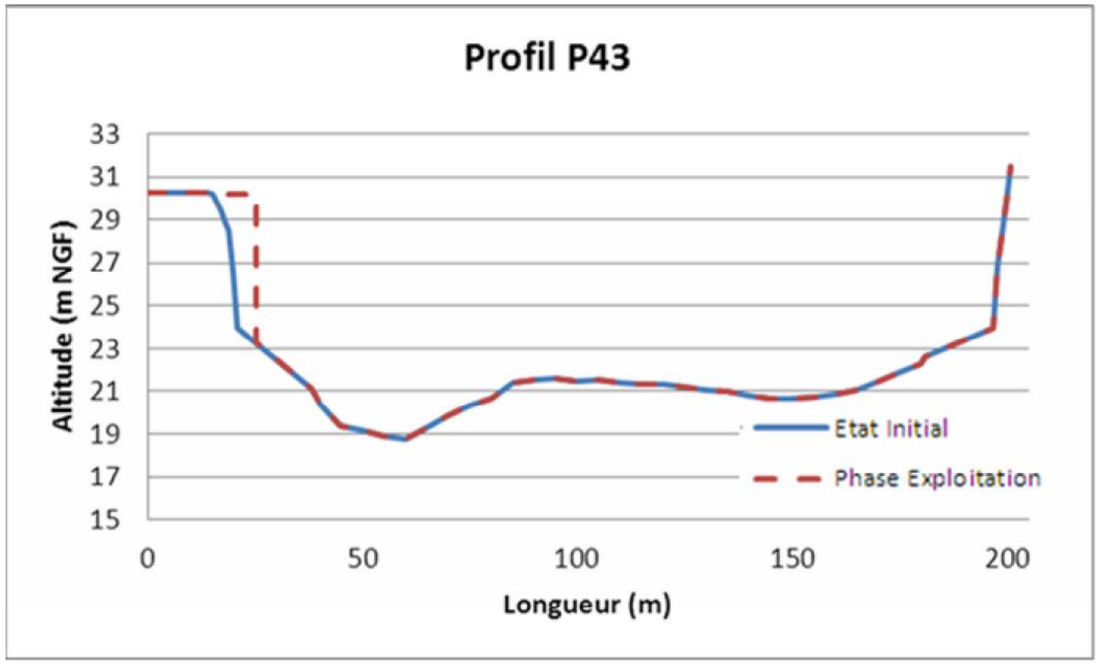
Carte 129 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Ile de Monsieur

Au droit de l'OA Ile de Monsieur, il est prévu d'évacuer les déblais par la Seine en phase chantier. L'accostage des barges peut nécessiter de changer les ducs d'Albe déjà en place si ceux-ci sont en mauvais état. Ces ducs d'Albe seront laissés en place en phase exploitation.

Les espaces libres entre les ducs d'Albe de remplacement au droit de l'OA Ile de Monsieur étant estimés à environ 5 m (d'après les plans masse disponibles), ceux-ci sont considérés comme complétement obstrués. De la même manière qu'en phase chantier, l'implantation de nouveaux Ducs d'Albe est donc modélisée par un remblai en lit mineur (hypothèse pessimiste). En effet, conformément à la doctrine DRIEE « Aménagement impactant le libre écoulement des eaux », la distance entre les ducs d'Albe et la berge étant de l'ordre de 5 m, l'espace libre doit être considéré comme complètement obstrué (prise en compte d'éventuels embâcles).

Les infrastructures de chantier, laissées en place en phase exploitation, dans le lit mineur de la Seine (Ducs d'Albe) sont modélisées par un reprofilage des profils en travers au droit de l'OA Ile de Monsieur sur un linéaire d'environ 200 m (du profil P43 à P45).

Le graphique ci-après illustre un exemple des reprofilages mis en œuvre pour la modélisation de la phase exploitation en lit mineur.



Graphique 44 : Exemple de prise en compte de la phase exploitation en lit mineur – OA Ile de Monsieur – Profil P43

b. Gare Pont de Sèvres

En phase définitive, la sortie envisagée au Square Com et les autres émergences (puits de lumière, ventilation) seront rehaussées de 20 cm au-dessus de la cote de la crue de 1910 (31.55 m NGF),

soit à la cote 31.75 m NGF, pour éviter les entrées d'eau. Les autres sorties sont localisées en dehors des zones inondables.

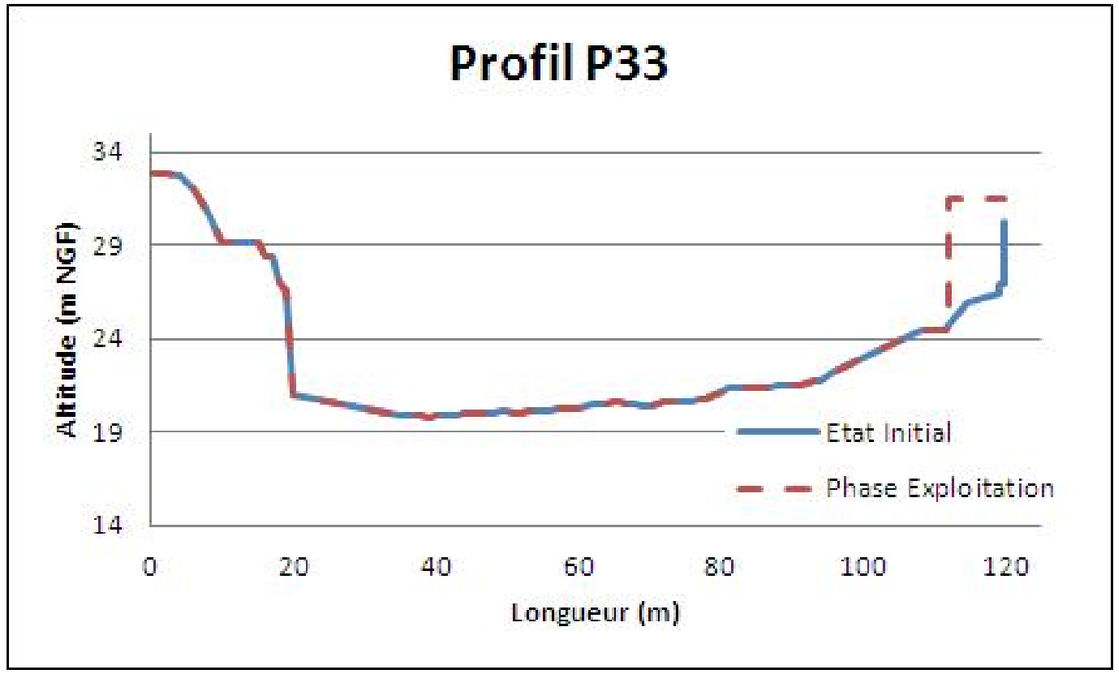
Ainsi, au droit de la gare de Pont de Sèvres, la modélisation de la phase exploitation en lit majeur consiste à considérer :

- les émergences non submersibles (grilles de ventilation, puits de lumière, sortie de gare),
- un quai au-dessus de la galerie Sevesc à la cote 31,50 m NGF,
- un niveau de terrain sur le reste de l'emprise chantier égal au terrain naturel actuel.

La topographie du site sera identique à l'état actuel excepté le quai rehaussé à la cote 31,50 m NGF.

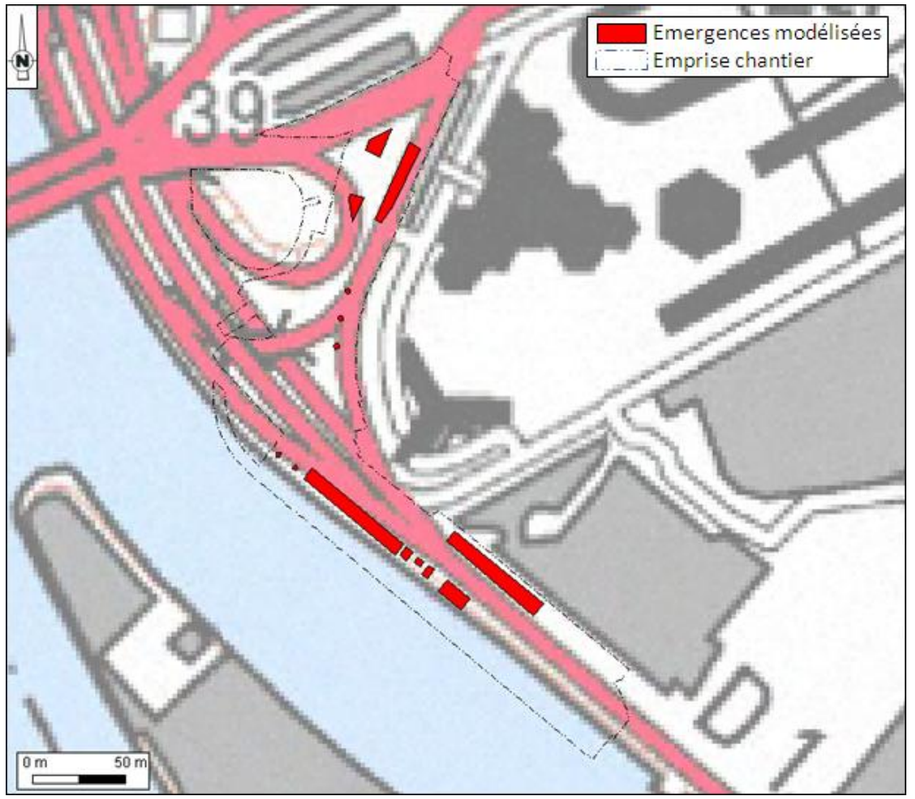
La galerie Sevesc, rétablie au sud de la gare, sera située dans le lit mineur de la Seine. Un quai sera créé au-dessus de cette galerie à la cote 31,50 m NGF. L'emprise du projet en lit mineur en phase exploitation est moindre que celle de la phase chantier. Elle est modélisée par un reprofilage des profils en travers au droit de la gare de Pont de Sèvres sur un linéaire d'environ 160 m (du profil P31 au profil P36) afin de reproduire la réduction de la section mouillée.

Le graphique ci-après montre un exemple des reprofilages réalisés pour la modélisation de la phase exploitation.



Graphique 45 : Exemple de prise en compte de la phase exploitation en lit mineur – Gare de Pont Sèvres – Profil P33

Les émergences considérées comme non submersibles sont présentées sur la carte suivante.



Carte 130 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de la gare Pont de Sèvres

c. OA ZAC SEAM

En phase définitive, les trappes d'accès matériel, les grilles de ventilation et les accès secours seront rehaussés de 20 cm au-dessus-de la cote de la crue de 1910 (31.55 m NGF), soit à la cote 31.75 m NGF, pour éviter les entrées d'eau.

Le terrain de l'emprise chantier est nivelé à la cote du terrain naturel actuel abaissé de 2 cm, soit à la cote moyenne de 30.98 m NGF, afin de compenser les volumes prélevés à la crue. Ce nivellement est le même que celui réalisé en phase chantier.

Ainsi, au droit de l'Ouvrage Annexe de la ZAC SEAM, la modélisation de la phase exploitation consiste à considérer :

- les émergences non submersibles (grilles de ventilation, puits de lumière, sortie de secours),
- l'emprise chantier à la cote 30,98 m NGF.

Les émergences ainsi considérées comme non inondables sont présentées sur la carte suivante.



Carte 131 : Emprise des zones modélisées en exploitation chantier au droit de l'OA ZAC SEAM

d. OA Place de la Résistance

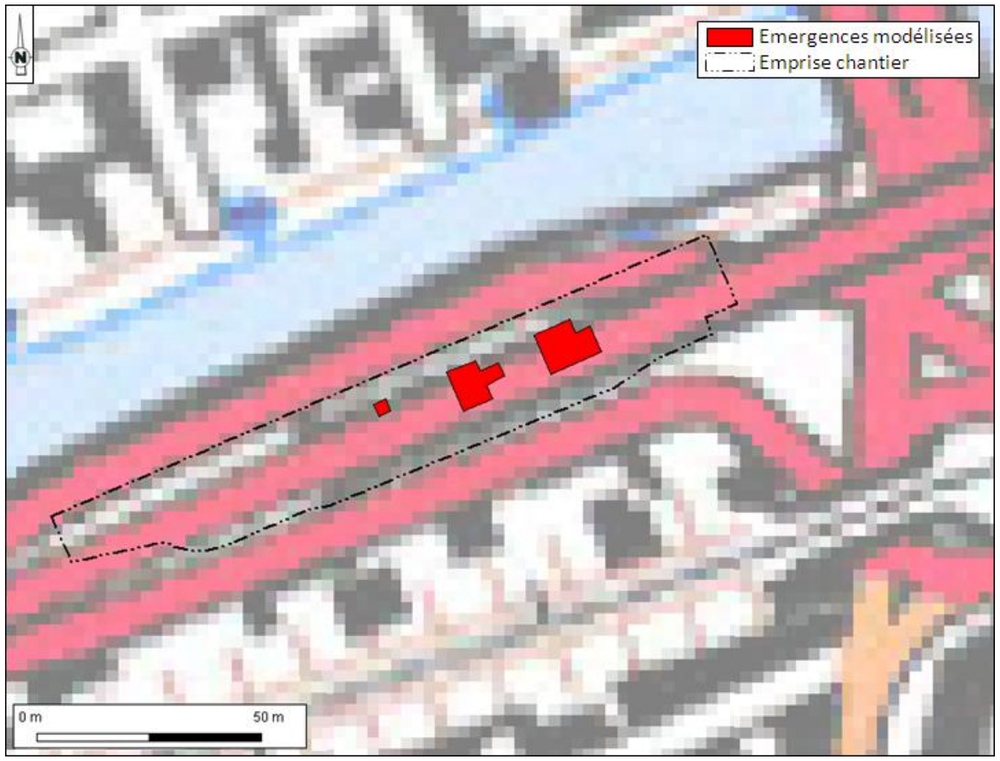
En phase définitive, les trappes d'accès matériel, les grilles de ventilation et les accès secours seront rehaussées à la cote 31,85 m NGF (cote de la crue de 1910 (31.65 m NGF) + 20 cm) pour éviter les entrées d'eau.

Le niveau du terrain naturel sera abaissé de 8 cm sur l'ensemble de l'emprise travaux, soit à la cote moyenne de 30.74 m NGF, afin de compenser les volumes pris à la crue. Ce nivellement est identique à celui réalisé en phase chantier.

Au droit de l'Ouvrage Annexe de la Place de la Résistance, la modélisation de la phase exploitation consiste à considérer :

- les émergences non submersibles (grilles de ventilation, puits de lumière, sortie de secours),
- un niveau de terrain égal au terrain naturel actuel abaissé de 8 cm.

Les émergences ainsi considérées comme non inondables sont présentées sur la carte suivante.



Carte 132 : Emprise des zones modélisées en phase exploitation au droit de l'OA Place de la Résistance

e. Gare d'Issy RER

Cette gare étant située hors zone inondable pour les différentes crues simulées, elle n'a pas été intégrée au modèle hydraulique.

3.4.3.2 Incidences hydrauliques en phase exploitation

a. Crue de 1982 (crue décennale)

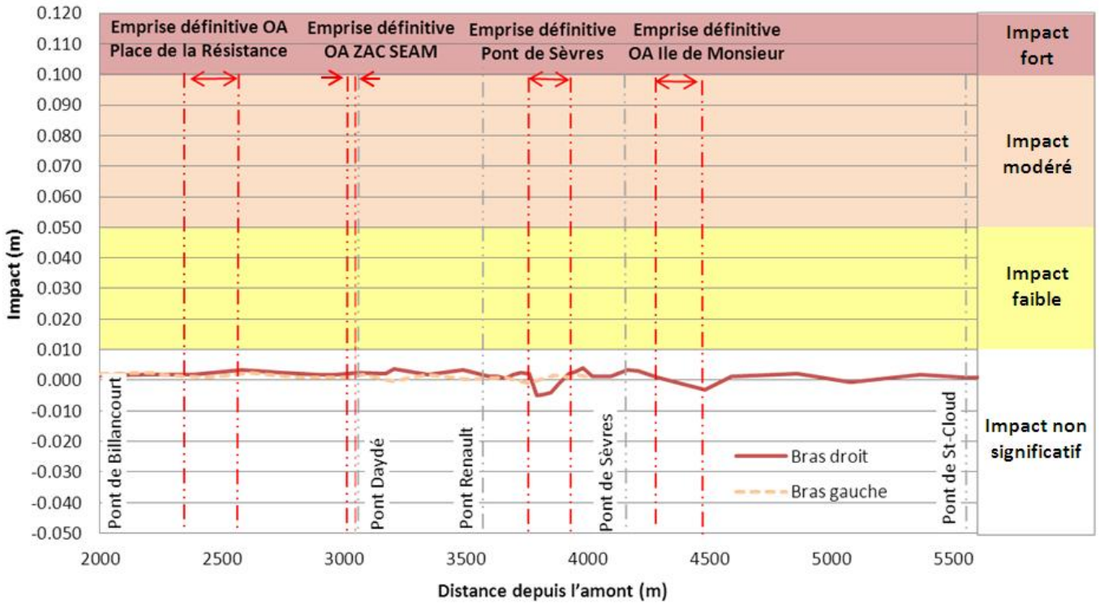
La crue de 1982 étant non débordante, le projet n'a aucun impact en lit majeur. Le seul impact potentiel est donc situé en lit mineur.

Lors de la phase d'exploitation, le projet a un impact non significatif sur les niveaux d'eau pour la crue de 1982 (variation du niveau de +/- 0.5 cm).

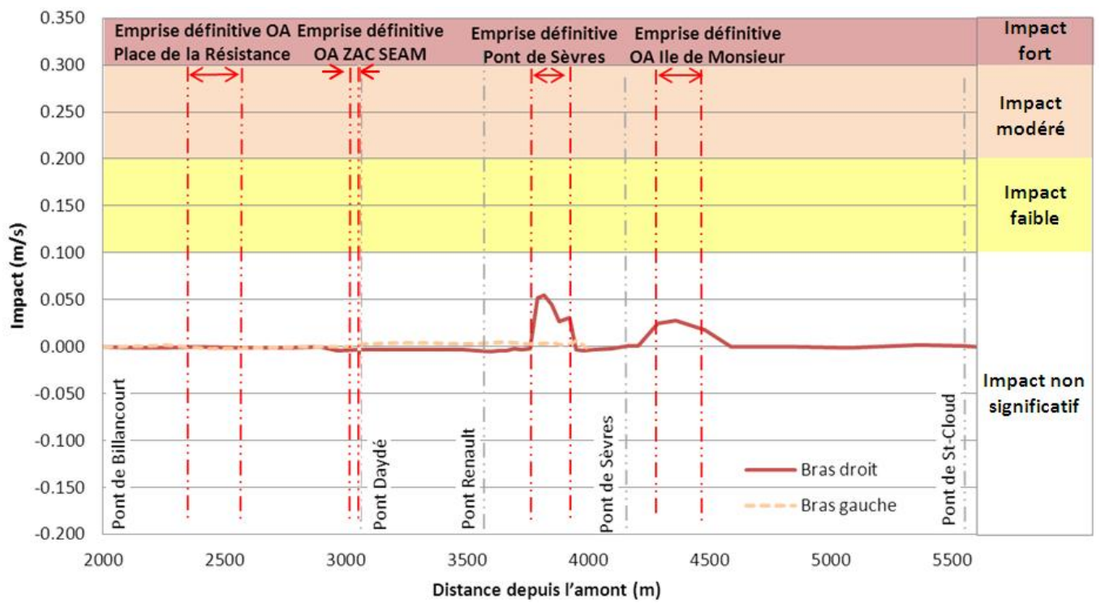
Lors de la phase d'exploitation, le projet a un impact non significatif sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1982 (incidence de l'ordre de 0.05 m/s).

La phase exploitation présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement pour la crue de 1982.

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement en lit mineur sont présentées à travers les profils en long ci-après.



Graphique 46 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1982



Graphique 47 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1982

b.Crue de 1955 (crue trentennale)

La crue de 1955 étant faiblement débordante, seul l'Ouvrage Annexe de l'Ile de Monsieur peut avoir un impact sur les inondations en lit majeur.

Lors de la phase d'exploitation, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1955 sont :

- un léger rehaussement de la ligne d'eau (de l'ordre de 0,5 cm) en amont de la gare de Pont de Sèvres,
- un léger abaissement de la ligne d'eau (de l'ordre de 1 cm) au droit de la gare de Pont de Sèvres,
- un impact non significatif est observé en lit majeur.

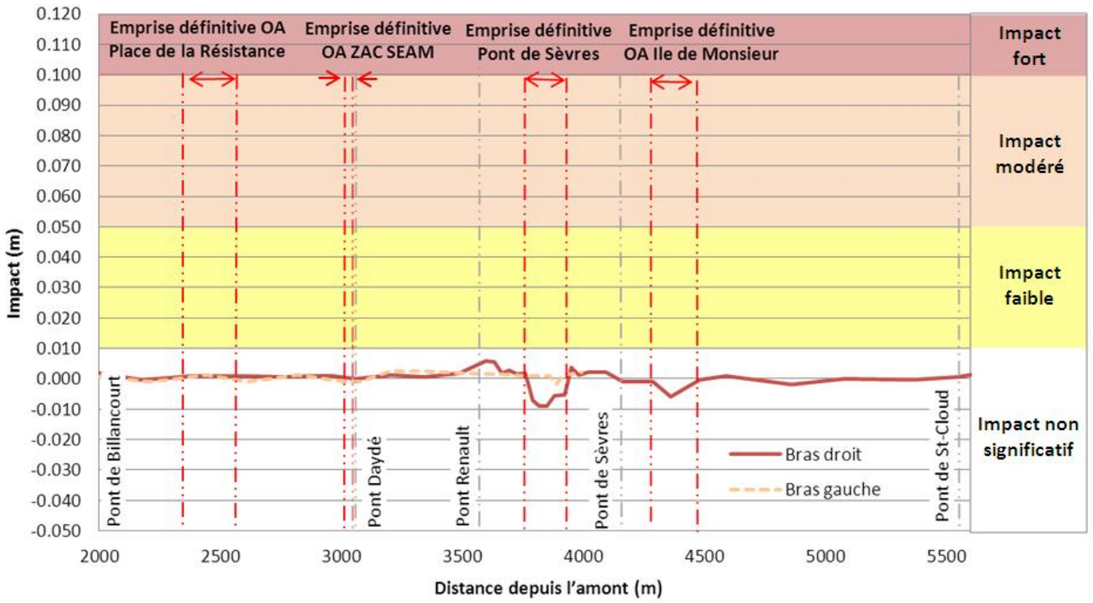
Lors de la phase d'exploitation, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1955 sont :

- une légère diminution des vitesses d'écoulement en lit mineur (de l'ordre de 0,05 m/s) en amont de la gare de Pont de Sèvres,
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (jusqu'à 0,06 m/s) au droit de la gare de Pont de Sèvres,
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement du lit mineur (de l'ordre de 0,03 m/s) au droit de l'OA Ile de Monsieur,
- un impact non significatif est observé en lit majeur.

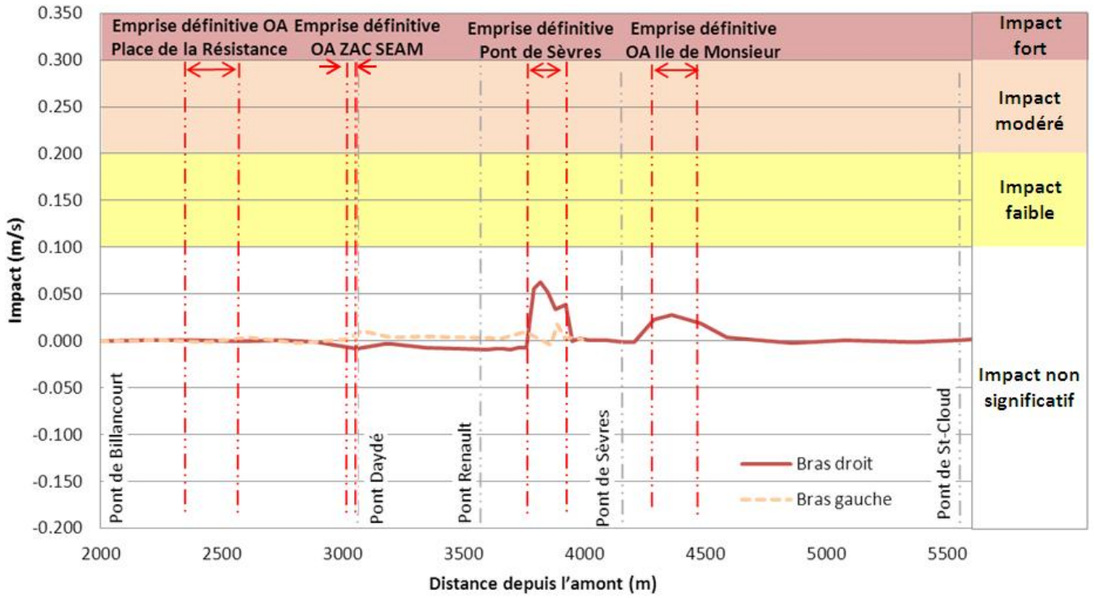
L'emprise d'exploitation de l'OA Ile de Monsieur étant décaissée en phase travaux, une zone, non inondable à l'état actuel, est rendue accessible à la crue.

La phase d'exploitation ne présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement pour la crue de 1955.

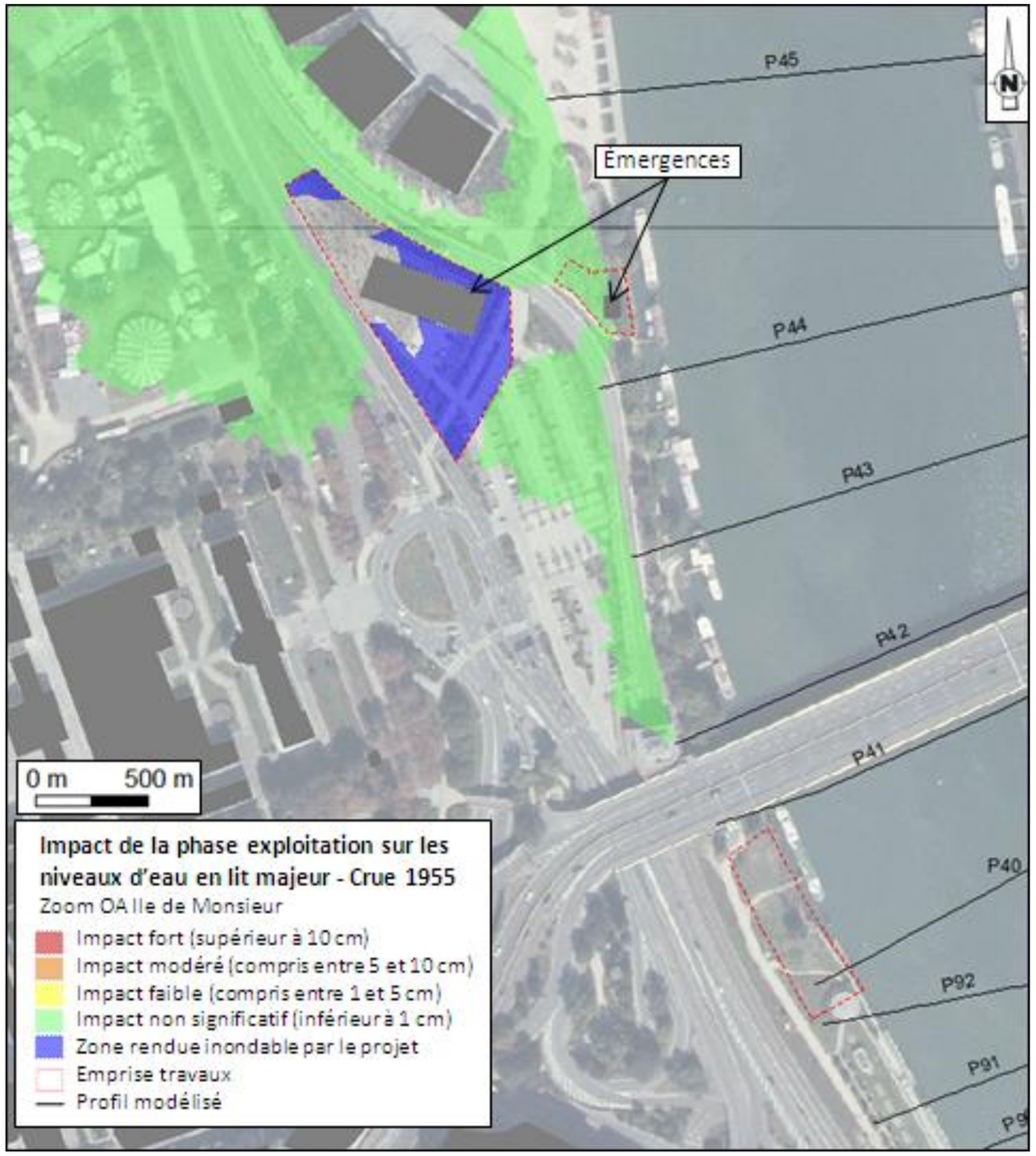
Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



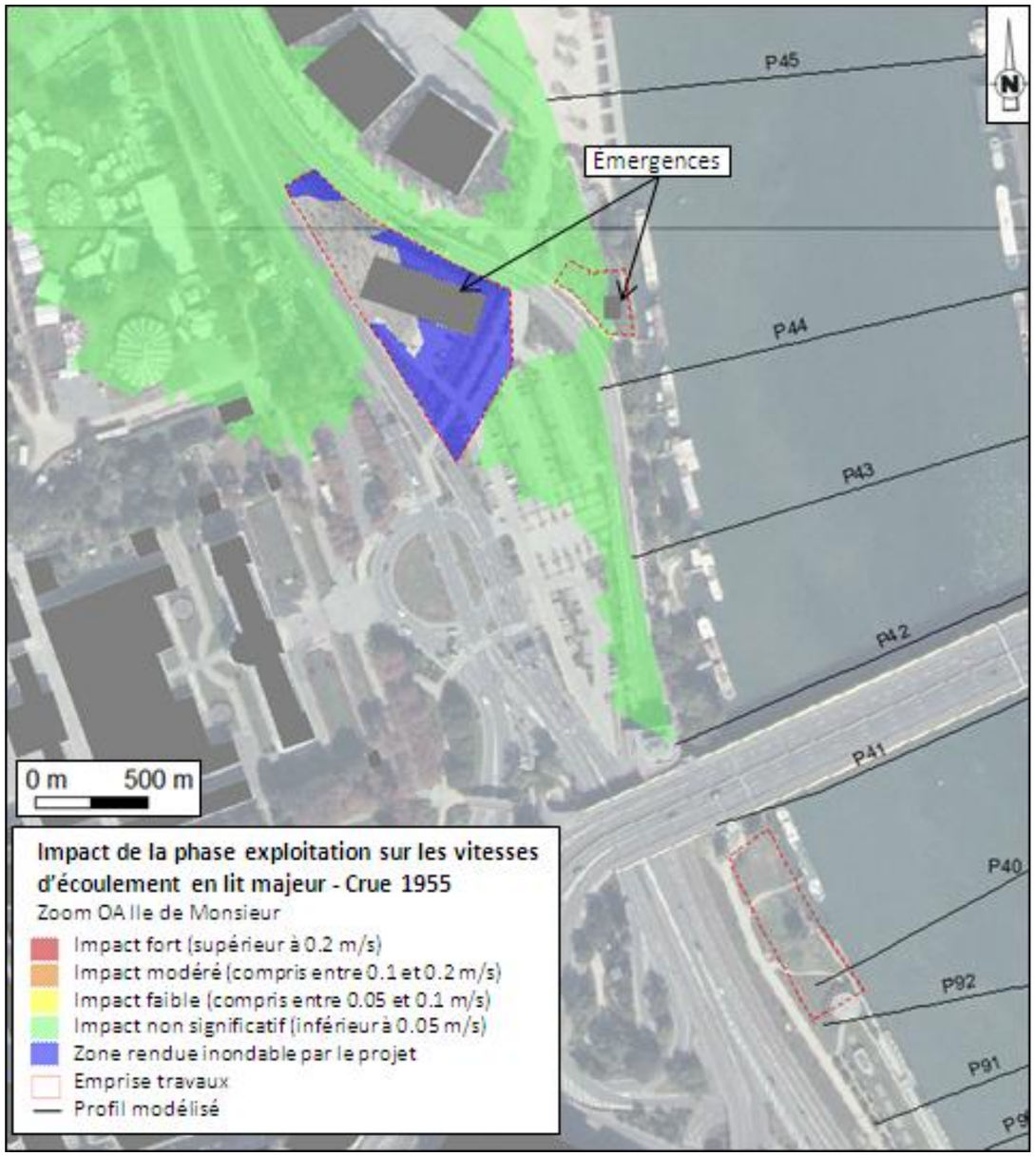
Graphique 48 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1955



Graphique 49 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1955



Carte 133 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur– Crue 1955 – Zoom OA Ile de Monsieur



Carte 134 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1955 – Zoom OA Ile de Monsieur

c. Crue cinquantennale

La crue cinquantennale, similaire à la crue de 1955, est faiblement débordante. Ainsi, seul l'Ouvrage Annexe de l'Ile de Monsieur peut avoir un impact sur les inondations en lit majeur.

Lors de la phase exploitation, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue cinquantennale sont :

- un léger rehaussement de la ligne d'eau (de l'ordre de 0,5 cm) en amont de l'OA Ile de Monsieur correspondant à un impact non significatif,
- un léger rehaussement de la ligne d'eau (de l'ordre de 0,5 cm) en amont de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact non significatif,
- un léger abaissement de la ligne d'eau (de l'ordre de 0,7 cm) au droit de la gare de Pont de Sèvres,
- un impact non significatif est observé en lit majeur.

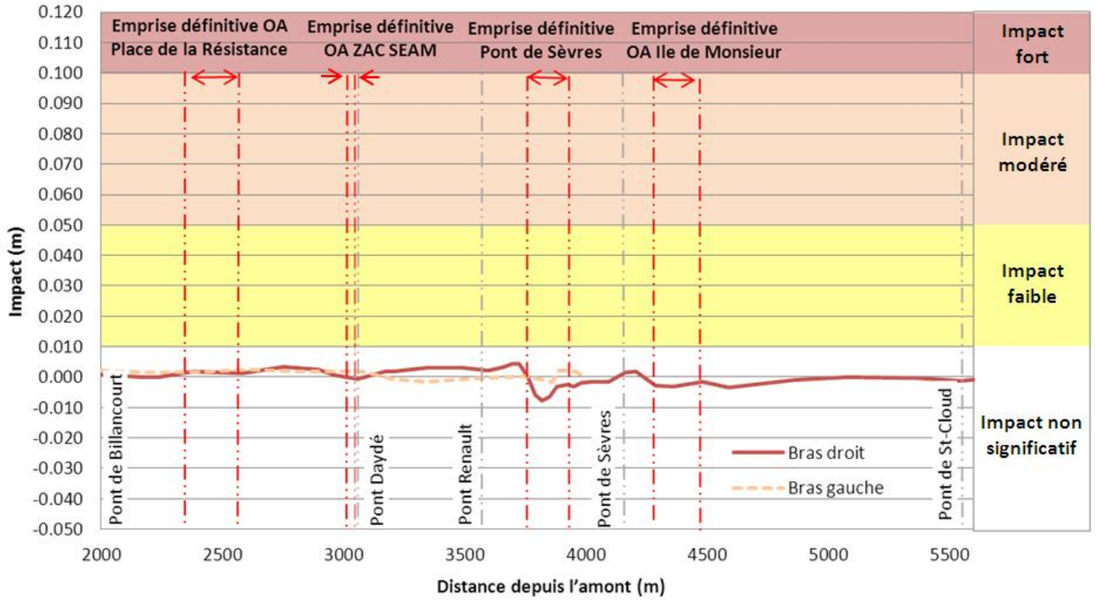
Lors de la phase exploitation, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue cinquantennale sont :

- une légère augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (de l'ordre de 0,05 m/s) au droit de l'OA Ile de Monsieur et de la gare de Pont de Sèvres,
- une augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,16 m/s) à proximité immédiate de l'OA Ile de Monsieur correspondant à un impact modéré.

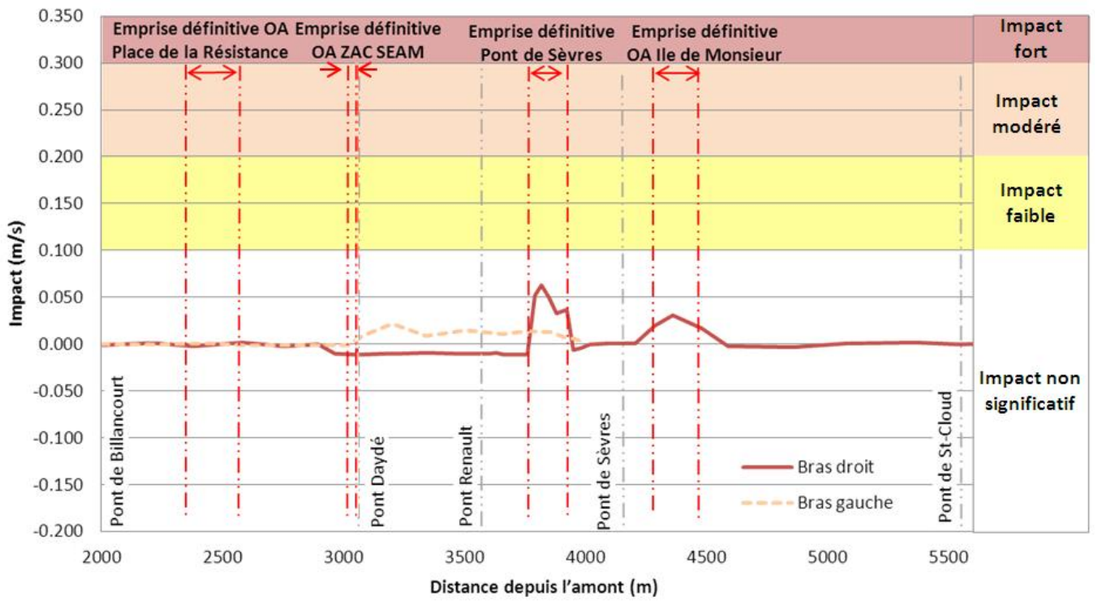
L'emprise travaux de l'OA Ile de Monsieur étant décaissée en phase travaux, une zone, non inondable à l'état actuel, est rendue accessible à la crue.

La phase exploitation présente donc un impact non significatif sur les niveaux d'eau en lit mineur et majeur (impact inférieur à 1 cm). Un impact modéré (environ 0.16 m/s) est observé sur les vitesses d'écoulement en lit majeur pour la crue cinquantennale (impact non significatif sur les vitesses d'écoulement en lit mineur).

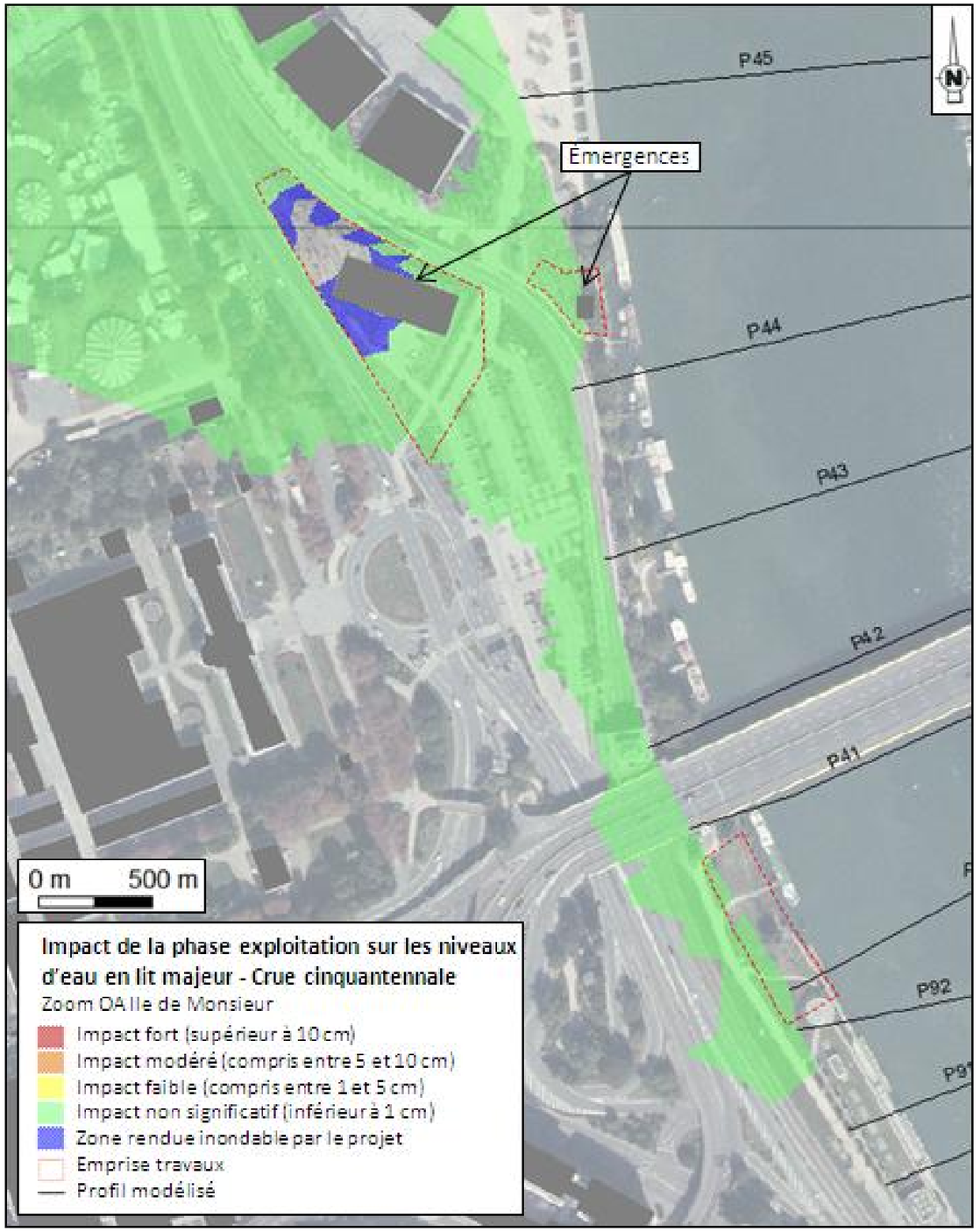
Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



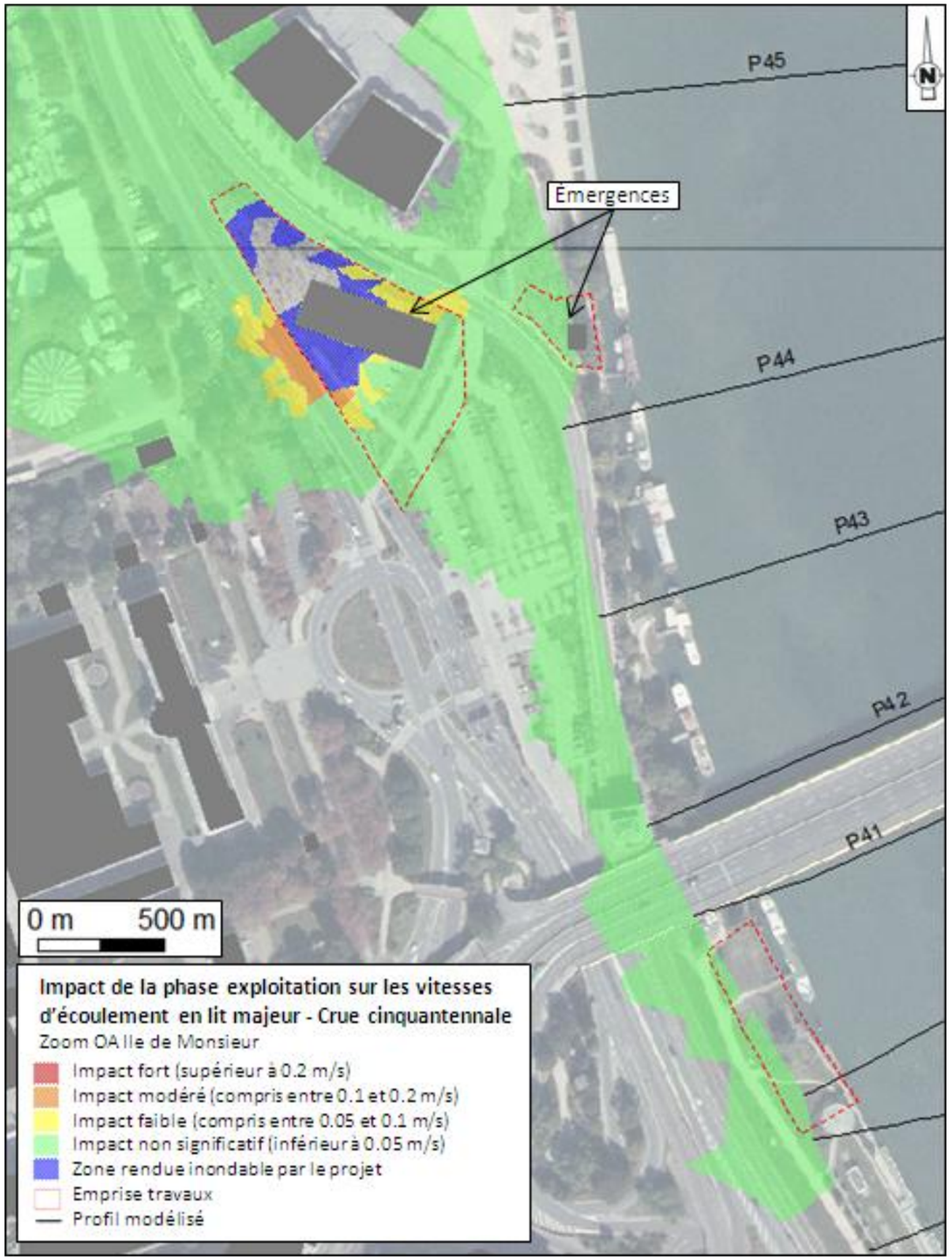
Graphique 50 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue cinquantennale



Graphique 51 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue cinquantennale



Carte 135 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue cinquantennale – Zoom OA Ile de Monsieur



Carte 136 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue cinquantennale – Zoom OA Ile de Monsieur

d.Crue de 1910 (crue centennale)

La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI des Hauts-de Seine. Cette crue débordante peut être impactée par l'OA Ile de Monsieur, la gare de Pont de Sèvres, l'OA ZAC SEAM et l'OA place de la Résistance. Seuls ces ouvrages sont situés dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910.

Lors de la phase exploitation, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1910 sont :

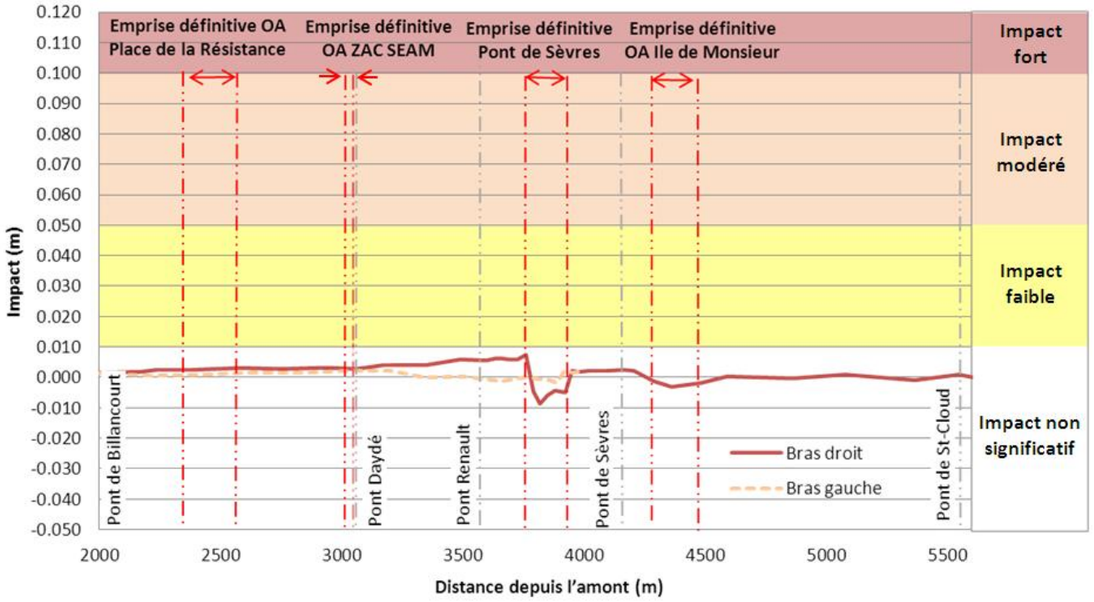
- Un très léger rehaussement de la ligne d'eau (inférieur à 5 mm) en amont de la gare de Pont de Sèvres (en lit mineur et majeur) correspondant à un impact non significatif,
- un léger rehaussement de la ligne d'eau (inférieur à 1 cm) en amont de la gare de Pont de Sèvres (en lit mineur et majeur) correspondant à un impact non significatif,
- un léger abaissement de la ligne d'eau (de l'ordre de 3 mm) au droit de l'OA Ile de Monsieur,
- un abaissement de la ligne d'eau (de l'ordre du centimètre) au droit de la gare de Pont de Sèvres.

Lors de la phase exploitation, les incidences sur les vitesses d'écoulement pour la crue de 1910 sont :

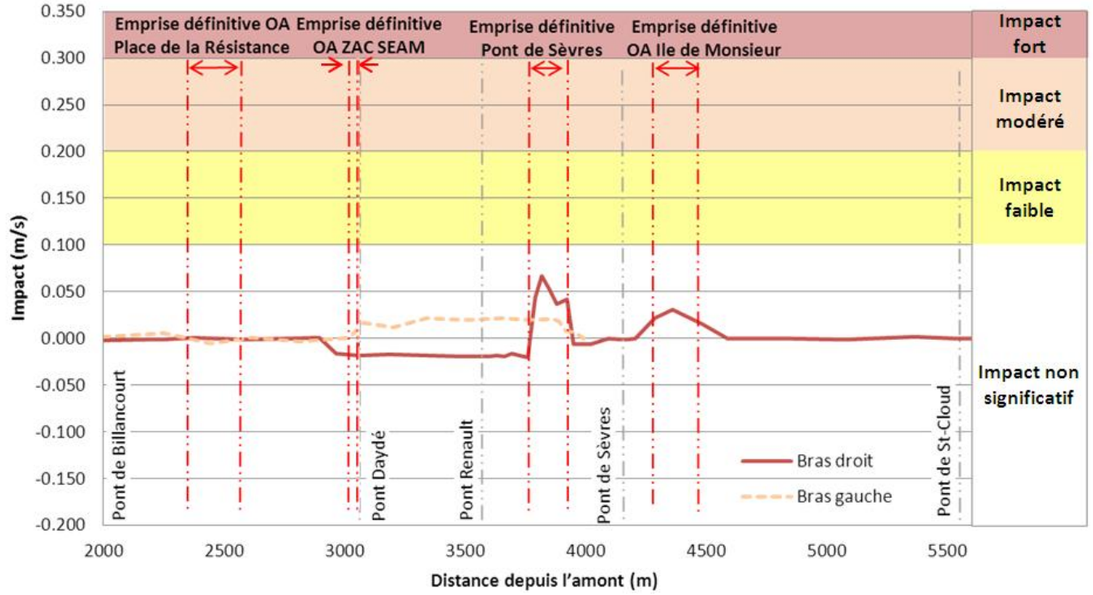
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement en lit mineur (jusqu'à 0,07 m/s) au droit de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact non significatif,
- une légère augmentation des vitesses d'écoulement du lit mineur (de l'ordre de 0,04 m/s) au droit de l'OA Ile de Monsieur correspondant à un impact non significatif,
- une augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,18 m/s) à proximité immédiate des aménagements de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact modéré,
- une légère augmentation locale des vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0,09 m/s) à proximité immédiate de l'OA Place de la Résistance correspondant à un impact faible.

La phase exploitation présente un impact non significatif (inférieur à 1 cm) sur les niveaux d'eau en lit majeur et mineur. Un impact local et modéré sur les vitesses d'écoulement en lit majeur (0.18 m/s). Les impacts sur les vitesses d'écoulement en lit mineur sont non significatifs (inférieur à 0.1 m/s) pour la crue de 1910.

Les comparaisons (entre état initial et état projet en phase exploitation) des niveaux d'eau et des vitesses d'écoulement en lit mineur et majeur sont présentées à travers les cartes et profils en long ci-après.



Graphique 52 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1910



Graphique 53 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit mineur – Crue 1910

Remarque :

Afin de s'assurer de la validité des calculs numériques, l'impact sur les niveaux d'eau en lit mineur de la crue 1910 a également été calculé par la formule empirique de Bradley pour la phase exploitation :

$$\Delta h = K^* \times \frac{V_a^2}{2g}$$

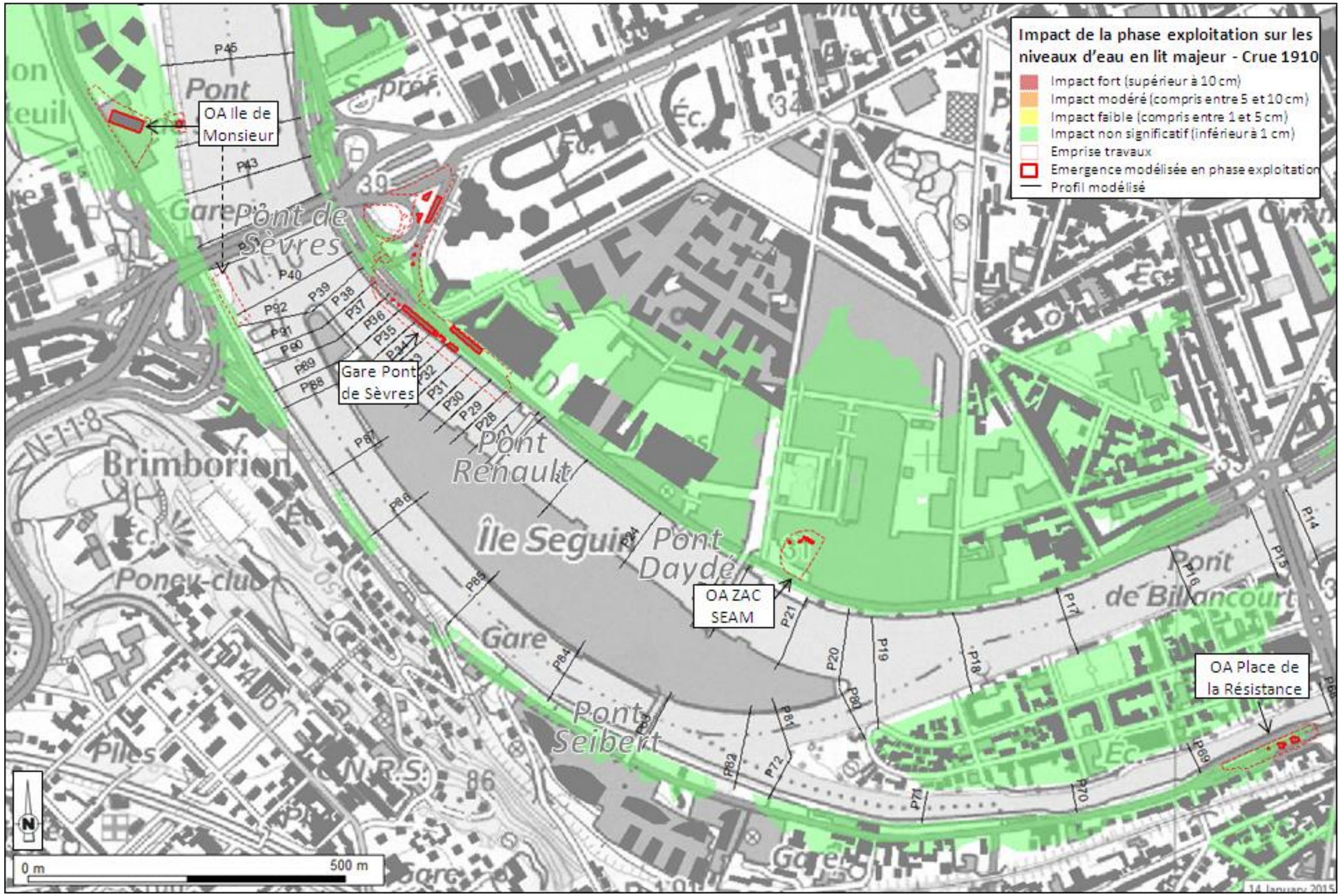
Avec : Δh la perte de charge maximale induite par l'ouvrage,

K^* un coefficient déterminé à l'aides des abaques de Bradley,

V_a la vitesse moyenne de l'écoulement dans la section rétrécie sous la hauteur h_n (hauteur d'eau observée pour le même débit sans rétrécissement de section).

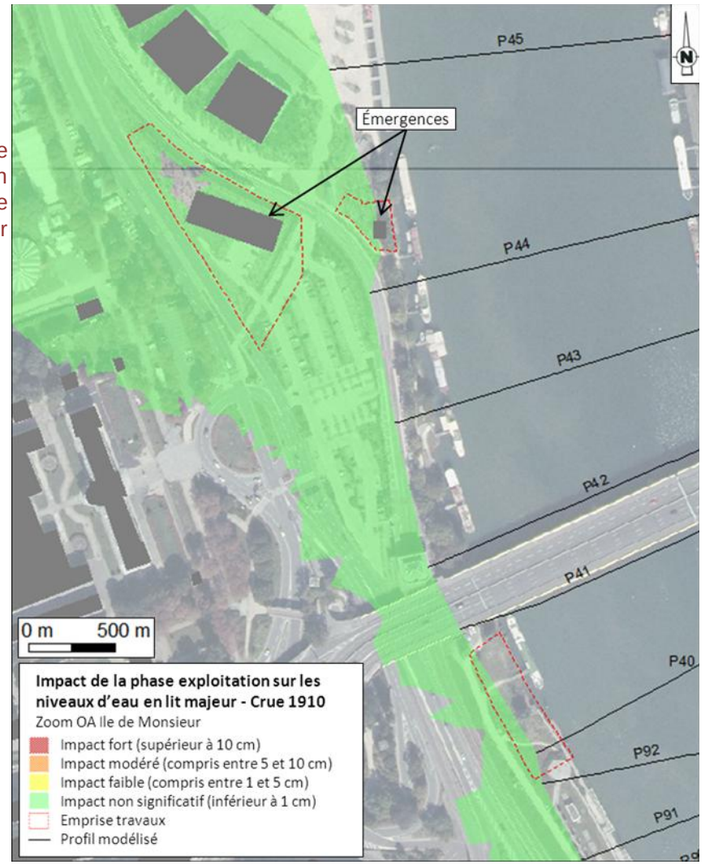
Par la formule de Bradley, la perte de charge maximale observée par le rétrécissement de section est de 1.3 cm contre 1.6 cm par la modélisation (différence entre l'abaissement (- 0.9 cm) et l'augmentation (+ 0.7 cm) de la ligne d'eau au droit de la gare).

Les ordres de grandeur des résultats obtenus par modélisation et par la formule empirique sont du même ordre de grandeur. Les incidences calculées par la modélisation (légèrement supérieures à celles calculées par la formule de Bradley) sont donc cohérentes.

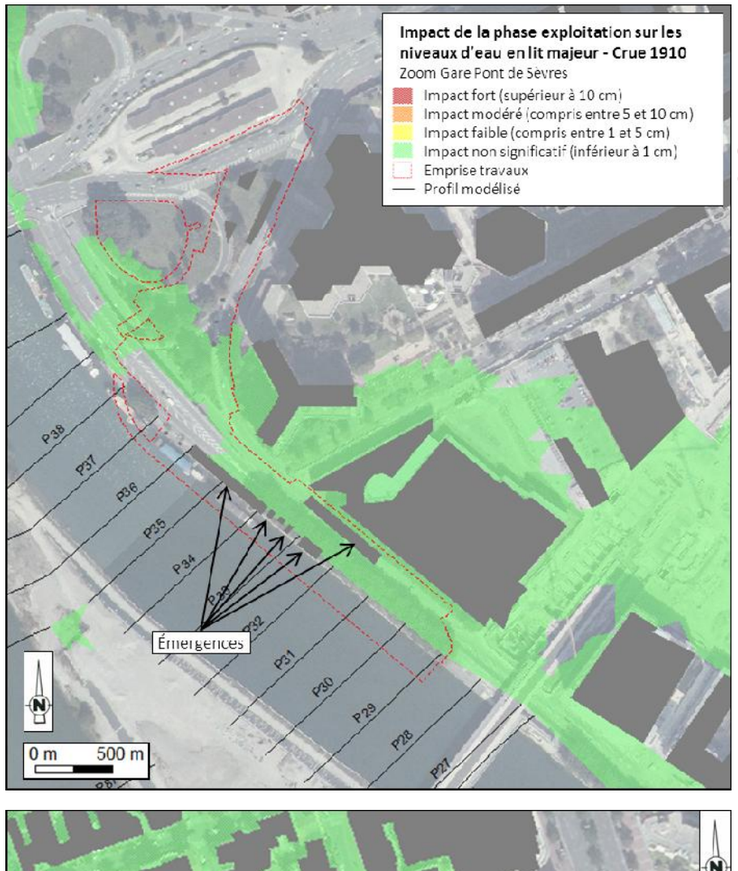


Carte 137 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur– Crue 1910

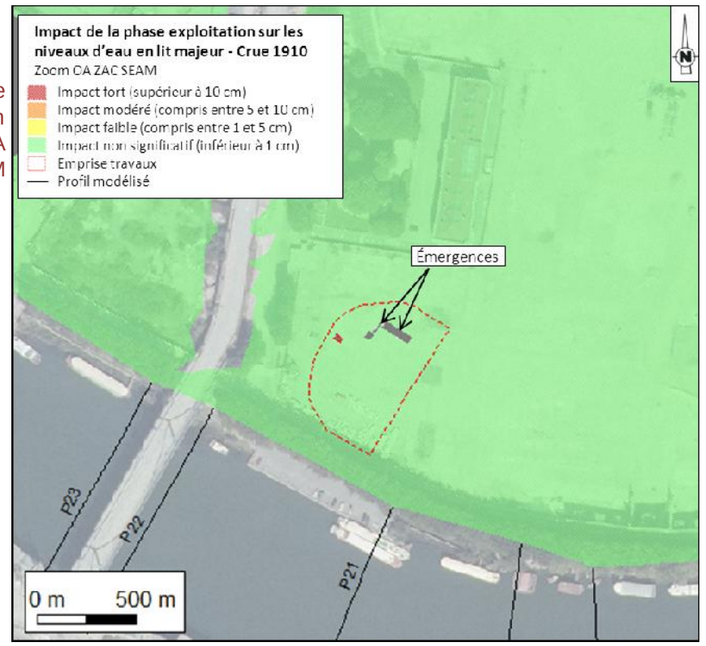
Carte 138 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Ile de Monsieur



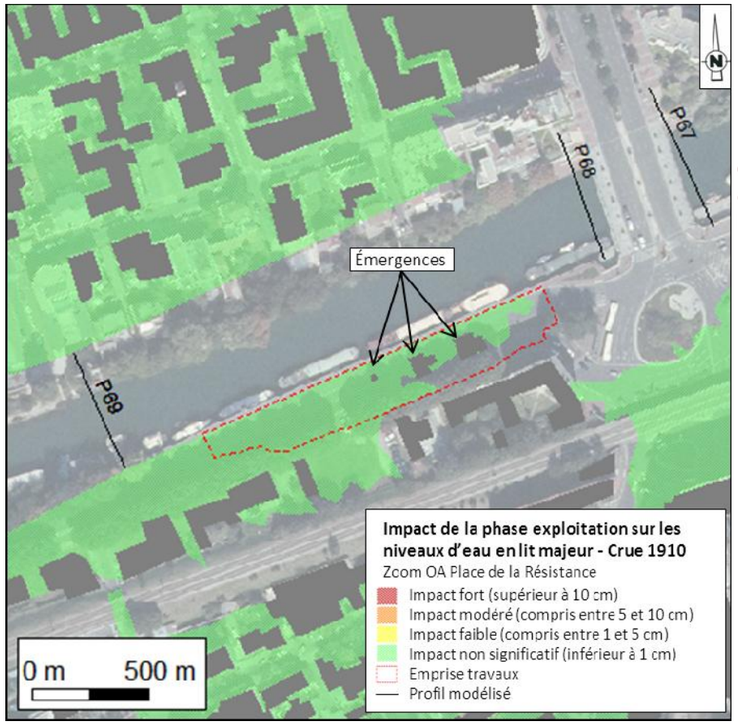
Carte 139 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Pont de Sèvres



Carte 140 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA ZAC SEAM



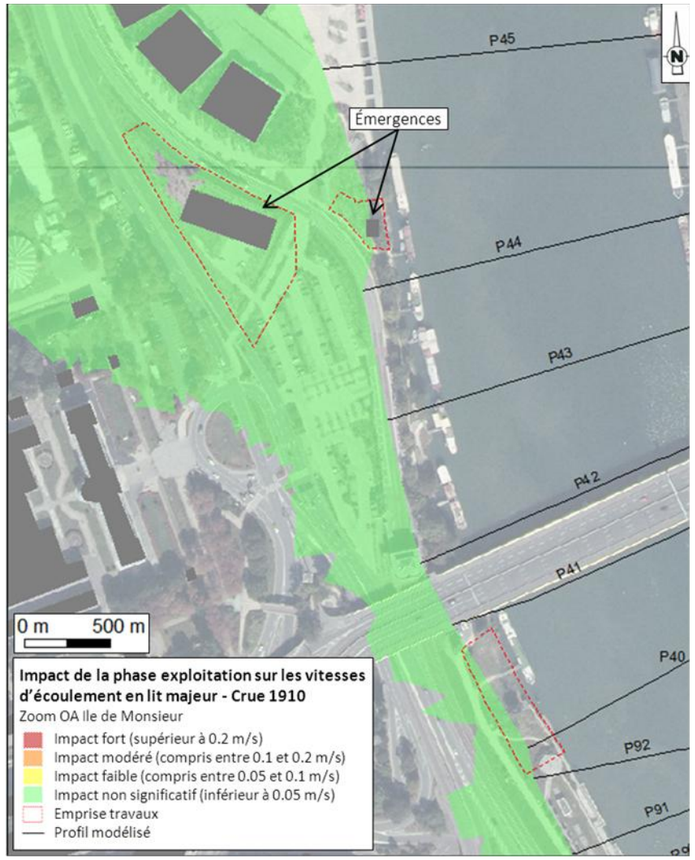
Carte 141 : Impact de la phase exploitation sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Place de la Résistance



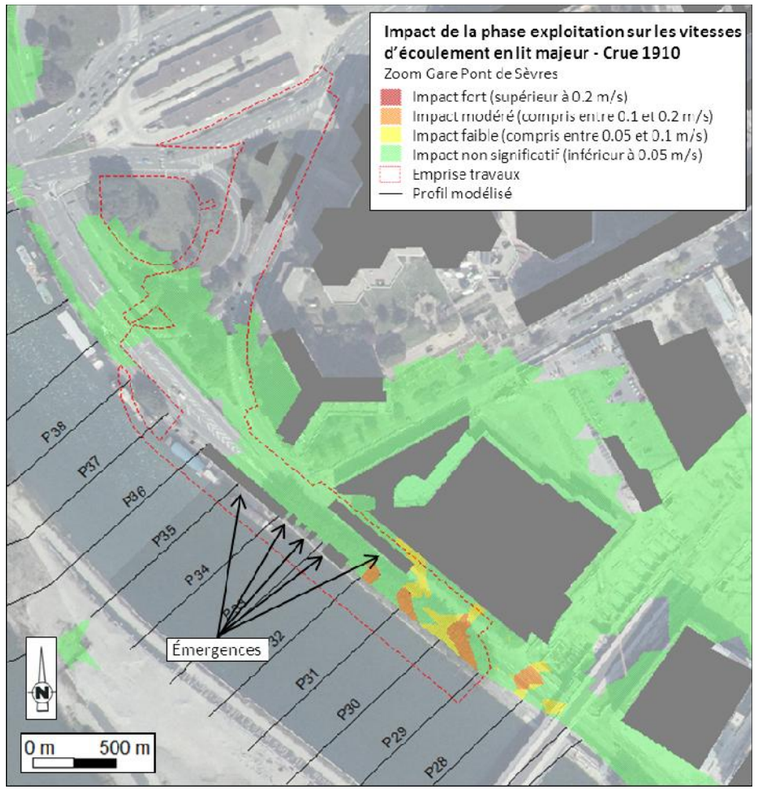


Carte 142 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910

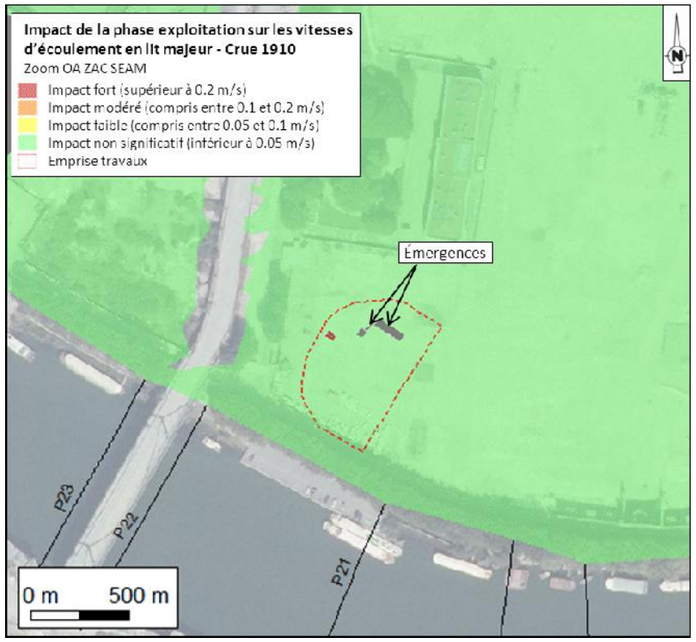
Carte 143 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Ile de Monsieur



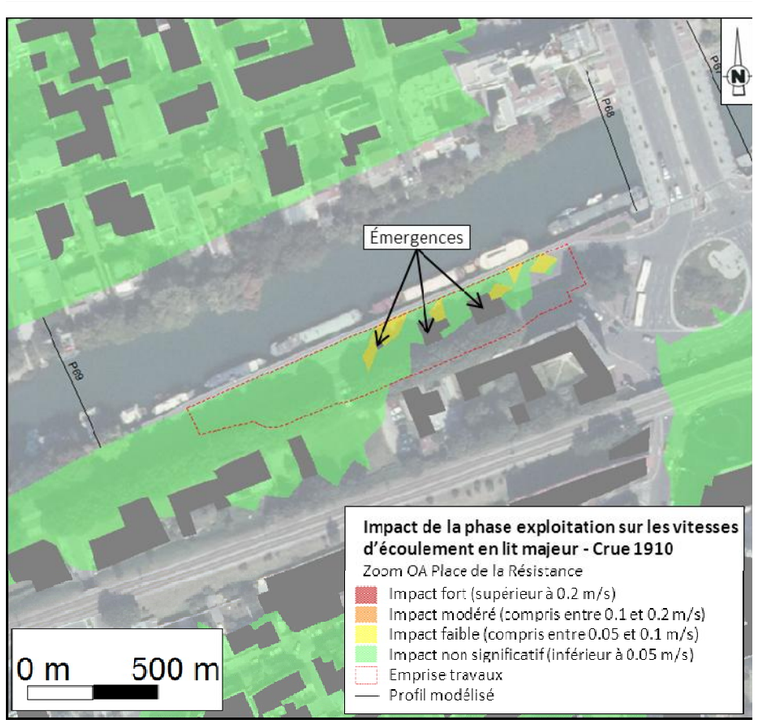
Carte 144 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom Gare Pont de Sèvres



Carte 145 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA ZAC SEAM



Carte 146 : Impact de la phase exploitation sur les vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue 1910 – Zoom OA Place de la Résistance



3.4.4 Conclusion sur les incidences hydrauliques

3.4.4.1 Phase travaux

En phase travaux, le projet du Grand Paris Express a un impact faible (inférieur à 3 cm) sur les niveaux d'eau en lit mineur et majeur sur un linéaire d'environ 1 km en amont de la gare de Pont de Sèvres et un impact modéré sur les vitesses d'écoulement en lit mineur (inférieur à 0.25 m/s) quelle que soit la crue étudiée. Les incidences engendrées par l'implantation de ducs d'Albe au droit de l'Ile Monsieur sont non significatifs.

Globalement, les impacts sur les vitesses d'écoulement en lit majeur sont non significatifs. Cependant, des impacts localisés (au droit de la gare de pont de Sèvres et de l'OA Ile de Monsieur) et modérés sur les vitesses d'écoulement en lit majeur (jusqu'à 0.18 m/s) apparaissent pour les crues de périodes de retour supérieures à 50 ans.

3.4.4.1 Phase exploitation

En phase exploitation, le projet du Grand Paris Express a un impact non significatif sur les niveaux d'eau en lit mineur et majeur (impact inférieur au centimètre) ainsi que sur les vitesses d'écoulement en lit mineur (impact inférieur à 0.1 m/s) quelle que soit la crue étudiée et quels que soient les aménagements considérés (gare de Pont de Sèvres et ouvrages annexes).

Globalement, les impacts sur les vitesses d'écoulement en lit majeur sont non significatifs. Cependant, des impacts très localisés (au droit des futurs aménagements) et modérés sur les vitesses d'écoulement en lit majeur (inférieur à 0.2 m/s) apparaissent pour les crues de périodes de retour supérieures à 50 ans.

3.5 Mise en œuvre de mesures de réduction des incidences sur les lignes d'eau en phase chantier

Afin de réduire l'impact de la phase chantier sur les niveaux d'eau (2,6 cm), la maîtrise d'œuvre a proposé une modification de l'estacade consistant en un rétrécissement de celle-ci.

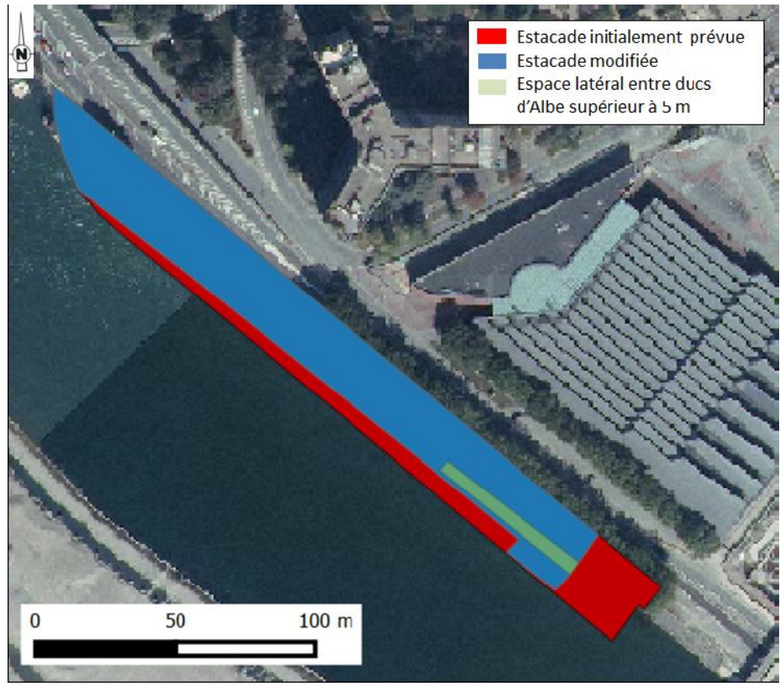
3.5.1 Définition et modélisation de la phase chantier modifiée

La modélisation en lit majeur de la phase chantier est identique à celle présentée au paragraphe 3.4.2.1. La seule modification intervient sur l'estacade présente dans le lit mineur au droit de la gare de Pont de Sèvres.

Celle-ci est rétrécie d'environ 5 m sur la quasi-totalité de sa longueur. D'autre part, sur les 60 premiers mètres de l'estacade modifiée, la largeur latérale entre deux ducs d'Albe est de 6 m. Ceci permet, conformément à la doctrine DRIEE « Aménagement impactant le libre écoulement des eaux », de ne pas considérer l'estacade comme entièrement pleine sur les 60 premiers mètres : seuls les espaces latéraux inférieurs ou égaux à 5 m sont considérés obstrués.

La carte suivante présente de manière succincte les différences entre l'estacade initiale et celle modifiée.

De la même manière que pour la phase travaux, l'estacade modifiée a été modélisée par un reprofilage des profils en travers au droit de la gare de Pont de Sèvres sur un linéaire d'environ 240 m (du profil P30 à P38).



Carte 50 : Différence entre l'estacade initiale et l'estacade modifiée

3.5.2 Incidences de la phase chantier modifiée

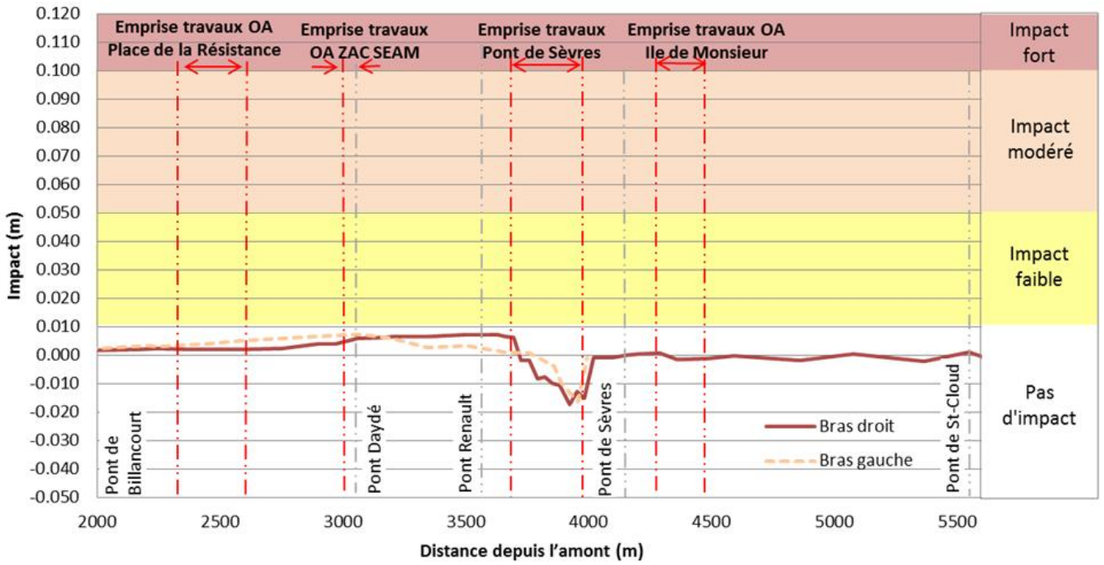
a. Crue de 1982 (crue décennale)

La crue de 1982 étant non débordante, le projet n'a aucun impact en lit majeur. Les seuls impacts potentiels sont donc situés en lit mineur.

Lors de la phase travaux modifiée, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1982 sont :

- un léger rehaussement de la ligne d'eau inférieur centimètre en amont de la gare de Pont de Sèvres (impact non significatif),
- un abaissement de la ligne d'eau (de 1 à 2 cm) au droit de la gare de Pont de Sèvres.

Ainsi, la phase travaux modifiée a un impact non significatif sur les niveaux d'eau (impact inférieur au centimètre, cf. graphique suivant).



Graphique 26 : Impact de la phase travaux modifiée sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1982

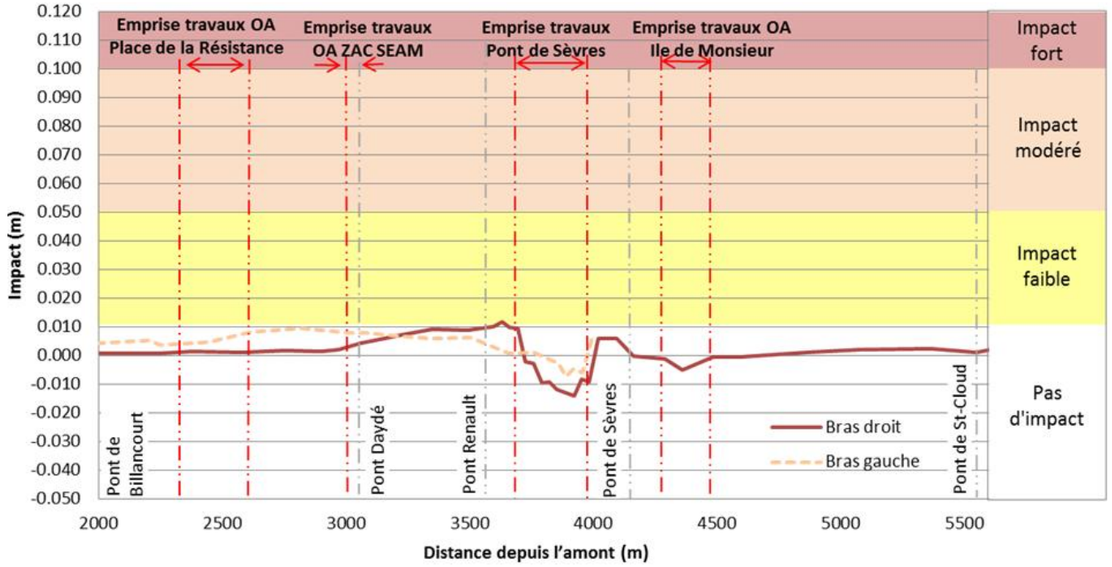
b. Crue de 1955 (crue trentennale)

La crue de 1955 étant faiblement débordante, le seul l'ouvrage annexe pouvant avoir un impact sur les inondations en lit majeur est l'OA Ile de Monsieur. L'impact non significatif de cet ouvrage sur la crue de 1955 est inchangé par la modification de la phase travaux initialement prévue.

Lors de la phase travaux, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1955 sont :

- un léger rehaussement de la ligne d'eau (inférieur à 1 cm) en amont de l'OA Ile de Monsieur correspondant à un impact non significatif,
- un léger rehaussement de la ligne d'eau de l'ordre du centimètre (inférieur à 1,1 cm) sur un linéaire d'environ 100 m en amont de la gare de Pont de Sèvres correspondant à un impact faible,
- un abaissement de la ligne d'eau (de 1 à 2 cm) au droit de la gare de Pont de Sèvres,
- un impact non significatif est observé en lit majeur.

Ainsi, la phase travaux modifiée a un impact faible sur les niveaux d'eau (impact inférieur à 1.1 cm, cf. graphique suivant).



Graphique 27 : Impact de la phase travaux modifiée sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1955

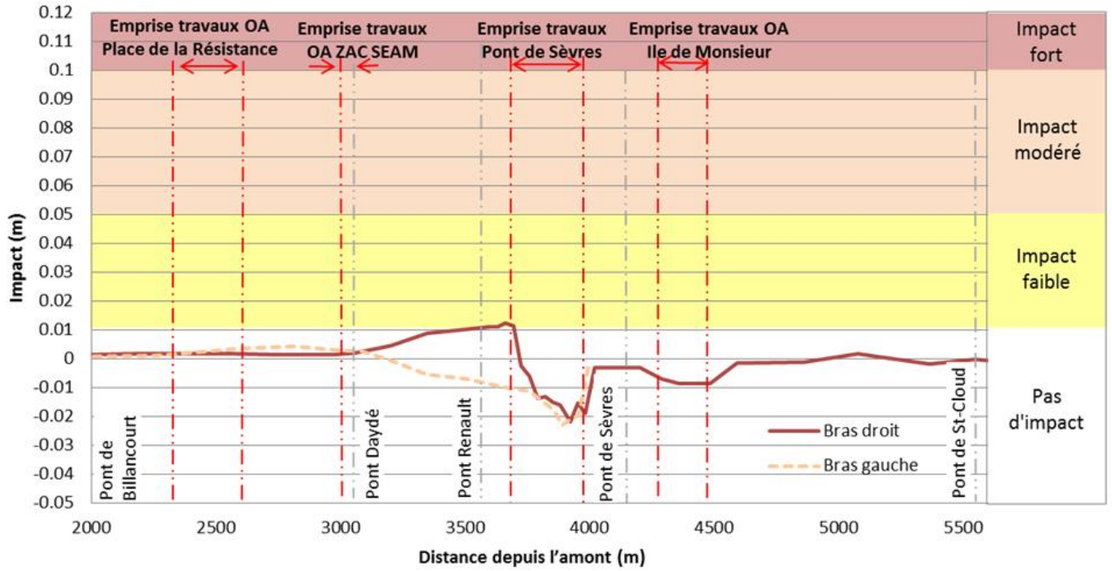
c. Crue de 1910 (crue centennale)

La crue de 1910, d'occurrence cent ans, est la crue réglementaire du PPRI des Hauts-de Seine. Cette crue débordante peut être impactée par l'OA Ile de Monsieur, la gare de Pont de Sèvres, l'OA ZAC SEAM et l'OA place de la Résistance. Seuls ces ouvrages sont situés dans l'emprise de la zone inondable en cas de crue similaire à celle de 1910.

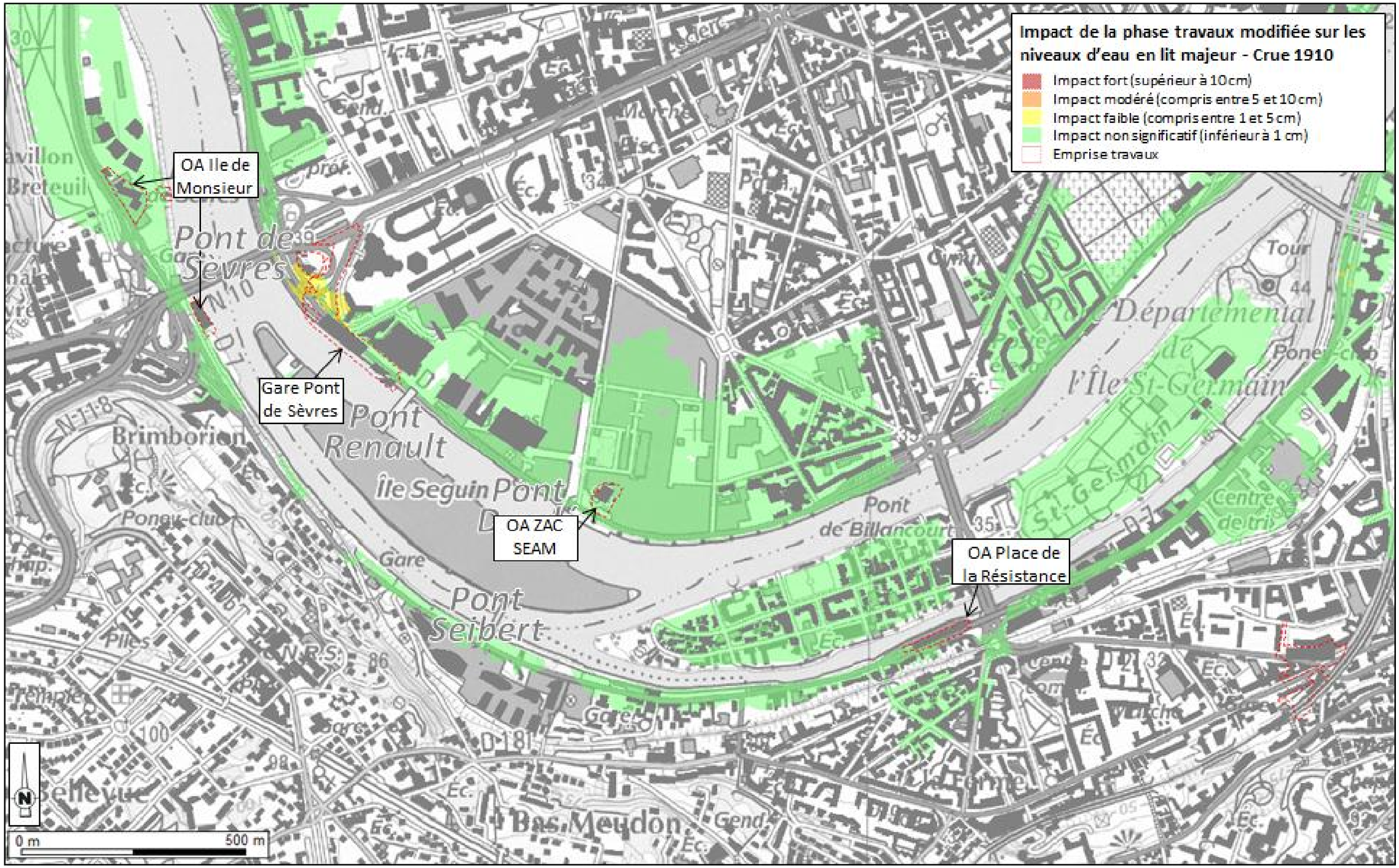
Lors de la phase travaux, les incidences sur les niveaux d'eau pour la crue de 1910 sont :

- un léger rehaussement de la ligne d'eau de l'ordre du centimètre (inférieur à 1,2 cm) en amont de la gare de Pont de Sèvres en lit mineur correspondant à un impact faible sur une distance d'environ 200 m,
- un léger rehaussement de la ligne d'eau d'environ 1,5 cm au droit de la gare de Pont de Sèvres en lit majeur correspondant à un impact faible,
- un abaissement de la ligne d'eau de l'ordre de 1 cm au droit de l'OA Ile de Monsieur et de 2 cm au droit de la gare de Pont de Sèvres.

Ainsi, la phase travaux modifiée a un impact faible sur les niveaux d'eau (impact inférieur à 1.2 cm en lit mineur et inférieur à 1.5 cm en lit majeur, cf. graphique et carte suivants).



Graphique 28 : Impact de la phase travaux modifiée sur les niveaux d'eau en lit mineur – Crue 1955



Carte 51 : Impact de la phase travaux sur les niveaux d'eau en lit majeur – Crue 1910

3.5.3 Conclusion concernant la mesure de réduction des impacts en phase travaux

En phase travaux modifiée, le projet du Grand Paris Express a un impact faible sur les niveaux d'eau en lit mineur (inférieur à 1,2 cm) sur un linéaire d'environ 200 m en amont de la gare de Pont de Sèvres et en lit majeur (inférieur à 1,5 cm) en crue centennale. Les incidences engendrées par l'implantation de ducs d'Albe au droit de l'Ile Monsieur sont non significatifs.

Ainsi, la modification de l'estacade, initialement envisagée, permet de réduire les impacts en phase travaux d'environ 1.5 cm en lit mineur. Désormais l'estacade induit un impact de 1.2 cm au lieu de 2.6 cm avant son optimisation.

3.6 Mise en œuvre de mesures de réduction et/ou de compensation

3.6.1 Mesures générales de limitation des impacts

La principale mesure d'évitement du risque inondation est d'éviter de construire en zone inondable.

La gare de Pont de Sèvres est toutefois située en zone inondable.

Sa localisation, comme celle de l'ensemble des gares, a été arrêtée dans le cadre de l'approbation du schéma d'ensemble du réseau de transport public du Grand Paris par décret n°2011-1011 du 24 août 2011, version consolidée au 27 août 2011. Cette approbation repose en particulier sur l'acte motivé, prévu par l'article 3 de la loi du 3 juin 2010 relative au Grand Paris[5]. Ce document précise les modifications apportées au projet soumis au débat public et aux personnes consultées.

La principale mesure de réduction du risque inondation est de réduire la vulnérabilité des futurs aménagements. Pour ce faire, l'ensemble des infrastructures sera mis hors d'eau à la cote casier (cote de crue centennale) + 20 cm.

En phase travaux, l'ensemble des puits seront mis hors d'eau à la cote casier (cote de crue centennale) + 20 cm. Une paroi périphérique permettra ainsi de rehausser celles des puits. Cette mesure essentielle permettra d'éviter les entrées d'eau dans ces derniers et dans le tunnel.

Un important travail d'optimisation a été réalisé en phase de conception afin de réduire l'impact des aménagements sur les crues.

Un bilan systématique des volumes soustraits à la crue a été réalisé à l'échelle de chaque ouvrage (voir détails par ouvrage dans le chapitre suivant).

Des mesures compensatoires ont été trouvées afin de compenser ces volumes soustraits, parmi les principales mesures :

- la suppression de bâtiments existants qui permet de restituer un espace de crue ;
- le décaissement du terrain naturel ;
- l'inondation contrôlée de parkings souterrains d'opérations immobilières connexes au projet d'infrastructures ;
- la création de bassins enterrés dédiés à la compensation des crues.

En phase chantier, les bases vie seront installées sur pilotis au-dessus de la côte de crue centennale pour permettre la libre circulation des eaux. Les installations sur pilotis sont modélisées comme insubmersibles dans la modélisation hydraulique. Il s'agit d'une hypothèse pessimiste permettant de prendre en compte les éventuels embâcles pouvant perturber l'écoulement entre les pilotis

[5] Loi n° 2010-597 du 3 juin 2010 relative au Grand Paris, version consolidée au 02 août 2014.

3.6.2 Compensation des volumes prélevés à la crue

3.6.2.1 Méthodologie retenue

Le règlement du PPRI de la Seine des Hauts-de-Seine impose que les « ouvrages d'art et d'infrastructure inondables (tunnels, souterrains, …), et ceux non inondables, sont autorisés sous réserve que tout remblaiement ou réduction de la capacité de stockage de la crue, situé au-dessous de la cote de casier soit compensé par un volume égal de déblais pris sur la zone d'aménagement compris entre le terrain naturel initial et la cote de casier diminuée de 2,5 m au moins. » (Titre 2-II-2).

Le projet s'attache à compenser les volumes de remblais et locaux étanches en lit majeur uniquement et non en lit mineur comme c'est le cas par exemple pour le reprofilage de la berge au droit de la gare du Pont de Sèvres.

La compensation volumique s'applique en effet de manière implicite aux remblais et locaux étanches implantés en lit majeur d'un cours d'eau et non en lit mineur étant donné que ce sont les notions de « capacité de stockage » et de « volume d'expansion des crues » qui sont invoquées. Or le lit mineur d'un cours d'eau n'est pas directement lié à ces notions. En revanche, il conviendra de limiter au maximum l'incidence sur la section mouillée (et non le volume pris en lit mineur) dans les zones d'écoulements préférentiels.

Le projet vise à compenser les volumes de remblais et locaux étanches en phase exploitation et chantier, le cas échéant.

En effet, les textes réglementaires en vigueur imposent d'assurer la conservation des champs d'expansion des crues (principalement par la compensation des volumes de remblais et locaux étanches en lit majeur) en phase exploitation, une fois la période de travaux achevée. La phase chantier n'est pas évoquée au sein des PPRI en vigueur.

3.6.2.2 Evaluation de la réduction de l'expansion des crues en phase chantier

Pour rappel, la méthodologie retenue pour l'évaluation de la réduction de l'expansion des crues repose sur l'évaluation des volumes soustraits à la crue.

a. <u>OA Ile de Monsieur</u>

Le bilan des volumes soustraits a été réalisé sur les infrastructures en phase chantier, comportant pour l'essentiel : le puits, le puits temporaire, le bassin d'exhaure et la centrale de traitement de boues (voir plan de localisation page suivante).

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de trois pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 39 : Calcul des volumes soustraits à la crue en phase travaux – OA Ile de Monsieur

		Niveau TN	Hauteur (m)	Longueur (m)	largeur (m)	Surface (m²)	Volume (m3)
PUITS	Tranche 1	30.20	0.50			1205	602.05
	Tranche 2	30.70	0.50				602.05
	Tranche 3	31.20	0.30				361.50
PUITS TEMPORAIRE	Tranche 1	30.20	0.50	10.60	9.00	95.4	47.70
	Tranche 2	30.70	0.50	10.60	9.00		47.70
	Tranche 3	31.20	0.30	10.60	9.00		28.60
BASSIN D'EXHAURE	Tranche 1	30.20	0.50	22.40	8.00	179.2	89.60
	Tranche 2	30.70	0.50	22.40	8.00		89.60
	Tranche 3	31.20	0.30	22.40	8.00		53.80
CENTRALE TRAITEMENT DE BOUES	Tranche 1	30.20	0.50	20.00	3.90	78	78.00
	Tranche 2	30.70	0.50	20.00	3.90		78.00
	Tranche 3	31.20	0.30	20.00	3.90		23.40
							2102.00

Le volume soustrait à la crue de 2 102 m^3 correspond à l'émergence du puits, du puits temporaire, du bassin d'exhaure et de la centrale de traitement de boues (voir plan de localisation page suivante).

Il est prévu un décaissement de 59 cm du principal terrain permettant de libérer un volume $V_{décaissé}$ de 2 118 m^3, hormis l'emprise du puits et du bassin d'exhaure.

Le calcul du volume décaissé est le suivant :

$$V_{décaissé} = (S_{emprise} – S_{puits} – S_{bassin\ d'exhaure}) \times 0,59$$

$$V_{décaissé} = (5\ 150 – 1\ 560) \times 0,59 = 3\ 590 \times 0,59$$

$$V_{décaissé} = 2\ 118\ m^3$$

En conclusion et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait en phase exploitation sera compensé en volume. Les surfaces soustraites à la crue (total de 1 560 m²) seront totalement compensées (total de 3 590 m² libérés à la crue).

De plus, la centrale à boue ainsi que la base vie seront installées pour permettre la libre circulation des eaux en cas de crue centennale. Le stockage tampon de déblais sera évacué en cas d'alerte crue.

b. Gare Pont de Sèvres

L'avant-projet d'octobre 2014 a fait l'objet en février 2015 d'une première optimisation afin de réduire l'emprise soustraite à la crue en lit mineur en phase travaux puis d'une ultime modification en mai 2015.

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, ceci en lit majeur. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre. La vue en plan et les coupes pages suivantes permettent de situer les tranches altimétriques dans le projet.

Selon les conclusions du maître d'œuvre, le volume soustrait à la crue en lit majeur est de 2 807 m^3. Conformément au règlement du PPRI, ce volume sera compensé au droit de l'ouvrage annexe de l'Ile de Monsieur par un décaissé du terrain.

Les surfaces soustraites à la crue sont également partiellement compensées avec une surface résiduelle à compenser de 2 995 m^2.

Issu des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, ceci en lit mineur. Le volume pris en lit mineur par l'aménagement des berges est de 10 699 m^3, en intégrant notamment les volumes immergés. Toutefois, le zonage du PPRI n'inclut pas le lit mineur (à partir du haut de berge) et de fait la nécessité de compenser en volume.

Calcul Volume dans lit MINEUR			Tranches altimétriques de compensation :									
			Tranche 1	*Tranche 2*	*Tranche 3*	*Tranche 4*	*Tranche 5*	*Tranche 6*	*Tranche 7*	*Tranche 8*	*Tranche 9*	*Tranche 10*	*Total :*
Boîte gare dans lit mineur	Mise hors crue centennale en phase travaux	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31	30,5	30	29,5	29	28,5	28	27,5	27	26,75	
		surface (m²)	382	382	368	320	271	215	167	115	63		
		épaisseur (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
		volume (m3)	191	191	184	160	136	108	83	57	31	0	**1142**
Remblai en Seine dans lit mineur zone 1	-	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31	30,5	30	29,5	29	28,5	28	27,5	27	26,75	
		surface (m²)	980	980	980	980	980	980	980	980	980	980	
		épaisseur (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	
		volume (m3)	490	490	490	490	490	490	490	490	490	245	**4655**
Remblai en Seine dans lit mineur zone 2	-	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31	30,5	30	29,5	29	28,5	28	27,5	27	26,75	
		surface (m²)	58,6	58,6	56,1	49,7	40,9	32,0	24,5	14,2	5,8		
		épaisseur (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
		volume (m3)	29	29	28	25	20	16	12	7	3	0	**170**
Rembali culée dans lit mineur	-	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31	30,5	30	29,5	29	28,5	28	27,5	27	26,75	
		surface (m²)	34,1	34,1	34,1	34,1	31,5	27,8	24,2	20,0	16,8	10,5	
		épaisseur (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
		volume (m3)	17	17	17	17	16	14	12	10	8	5	**134**
Estacades provisoires	-	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31	30,5	30	29,5	29	28,5	28	27,5	27	26,75	
		surface (m²)	3400	232	232	232	232	232	232	232	232	232	
		épaisseur (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	
		volume (m3)	1700	116	116	116	116	116	116	116	116	58	**2686**
												Sous total	**8786,301**

Calcul volume immergé (impact en lit mineur)			
	section transversale (m²)	**linéaire (m)**	**volume (m3)**
Remblai en Seine	5,6 (moyenne)	250	1406
	section plane (m²)	**profondeur (m)**	**volume (m3)**
Estacades	232	3,5	508
			1913

Volume total lit MINEUR :	**10699**	**m3**

Calcul des volumes soustraits à la crue en lit mineur en phase travaux – Gare Pont de Sèvres

c. OA ZAC SEAM

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 404 : Calcul des volumes soustraits à la crue en phase travaux – OA ZAC SEAM

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite à la crue (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m³)
1	[31,40 ; 31,55]	0,15	1 450	203
TOTAL	[31,40 ; 31,55]	0,15	-	203

Le volume soustrait à la crue de 203 m3 correspond à l'émergence du puits.

La topographie actuellement plane du site, à une cote moyenne de 31,40 m NGF.

Il est prévu un décaissement en phase travaux de 20 cm du principal terrain permettant de libérer un volume Vdécaissé de 203 m3, hormis l'emprise du puits.

$$V_{décaissé} = (S_{emprise} – S_{puits}) \times 0,20$$

$$V_{décaissé} = (2\ 443 – 1\ 450) \times 0,20 = 993 \times 0,20$$

$$V_{décaissé} = 203\ m^3$$

En conclusion et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait en phase travaux sera compensé en volume. Les surfaces soustraites à la crue (total de 1 450 m²) seront partiellement compensées (total de 993 m² libérés à la crue).

d. OA Place de la Résistance

Conformément à la méthodologie retenue les tableaux ci-après détaillent le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, et ce pour l'ensemble des émergences.

Tableau 41 : Calcul des volumes soustraits à la crue en phase exploitation – OA Place de la Résistance

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m³)
Trappe d'accès 1				
1	[30,55 ; 31,05]	0,50	8,41	4,2
2	[31,05 ; 31,55]	0,50	8,41	4,2
3	[31,55 ; 31,65]	0,10	8,41	0,9
Sous-total	[30,55 ; 31,65]	1,10	-	9,3
Trappe d'accès 2				
1	[30,90 ; 31,40]	0,50	13,26	6,6
2	[31,40 ; 31,65]	0,25	13,26	3,3
Sous-total	[30,90 ; 31,65]	0,75	-	9,9
Gaine de décompression				
1	[30,82 ; 31,32]	0,50	70,08	35,0
2	[31,32 ; 31,65]	0,33	70,08	23,1
Sous-total	[30,82 ; 31,65]	0,83	-	58,1
Gaine de ventilation				
1	[31,01 ; 31,51]	0,50	110,4	55,2
2	[31,51 ; 31,65]	0,14	110,4	15,5
Sous-total	[30,55 ; 31,65]	0,64	-	70,7
TOTAL				148

Le volume soustrait à la crue est donc de 148 m³ en phase travaux.

Il est prévu un décaissement dès la phase travaux de 8 cm du principal terrain permettant de libérer un volume $V_{décaissé}$ de 190 m³, hormis l'emprise du puits.

$$V_{décaissé} = (S_{emprise} – \Sigma S_{émergences}) \times 0,08$$

$$V_{décaissé} = (3\ 225 – 1\ 327) \times 0,08 = 1\ 898 \times 0,08$$

$$V_{décaissé} = 152\ m^3$$

En conclusion et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait en phase travaux sera compensé en volume. Les surfaces soustraites à la crue (total de 202 m²) seront également totalement compensées (total de 1 898 m² libérés à la crue).

3.6.2.3 Evaluation de la réduction de l'expansion des crues en phase d'exploitation

Pour rappel, la méthodologie retenue pour l'évaluation de la réduction de l'expansion des crues repose sur l'évaluation des volumes soustraits à la crue.

Les classes d'impacts sur les volumes soustraits ont été définies comme suit :

- Impact non significatif : volume soustrait à la crue inférieure à 200 m^3. Cette classe correspond en général à des aménagements limités en surface, tels que de l'habitat individuel ou des édicules ;
- Impact faible : volume soustrait à la crue entre 200 m^3 et 1 000 m^3. Cette classe correspond à des aménagements ayant en général une surface inférieure à 5 000 m^2, tels que de l'habitat collectif ou des émergences de gare ;
- Impact modéré : volume soustrait à la crue entre 1 000 m^3 et 5 000 m^3. Cette classe correspond à des aménagements ayant en général une surface de l'ordre de l'hectare, tels que des lotissements ;
- Impact fort : volume soustrait à la crue au-delà de 5 000 m^3. Cette classe correspond en général à des aménagements en surface au-delà de 5 hectares. Il s'agit alors de projets d'aménagement d'envergure, tels que des Zones d'Aménagement Concerté (ZAC).

Le tableau suivant récapitule les classes d'impacts définies en fonction du critère étudié.

Tableau 426 : Définition des classes d'impact par rapports aux volumes soustraits à la crue

Classe	Critère sur les volumes soustraits à la crue
Impact non significatif	V < 200 m^3
Impact faible	200 m^3 ≤ V < 1 000 m^3
Impact modéré	1 000 m^3 ≤ V < 5 000 m^3
Impact fort	V ≤ 5 000 m^3

a. OA Ile de Monsieur

Etant donné la durée prévisionnelle des travaux sur le puits d'attaque de l'OA Ile de Monsieur (durée estimée à 15 ans car ce dernier restera en place pour pouvoir être utilisé lors de la construction de la ligne 15 Ouest), le bilan des volumes soustraits a été réalisé sur les infrastructures en phase chantier, comportant pour l'essentiel : le puits, le puits temporaire, le bassin d'exhaure et la centrale de traitement de boues (voir plan de localisation page suivante).

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, au nombre de trois pour le site. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 437 : Calcul des volumes soustraits à la crue en phase exploitation – OA Ile de Monsieur

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite à la crue (en m^2)	Volume soustrait par tranche (en m^3)
1	[30,20 ; 30,70]	0,50	30	15,4
2	[30,70 ; 31,20]	0,50	30	15,4
3	[31,20 ; 31,50]	0,30	30	9,2
TOTAL	[30,20 ; 31,50]	1,30	-	40

Le volume soustrait à la crue de 40 m^3 correspond à l'émergence du puits, du puits temporaire, du bassin d'exhaure et de la centrale de traitement de boues (voir plan de localisation page suivante).

La topographie actuellement plane du site, à une cote moyenne de 30,20 m NGF ne permet pas une compensation tranche par tranche.

Il est donc prévu un décaissement de 26 cm du principal terrain permettant de libérer un volume $V_{décaissé}$ de 183 m^3, hormis l'emprise du puits et du bassin d'exhaure.

Le calcul du volume décaissé est le suivant (détail pages suivantes) :

$$V_{décaissé} = (S_{emprise} - S_{gaines}) \times 0,47$$

$$V_{décaissé} = (744 - 30) \times 0,26 = 714 \times 0,26$$

$$V_{décaissé} = 183\ m^3$$

En conclusion et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait en phase exploitation sera compensé en volume. Le surplus permettra la compensation du volume résiduel pour la gare de Pont de Sèvres, soit 143 m^3. Les surfaces soustraites à la crue (total de 30+595 m^2) seront totalement compensées (total de 714 m^2 libérés à la crue).

b. Gare Pont de Sèvres

L'avant-projet d'octobre 2014 a fait l'objet en février 2015 d'une optimisation afin de réduire l'emprise soustraite à la crue en lit mineur. A titre d'illustration, les deux perspectives ci-dessous présente la principale évolution : le décaissement du quai piéton sur l'ensemble de sa longueur.



Figure 4 : Vue en perspective de la berge AVP-B sur Pont de Sèvres (source : MOE)



Figure 5 : Vue en perspective de la berge AVP-B optimisé sur Pont de Sèvres (source : MOE)

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, ceci en lit majeur. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre. La vue en plan et les coupes pages suivantes permettent de situer les tranches altimétriques dans le projet. Ils correspondent à la dernière version du projet (mai 2015).

Selon les conclusions du maître d'œuvre, le volume soustrait à la crue en lit majeur est de 143 m^3. Ce bilan intègre des volumes rendus à la crue par rapport à la situation actuelle (en vert dans le tableau ci-dessus). Conformément au règlement du PPRI, ce volume sera compensé au droit de l'ouvrage annexe de l'Ile de Monsieur par un décaissé du terrain.

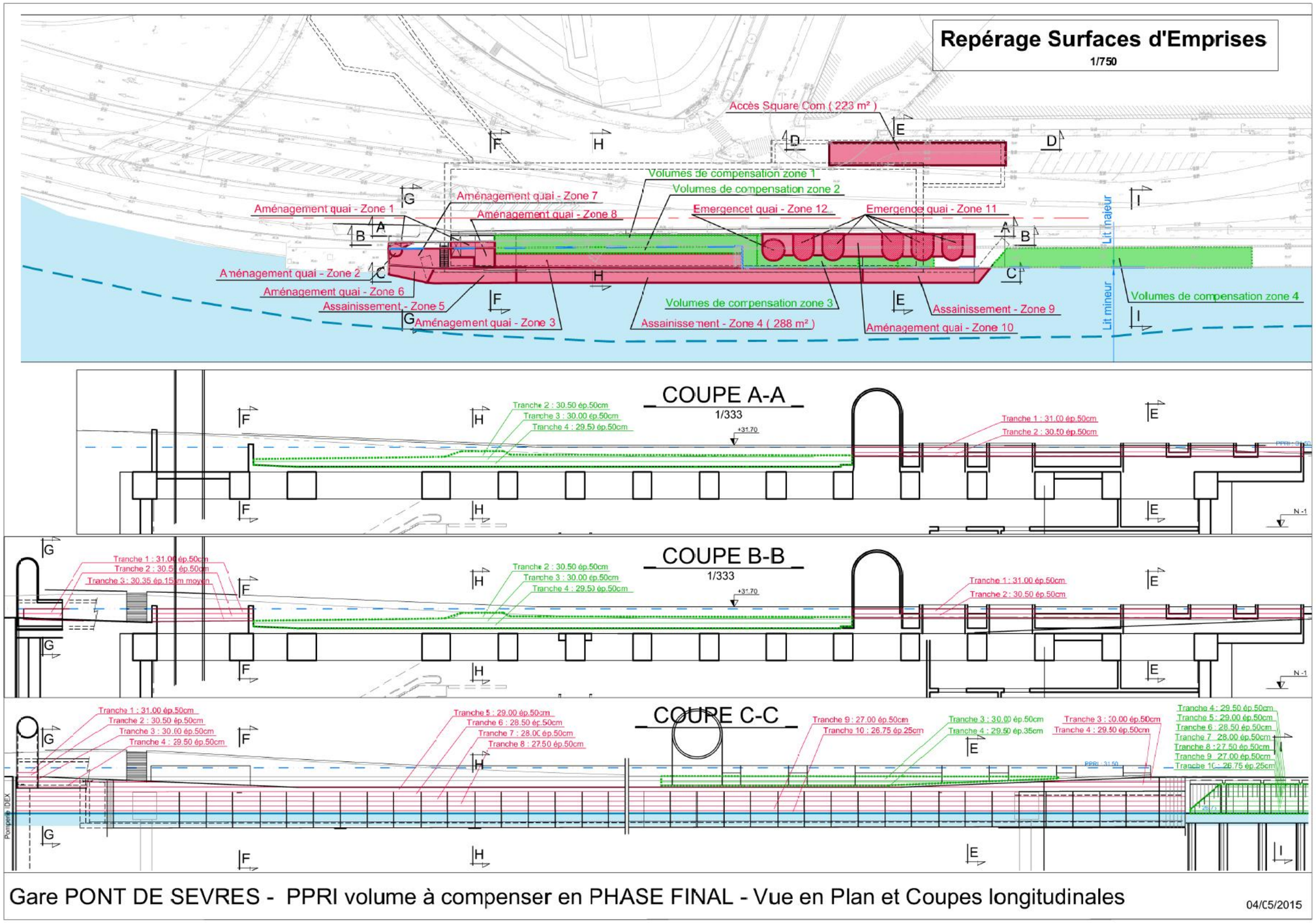
Les surfaces soustraites à la crue sont également partiellement compensées avec une surface résiduelle à compenser de 595 m^2.

Pour information, le tableau détaille le bilan des surfaces et des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, ceci en lit mineur. Le volume pris en lit mineur par l'aménagement des berges est de 1 705 m^3, en intégrant notamment les volumes immergés. Toutefois, le zonage du PPRI n'inclut pas le lit mineur (à partir du haut de berge) et de fait la nécessité de compenser en volume.

Tableau 448 : Calcul des volumes soustraits à la crue en lit majeur en phase exploitation – Gare Pont de Sèvres

Calcul Volume dans lit MAJEUR		Tranches altimétriques de compensation :										
		tranche 1	*tranche 2*	*tranche 3*	*tranche 4*	*tranche 5*	*tranche 6*	*tranche 7*	*tranche 8*	*tranche 9*	*tranche 10*	*Total :*
Aménagement quai zone 1	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31	30,5	30,35								
	surface (m²)	21	21	21								
	épaisseur (m)	0,5	0,5	0,2								
	volume (m3)	11	11	4	0	0	0	0	0	0	0	25
Emergence quai zone 10	Altimétrie dessous tranche (NGF)		-0,5									,
	surface (m²)		275									
	épaisseur (m)		0,5									
	volume (m3)	0	138	0	0	0	0	0	0	0	0	138
Emergence quai zone 11	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31										,
	surface (m²)	140										
	épaisseur (m)	0,5										
	volume (m3)	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70
Emergence quai zone 12	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31										,
	surface (m²)	20										
	épaisseur (m)	0,5										
	volume (m3)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Accès Square COM	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31	30,5									
	surface (m²)	223	223									
	épaisseur (m)	0,5	0,5									
	volume (m3)	112	112	0	0	0	0	0	0	0	0	223
Volume de compensation zone 1	Altimétrie dessous tranche (NGF)		30,5	30	29,5							,
	surface (m²)		105,6	189,0	189,0							
	épaisseur (m)		0,5	0,5	0,5							
	volume (m3)	0	-53	-95	-95	0	0	0	0	0	0	-242
Volume de compensation zone 3	Altimétrie dessous tranche (NGF)			30	29,5							,
	surface (m²)			92,0	70,0							
	épaisseur (m)			0,5	0,5							
	volume (m3)	0	0	-46	-35	0	0	0	0	0	0	-81

Volume total lit MAJEUR :	143	m3


Repérage Surfaces d'Emprises
1/750
Accès Square Com (223 m²)
Volumes de compensation zone 1
Volumes de compensation zone 2
Aménagement quai - Zone 1
Aménagement quai - Zone 7
Aménagement quai - Zone 8
Emergencet quai - Zone 12
Emergence quai - Zone 11
Aménagement quai - Zone 2
Aménagement quai - Zone 6
Assainissement - Zone 5
Aménagement quai - Zone 3
Volumes de compensation zone 3
Assainissement - Zone 4 (288 m²)
Assainissement - Zone 9
Aménagement quai - Zone 10
Volumes de compensation zone 4
Lit majeur
Lit mineur
COUPE A-A
1/333
Tranche 2 : 30.50 ép.50cm
Tranche 3 : 30.00 ép.50cm
Tranche 4 : 29.50 ép.50cm
Tranche 1 : 31.00 ép.50cm
Tranche 2 : 30.50 ép.50cm
COUPE B-B
1/333
Tranche 1 : 31.00 ép.50cm
Tranche 2 : 30.50 ép.50cm
Tranche 3 : 30.35 ép.15cm moyen
Tranche 2 : 30.50 ép.50cm
Tranche 3 : 30.00 ép.50cm
Tranche 4 : 29.50 ép.50cm
Tranche 1 : 31.00 ép.50cm
Tranche 2 : 30.50 ép.50cm
COUPE C-C
Tranche 1 : 31.00 ép.50cm
Tranche 2 : 30.50 ép.50cm
Tranche 3 : 30.00 ép.50cm
Tranche 4 : 29.50 ép.50cm
Tranche 5 : 29.00 ép.50cm
Tranche 6 : 28.50 ép.50cm
Tranche 7 : 28.00 ép.50cm
Tranche 8 : 27.50 ép.50cm
Tranche 9 : 27.00 ép.50cm
Tranche 10 : 26.75 ép.25cm
Tranche 3 : 30.00 ép.50cm
Tranche 4 : 29.50 ép.35cm
Tranche 3 : 30.00 ép.50cm
Tranche 4 : 29.50 ép.50cm
Tranche 4 : 29.50 ép.50cm
Tranche 5 : 29.00 ép.50cm
Tranche 6 : 28.50 ép.50cm
Tranche 7 : 28.00 ép.50cm
Tranche 8 : 27.50 ép.50cm
Tranche 9 : 27.00 ép.50cm
Tranche 10 : 26.75 ép.25cm
Pompage IDEX
Gare PONT DE SEVRES - PPRI volume à compenser en PHASE FINAL - Vue en Plan et Coupes longitudinales
04/05/2015

Calcul Volume dans lit MINEUR		Tranches altimétriques de compensation :										
		tranche 1	*tranche 2*	*tranche 3*	*tranche 4*	*tranche 5*	*tranche 6*	*tranche 7*	*tranche 8*	*tranche 9*	*tranche 10*	*Total :*
Aménagement quai zone 2	Altimétrie dessous tranche (NGF)	31	30,5	30,35								
	surface (m²)	4,3	4,3	4,3								
	épaisseur (m)	0,5	0,5	0,25								
	volume (m3)	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	5
Aménagement quai zone 3	Altimétrie dessous tranche (NGF)					29	28,5	28	27,5	27		
	surface (m²)					191,4	150,8	104,4	60,9	26,1		
	épaisseur (m)					0,5	0,5	0,5	0,5	0,25		
	volume (m3)	0	0	0	0	96	75	52	30	7	0	260
Aménagement quai zone 4	Altimétrie dessous tranche (NGF)					28	28,5	28	27,5	27	26,75	
	surface (m²)					288	288	288	288	288	288	
	épaisseur (m)					0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	
	volume (m3)	0	0	0	0	144	144	144	144	144	72	792
Aménagement quai zone 5	Altimétrie dessous tranche (NGF)			30	29,5	29	28,5	28	27,5	27	26,75	
	surface (m²)			12,08	45,20	69,69	69,69	69,69	69,69	69,69	69,69	
	épaisseur (m)			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	
	volume (m3)	0	0	6	23	35	35	35	35	35	17	220
Aménagement quai zone 6	Altimétrie dessous tranche (NGF)			30	29,5	29	28,5	28	27,5	27	26,75	
	surface (m²)			16,5	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	
	épaisseur (m)			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	
	volume (m3)	0	0	8	12	12	12	12	12	12	6	83
Aménagement quai zone 7	Altimétrie dessous tranche (NGF)			30	29,5	29	28,5	28	27,5	27		
	surface (m²)			75,8	66,4	56,3	46,1	35,6	22,8	8,9		
	épaisseur (m)			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
	volume (m3)	0	0	38	33	28	23	18	11	4	0	156
Aménagement quai zone 8	Altimétrie dessous tranche (NGF)	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28	27,5	27		
	surface (m²)	31,6	31,6	30,1	24,9	19,7	13,0	9,5	6,0	2,5		
	épaisseur (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
	volume (m3)	16	16	15	12	10	7	5	3	1	0	84
Aménagement quai zone 9	Altimétrie dessous tranche (NGF)			30	29,5	29	28,5	28	27,5	27	26,75	
	surface (m²)			30,1	72,8	98,7	98,7	98,7	98,7	98,7	98,7	
	épaisseur (m)			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	
	volume (m3)	0	0	15	36	49	49	49	49	49	25	323
Volume de compensation zone 2	Altimétrie dessous tranche (NGF)			30	29,5							
	surface (m²)			22,0	63,8							
	épaisseur (m)			0,5	0,5							
	volume (m3)	0	0	-11	-32	0	0	0	0	0	0	-43
Volume de compensation zone 4					29,5	29,35	29,35	29,35	29,35	29,35	29,35	
	surface (m²)				284,3	232,8	188,6	145,1	98,2	55,7	26,7	
	épaisseur (m)				0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	
	volume (m3)	0	0	0	-142	-116	-94	-73	-49	-28	-7	-509
											Sous total	1367

Calcul Volume immergé (impact en lit mineur)			
	section transversale (m²)	**linéaire (m)**	**volume (m3)**
Galerie SEVESC	2,5	135	338

Volume total lit MINEUR :	**1705**	**m3**

c. OA ZAC SEAM

Conformément à la méthodologie retenue, le tableau ci-après détaille le bilan des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm. Ces données sont issues des calculs de cubature réalisés par la maîtrise d'œuvre.

Tableau 20 : Calcul des volumes soustraits à la crue en phase exploitation – OA ZAC SEAM

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite à la crue (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m³)
1	[31,40 ; 31,55]	0,15	105,1	14,7
TOTAL	[31,40 ; 31,55]	0,15	-	15

Le volume soustrait à la crue de 15 m³ correspond à l'émergence du puits.

La topographie actuellement plane du site, à une cote moyenne de 31,40 m NGF ne permet pas une compensation tranche par tranche.

Il est prévu un décaissement en phase exploitation de 1 cm du principal terrain permettant de libérer un volume $V_{décaissé}$ de 485 m³, hormis l'emprise du puits.

$$V_{décaissé} = (S_{emprise} – S_{puits}) \times 0,01$$

$$V_{décaissé} = (2\ 443 - 105) \times 0,01 = 3\ 230 \times 0,01$$

$$V_{décaissé} = 23\ m^3$$

En conclusion et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait en phase exploitation sera compensé en volume. Les surfaces soustraites à la crue (total de 105 m²) seront totalement compensées (total de 2 340 m² libérés à la crue).

d. OA Place de la Résistance

Conformément à la méthodologie décrite précédemment les tableaux ci-après détaillent le bilan des surfaces et des volumes soustraits à la crue, par tranche altimétrique de 50 cm, et ce pour l'ensemble des émergences (comme en phase travaux) dont les emplacements sont présentées sur la figure page suivante.

Tableau 21 : Calcul des volumes soustraits à la crue en phase exploitation – OA Place de la Résistance

N° tranche	Intervalle altimétrique (en m NGF)	Hauteur correspondante (en m)	Surface soustraite par tranche (en m²)	Volume soustrait par tranche (en m³)
Trappe d'accès 1				
1	[30,55 ; 31,05]	0,50	8,41	4,2
2	[31,05 ; 31,55]	0,50	8,41	4,2
3	[31,55 ; 31,65]	0,10	8,41	0,9
Sous-total	[30,55 ; 31,65]	1,10	-	9,3
Trappe d'accès 2				
1	[30,90 ; 31,40]	0,50	13,26	6,6
2	[31,40 ; 31,65]	0,25	13,26	3,3
Sous-total	[30,90 ; 31,65]	0,75	-	9,9
Gaine de décompression				
1	[30,82 ; 31,32]	0,50	70,08	35,0
2	[31,32 ; 31,65]	0,33	70,08	23,1
Sous-total	[30,82 ; 31,65]	0,83	-	58,1
Gaine de ventilation				
1	[31,01 ; 31,51]	0,50	110,4	55,2
2	[31,51 ; 31,65]	0,14	110,4	15,5
Sous-total	[30,55 ; 31,65]	0,64	-	70,7
TOTAL				148

Le volume soustrait à la crue est donc de 155 m³ en phase exploitation, la surface correspondante est de 205 m².

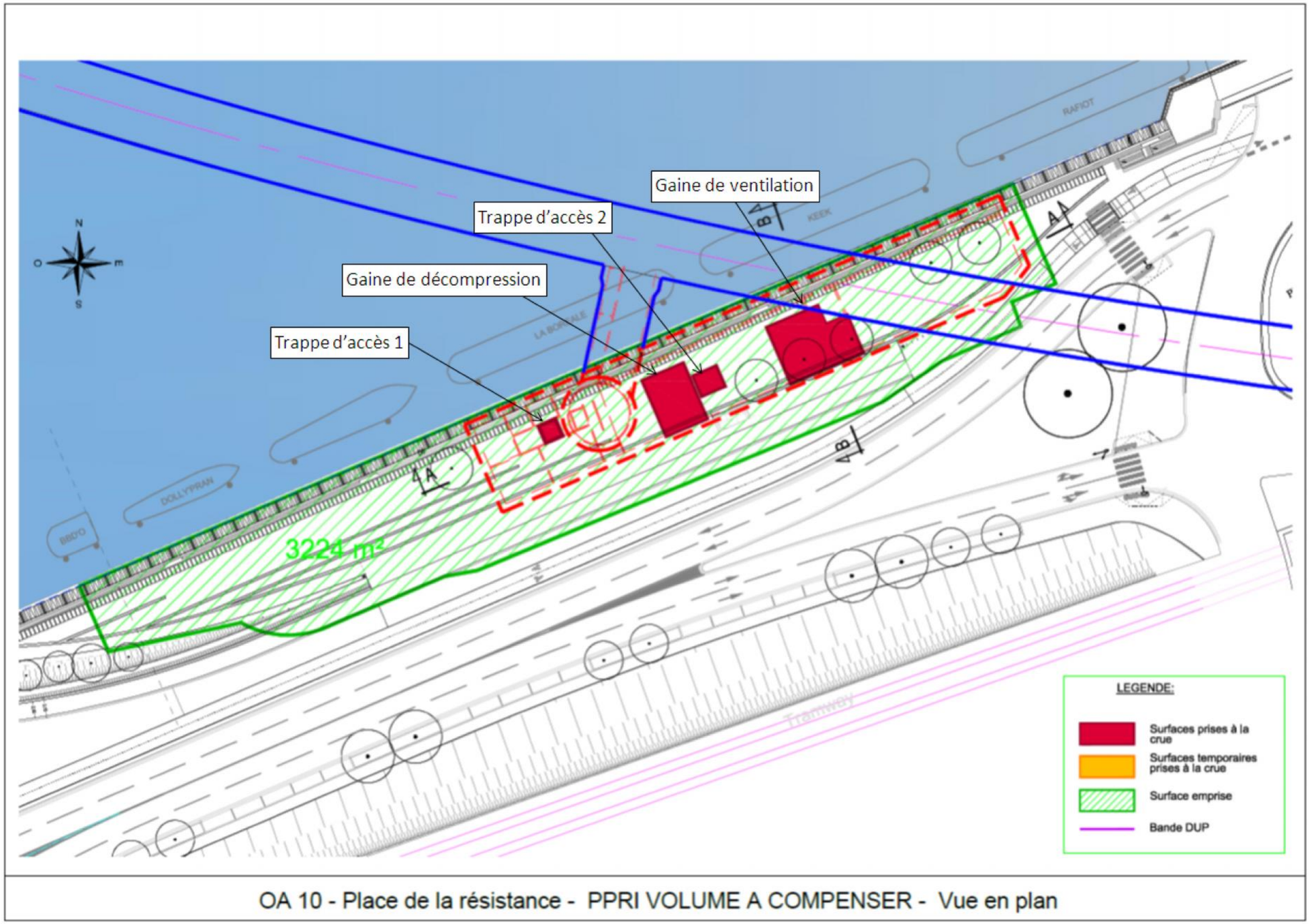
Il est prévu un décaissement dès la phase travaux de 8 cm du principal terrain permettant de libérer un volume $V_{décaissé}$ de 650 m³, hormis l'emprise du puits.

$$V_{décaissé} = (S_{emprise} – \Sigma S_{émergences}) \times 0,08$$

$$V_{décaissé} = (3\ 225 – 1\ 327) \times 0,\ 10 = 1\ 898 \times 0,\ 08$$

$$V_{décaissé} = 152\ m^3$$

En conclusion et conformément au règlement du PPRI, le volume soustrait en phase exploitation sera compensé en volume. Les surfaces soustraites à la crue (total de 202 m²) seront totalement compensées (total de 1 898 m² libérés à la crue).



OA 10 - Place de la résistance - PPRI VOLUME A COMPENSER - Vue en plan

Vue en plan de l'OA Place de la Résistance en phase exploitation – Localisation des émergences

3.6.3 Conformité et compatibilité des aménagements de la ligne 15 Sud sur le secteur de Pont de Sèvres

3.6.3.1 PPRI 92

Le règlement du PPRI de la Seine dans les Hauts-de-Seine précise dans le sous-chapitre 2 « aménagement » du chapitre 2.II « règles de construction applicables aux bâtiments et installations neufs dans les quatre zones du plan y compris dans les ilots hors submersion » que « les ouvrages d'art et d'infrastructure inondables (tunnels, souterrains…) et ceux non inondables sont autorisés […] ».

Commentaires : le projet est donc autorisé dans les quatre zones réglementées : A, B, C et D. le règlement précise en outre pour la zone A (zone à forts aléas) au chapitre 1.2 page 10 que sont autorisés sous conditions les « constructions et installations liées à l'usage de la voie d'eau et autres modes de transport pour autant qu'il s'agisse d'une plate-forme multimodale ». Le règlement précise de plus que « ces constructions et leurs extensions sont autorisées dans l'ensemble de la zone A y compris dans la marge de recul ».

A la lecture du règlement, l'aménagement de la gare du Pont de Sèvres et des trois ouvrages annexes concernés apparaît donc autorisé par le règlement du PPRI de la Seine dans les Hauts-de-Seine.

Le sous-chapitre 2 du chapitre 2.II conditionne toutefois leur autorisation sous réserve « que tout remblaiement ou réduction de la capacité de stockage de la crue, situé au-dessous de la cote de casier soit compensé par un volume égal de déblais pris sur la zone d'aménagement compris entre le terrain naturel initial et la cote de casier diminuée de 2,5 m au moins. »

Le chapitre IV « Définitions » du Titre 1 « Portée du PPRI – Dispositions générales » précise le principe de compensation des remblais et des locaux étanches, en particulier sur les points suivants :

- le volume à compenser est celui soustrait à la crue entre la cote du terrain naturel et la cote casier (cote de crue centennale) ;
- Le volume créé doit être compensé par un volume inondable égal de déblais pris sur la même unité foncière, à une altitude comprise entre la cote du terrain naturel et la cote de casier diminuée de 2,5 m au moins ;
- les remblais ponctuels rendus strictement nécessaires pour la desserte des bâtiments sont exonérés de compensation (rampes pour handicapés, emmarchements, aires de livraison…) ;
- en cas d'opération d'aménagement d'ensemble (ZAC, lotissement, opérations groupées, zone portuaire…), le volume à compenser est localisé sur l'emprise de l'ensemble de l'opération sous réserve que la localisation de ces compensations et leurs volumes ne provoquent pas d'aggravation de la situation en amont et en aval de l'opération (une étude technique doit être fournie par le pétitionnaire).

Commentaires : l'ensemble des volumes soustraits à la crue liés aux émergences de la gare du Pont de Sèvres et des ouvrages annexes est compensé (cf. paragraphe 5.2), et ce au-dessus de la cote casier diminuée de 2,5 m.

Le chapitre 1.2 (zone A) précise que « le plancher fonctionnel des constructions doit être situé au-dessus de la cote casier. ». Il en est de même pour la zone B (chapitre 2.1) et pour la zone D (chapitre 4.2). Ces deux dernières zones offrent tout de même des assouplissements pour certains usages :

- En zone B, Les surfaces de bureaux, commerces et activités, à usage autre que centres d'intervention et de secours, centres d'exploitation de services publics, centres de contrôle, surfaces d'habitation ou d'hébergement collectif de personnes, peuvent aussi être implantés au-dessus de la cote de la voirie existante sans pouvoir être situés à plus de 2 m au-dessous de la cote de casier, sous réserve que la SHON totale située en dessous de cette cote soit :
  - inférieure ou égale à 300 m² lorsque la surface de l'unité foncière est inférieure à 3 000 m².
  - inférieure ou égale à 10 % de la surface de l'unité foncière lorsque celle-ci est supérieure à 3 000 m². En cas d'opération d'aménagement d'ensemble, cette surface peut être répartie sur l'entité foncière hors surfaces de voirie sans pouvoir dépasser 30% de la surface d 'une unité foncière donnée.
- En zone D, la cote de tout plancher nouvellement créé, à quelque usage que ce soit, doit être située au-dessus de la cote de casier. Cependant,
  - les entrées de bâtiments de moins de 30 m² de SHON et les rampes pour handicapés peuvent être installées jusqu'à la cote du terrain naturel ou de la voirie existante.
  - les caves des logements et les locaux techniques (contenant des équipements d'alimentation en énergie, télécommunications, transformateurs) peuvent être réalisés sous le niveau de la cote de casier à la condition d'être placés en cuvelage étanche établi jusqu'au niveau de cette cote. Le volume ainsi cuvelé doit être compensé par un volume au moins égal rendu inondable compris entre le terrain naturel initial et la cote de casier diminuée de 2,5 m au moins.

Au niveau de la gare Pont de Sèvres, l'implantation de surfaces de commerces est prévue au niveau du couloir de raccordement au métro ligne 9, situé en dehors du zonage du PPRI.

L'implantation de ces surfaces de commerces est représentée sur les figures suivantes.

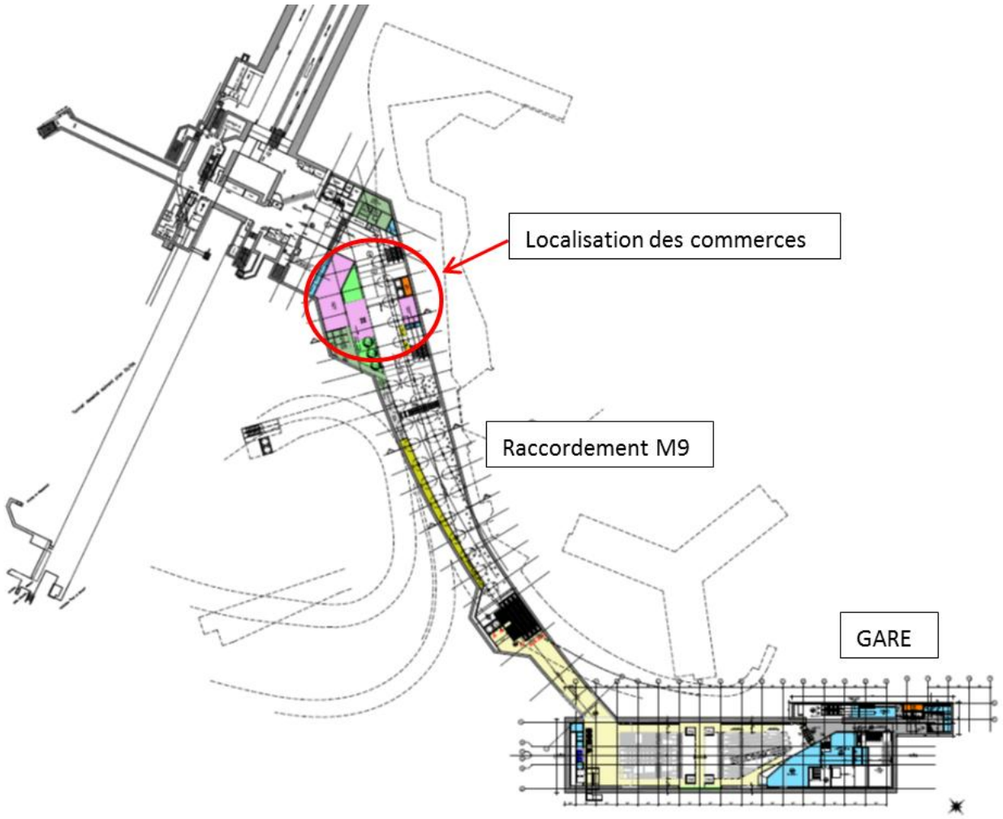


Figure 8 : Vue en plan de la gare de Pont de Sèvres en phase exploitation – Localisation des surfaces de commerces

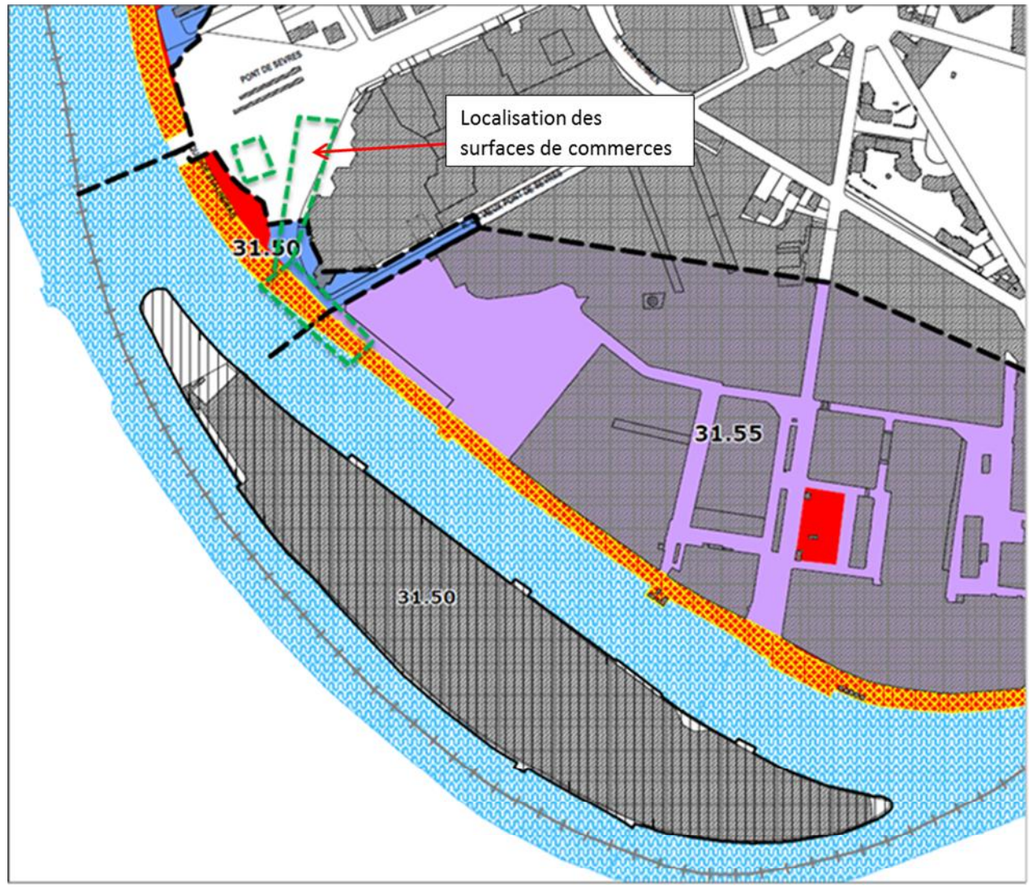


Figure 9 : Localisation des surfaces de commerces vis-à-vis du zonage du PPRI

Cependant, les commerces étant créés dans une zone en déblai, une analyse plus poussée de la réglementation du PPRI peut être réalisée.

L'extrait de plan ci-dessous montre que les zones de commerces (en rose) sont effectivement implantées sous la côte casier la plus proche (31.50m).



Figure 10 : Vue en plan zoomée de la gare de Pont de Sèvres en phase exploitation – Localisation des surfaces de commerces

En analysant l'implantation des commerces vis-à-vis de la réglementation de la zone du PPRI la plus proche (zone B) dans laquelle s'insère une partie du couloir de correspondance, il peut être constaté que :

- les commerces sont implantés le long d'une voirie, voie de raccordement entre la ligne 15 et la ligne 9,
- les commerces sont implantés moins de 2 m sous la côte casier (côte supérieure à 29.50m),
- la surface totale des commerces, représentant 255 m² (+terrasse), est inférieur à 1% de l'emprise du couloir de correspondance (3 000 m²) et a fortiori de l'emprise totale de la gare.

Par conséquent, l'implantation des commerces prévue au niveau du couloir de correspondance au droit de la gare de pont de Sèvres est compatible avec le PPRI, bien que celui-ci ne s'applique pas à cette zone.

Commentaires : l'ensemble de l'infrastructure (gare, ouvrage annexe, tunnel…) sera mis hors d'eau jusqu'à la cote casier (crue centennale) + 20 cm. Cet objectif est donc cohérent avec les prescriptions abordées ci-avant.

3.6.3.2 SDAGE du bassin de la Seine et cours d'eau côtiers normands

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2010-2015 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands rappelle que la prévention du risque d'inondation doit être cohérente à l'échelle d'un bassin versant et intégrer l'ensemble des composantes suivantes : évaluation du risque, information préventive, réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes, préservation des zones naturelles d'expansion des crues, urbanisation raisonnée, gestion adaptée des eaux de ruissellement pluviales.

La prévention du risque doit systématiquement être privilégiée à la protection qui peut aggraver la situation en amont et en aval de la zone protégée et dégrader les espaces naturels.

La prévention du risque d'inondation se décline dans le SDAGE au défi n°8 « limiter et prévenir le risque inondation » en cinq orientations, dont notamment :

- Orientation 30 : réduire la vulnérabilité des personnes et des biens exposés au risque d'inondation ;
- Orientation 31 : préserver et reconquérir les zones naturelles d'expansion des crues.

Chacune de ces orientations est déclinée en dispositions.

Le projet prend en compte les orientations susmentionnées du SDAGE et les dispositions liées, notamment :

- Orientation 30, disposition 134. « Développer la prise en compte du risque d'inondation pour les projets situés en zone inondable »

  L'ensemble des infrastructures sera mis hors d'eau jusqu'à la cote de crue centennale + 20 cm. D'autre part, chaque ouvrage a fait l'objet d'une compensation systématique des volumes soustraits à la crue et a fait l'objet d'une analyse des incidences en lit mineur et lit majeur par une modélisation hydro-dynamique (objet du présent rapport) ;

- Orientation 31, disposition 139. « Compenser les remblais autorisés permettant de conserver les conditions d'expansion des crues »

  Bien qu'on ne puisse pas considérer, compte tenu du caractère très urbanisé du secteur du projet, que les zones actuelles d'expansion des crues sont des zones « naturelles », le projet s'attache à compenser systématiquement les remblais ou espaces pris à la crue (gares et ouvrages annexes mis hors d'eau), ceci afin de conserver les conditions actuelles d'expansion des crues.

Révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands

Le SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands est en cours de révision. Pour réviser le SDAGE, le Comité de bassin a d'abord élaboré un «état des lieux», approuvé en décembre 2013, permettant de délimiter les masses d'eau du bassin Seine et cours d'eau côtiers normands, de réévaluer leur état et d'identifier les sources de pollutions à l'origine de leur dégradation. Cet état des lieux a permis de mettre en avant les principaux enjeux de la gestion de l'eau à l'horizon 2021, c'est-à-dire les facteurs empêchant d'atteindre les objectifs demandés par la Directive Cadre sur l'Eau.

La révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands et l'élaboration du plan de gestion des risques d'inondation PGRI font l'objet conformément au code de l'environnement d'une consultation du public du 19 décembre 2014 au 18 juin 2015 dans les préfectures et au siège de l'Agence de l'Eau. Il est prévu d'entrer en vigueur au 1er janvier 2016.

Le défi 8 du projet de SDAGE 2016-2021 traite du volet « inondation », ses dispositions sont articulées avec la mise en œuvre de la directive inondation (et notamment du PGRI).

La figure suivante présente de manière synthétique le projet des orientations et dispositions du défi 8.

Le projet d'infrastructure détaillé dans le présent rapport est compatible avec le SDAGE en vigueur et conforme à la réglementation en vigueur (PPRI notamment).

En fonction des dispositions qui seront in fine approuvées du SDAGE révisé, le projet s'attachera à les intégrer.

Dès à présent, le projet est cohérent avec la principale disposition concernée, la disposition D8.140. « Eviter, réduire, compenser les installations en lit majeur des cours d'eau » (1.D1 et 1.D.2 du PGRI) :

« Les aménagements dans le lit majeur des cours d'eau doivent satisfaire un principe de neutralité hydraulique : ils ne doivent pas aggraver le phénomène d'inondation et ses impacts potentiels en amont et en aval. De plus, ces aménagements ne doivent pas compromettre les capacités d'expansion des crues.

Pour satisfaire ce principe une réflexion doit être menée sur l'implantation des aménagements et leur conception.

S'il n'est pas possible d'éviter l'implantation de ces aménagements dans le lit majeur des cours d'eau, leurs impacts sur l'écoulement des crues doivent être réduits.

Les impacts de ces aménagements qui ne pourraient pas être réduits font l'objet de mesures compensatoires permettant de restituer intégralement au lit majeur du cours d'eau les surfaces d'écoulement et les volumes de stockage soustraits.

Les compensations doivent intervenir par restitution de volumes et de surface à partir de la cote du pied de remblai. Le déblai d'un volume de matériaux en dessous de la cote du pied de remblais ne permet pas de satisfaire l'objectif de restitution de volumes et de surfaces d'écoulement.

Afin de garantir l'efficience des mesures compensatoires, il est recommandé de les regrouper sur un même site à proximité des projets d'aménagement.

La recherche de compensations des impacts hydrauliques doit être mobilisée en dernier recours. »

Ainsi, le projet s'attache à compenser systématiquement les remblais ou espaces pris à la crue (gares et ouvrages annexes mis hors d'eau), ceci afin de conserver les conditions actuelles d'expansion des crues.

De plus, la neutralité hydraulique a été évaluée avec la modélisation hydrodynamique en lit mineur et en lit majeur, pour l'ensemble des ouvrages concernés.

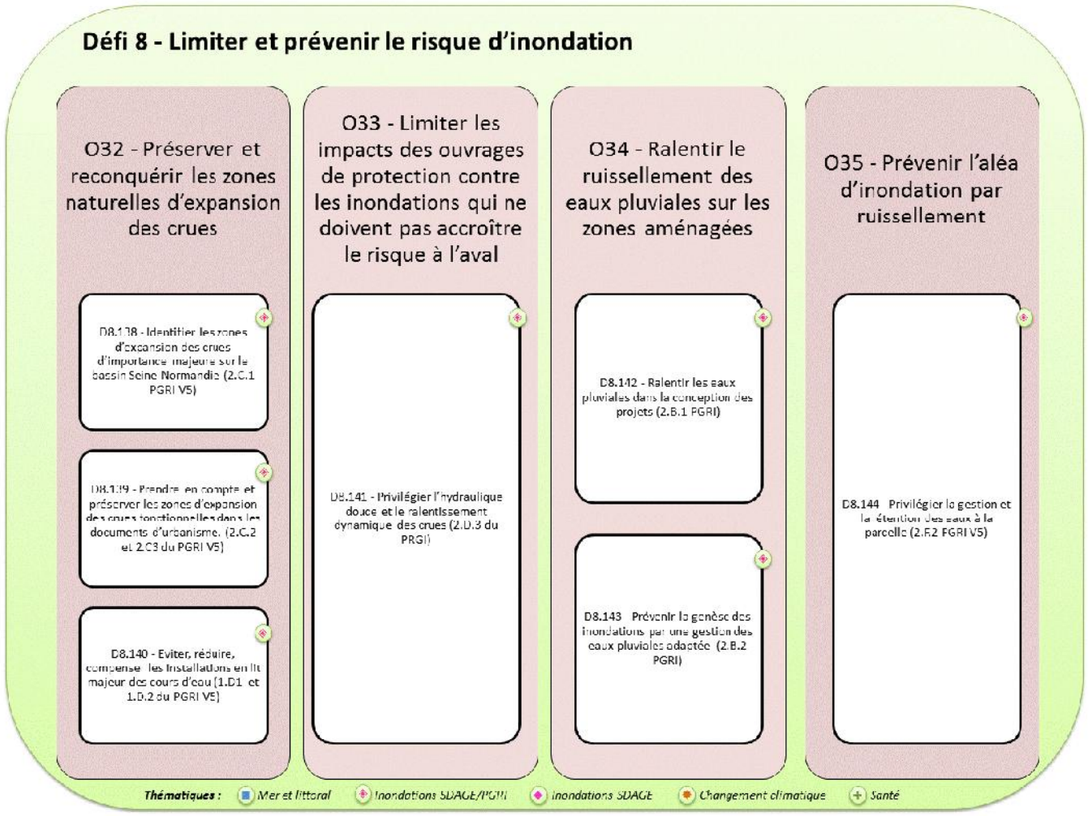


Figure 8 : Projet des orientations et des dispositions du défi 8 de la révision du SDAGE du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands.

3.7 Crues exceptionnelles

3.7.1 Descriptifs des zones inondées en fonction de la crue exceptionnelle simulée

3.7.1.1 Crue R1.15 (occurrence d'environ 500 ans)

La crue R1.15, d'occurrence d'environ 500 ans, correspond à la crue de 1910 multiplié par un facteur de 1,15. Cette crue inonde les lits majeurs droit et gauche de la Seine ainsi que l'Ile Saint Germain. L'Ile Seguin est, quant à elle, seulement inondée au niveau de sa pointe aval.

Les ouvrages inondés par cette crue sont : l'OA ile de Monsieur, la gare de Pont de Sèvres, l'OA ZAC SEAM et l'OA Place de la Résistance. Cette crue n'atteint pas la gare d'Issy RER.

Les vitesses d'écoulement observées en lit majeur sont majoritairement faibles (inférieures à 0,2 m/s). Des vitesses modérées apparaissent au droit de l'Ile Saint Germain et en aval du pont de Sèvres. Les hauteurs de submersion varient entre 0 et 2 m.

3.7.1.2 Crue extrême (crue millénale)

La crue millénale inonde les lits majeurs droit et gauche de la Seine ainsi que l'Ile Saint Germain. L'Ile Seguin est, quant à elle, seulement inondée au niveau de sa pointe aval.

Les ouvrages inondés par cette crue sont : l'OA ile de Monsieur, la gare de Pont de Sèvres, l'OA ZAC SEAM et l'OA Place de la Résistance. Cette crue atteint la limite de l'emprise chantier de la gare d'Issy RER.

Les vitesses d'écoulement observées en lit majeur sont majoritairement faibles (inférieures à 0,2 m/s). Des vitesses modérées à fortes apparaissent au droit de l'Ile Saint Germain et en aval du pont de Sèvres. Les hauteurs de submersion sont élevées et dépassent souvent les 2 m.

3.7.2 Présentation des résultats

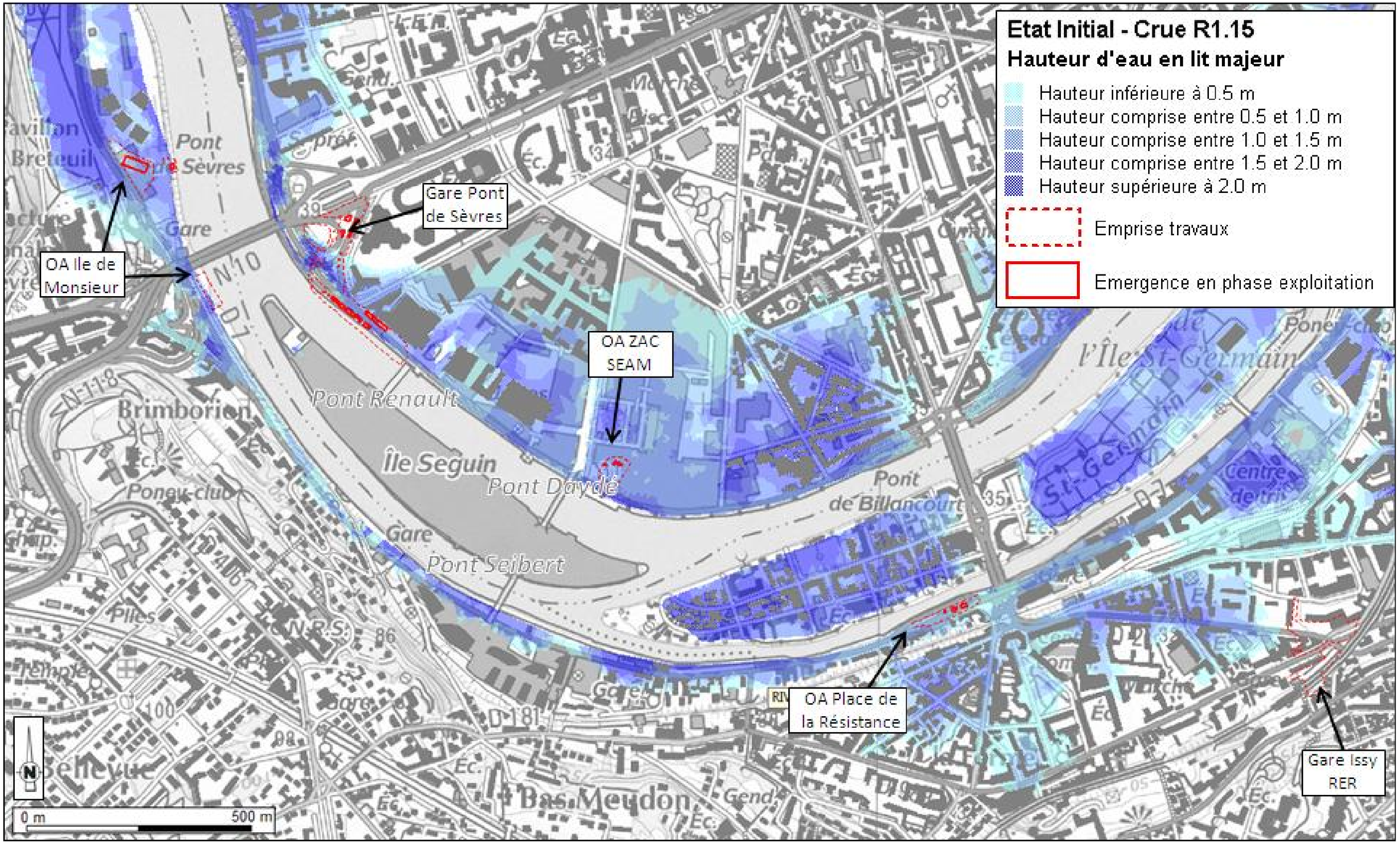
Le tableau suivant récapitule les niveaux d'eau calculés pour chacune des crues exceptionnelles au droit des ouvrages de la ligne 15 Sud.

Tableau 45 : Niveaux d'eaux simulés au droit des ouvrages pour les crues exceptionnelles – Etat de référence

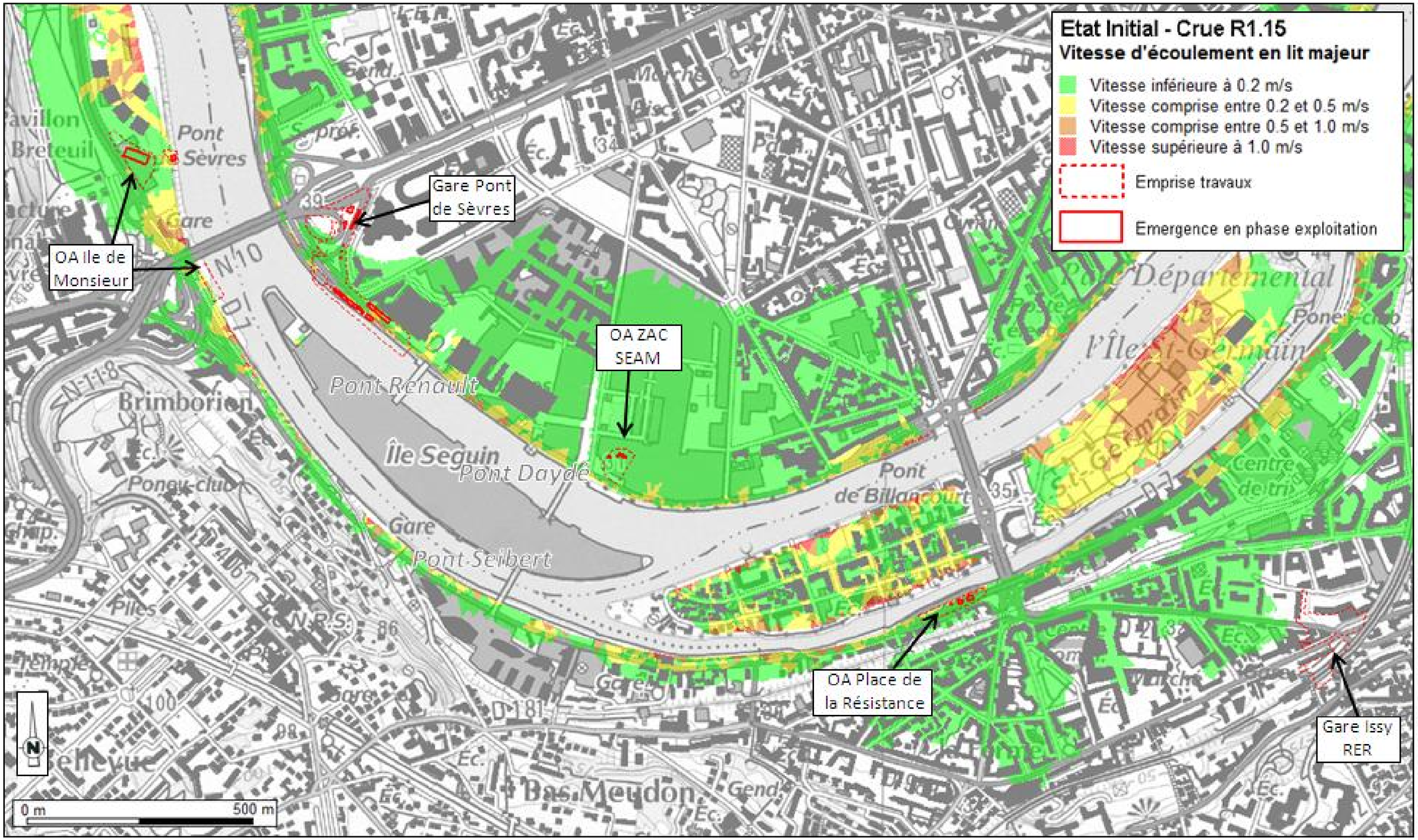
Ouvrage	Niveau d'eau simulé lors des crues exceptionnelles (m NGF)	
	R1.15	Q1000
OA Ile de Monsieur	31.92	32.13
Gare Pont de Sèvres	32.83	33.01
OA ZAC SEAM	32.03	32.27
OA Place de la Résistance	32.91	33.20

Les cartographies des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement en lit majeur obtenues par la simulation des crues extrêmes pour l'état initial sont présentées pages 81 à 84.

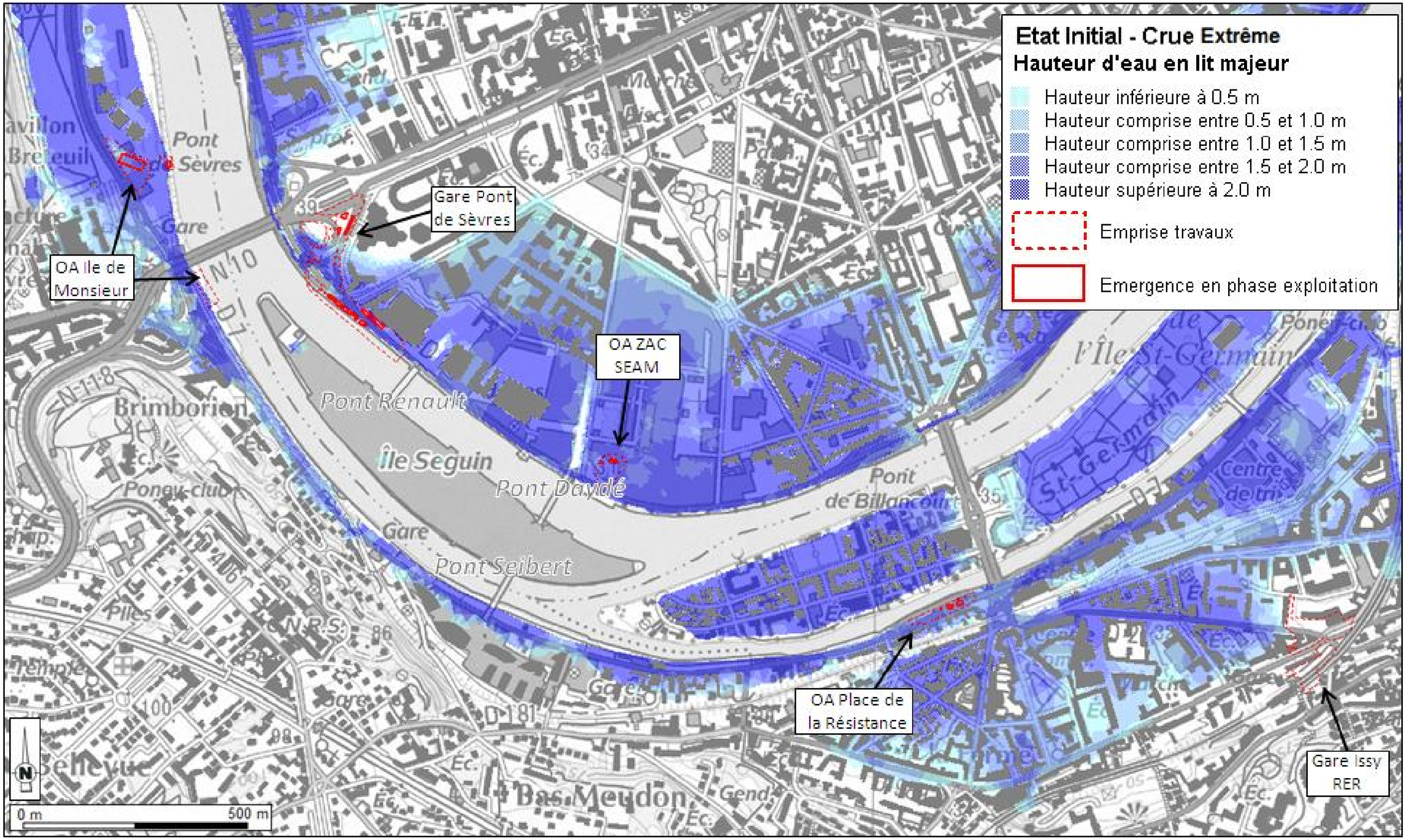
Les cartographies des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement en lit majeur obtenues par la simulation des crues extrêmes pour la phase exploitation sont présentées pages 85 à 89.



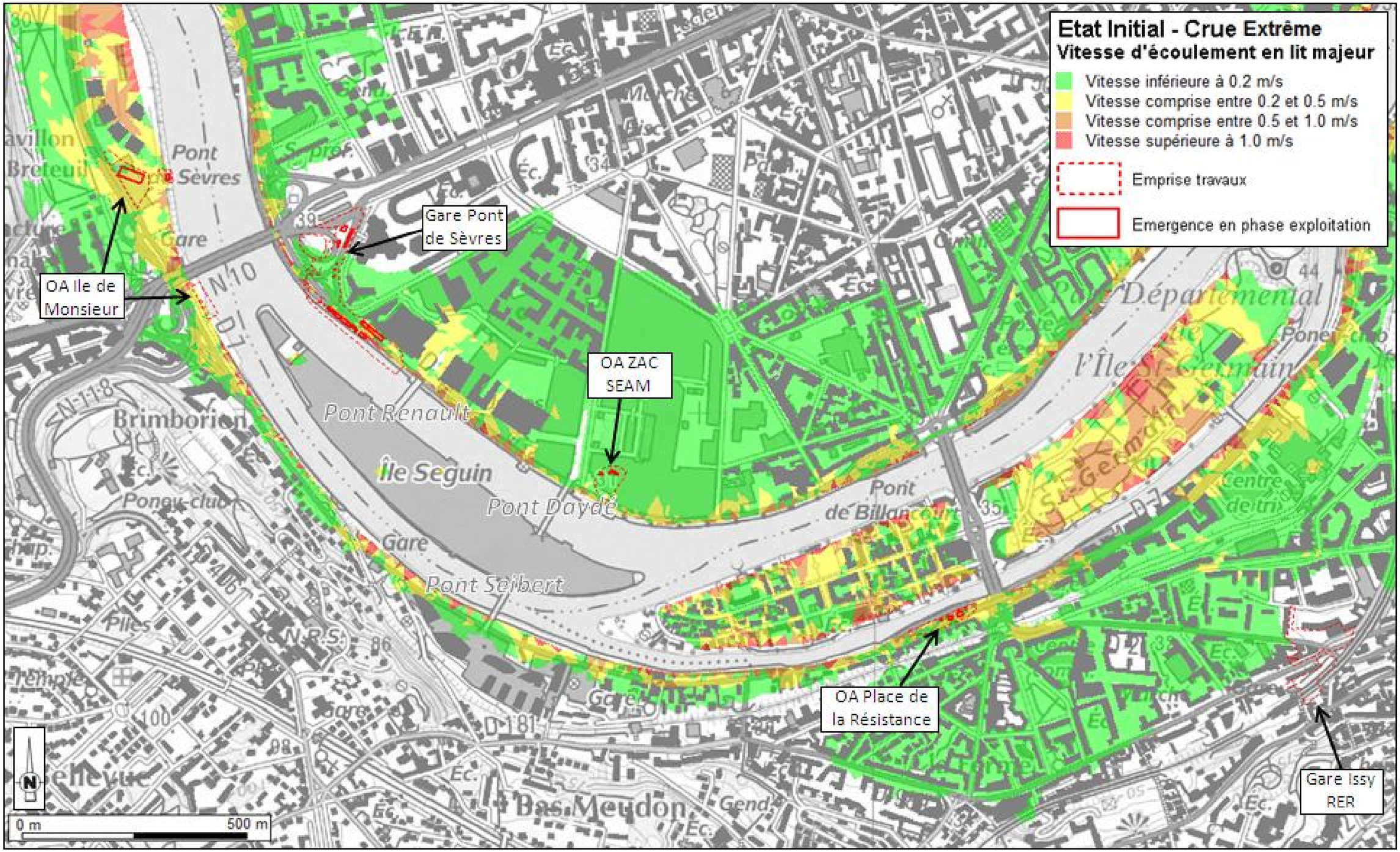
Carte 147 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue R1.15



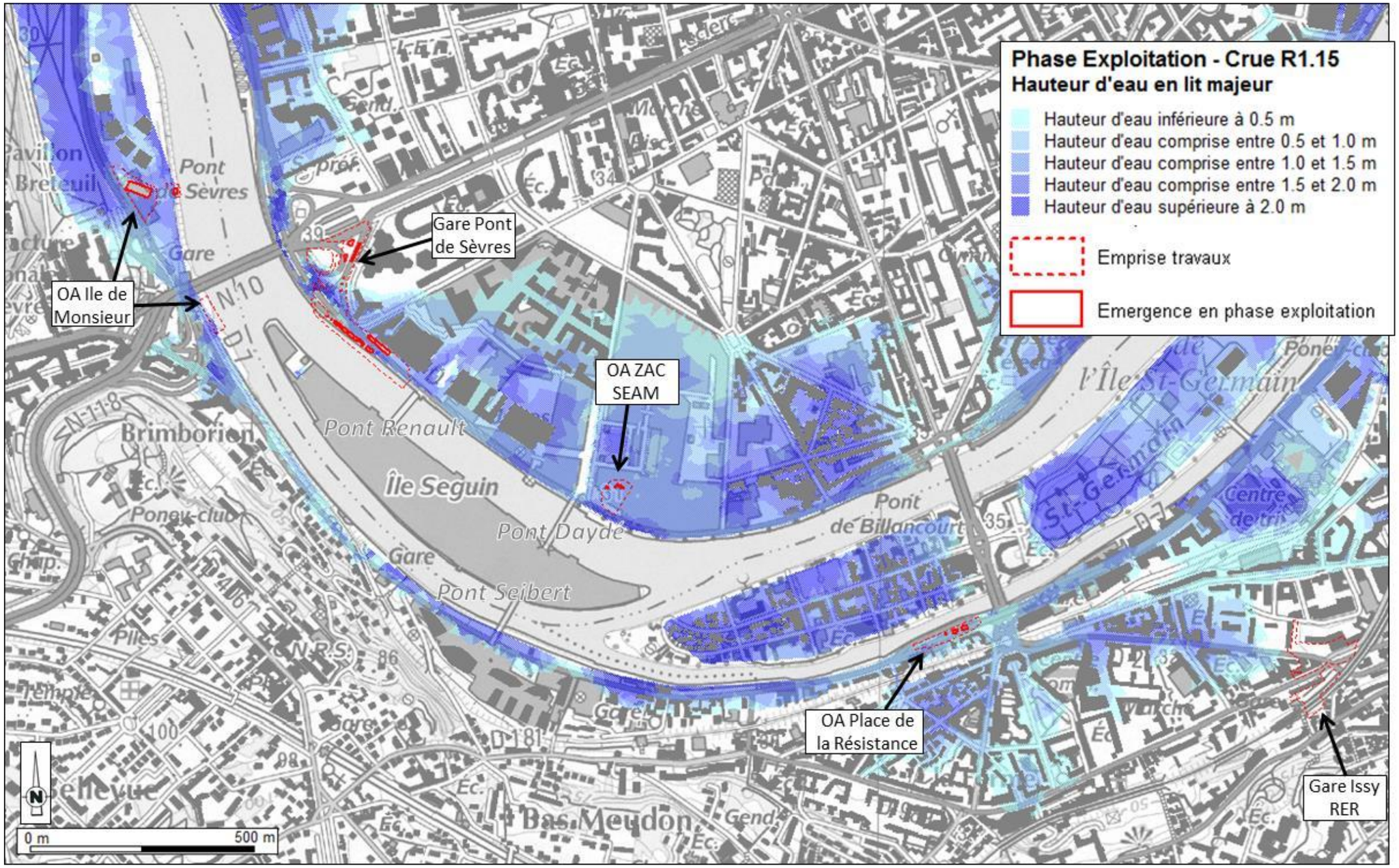
Carte 148 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue R1.15



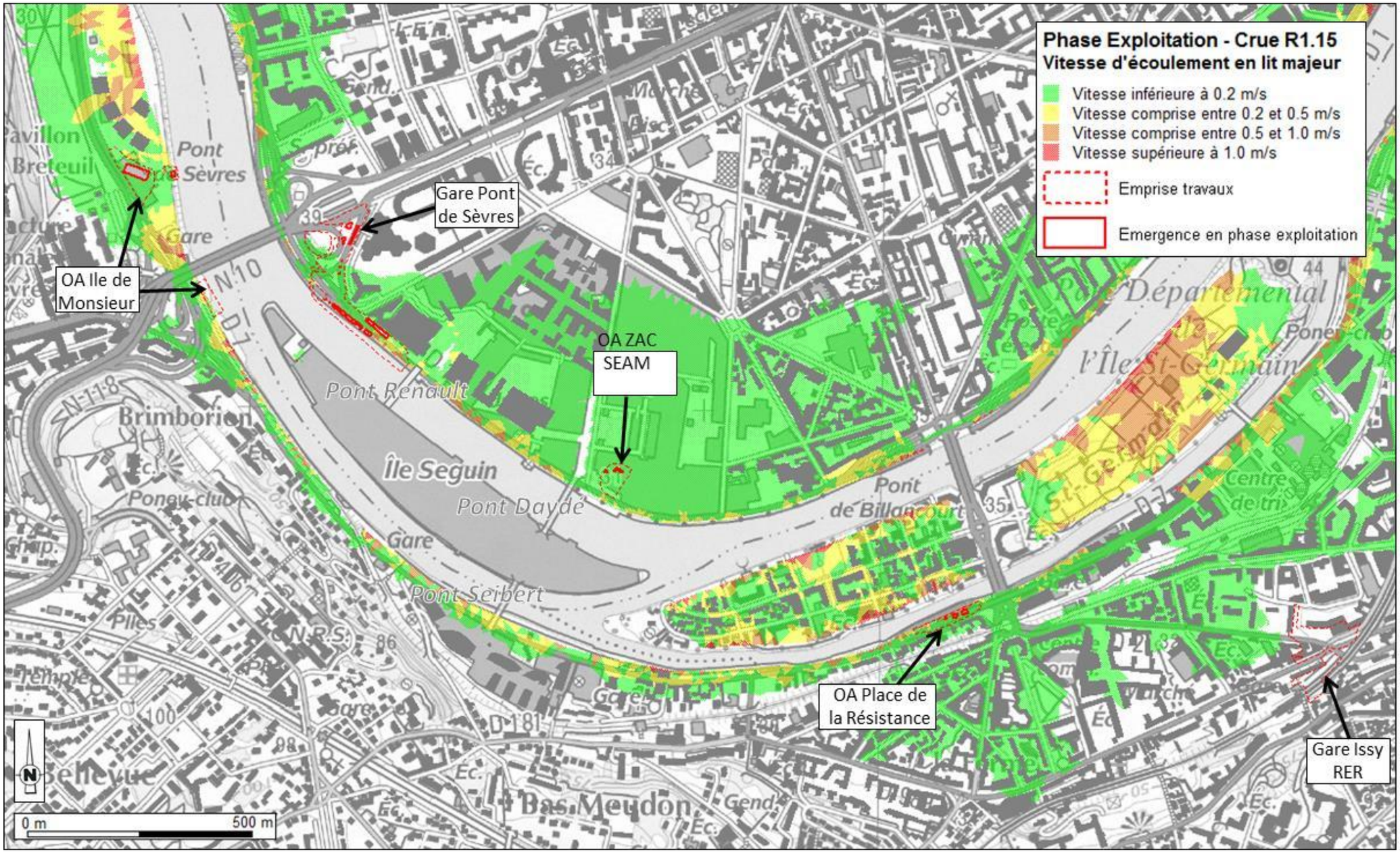
Carte 149 : Etat initial – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue extrême



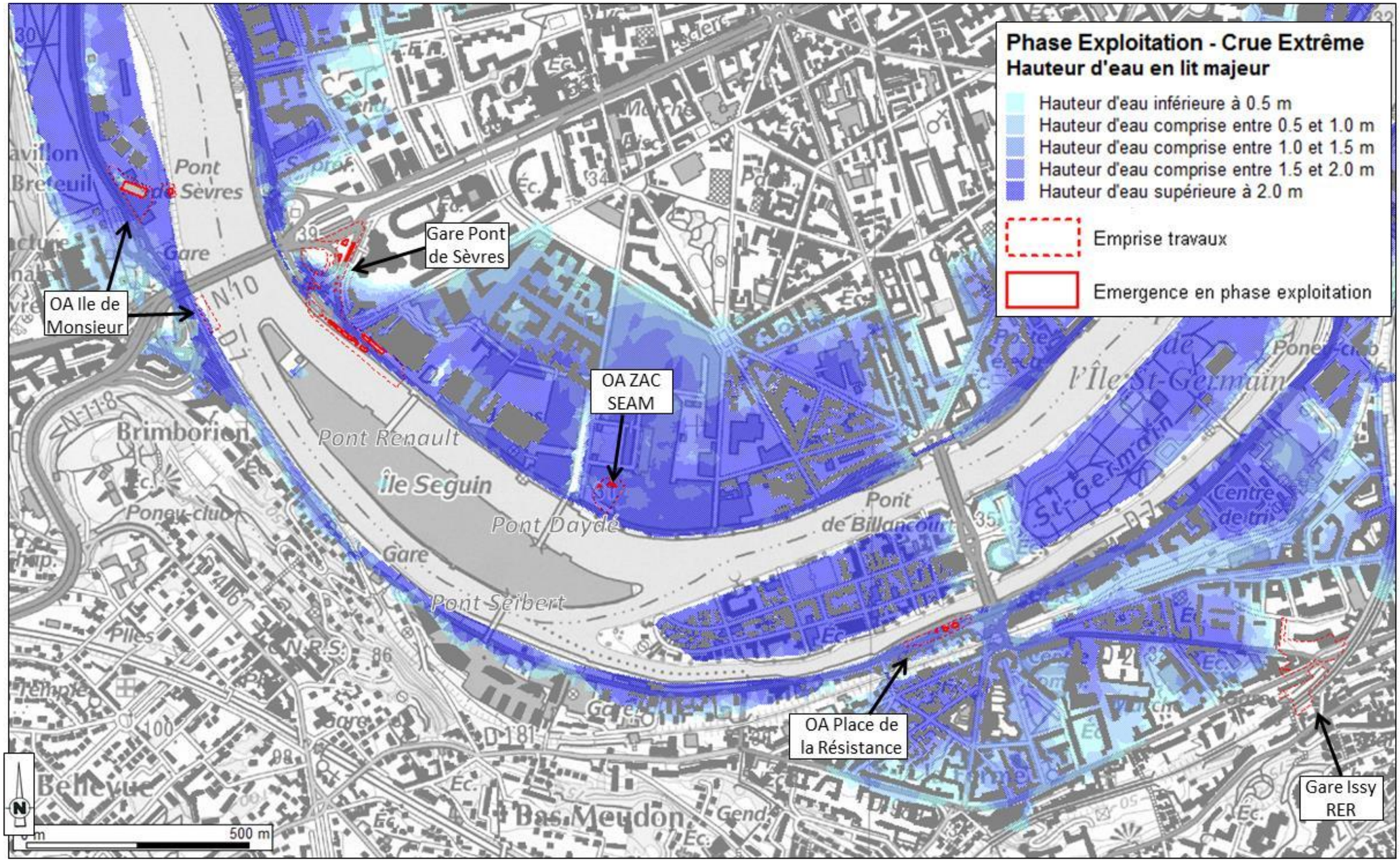
Carte 150 : Etat initial – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue extrême



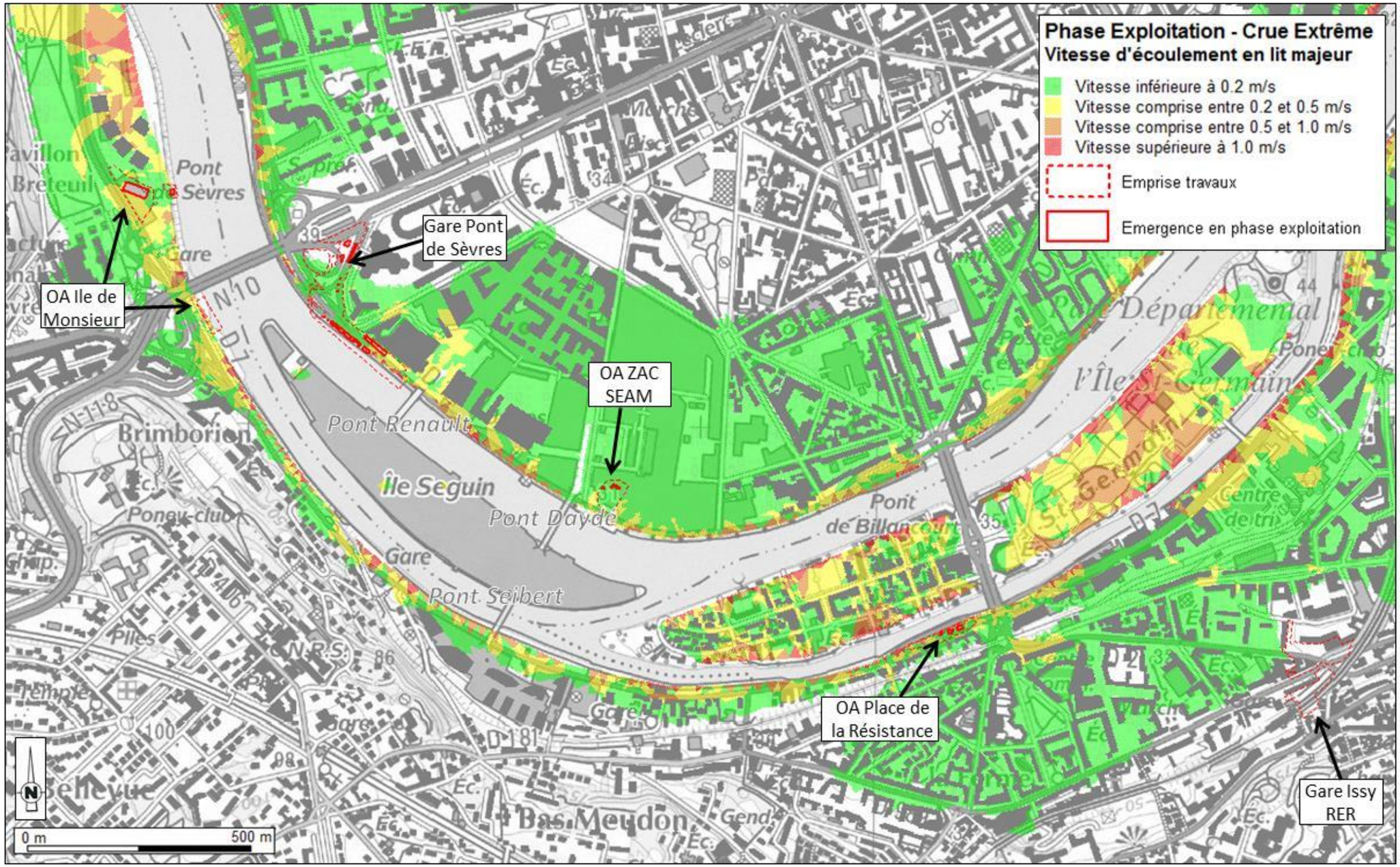
Carte 151 : Phase exploitation – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue R1.15



Carte 152 : Phase exploitation – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue R1.15



Carte 153 : Phase exploitation – Hauteur d'eau en lit majeur – Crue extrême



Carte 154 : Phase exploitation – Vitesses d'écoulement en lit majeur – Crue extrême

4 Annexe 4 : Gestion des eaux souterraines – Modélisation hydrogéologique de la boucle de Boulogne-Billancourt (92)

4.1 Résumé et auteurs de l'étude

4.1.1 Résumé

Dans le cadre de l'étude d'impact (phase 2) de la Ligne 15 sud (Pont de Sèvres – Noisy-Champs) du projet de métro du Grand Paris, les incidences hydrogéologiques du projet ont été étudiées spécifiquement pour le secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt, du fait de la présence d'un aquifère à très forte productivité et de la proximité de la Seine, hydrauliquement connectée à cet aquifère. La Société du Grand Paris, responsable de la mise en œuvre du projet du Grand Paris, a choisi le bureau d'études Burgeap afin de réaliser un modèle hydrogéologique visant à décrire le fonctionnement hydrodynamique de ce secteur et à évaluer les impacts du projet.

A cet effet, une modélisation du secteur avait été effectuée en 2013, aboutissant à une première estimation de l'incidence du projet sur les niveaux de nappe. Depuis, des modifications apportées au projet de la Ligne 15 Sud – en particulier sur l'emprise et la profondeur des gares – ainsi que la disponibilité de nouvelles données sur l'environnement proche ont rendu nécessaire une reprise du modèle pour nouvelle évaluation des impacts hydrogéologiques.

Ce rapport présente les différentes étapes de conception et de calage du modèle révisé au début de l'année 2015, les simulations réalisées avec ce dernier et les résultats obtenus. Le modèle a été calé en régime permanent et en régime transitoire sur la base des dernières données disponibles. Au final, le modèle mathématique permet de calculer les impacts par différence entre des piézométries de référence restituées (état sans projet) et différentes simulations du projet dans des contextes hydrauliques variés.

Deux types d'impact sur les eaux souterraines ont été étudiés :

- l'impact lié au pompage en phase chantier, nécessaire lors de la construction des gares, et ce afin de maintenir les chantiers au sec,

- l'impact en phase définitive du tunnel et des gares : cet impact résulte de la perturbation des écoulements souterrains par la présence du tunnel et des gares.

Les résultats des simulations effectuées à partir du modèle calé montrent que les impacts de la mise en place du tronçon de la Ligne 15 Sud du projet de métro, sur le secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt, seraient les suivants :

- au cours de la phase chantier de construction des gares : abaissement des niveaux de nappe de l'ordre de 20 cm à 30 cm au maximum, à proximité immédiate des infrastructures projetées, selon les hypothèses considérées.

  Les impacts piézométriques, en phase chantier, à l'échelle de l'ensemble de la boucle de Boulogne sont de l'ordre de 10 à 20 cm ; ces impacts sont donc faibles et ne sont pas de nature à avoir des conséquences quantitatives, en l'état actuel, sur les forages exploitant l'aquifère ;

- en phase définitive, après mise en place des infrastructures : hors période de crue, impact piézométrique centimétrique lié à la présence des gares et impact de la présence du tunnel quasi-nul.

  En période de crue, la présence des infrastructures (gares et tunnel) a pour conséquence d'augmenter l'amplitude de l'onde de crue transmise dans l'aquifère. Toutefois, cette augmentation n'est pas significative : au maximum, pour la crue de récurrence 50 ans, l'augmentation de l'onde de crue transmise dans l'aquifère est de l'ordre d'une dizaine de centimètres au droit des gares (soit augmentation au maximum de 3 % de l'amplitude de l'onde de crue) et de l'ordre du centimètre au droit du tunnel (soit augmentation de l'ordre de 0,4 % de l'amplitude de l'onde de crue).

  Ces impacts sont donc faibles et ne sont pas de nature à avoir des conséquences quantitatives, en l'état actuel, sur les forages exploitant l'aquifère, ni sur les infrastructures existantes dans le secteur étudié.

Il conviendra, au cours des phases d'étude ultérieures, de vérifier et de valider ou au contraire d'infirmer les hypothèses considérées dans cette étude, et notamment celles relatives aux caractéristiques et profondeurs des formations géologiques faiblement perméables (en l'occurrence la craie saine), susceptibles de limiter les débits d'exhaure en phase chantier (par l'ancrage des parois moulées dans cette formation), et donc les impacts associés. Ces hypothèses pourront notamment être vérifiées par la réalisation d'investigations in-situ adaptées.

D'après notre bonne connaissance du contexte et les nombreux retours d'expérience de réalisation de parois moulées dont nous disposons dans la boucle de Boulogne-Billancourt, les impacts évalués dans le cadre de la présente étude ne devraient pas changer significativement, si un ancrage suffisant des parois moulées dans la craie peu perméable est assuré. En effet, l'impact est très peu dépendant de l'épaisseur ou de la perméabilité de la craie perméable, mais est surtout dépendant de la hauteur d'ancrage des parois moulées dans la craie saine.

Enfin, on remarquera qu'à la différence de la version initiale de 2013, le nouveau modèle utilisé prend en compte l'important projet de géothermie au droit de la ZAC du Trapèze à Boulogne-Billancourt (également nommé projet IDEX dans le texte). En effet, compte tenu de leur proximité avec la gare Pont de Sèvres, les forages de pompage et de réinjection de l'installation sont susceptibles d'impacter les sens d'écoulement et d'augmenter les gradients. Toutefois leur implantation et le volume de fonctionnement de l'installation ne sont pas connus précisément à ce jour. En conséquence, les cas de simulations ont été doublés de manière à présenter systématiquement les résultats par rapport à deux états de référence :

- l'état de nappe actuel sans projet IDEX (ou avec installation à l'arrêt),

- une nappe influencée par le fonctionnement de l'installation à son débit de pointe théorique de 1 500 m^3/h.

4.1.2 Auteurs de l'étude

Les contributeurs à la réalisation de cette étude sont présentés ci-dessous.

Tableau 46 : Contributeurs de l'étude

Directeur d'étude	Hugues THOMAS (BURGEAP)
Hydrogéologue modélisateur	Noémie NICOD (BURGEAP) Nicolas TRIBOUILLARD (CONSULTANT) Lionel SCHAPER (BURGEAP)
Expert hydrogéologue	Laurent PYOT (BURGEAP)
Relecteur qualité	Claude MICHELOT (BURGEAP)

4.2 Description de la zone d'étude et du projet

La boucle de Boulogne-Billancourt se situe dans la partie centrale du département des Hauts-de-Seine (92), en limite sud-ouest de la ville de Paris, et au sud du Bois de Boulogne. Cette boucle, délimitée par la Seine, représente environ 5 km de long sur 3,5 km de large. La boucle est urbanisée sur les trois-quarts de sa surface, et est occupée par le Bois de Boulogne au nord, quelques parcs et étangs ainsi que les hippodromes de Longchamp et Auteuil sur le quart restant.

La zone étudiée est représentée sur la Figure 9 suivante.

4.2.1 Hydrographie

Dans le secteur étudié, le réseau hydrographique est essentiellement composé par la Seine. Au niveau de la boucle, le niveau de la Seine est contrôlé, en amont, par le barrage du Port-à-l'Anglais, situé en amont de Paris (sur les communes d'Alfortville et de Vitry-sur-Seine) et, en aval, par le barrage de Suresnes (92).

Ainsi, entre Alfortville et Suresnes, hors période de crue, le niveau d'eau de la Seine est constant et imposé à la cote de 26,73 NGF IGN69 (retenue normale de la Seine), afin de permettre sa navigation.

Le Tableau 47 suivant présente les cotes de la Seine au droit des différents ponts présents sur la boucle de Boulogne pour les crues de Seine de référence : crue quinquennale, crue décennale et crue centennale.

Tableau 47 : Cotes (NGF IGN69) de Seine pour les crues de référence

	Crue quinquennale (1978)	Crue décennale (1982)	Crue centennale (1910)
Pont de Grenelle	30,10	30,58	32,55
Pont du Garigliano	29,83	30,35	32,16
Pont d'Issy	29,65	30,25	31,91
Pont de Billancourt	29,44	29,89	31,68
Pont de Sèvres	29,17	29,63	31,45
Pont de Saint Cloud	29,06	29,54	31,26
Passerelle de l'Avre	28,94	29,42	31,12
Pont de Suresnes	28,77	29,24	30,97

On notera également dans le secteur étudié la présence de quelques plans d'eau, notamment au droit du Parc Edmond de Rothschild et du Bois de Boulogne.

4.2.2 Géologie

Le secteur d'étude, à l'échelle régionale, est caractérisé par l'affleurement, dans le méandre de la Seine de Boulogne-Billancourt, de la craie sous les alluvions anciennes et récentes du fleuve, comme le montre la Figure 10. Cet affleurement, fruit de l'érosion par la Seine des terrains tertiaires, est appelé « boutonnière de Boulogne-Billancourt ».

Les alluvions récentes de la Seine s'étendent sur 700 m maximum en dehors du lit mineur de la Seine. Le cœur de la boucle est essentiellement recouvert d'alluvions anciennes.

La zone d'étude est localisée au nord de l'anticlinal de Meudon, qui affecte l'ensemble des couches tertiaires jusqu'à la craie du Secondaire, et dont l'axe est orienté globalement nord-ouest/sud-est. De fait, les couches géologiques tertiaires situées de part et d'autre de la boutonnière présentent un pendage significatif, de l'ordre de 1 %, orienté vers le nord-est. Du fait des processus d'érosion au cœur de la boucle, et de la présence de l'anticlinal de Meudon, les couches géologiques tertiaires n'apparaissent sous les alluvions que sur la partie nord de la boucle. Ces formations se biseautent en direction du sud.

La Figure 11 et la Figure 12 présentent des coupes géologiques schématiques, respectivement le long et en travers de la boucle de Boulogne.

La coupe géologique type de la boucle de Boulogne comprend, de haut en bas, les formations suivantes. Cette coupe résulte d'une synthèse géologique établie sur la base : des données de sondages réalisés par la SGP, des données de sondages disponibles auprès de la banque de données du sous-sol [2], des archives de BURGEAP [3], du Mémoire de Mégnien [6] et de la notice de la carte géologique de Paris au 1/25 000 [1] :

- remblais éventuels, sur une épaisseur variable,
- alluvions récentes ou modernes (Quaternaire), composées de limons sableux, parfois tourbeux, hétérogènes, sur une épaisseur pouvant atteindre 7 à 10 mètres environ,
- alluvions anciennes (Quaternaire), composées de sables et graviers, d'épaisseur maximale de l'ordre d'une dizaine de mètres environ,
- argiles plastiques (Sparnacien, Yprésien), épaisses d'une dizaine de mètres,
- marnes et calcaires de Meudon (Montien), caractérisés par des marnes crayeuses à argileuses, voire du calcaire grossier, d'une dizaine de mètres d'épaisseur au maximum dans le secteur étudié,
- craie blanche à silex (Crétacé), dont l'épaisseur totale est d'environ 300 m. Lorsque la craie est rencontrée sous les alluvions, sa partie supérieure est généralement fracturée sur une épaisseur de 10 à 20 m. Sous recouvrement tertiaire, l'épaisseur de fracturation de la partie supérieure de la craie se réduit. Sous cette frange de craie fracturée, la craie devient progressivement plus saine (de moins en moins fracturée).

Dans ce contexte, le seul horizon réellement très peu perméable rencontré correspond aux argiles plastiques, mais que l'on retrouve uniquement sur le périmètre de la boucle de Boulogne (formation en mauve sur la Figure 10).

Dans la boucle en elle-même, ces argiles ainsi que toutes les formations tertiaires ont été érodées, si bien que le tracé recoupera les formations du Crétacé (et les alluvions sus-jacentes) : l'horizon peu perméable constituant la limite inférieure de l'aquifère correspond à la craie saine. Les formations situées au-dessus des argiles plastiques, isolées par ces argiles des formations sous-jacentes et présentes uniquement en périphérie de la boucle de Boulogne, ne seront donc pas décrites ni étudiées (à l'exception des alluvions qui recouvrent les argiles plastiques dans le secteur nord de la boucle).

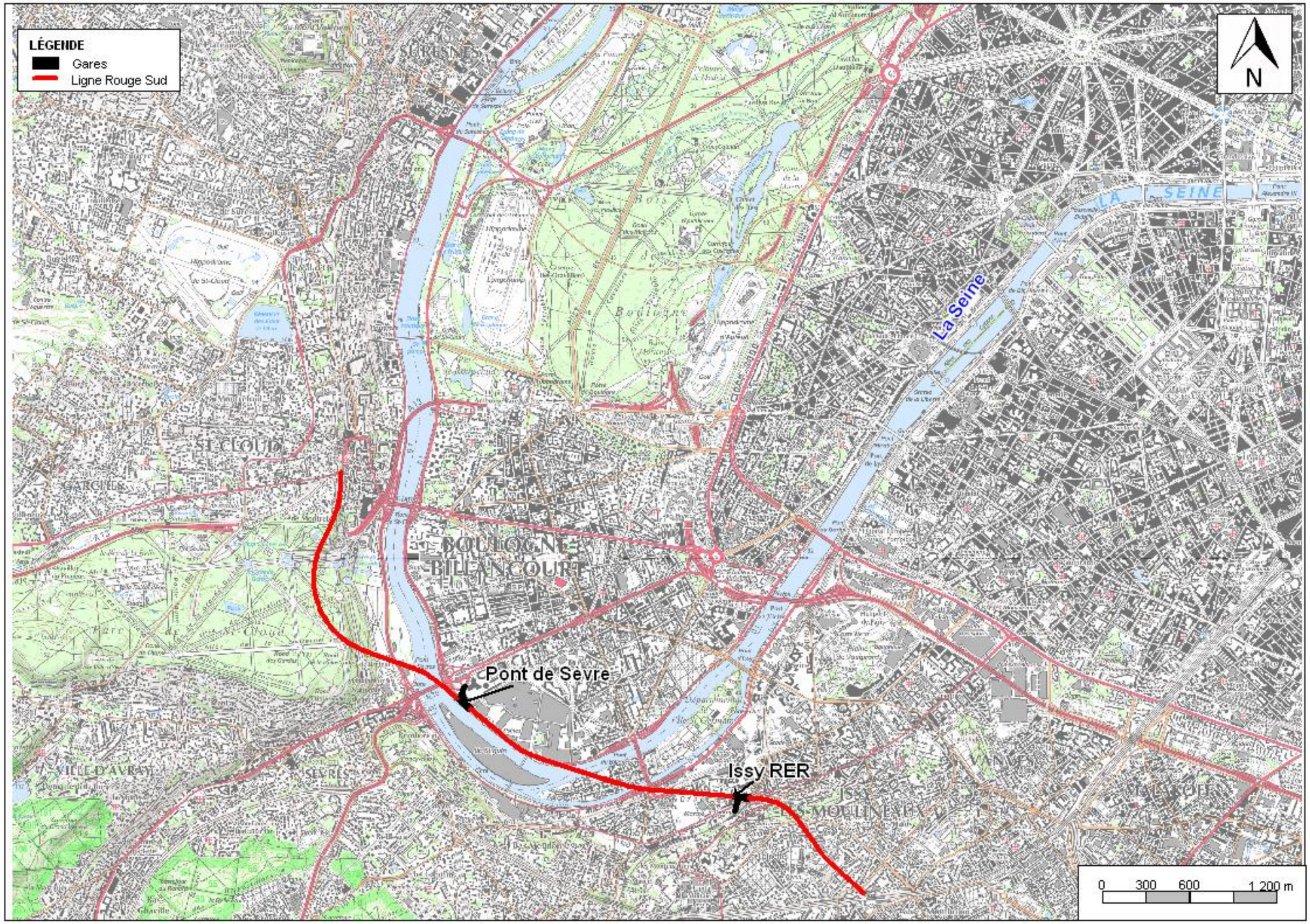


Figure 9 : Localisation du secteur d'étude

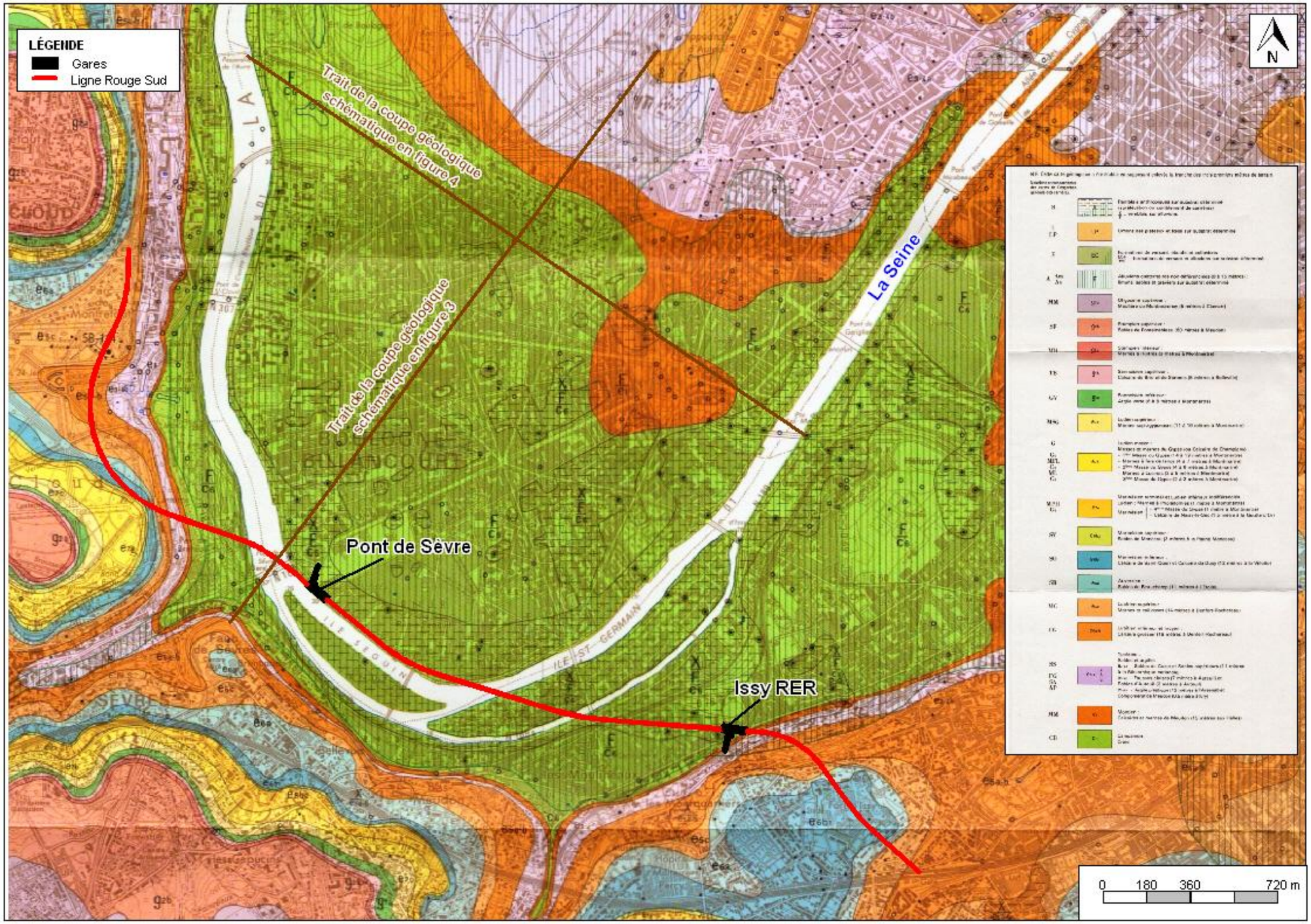


Figure 10 : Contexte géologique du secteur d'étude (extrait de la carte géologique au 1/25000 de Paris, BRGM [1])

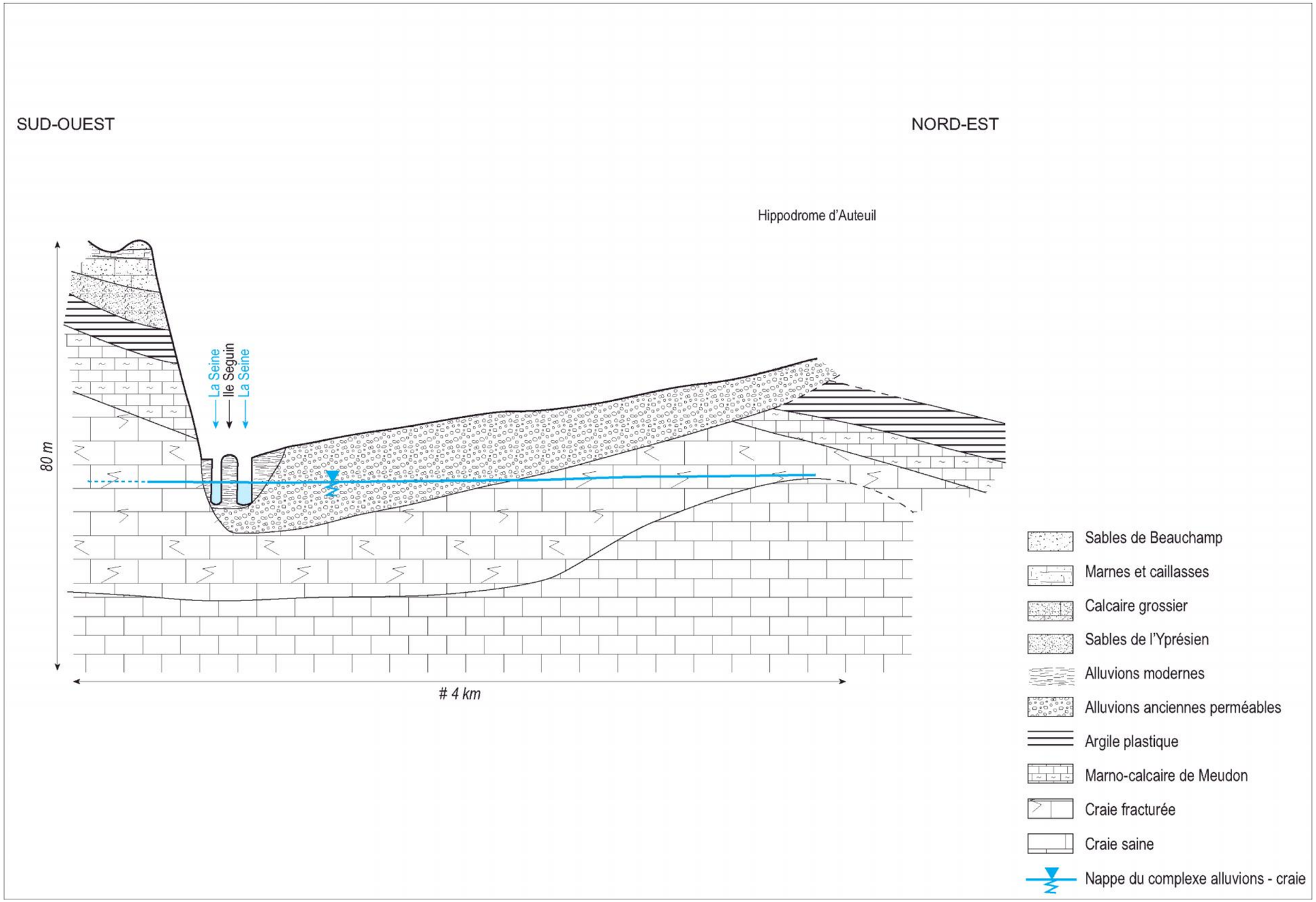


Figure 11 : Coupe géologique schématique le long de la boucle de Boulogne-Billancourt

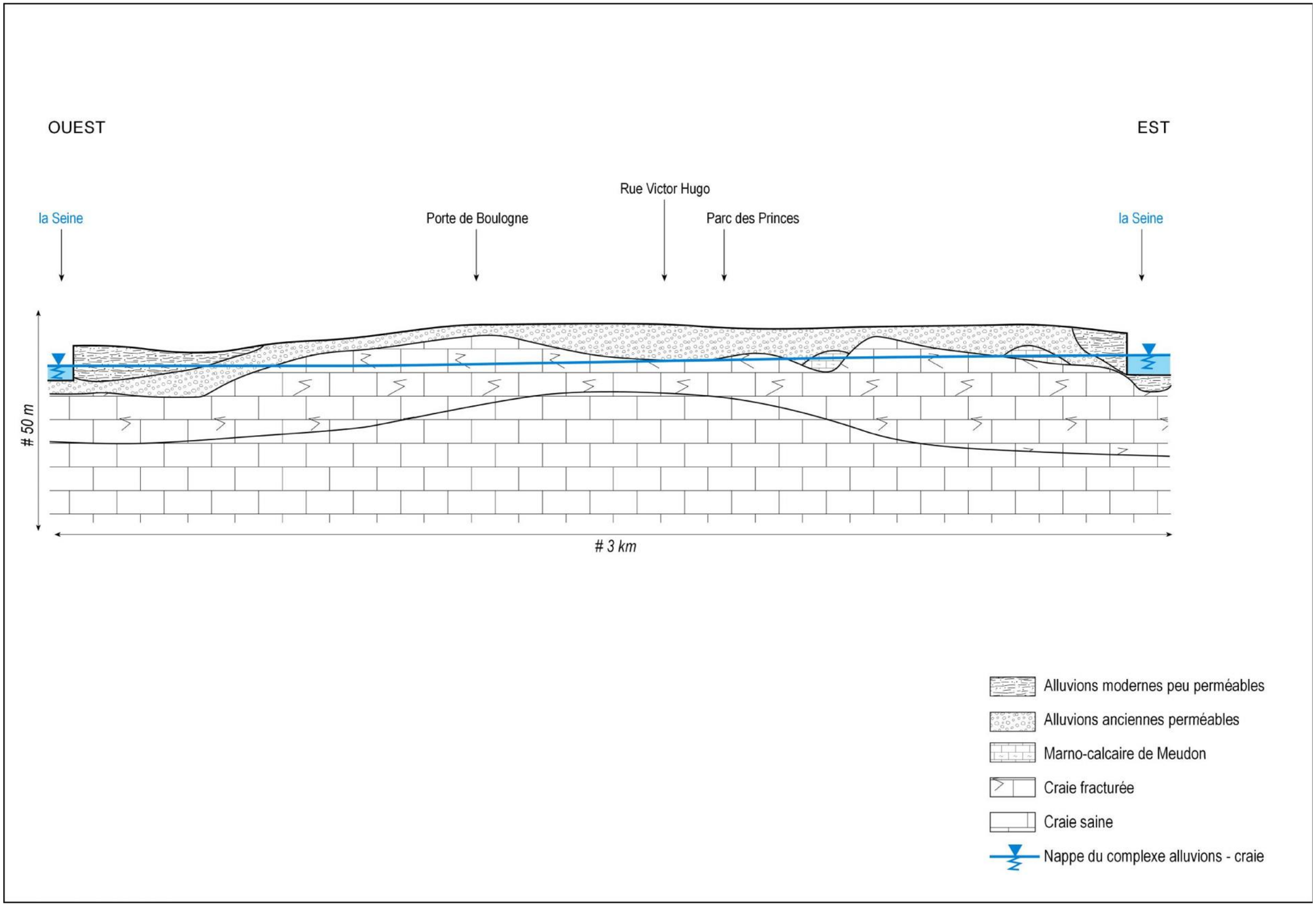


Figure 12 : Coupe géologique schématique en travers de la boucle de Boulogne-Billancourt

4.2.3 Hydrogéologie

Dans la série géologique présentée précédemment, on distingue essentiellement deux horizons aquifères constitués d'une part par les alluvions anciennes et d'autre part par la craie fracturée.

Localement, dans la partie nord de la boucle, ces deux aquifères sont séparés par les marno-calcaires de Meudon, également aquifères (lorsqu'ils existent) ou par l'ensemble constitué par les marno-calcaires de Meudon et les argiles plastiques.

Comme indiqué précédemment, sur la majeure partie de la boucle, les marno-calcaires et les argiles plastiques sont érodés et les alluvions reposent directement sur la craie fracturée, formant ainsi un seul aquifère bicouche.

On parle d'aquifère bicouche en raison des différences de lithologie et donc de type de perméabilité qui caractérise ces horizons : on parle de perméabilité d'interstice pour les alluvions anciennes sablo-graveleuses, tandis que la craie fracturée est caractérisée par une perméabilité de fractures. La fracturation de la craie, au droit de la boutonnière de Boulogne-Billancourt, diminue avec la profondeur, si bien qu'à partir de 30 à 40 m de profondeur, la craie devient de plus en plus saine (soit de moins en moins fracturée) et donc de moins en moins perméable. Ainsi, l'aquifère de la craie est limitée, en profondeur, vers 30 à 40 m de profondeur en ordre de grandeur.

L'aquifère bicouche des alluvions anciennes et de la craie est donc le siège de la nappe phréatique, que l'on appelle communément « nappe du complexe alluvions-craie ». Cette nappe, semi-captive sous les alluvions modernes, peu perméables, et libre dans le cœur de la boucle (en dehors des zones d'extension des alluvions modernes), est en relation hydraulique avec la Seine. Elle est considérée comme la nappe d'accompagnement de la Seine.

L'aquifère du complexe alluvions-craie est alimenté par la pluie utile s'infiltrant dans les terrains au droit de la boucle, ainsi que par la percolation en nappe des eaux souterraines contenues dans les formations tertiaires bordant la boutonnière crayeuse de Boulogne-Billancourt.

Théoriquement, en période d'étiage, la nappe alimente le fleuve, si bien qu'à l'état naturel, l'exutoire final de l'aquifère est constitué par la Seine. Par ailleurs, de manière transitoire, en cas de crue de Seine, c'est le fleuve qui réalimente la nappe (modification transitoire du gradient hydraulique entre la Seine et l'aquifère, inversant ainsi les sens d'écoulement). Les échanges entre la nappe alluviale et la Seine sont contrôlés par le colmatage des berges et du lit de la Seine, qui peut être naturel (dépôts de fines, de limons, …) ou anthropique (confortement des berges ou des quais).

Actuellement, il existe un certain nombre de pompages en nappe (voir paragraphe 4.2.3.4), exploitant l'aquifère du complexe alluvions-craie. De fait, l'ensemble de ces prélèvements constitue un second exutoire pour la nappe aquifère.

Du fait de l'existence de ces pompages en nappe, l'équilibre hydraulique naturel existant entre l'aquifère et la Seine est perturbé (voir paragraphe 4.2.3.1) : ainsi, le niveau piézométrique de l'aquifère du complexe alluvions-craie se situe, sur une portion importante de la boucle de Boulogne-Billancourt, nettement sous le niveau de la Seine et, en l'état actuel, c'est la Seine qui alimente la nappe sur cette portion, même en période d'étiage.

4.2.3.1 Piézométrie

Seulement peu de cartes piézométriques historiques ont été réalisées spécifiquement pour le secteur étudié. Citons notamment la carte hydrogéologique de Delesse [4] ou l'atlas hydrogéologique des nappes aquifères de la région parisienne [7] (cotes piézométriques ponctuelles uniquement).

Une carte piézométrique, issue des archives internes de Burgeap [3], présente également la piézométrie de la nappe du complexe alluvions-craie à fin 2004. Dans le cadre de la présente étude, cette carte a été mise à jour sur la base des mesures piézométriques suivantes :

- mesures piézométriques effectuées par Burgeap lors de différentes études dans le secteur de la boucle de Boulogne, entre 2004 et 2013 [3],
- mesures piézométriques effectuées par Burgeap dans les différents puits et piézomètres recensés dans le secteur, et accessibles, le 22 juillet 2013,
- mesures piézométriques le long tracée réalisées lors des missions de reconnaissance géotechnique menées par la SGP : dans le secteur modélisé, 28 sondages (dont 16 équipés en piézomètres) et 37 sondages (dont 17 équipés en piézomètres) ont respectivement été réalisés au cours des campagnes de mission G11 et G12.

Les Figure 13 et Figure 14 présentent respectivement les cartes piézométriques interprétatives de la nappe à fin 2004 et la mise à jour de celle-ci avec des données de la période 2004-2013, établies sur le secteur d'étude. Bien que l'ensemble des mesures ayant permis de réaliser la carte sur la période de 2004-2013 ne soient pas synchrones, et que certaines mesures piézométriques sont influencées par des opérations de pompage de nappe en phase chantier, nous considèrerons cette dernière carte comme la carte piézométrique actuelle de référence pour l'aquifère du complexe alluvions-craie.

Toutefois, sur le secteur du pont de Sèvres, on observe une dépression piézométrique occasionnée par des pompages de rabattement de nappe en phase chantier, dans le cadre du réaménagement de l'ensemble de ce secteur (anciennes usines Renault sur l'ile Seguin et le trapèze Renault). Ces pompages de nappe étant des opérations temporaires (phase chantier uniquement), nous n'avons donc pas cherché à représenter cette dépression piézométrique, qui atteint la cote 26,1 NGF (décroché de 0,6 m par rapport à la retenue du fleuve).

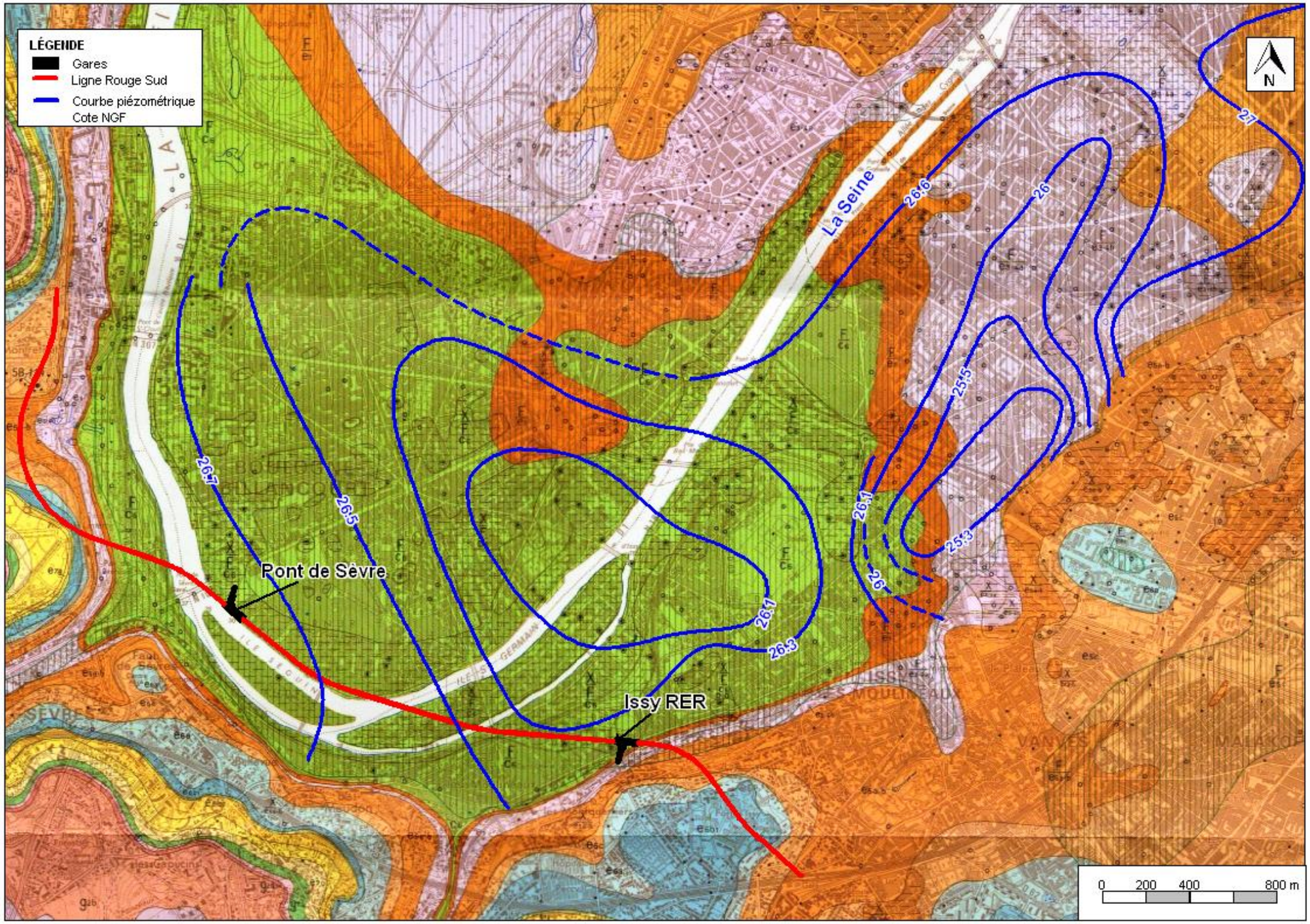


Figure 13 : Carte piézométrique de la nappe de la craie et des alluvions sur craie (archives de Burgeap [3]) – Fin 2004

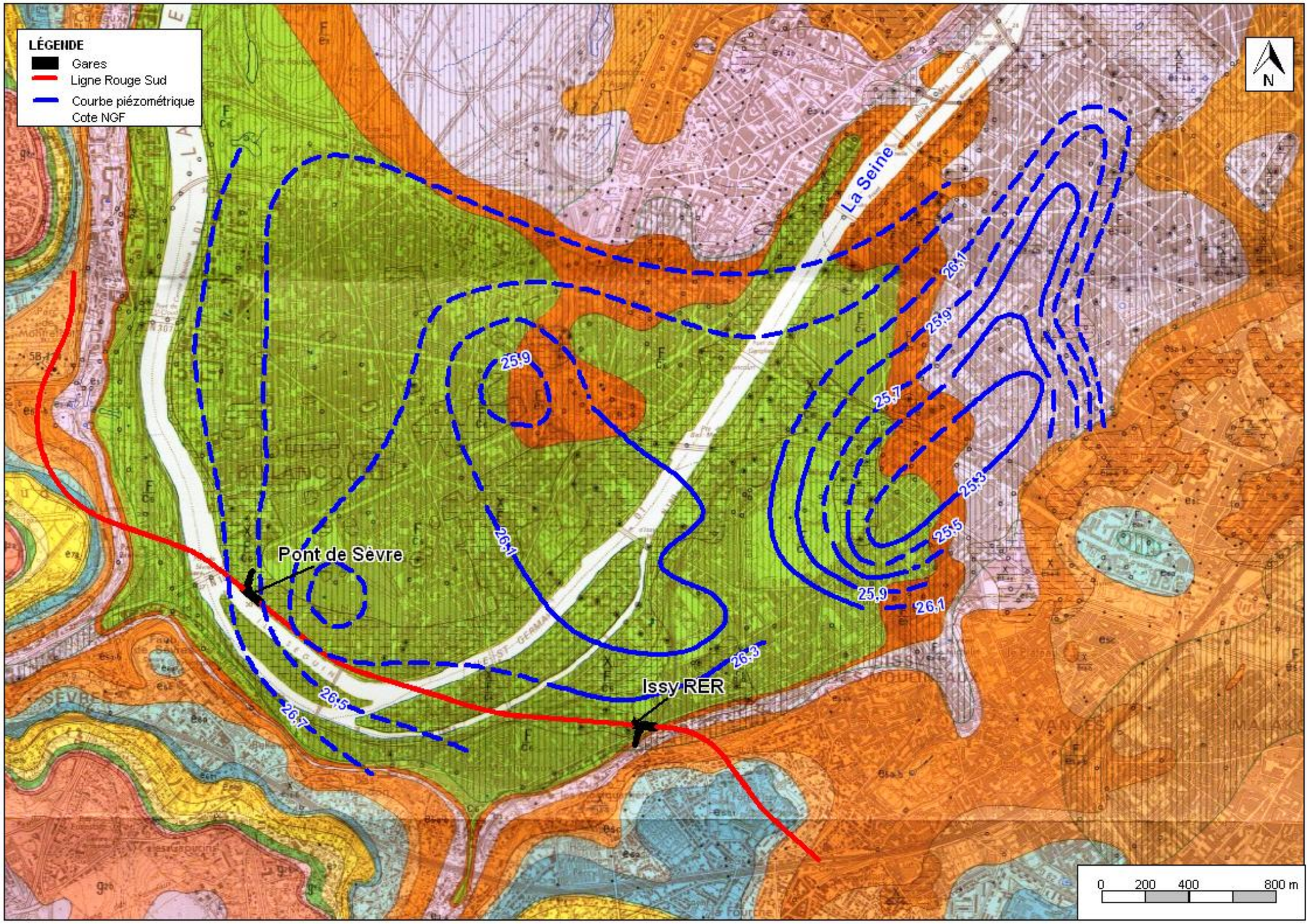


Figure 14 : Carte piézométrique de la nappe de la craie et des alluvions sur craie (interprétation des données internes [3] et d'une campagne piézométrique le 22/07/2013)
Période 2004 – 2013

On constate sur ces cartes que, globalement, le niveau de la nappe s'établit plus bas que le niveau de la Seine, sur la majeure partie de la boucle. Ainsi, dans cette situation, c'est la Seine qui réalimente la nappe. Cette observation met en évidence que la nappe n'est pas à son équilibre naturel (en situation naturelle, c'est-à-dire sans influence de pompage ou drainage, la nappe d'accompagnement d'une rivière est généralement drainée par celle-ci), mais est influencée par des prélèvements en nappe qui abaissent artificiellement son niveau.

Ainsi, à fin 2004, on observe deux dépressions piézométriques : une première dépression centrée sur le pont d'Issy (la densité des cotes de nappe disponibles pour l'établissement de cette carte ne permet pas de dire s'il s'agit d'une seule dépression « à cheval sur le fleuve » ou deux dépression distinctes), une seconde dépression dans le secteur du cimetière de Vaugirard – Palais des Sports dans le 15ème arrondissement de Paris.

Ces deux dépressions ont perduré et sont également observées sur la carte piézométrique de la période 2004-2013 : l'une globalement comparable à celle observée en 2004 dans le secteur du pont d'Issy et de Boulogne-Billancourt, et l'autre également centrée sur le secteur du cimetière de Vaugirard – Palais des Sports dans le 15ème arrondissement.

La dépression piézométrique dans le secteur du pont d'Issy atteint la cote 26,1 NGF sur les deux cartes piézométriques, ce qui représente un décroché de 0,6 m par rapport à la retenue du fleuve (26,73 NGF).

Nous ne disposons pas de mesures continues sur plusieurs années de l'évolution des niveaux piézométriques au droit même de la boucle de Boulogne, toutefois, nous avons recueilli dans nos archives [3], différentes chroniques piézométriques locales et sur des périodes plus ou moins longues : ces chroniques piézométriques montrent que le battement saisonnier de la nappe, hors évolutions pluriannuelles liées aux évolutions des prélèvements, est de l'ordre de 0,5 m.

Ainsi, compte tenu de ce faible battement saisonnier, nous ne ferons pas de distinction entre période de hautes eaux et période de basses eaux (hors période de crue).

4.2.3.2 Relation hydraulique entre la Seine et l'aquifère : transmission d'ondes de crue

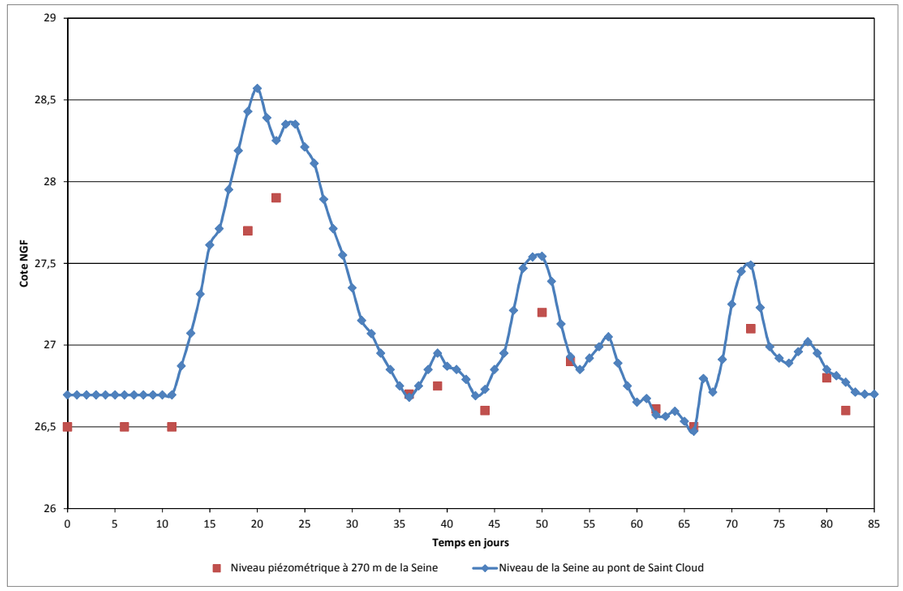
Lorsque le niveau de la Seine est affecté par une crue, les équilibres hydrodynamiques entre le cours d'eau et la nappe sont temporairement modifiés (augmentation du gradient entre le niveau de la Seine et le niveau de la nappe) et l'onde de crue de Seine se propage dans l'aquifère.

La propagation de l'onde de crue dépend du facteur de colmatage des berges et du lit de la Seine, qui peut varier le long du linéaire du cours d'eau, et des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère dans lequel l'onde se propage (ici l'aquifère du complexe alluvions-craie).

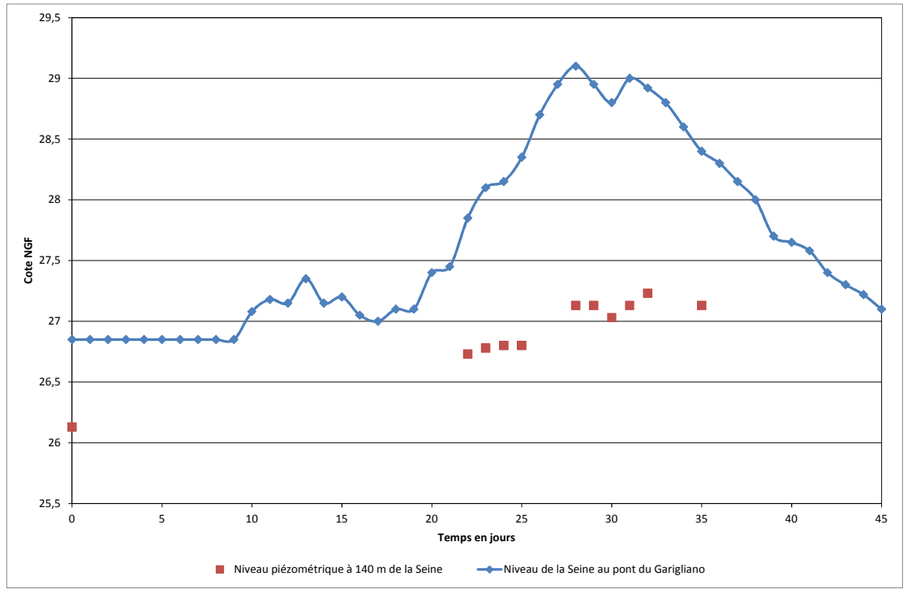
Au droit de la boucle de Boulogne-Billancourt, Burgeap a enregistré un certain nombre d'ondes de crue de Seine transmise dans l'aquifères [3] :

- onde de crue enregistrée au rond-point Rhin et Danube à Boulogne-Billancourt en 1995,
- onde de crue enregistrée près du parc André Citroën à Paris en 1995,
- onde de crue enregistrée entre le pont de Billancourt et le pont d'Issy (coté Issy-les-Moulineaux) en 2007,
- onde de crue enregistrée près du pont d'Issy (coté Issy-les-Moulineaux) en 2013.

Les graphiques suivants présentent le suivi du niveau de la Seine pour chacune de ces crues et, parallèlement, l'évolution des niveaux piézométriques.



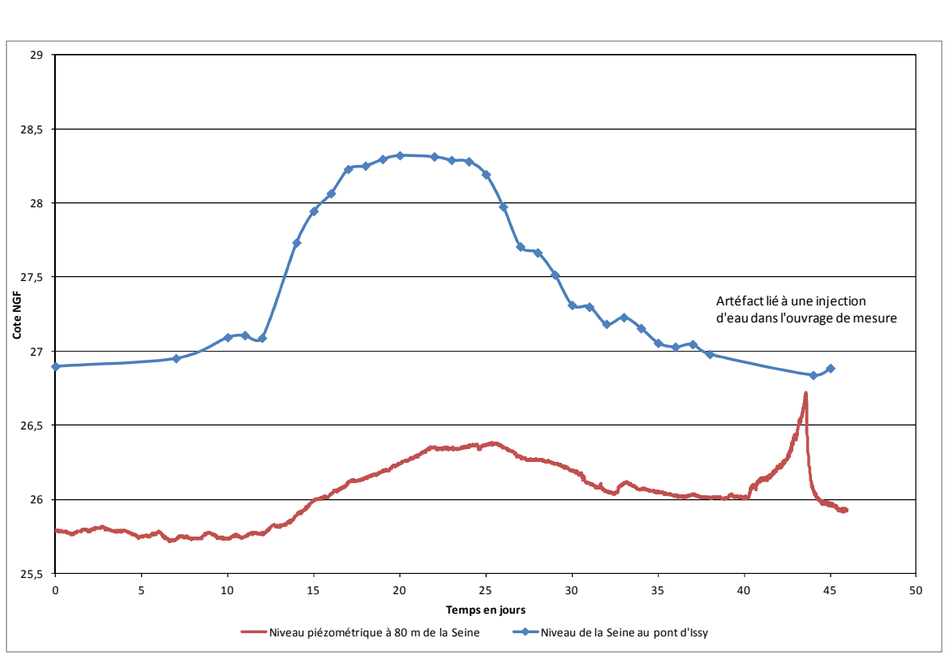
Graphique 54 : Transmission de l'onde de crue de Seine dans l'aquifère - Pont de Saint-Cloud (1995)



Graphique 55 : Transmission de l'onde de crue de Seine dans l'aquifère – Parc André Citroën (1995)



Graphique 56 : Transmission de l'onde de crue de Seine dans l'aquifère – Entre le pont d'Issy et le pont de Billancourt (2007)



Graphique 57 : Transmission de l'onde de crue de Seine dans l'aquifère – Pont d'Issy (2013)

4.2.3.3 Paramètres hydrodynamiques

Le Tableau 48 suivant présente les valeurs des paramètres hydrodynamiques correspondant aux différentes formations aquifères présentes dans le secteur étudié.

Ces valeurs sont issues d'une synthèse bibliographique, réalisée sur la base des archives de Burgeap (résultats d'essais de pompage, d'essais au micromoulinet, résultats de calage de modèle, …) [3] et du mémoire de Mégnien [6].

Tableau 48 : Synthèse bibliographique des paramètres hydrodynamiques des différentes formations géologiques

	Perméabilité horizontale ($m.s^{-1}$)	Perméabilité verticale ($m.s^{-1}$)	Coefficient d'emmagasinement en nappe libre (m^3/m^3)	Coefficient d'emmagasinement en nappe captive (m^3/m^3)	Porosité totale (%)
Alluvions modernes	1.10^{-5} à 5.10^{-6}	5.10^{-7}	5.10^{-2}	-	30
Alluvions anciennes	1 à 3.10^{-3}	1.10^{-4}	5.10^{-2} à 1.10^{-1}	8.10^{-4}	30
Argiles plastiques de l'Yprésien	6.10^{-5}	2.10^{-9}	5.10^{-3}	-	25
Marnes de Meudon	1 à 2.10^{-5}	1 à 2.10^{-6}	-	-	-
Craie perméable	$3,5.10^{-4}$ à 3.10^{-3}	$K_V = K_H$	1.10^{-2}	4.10^{-4}	40
Craie peu perméable	2.10^{-8} à 5.10^{-6}	$K_V = K_H$	1.10^{-3}	1.10^{-4}	40

On remarquera que, dans cet ensemble de formations géologiques, certaines sont bien connues et bien documentées, comme par exemple la craie ou les alluvions. À l'inverse, pour d'autres formations, les données bibliographiques (et notamment les valeurs de perméabilité) sont plus rares, comme c'est le cas pour les Argiles plastiques ou les Marnes de Meudon.

Un pompage d'essai mené pour le compte de la SGP au droit de la gare ISSY RER est d'ores et déjà disponible. La transmissivité de la craie a été déterminée entre 5,5 10^{-2} m2/s et 9.10^{-2} m^2/s suivant les piézomètres d'observation ce qui conduit à une perméabilité moyenne de craie comprise entre $4,5.10^{-3}$ m/s et $7,5.10^{-3}$ m/s. Ces valeurs confirment la très bonne perméabilité de la craie.

Il est possible toutefois que la perméabilité de la craie déterminée par pompage d'essai soit légèrement surestimée. En effet, le pompage d'essai a été réalisé dans un puits captant exclusivement la craie. Dans ce contexte très particulier, des phénomènes instantanés de drainance venant des alluvions anciennes sont susceptibles de réalimenter fortement la craie ce qui tend à sous-estimer la baisse de niveau d'eau dans la nappe suite au pompage. Par exemple,

en considérant que la transmissivité mesurée est plutôt représentative de l'ensemble alluvions et craie, la perméabilité moyenne des alluvions et de la craie serait comprise entre 2 et 4.10-3 m/s.

4.2.3.4 Prélèvements et usages des eaux souterraines dans la zone d'étude

Un inventaire des prélèvements et usages des eaux de la nappe superficielle a été établi sur la base des données suivantes :

- fichiers de l'Agence de l'Eau Seine Normandie [9],
- archives de Burgeap [3],
- données recueillies auprès de la police de l'eau,
- données fournies par la RATP [10].

Ces données ont été synthétisées sur la carte présentée en Figure 15.

Dans la boucle de Boulogne, les prélèvements en nappe sont essentiellement effectués pour la mise hors d'eau d'infrastructures souterraines (sous-sols de bâtiments ou lignes et gares RATP) ou pour l'alimentation en eau de dispositifs de géothermie (dispositifs de type pompage-réinjection essentiellement).

Il n'existe pas de prélèvement des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable dans la boucle de Boulogne.

Le prélèvement le plus important est celui de la station de Javel (113,5 m^3/h en moyenne sur l'année). Le débit total prélevé et recensé représente, dans le secteur d'étude, un débit moyen sur l'année de l'ordre de 375 m^3/h pour l'ensemble des pompages de mise hors d'eau des infrastructures.

Nous ne connaissons pas les débits prélevés par les dispositifs de géothermie sur nappe, mais il est vraisemblable que l'intégralité de ces débits est réinjecté en nappe, à l'exception du dispositif de géothermie de la Maison de la Radio, pour lequel les eaux pompées dans l'aquifère de la craie sont rejetées en Seine.

Les données reposent pour l'essentiel sur les déclarations des exploitants auprès de l'Agence de l'Eau et sur les données de la RATP. De fait, la liste des captages n'est probablement pas exhaustive, et il est probable que des prélèvements non déclarés exploitent la ressource aquifère.

Le représentant de la Police de l'Eau dans les Hauts-de-Seine nous a indiqué les caractéristiques générales de la future exploitation géothermique de la nappe de la craie réalisée pour la ZAC Seguin et porté par la société IDEX. Ce dispositif consiste en l'exploitation géothermique d'un réseau de chaleur, dans le quartier des anciennes usines Renault (ZAC du Trapèze et Ile Seguin), soit à proximité immédiate du tunnel et de la gare Pont de Sèvres. Le projet de géothermie prévoit l'exploitation de la nappe du complexe alluvions-craie à un débit de l'ordre de 1 500 m^3/h en pointe (pompage – réinjection).

Ce dossier porté par la société IDEX est en cours d'instruction, les données y afférentes ne sont pour l'instant pas publiques à notre connaissance.

Pour les simulations avec projet IDEX, nous avons représenté en fonction des renseignements disponibles (et donc de manière approximative) l'installation dans le modèle, avec :

- 4 forages de pompage 375 m^3/h implantés le long du quai Georges Gorse,
- 6 forages de rejet 250 m^3/h le long du la rue Yves Kermen et du cours Emile Zola.

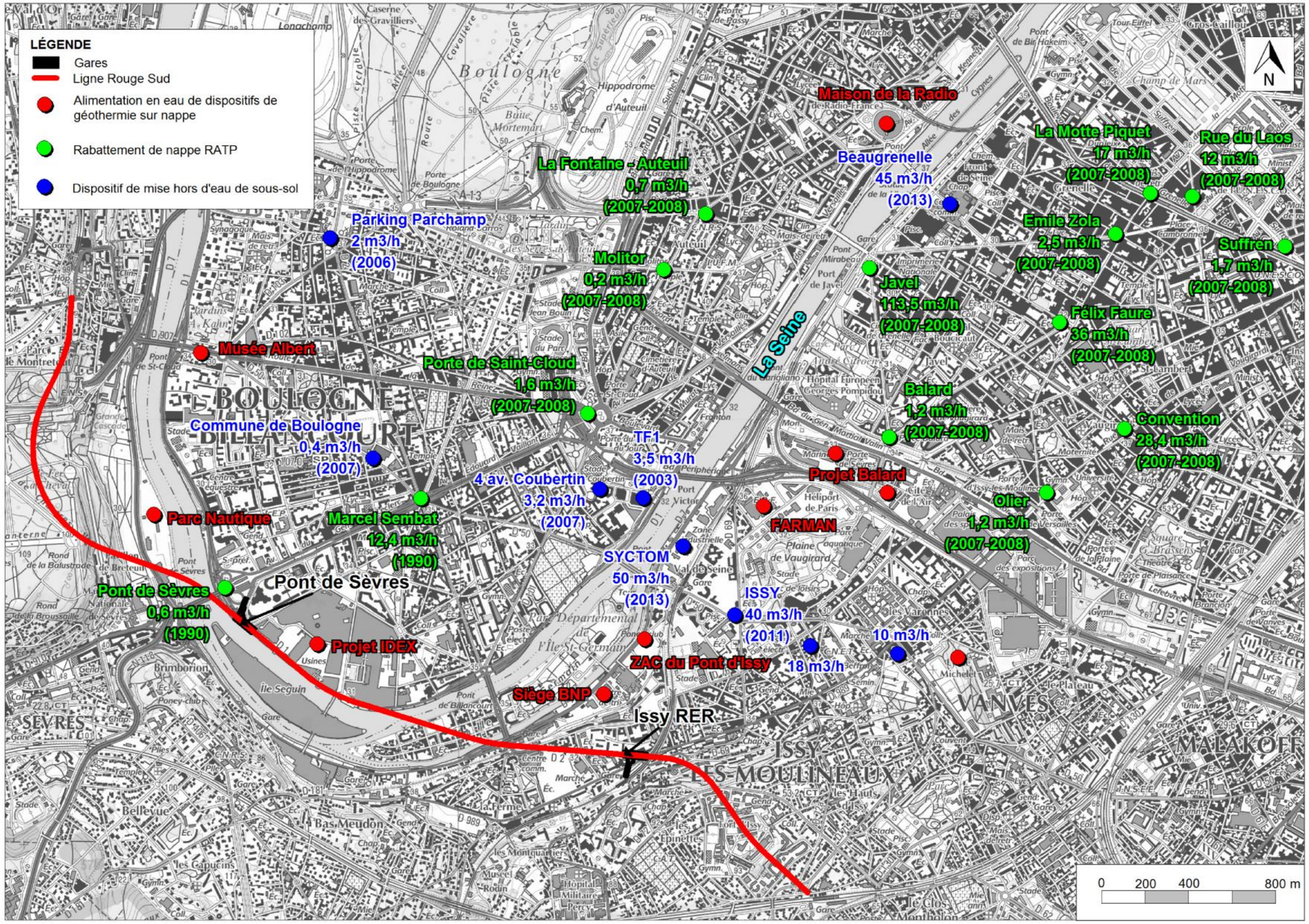


Figure 15 : Carte de localisation des captages d'alimentation en eau (données non exhaustives)

4.2.4 Description du projet de métro et de ses impacts potentiels

4.2.4.1 Description du projet

Le secteur de la boucle de Boulogne est concerné par une partie du tracé de la ligne 15 sud (ex ligne rouge), reliant les gares de Pont de Sèvres à Noisy-Champ.

Le secteur de la zone étudiée correspond au linéaire compris entre le puits tunnelier de l'ile Monsieur et la gare Issy RER environ. Dans le secteur de la zone d'étude, l'intégralité du tracé sera réalisée en souterrain au tunnelier. On recense sur ce parcours les deux gares de pont de Sèvres et Issy RER, avec leurs correspondances. On rencontre également le puits d'accès du tunnelier, localisé sur l'ile Monsieur. Les gares seront enterrées.

Le tracé considéré est le tracé de référence retenu dans le cadre de la phase 2 de l'étude d'impact environnemental. Le tunnel aura un diamètre de 10 m. La profondeur du tunnel le long du tracé et la géométrie des gares sont issues des données du Groupement Maître d'Œuvre ([11] à [16]).

La figure 8 donne le profil en long sur coupe géologique du tracé Ligne 15 dans la boucle de Boulogne ([16]).

La localisation et l'emprise des ouvrages sont données en Figure 9.

Entre le puits d'accès du tunnelier et la gare Issy RER, le tunnel traverse essentiellement les terrains crayeux, et recoupe la base des alluvions anciennes dans le secteur de la gare Issy RER.

Le puits tunnelier, ainsi que les deux gares, seront réalisés sous protection de parois moulées.

Les parois moulées des gares et du puits tunnelier pénètreront dans la craie peu perméable. Au droit de ces ouvrages, la cote du toit de la craie peu perméable a été estimée sur la base d'un certain nombre d'essais au micromoulinet réalisés dans la boucle de Boulogne, à plus ou moins grande distance de la Seine (d'après les archives internes de BURGEAP [3]).

Ainsi, nous avons considéré les hypothèses suivantes, conformément aux hypothèses de calcul de débit d'épuisement en phase travaux du Maître d'œuvre :

- la paroi moulée du puits tunnelier pénètre d'au moins 4 m dans la craie peu perméable,
- la paroi moulée de la gare du pont de Sèvres pénètre d'environ 17 m dans la craie peu perméable,
- la paroi moulée de la gare Issy RER pénètre de 16 à 17 m dans la craie peu perméable.

4.2.4.2 Impacts potentiels

Deux types d'impacts potentiels peuvent être provoqués par le projet et affecter les conditions hydrogéologiques actuelles (niveaux, flux hydriques, …) :

- en phase chantier : les pompages d'épuisement pour les phases chantier liés à la construction des gares souterraines engendreront des baisses des niveaux piézométriques (baisses ponctuelles le temps de la phase chantier) qui pourraient s'étendre aux captages alimentant les dispositifs de géothermie et/ou captages d'alimentation en eau industrielle non identifiés,
- en phase définitive : la modification de la perméabilité du milieu, par la mise en place du tunnel souterrain et des gares souterraines sous protection de parois moulées, est susceptible de perturber les lignes d'écoulement (effet « barrage ») et donc les sens, gradients et directions d'écoulement.

L'impact du tunnel en phase chantier entre deux stations est considéré comme non significatif, à la condition que la technique choisie pour creuser le tunnel permette d'éviter de devoir pomper, ce qui est le cas avec la méthode retenue (creusement au tunnelier).

Ainsi, en l'absence d'exploitation de la nappe pour l'alimentation en eau potable, les cibles principales des impacts potentiels du projet sont représentées par l'ensemble des captages exploitant la nappe phréatique à des fins géothermiques et, dans une moindre mesure, les infrastructures existantes (risques de remontée de nappe).

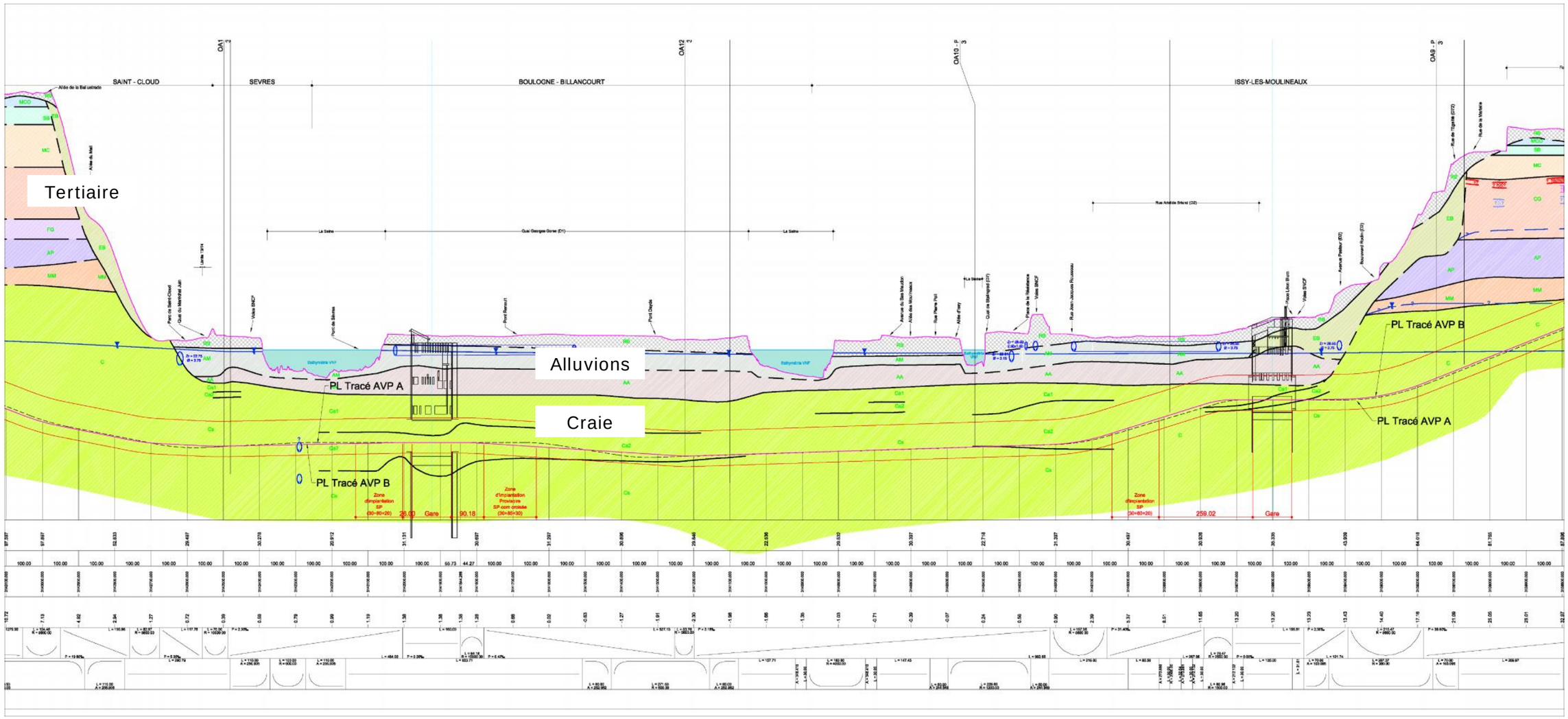
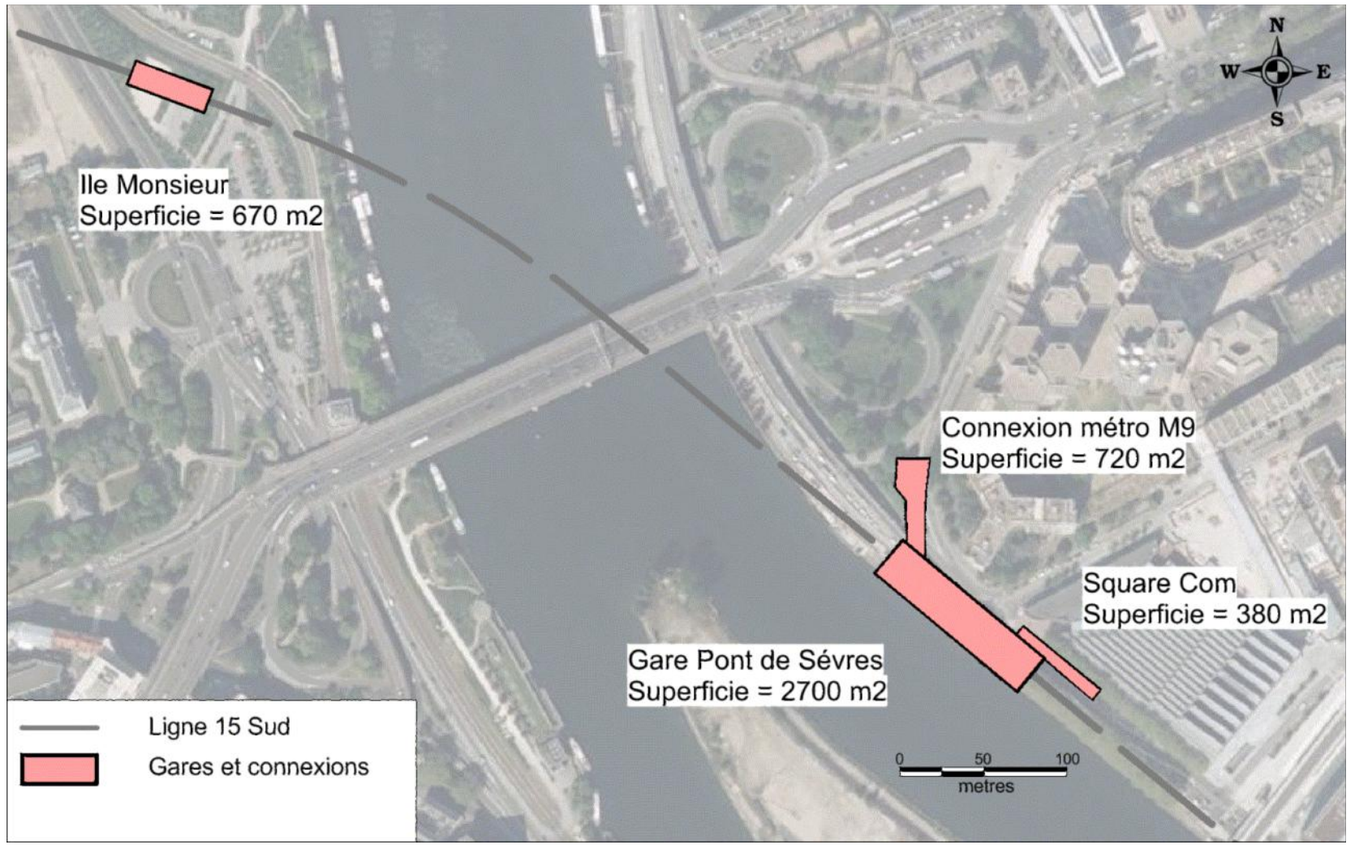


Figure 16 : Profil en long Ligne 15 sur la boucle de Boulogne (Groupement Maître d'Œuvre [1])



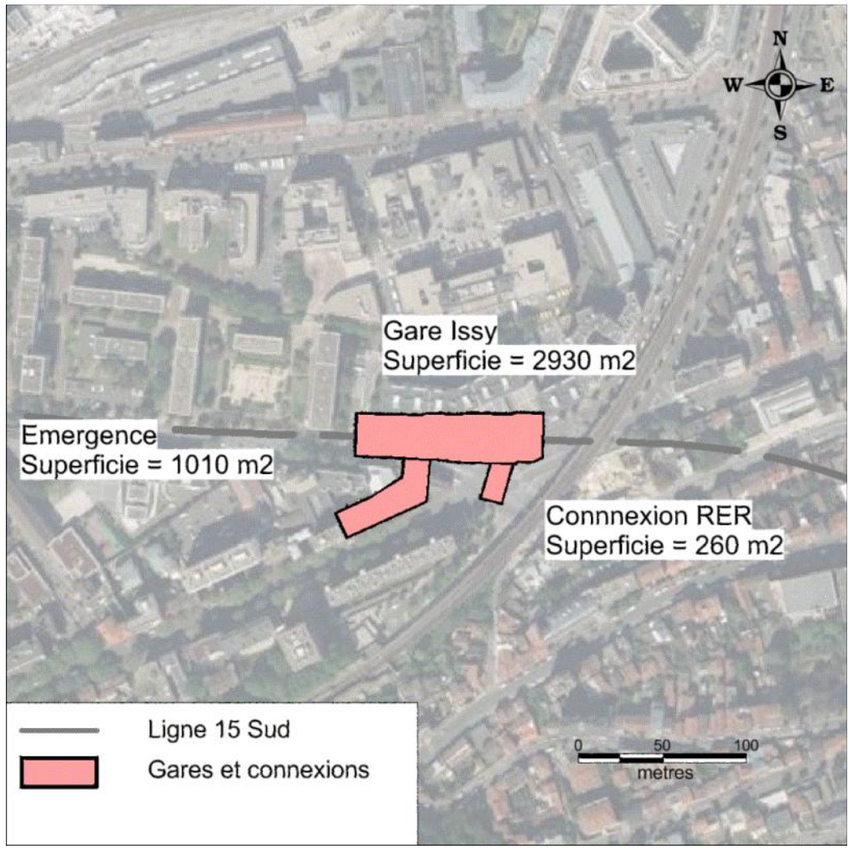


Figure 17 : Localisation et emprise des structures souterraines modélisées

4.3 Modèle hydrogéologique de la boucle de Boulogne

Le modèle a été réalisé à l'aide du code de calcul FEFLOW. Il s'agit d'un logiciel de modélisation des écoulements souterrains en 3 dimensions, développé par la société DHI-WASY [25]. Le code de calcul FEFLOW est basé sur la résolution des équations d'écoulement par la méthode des éléments finis. Dans le cas présent, le logiciel a été utilisé en mode saturé libre, tridimensionnel et en régime permanent et transitoire.

4.3.1 Modèle conceptuel et limites du domaine

Les limites du domaine hydrogéologique considéré sont représentées sur la Figure 18 et le schéma conceptuel du modèle de la boucle de Boulogne est représenté sur la Figure 19 ci-dessous.

4.3.1.1 Modèle conceptuel

Régionalement, le domaine hydrogéologique est alimenté par des flux horizontaux à l'est, au sud et à l'ouest du domaine (flux correspondant à la percolation de l'eau des aquifères tertiaires, perchés sur les argiles yprésiennes), en complément de la recharge par la pluie utile qui alimente le modèle en surface.

Les exutoires du domaine hydrogéologique considéré sont la Seine, les prélèvements pour l'alimentation en eau (géothermie essentiellement) et surtout les drainages de mise hors d'eau d'infrastructures (RATP, parkings souterrains, autres infrastructures).

A l'intérieur même du domaine hydrogéologique, les alluvions anciennes et la craie se comportent, du point de vue piézométrique, comme un seul et même aquifère, à l'exception des zones, au nord, où ces deux formations sont séparées par les marnes de Meudon et les argiles plastiques.

Au droit de ces zones nord, on peut observer des circulations d'eau entre les alluvions et la craie, conséquence des différences de charge entre aquifères, elles-mêmes occasionnées par les prélèvements effectués dans l'un ou l'autre compartiment. Dans ce secteur, les circulations d'eau internes au domaine hydrogéologique (drainance verticale) sont essentiellement contrôlées par les horizons semi-perméables à très peu perméables que sont les argiles plastiques.

Les échanges avec la Seine sont quant à eux contrôlés par le colmatage des berges et du lit du fleuve.

Dans ce schéma, les alluvions modernes ne jouent qu'un rôle mineur de transit entre l'aquifère du complexe alluvions-craie d'une part, et l'alimentation par la pluie ou la Seine d'autre part.

4.3.1.2 Limites du domaine hydrogéologique et conditions aux limites

Les limites et conditions aux limites suivantes ont permis de définir l'emprise du domaine hydrogéologique considéré pour les travaux de modélisation :

- la limite nord du domaine correspond à la crête piézométrique supposée de la nappe des alluvions et de la nappe de la craie pour les deux segments ouest et aux lignes de courant pour le segment est (lignes perpendiculaires aux isopièzes). Cette limite est une limite à flux nul,

- les limites est, sud et ouest du domaine correspondent à la limite d'extension des alluvions anciennes. Toutefois, compte tenu de la proximité du tunnel avec ces limites, et afin de s'affranchir des effets de bords, nous avons repoussé la limite de domaine de plusieurs centaines de mètres au sud et à l'ouest (craie sous recouvrement).

  Nous avons représenté ces limites comme des limites à flux imposé, correspondant d'une part à la percolation dans la nappe alluvions-craie des eaux des aquifères tertiaires perchés sur les argiles yprésiennes et d'autre part à l'alimentation latérale de la nappe de la craie sous recouvrement.

  La valeur des flux entrants a été calculée sur la base des gradients piézométriques des différents aquifères bordant la boucle de Boulogne (aquifère de l'Eocène à l'ouest et au sud, aquifère alluvial à l'est, aquifère de la craie à l'ouest, au sud et à l'est) et sur la base des perméabilités horizontales des formations.

Le domaine hydrogéologique ainsi délimité représente environ 6,2 km de long sur 5,5 km de large, soit une surface de l'ordre de 34 km².

A l'intérieur du domaine ainsi défini, la Seine a été représentée comme un potentiel imposé à la cote 26,73 NGF (hors crue), associée à un facteur de colmatage, afin de représenter le colmatage des berges et du lit de la Seine (la valeur du facteur de colmatage a fait l'objet, entre autres, du calage du modèle).

Par ailleurs, une recharge de 2 l/s/km² (environ 62 mm/an) a été imposée sur toute la surface urbanisée du domaine et une recharge de 5 l/s/km² (environ 160 mm/an) a été imposée sur les surfaces correspondant au bois de Boulogne, au parc de l'ile Saint Germain et au Champ de Mars.

Enfin, les prélèvements connus et déclarés ont été pris en compte dans le modèle hydrogéologique. Les prélèvements connus mais non déclarés [3] ont également été pris en compte. Des prélèvements en nappe supplémentaires ont dû être imposés de manière à reproduire correctement les dépressions piézométriques observées au centre de la boucle de Boulogne. Ces prélèvements supplémentaires non identifiés correspondent vraisemblablement à des drainages de mise hors d'eau d'infrastructures.

4.3.2 Modèle géologique

Le modèle géologique comprend toutes les couches géologiques situées entre le terrain naturel et la craie. Il comprend donc les unités stratigraphiques suivantes :

- alluvions modernes,
- alluvions anciennes,
- argiles plastiques,
- marnes de Meudon,
- craie fracturée perméable,
- craie saine peu perméable.

La base du modèle géologique est donc constituée par la craie peu perméable.

Afin de simplifier la construction du modèle géologique, les hypothèses suivantes ont été considérées :

- sur la zone nord du modèle, les formations sus-jacentes aux argiles plastiques (Lutétien) ont été assimilées aux alluvions anciennes,
- aux limites sud et ouest du modèle, les formations géologiques constituant les coteaux de Seine (Lutétien, Yprésien) n'ont pas été représentées en tant qu'aquifères individualisés. En revanche, leur rôle hydrogéologique a été pris en compte en imposant sur ce contact un flux entrant dans le modèle traduisant leur apport en eau par percolation dans le complexe alluvions-craie.

Une synthèse géologique à l'échelle de l'ensemble la boucle de Boulogne a été établie sur la base des éléments suivants :

- base de données de la BSS [2],
- archives internes de Burgeap [3],
- données du Groupement Maître d'Œuvre [11],
- campagnes de sondage des missions géotechniques G11 et G12 réalisées par la SGP : dans le secteur modélisé, 28 sondages (dont 16 équipés en piézomètres) et 37 sondages (dont 17 équipés en piézomètres) ont respectivement été réalisés au cours des campagnes de mission G11 et G12.

Sur la base de ces données, les isohypses du toit et du mur de chacune des unités stratigraphiques précédemment citées ont été construites puis interpolées, de manière à disposer, pour toutes ces surfaces, de leur cote altimétrique en tout point de l'espace.

Par ailleurs, un important travail de recensement des structures souterraines sous nappe a été réalisé de sorte à représenter les « obstacles » à l'écoulement déjà existant sur le secteur modélisé. En effet, l'ensemble de la boutonnière de Boulogne-Billancourt comprend de nombreuses structures enterrées assez profonde (principalement à usage de parking) du fait de la reconversion de ce secteur de zones industrielles à zones tertiaires. Le recensement a été réalisé sur la base principalement des nombreuses archives de BURGEAP qui a réalisé de nombreuses études et enquêtes de quartier sur les communes de Boulogne-Billancourt et Issy-Les-Moulineaux. Ce recensement n'est probablement pas exhaustif mais doit être assez complet compte tenu de nombres d'informations à disposition. Les structures enterrées représentées sont représentées sur les figures présentant les résultats du modèle.

4.3.3 Maillage du modèle hydrogéologique

Le maillage du modèle hydrogéologique a été construit en se calant sur les grandes structures comprises dans les limites du domaine, à savoir le lit mineur de la Seine, le tracé du tunnel de la ligne 15 sud, les gares et le puits tunnelier, ainsi que les parois moulées existantes, à notre connaissance, à l'intérieur du domaine représenté. Le maillage prend également en compte, dès sa création, la position des puits et forages exploitant les aquifères.

Le maillage est affiné le long de ces structures principales ou des puits et devient progressivement plus grossier en s'éloignant de ces éléments, comme le montre la Figure 20.

Au moins une couche numérique est utilisée pour chaque unité géologique. Le modèle numérique initial qui a servi au calage des paramètres hydrodynamiques comporte ainsi 6 couches, pour environ 330 000 mailles.

Pour les simulations, le modèle a dû être discrétisé verticalement afin de représenter correctement la profondeur du tunnel, l'ancrage des parois moulées des différentes gares ainsi que les écoulements souterrains en phase chantier (création d'écoulement verticaux lors des pompages de nappe au droit des gares).

En fonction des simulations (phase chantier ou phase définitive), le modèle comporte 30 à 31 couches, pour environ 1 600 000 mailles à 1 700 000 mailles.

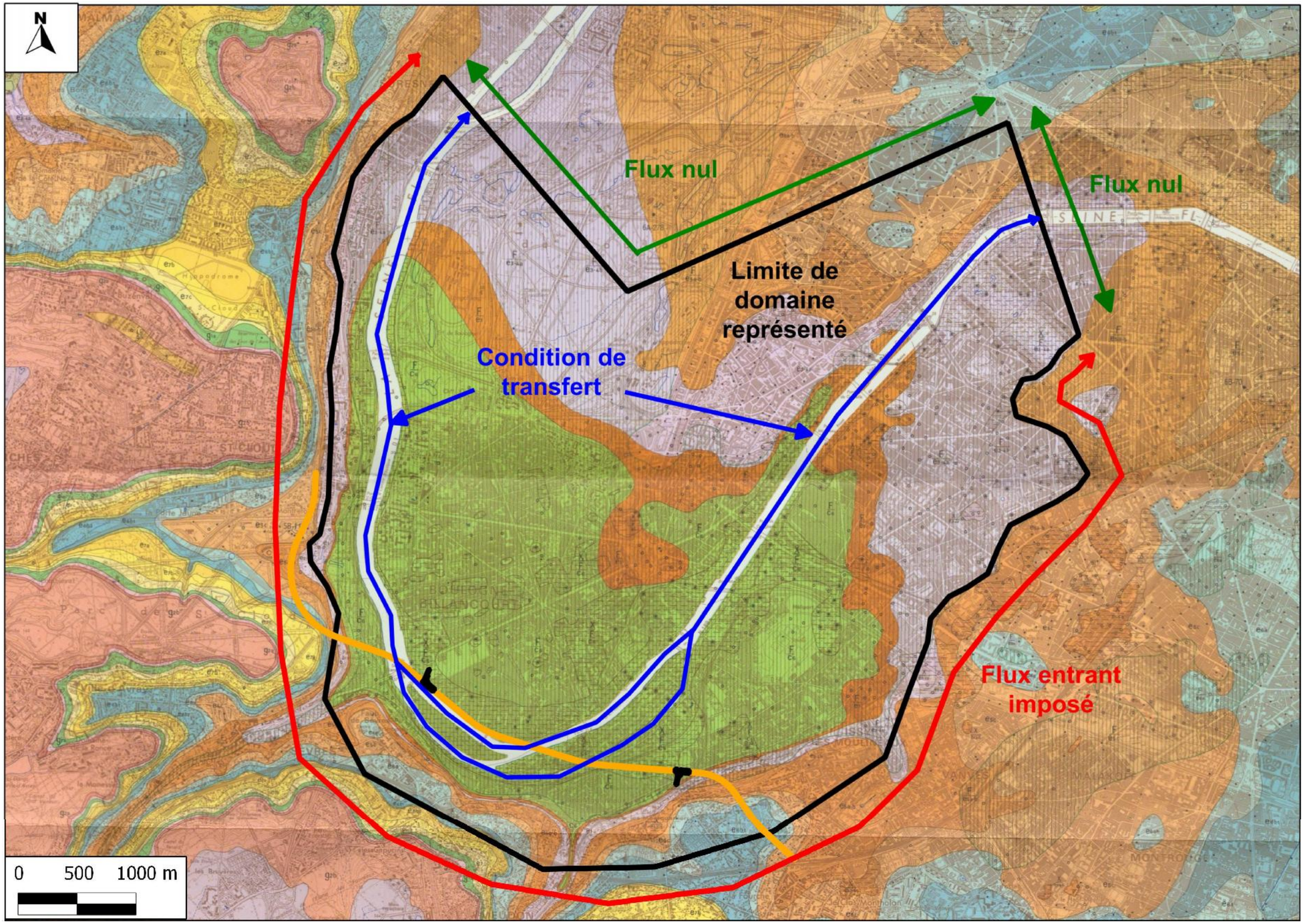


Figure 18 : Limites du domaine modélisé et conditions aux limites

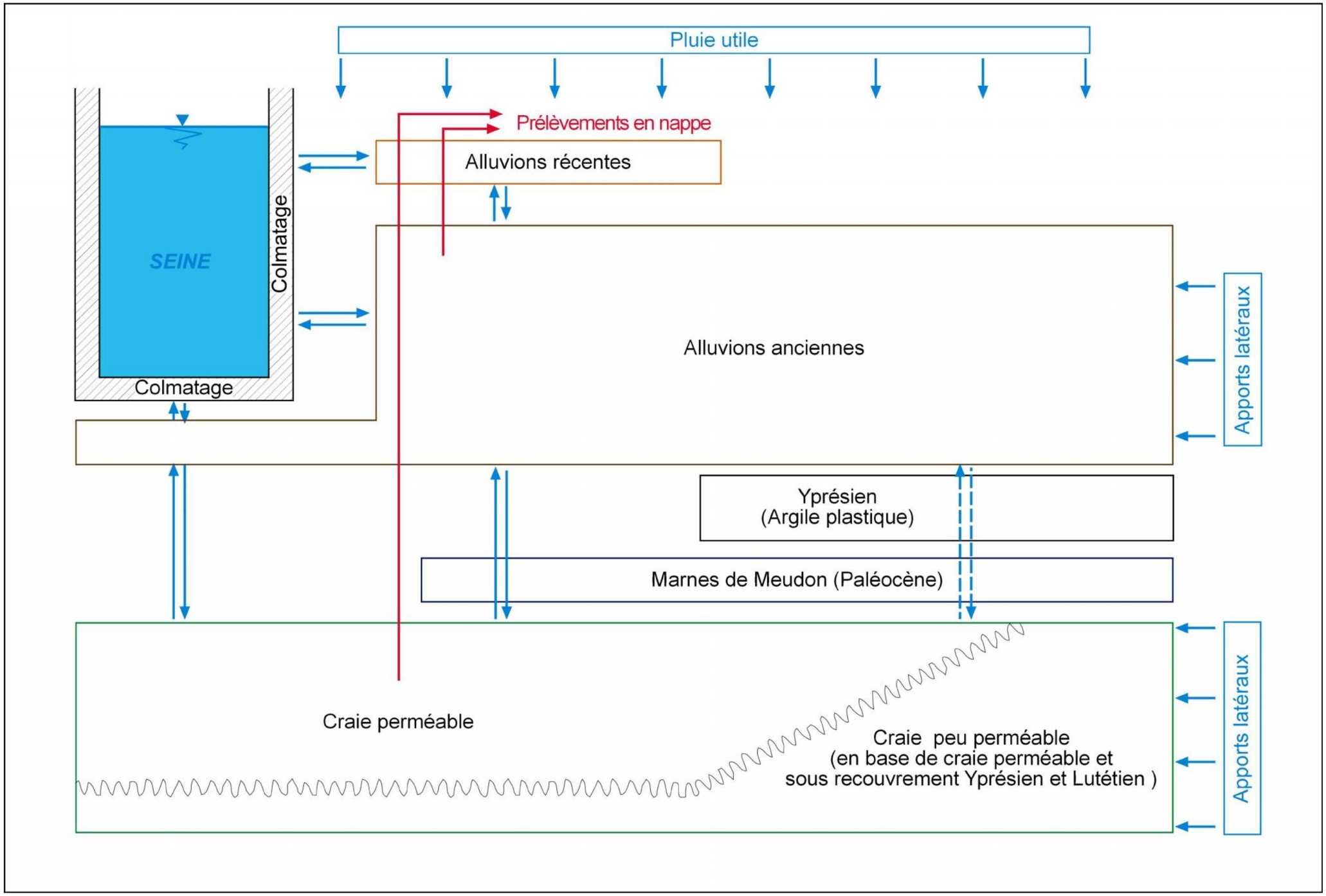


Figure 19 : Schéma conceptuel du modèle de la boucle de Boulogne-Billancourt

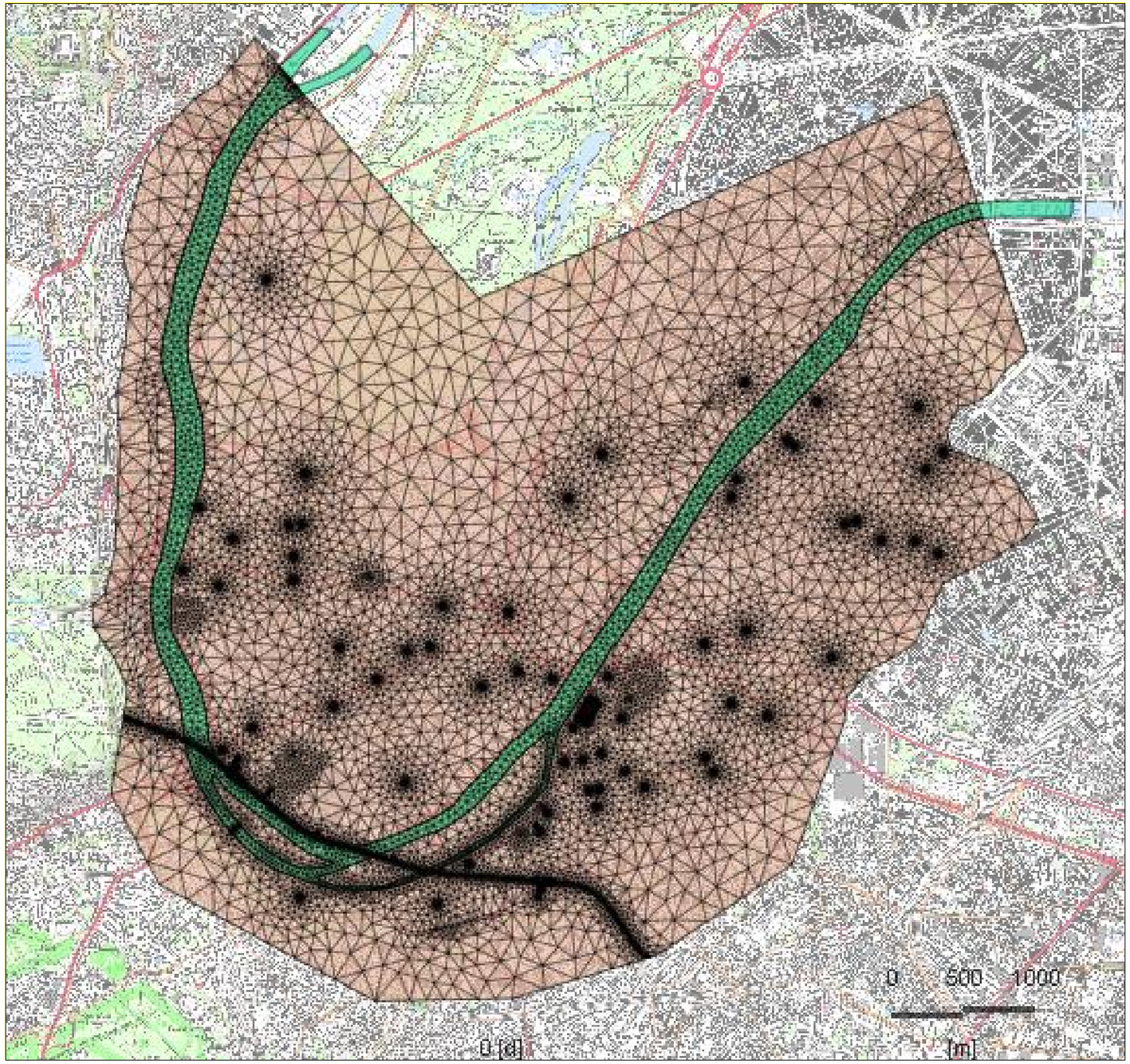


Figure 20 : Maillage du modèle hydrogéologique

4.3.4 Calage en régime permanent

4.3.4.1 Objectifs et méthodologie

Le calage du modèle en régime permanent a consisté à reproduire l'allure de la piézométrie de référence établie pour la nappe du complexe alluvions-craie (voir paragraphe 4.2.3.1).

Le calage a été réalisé en ajustant un certain nombre de paramètres, dont :

- la perméabilité horizontale des alluvions anciennes et de la craie fracturée,
- les volumes pompées par des puits « fictifs », ayant dus être ajoutés aux puits recensés (et aux débits associés) afin de reproduire les dépressions piézométriques. On remarquera qu'un processus itératif entre le calage en régime permanent et le calage en régime transitoire a dû être effectué du fait de l'ajustement du facteur de colmatage en régime transitoire, qui affecte la charge piézométrique en régime permanent (voir paragraphe 4.3.5.2).

Pour le calage en régime permanent, nous avons fait les hypothèses suivantes :

- les paramètres hydrodynamiques de l'ensemble des couches géologiques sont homogènes dans l'espace à l'exception de la craie fracturée,
- la perméabilité de la craie fracturée a été affectée de 3 valeurs croissantes en fonction de la localisation : valeur faible sous recouvrement, valeur intermédiaire hors recouvrement mais éloigné de la Seine, valeur forte à proximité immédiate du lit mineur de la Seine. Cette gradation de perméabilité rend compte de la progression de la fracturation de la craie au fur et à mesure que l'on se rapproche de la Seine.

4.3.4.2 Résultats et interprétation

La Figure 21 présente la carte piézométrique de la nappe du complexe alluvions-craie obtenue après calage du modèle en régime permanent (et après reprise du calage en régime permanent, suite à l'ajustement du facteur de colmatage en régime transitoire, voir paragraphe 4.3.5.2). On constate que les sens et les gradients d'écoulement sont correctement reproduits, de même que les charges piézométriques.

Cette carte présente également les mesures effectuées sur le réseau de piézomètres du GPE (indication du niveau moyen 2012-2014 en rouge) : l'écart entre valeurs mesurées et valeurs calculées est convenable étant donné les incertitudes résultant du caractère non synchrones des mesures et de la présence sur la période de mesures de plusieurs opérations de pompages de nappe en phase chantier.

Suivant les estimations du modèle calé en régime permanent, le bilan des flux sur l'ensemble du domaine se décompose ainsi :

- l'alimentation latérale du modèle hydrogéologique (flux imposé) représente un apport total de 260 m^3/h le long des limites du modèle,
- la Seine joue, sur le secteur central et le secteur est de la boucle, un rôle de réalimentation de la nappe, du fait de la dépression piézométrique créée par les pompages en nappe (réalimentation de l'ordre de 550 m^3/h), tandis que, sur le secteur ouest de la boucle de Boulogne, elle joue le rôle d'exutoire de la nappe (drainage d'un débit de l'ordre de 110 m^3/h). Ainsi, à l'échelle globale de la boucle, la Seine réalimente la nappe à un débit d'environ 440 m^3/h,
- l'ensemble des prélèvements (drainage de mise hors d'eau des infrastructures essentiellement), représente un débit d'environ 950 m^3/h,
- le secteur modélisé reçoit 250 m^3/h de recharge par la pluie utile.

Les paramètres hydrodynamiques des différentes formations (perméabilité horizontale et verticale), obtenus à l'issue du calage du modèle en régime permanent, sont présentés dans le Tableau 49 suivant.

Tableau 49 : Paramètres hydrodynamiques des formations géologiques obtenus après calage du modèle en régime permanent

	Perméabilité horizontale (m/s)	Perméabilité verticale (m/s)
Alluvions modernes	1.10^{-5}	5.10^{-7}
Alluvions anciennes	3.10^{-3}	1.10^{-4}
Argiles plastiques de l'Yprésien	6.10^{-5}	2.10^{-9}
Marnes de Meudon	$1{,}7.10^{-5}$	$1{,}7.10^{-6}$
Craie perméable	3.10^{-3}	3.10^{-3}
Craie peu perméable	5.10^{-6}	5.10^{-6}

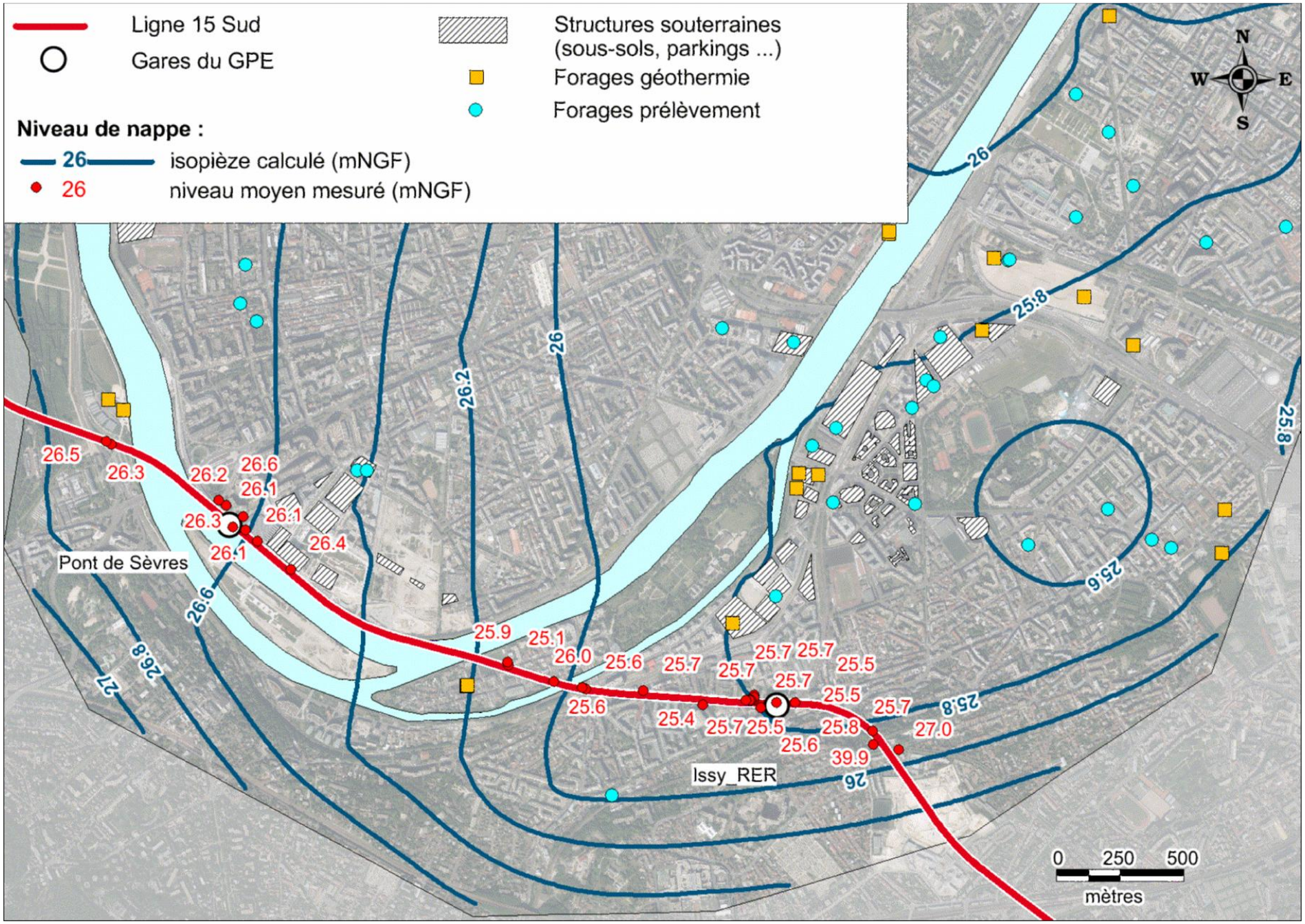


Figure 21 : Carte piézométrique obtenue dans la formation de la craie après calage du modèle en régime permanent

4.3.5 Calage en régime transitoire

4.3.5.1 Objectifs et méthodologie

Le calage du modèle en régime transitoire a essentiellement consisté à reproduire les transmissions d'onde de crues de Seine dans l'aquifère qui ont été enregistrées en différents points de la boucle, en bordure de Seine (voir Graphiques 1 à 4).

Le calage en régime transitoire a ainsi été réalisé en ajustant les paramètres suivants :

- le coefficient de colmatage des berges et du lit de la Seine,
- la porosité des alluvions modernes.

En effet, outre la transmissivité de l'aquifère, qui a été calée en régime permanent, ce sont ces deux paramètres qui conditionnent essentiellement l'évolution piézométrique de la nappe du complexe alluvions-craie lorsque la Seine est sujette à une crue.

4.3.5.2 Résultats et interprétation

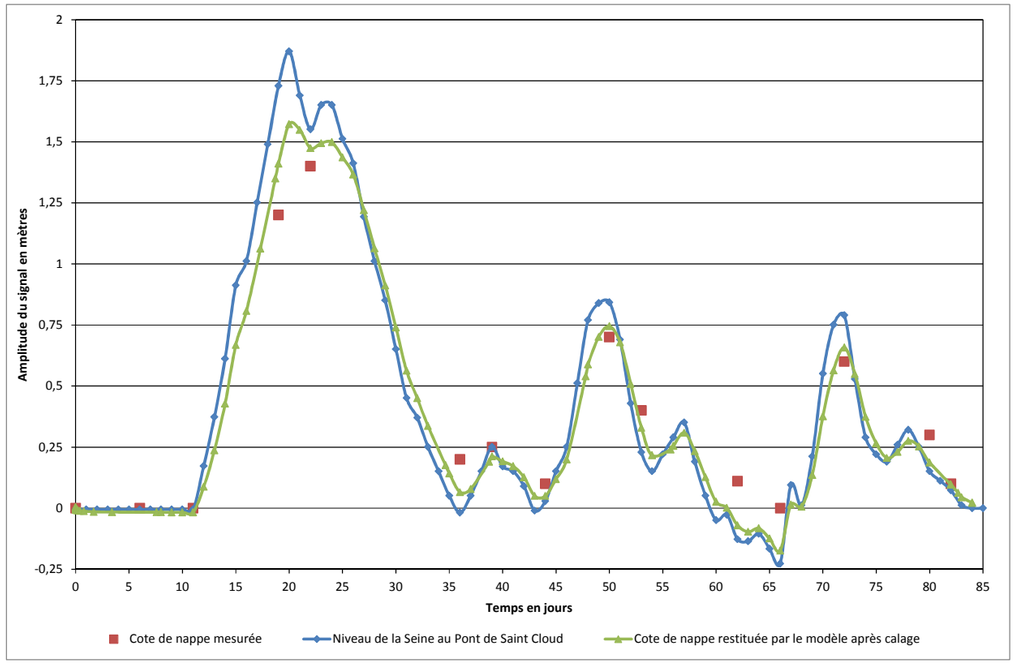
Les Graphiques 5 à 8 suivants présentent la réponse piézométrique obtenue par le modèle, après calage des paramètres précédemment mentionnés, en réponse aux crues de Seine observées lors des suivis piézométriques.

Les restitutions des ondes de crue présentées dans les Graphiques 5 à 8 ont été établies en appliquant les colmatages des berges et du lit du fleuve donnés dans le Tableau 50 suivant et pour une porosité efficace des alluvions modernes égale à 10%.

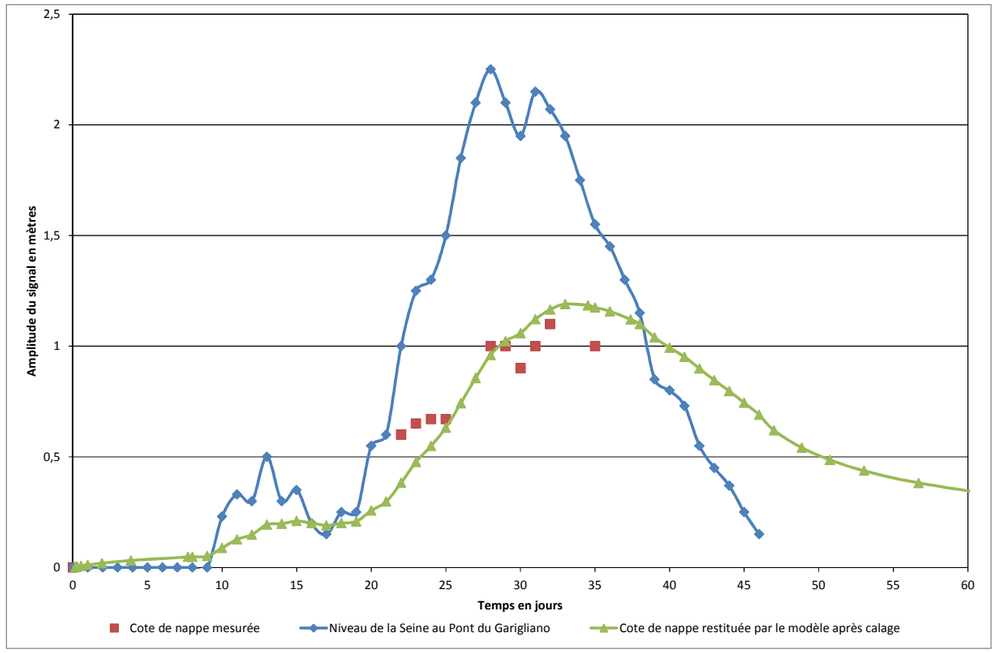
On constate donc que les opérations de calage en régime transitoire ont conduit à la mise en place d'un colmatage géographiquement différencié entre l'amont de l'ile Seguin d'une part et l'aval de l'ile Seguin d'autre part :

- en amont de l'ile Seguin, un colmatage relativement plus important qu'à l'aval a dû être imposé afin de restituer correctement les ondes de crues transmises dans l'aquifère et enregistrées entre les ponts d'Issy et de Billancourt et au niveau du parc André Citroën (relativement faibles transmissions d'ondes de crue),
- en aval de l'ile Seguin, un colmatage relativement moins important qu'à l'amont a dû être imposé afin de restituer correctement l'onde de crue enregistrée au niveau du rond-point Rhin et Danube (relativement forte transmission d'onde de crue).

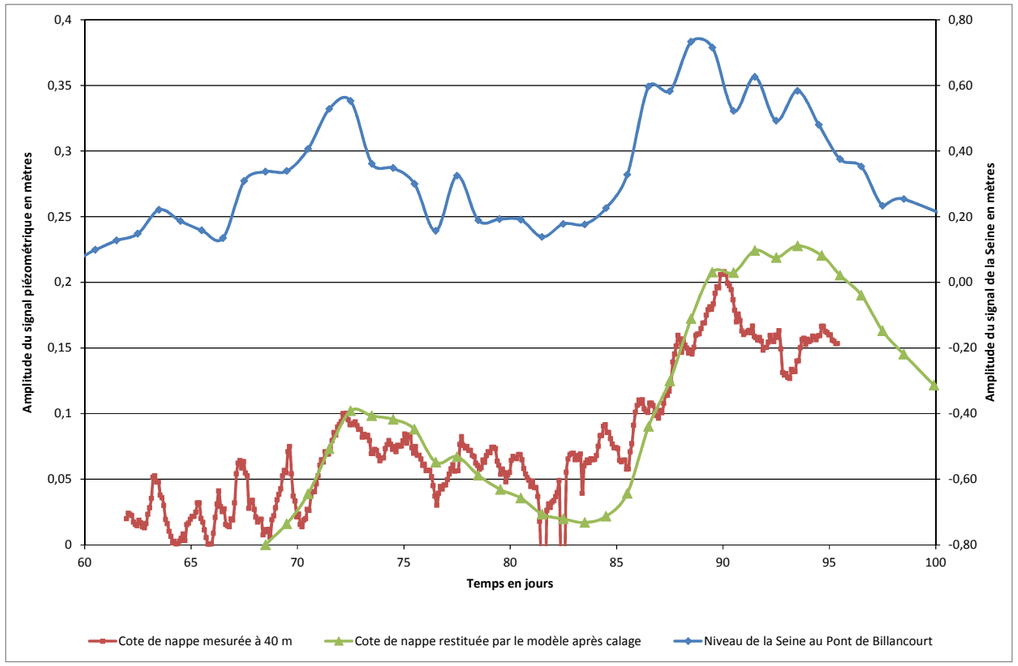
Cette différenciation géographique entre un colmatage des berges et du lit de la Seine plus important à l'est de la boucle de Boulogne peut avoir pour origine un dépôt de fines sur le lit du fleuve plus important dans le secteur est. En effet, du fait de l'exploitation historiquement importante de l'aquifère dans le secteur est de la boucle, fortement industrialisé dans le passé, la nappe a été réalimentée par la Seine probablement sur plusieurs dizaines d'années (comme c'est le cas actuellement) ; c'est ce flux d'eau descendant, depuis la Seine vers la nappe, qui aurait pu colmater les terrains situés immédiatement sous le lit du fleuve par migration progressive de fines. Dans le secteur ouest de la boucle de Boulogne, en aval de l'ile Saint Germain, l'exploitation de l'aquifère a été nettement moins intense ; le colmatage par « incrustation » de fines sous le lit du fleuve aurait donc été, selon ce schéma, moins important.



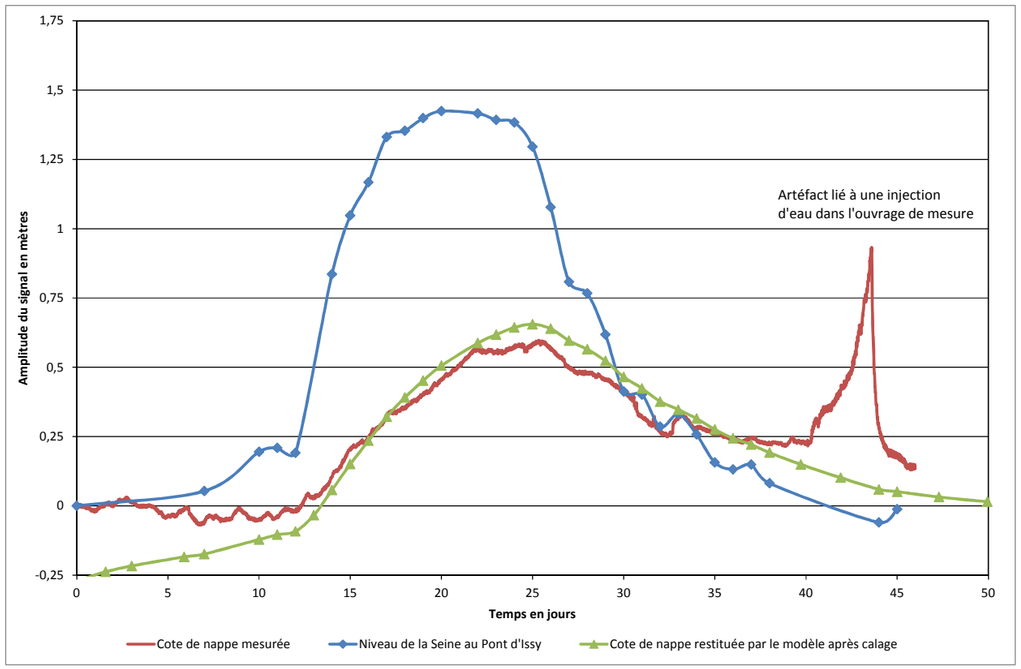
Graphique 58 : Restitution de l'onde de crue de Seine dans l'aquifère enregistrée au Pont de Saint Cloud (1995) (aval de l'ile Seguin)



Graphique 59 : Restitution de l'onde de crue de Seine dans l'aquifère enregistrée au parc André Citroën (1995) (amont de l'ile Seguin)



Graphique 60 : Restitution de l'onde de crue de Seine dans l'aquifère enregistrée entre le Pont d'Issy et le Pont de Billancourt (2007) (amont de l'ile Seguin)



Graphique 61 : Restitution de l'onde de crue de Seine dans l'aquifère enregistrée au Pont d'Issy (2013) (amont de l'ile Seguin)

Tableau 50 : Facteur de colmatage de la Seine obtenu après calage du modèle en régime transitoire

	Coefficient de colmatage des berges et du lit de la Seine (s^{-1})
Amont de l'ile Seguin	8.10^{-8}
Aval de l'ile Seguin	1.10^{-5}

On notera, par ailleurs, que l'ajustement du coefficient de colmatage, lors des opérations de calage en régime transitoire, a modifié le débit d'alimentation de la Seine vers la nappe et donc la piézométrie en régime permanent (essentiellement les cotes piézométriques, les gradients et sens d'écoulement n'ont quasiment pas été affectés). Ainsi, à l'issue du calage en régime transitoire, il a fallu ajuster le débit des puits « fictifs » afin de retrouver les cotes piézométriques de la piézométrie de référence.

Le bilan des flux décrit au paragraphe 4.3.4.2 tient compte de cet ajustement.

4.3.6 Sensibilité du modèle

Des tests ont été réalisés afin de connaitre la sensibilité du modèle aux différents paramètres hydrodynamiques. Les résultats des tests de sensibilité pour les paramètres hydrodynamiques les plus sensibles sont les suivants :

- facteur de colmatage de la Seine : la piézométrie de la nappe du complexe alluvions-craie est assez sensible au facteur de colmatage des berges et du lit de la Seine. En effet, en régime permanent, des variations d'un ordre de grandeur du facteur de colmatage entrainent des variations piézométriques de l'ordre de 0,5 m à 1 m, principalement dans les zones on l'on observe les dépressions piézométriques. En régime transitoire, des variations du colmatage d'un facteur 3 à 5 entrainent des variations de l'amplitude de l'onde de crue de 75 % à près de 100 %, en fonction de la distance à la Seine,

- perméabilité horizontale de la craie et des alluvions : la charge piézométrique de l'aquifère, et surtout le gradient d'écoulement est assez sensible à une baisse de la perméabilité de l'aquifère (baisse de près de 1 m des niveaux piézométriques au droit des forages exploitant l'aquifère et augmentation du gradient d'un facteur 2 pour une diminution d'un facteur 3 de la perméabilité horizontale).

Les tests de sensibilité réalisés confirment donc l'importance des échanges hydrauliques entre l'aquifère et la Seine et de la forte perméabilité sur la piézométrie et le gradient d'écoulement et, indirectement, sur l'exploitabilité de l'aquifère.

4.3.7 Simulation de l'impact du projet en phase chantier

4.3.7.1 Objectifs, hypothèses et méthodologie

Cette simulation consiste à quantifier l'abaissement piézométrique engendré par les pompages d'épuisement réalisés durant la phase chantier. Les conditions initiales et les conditions de référence sont obtenues suite au calage en régime permanent et en régime transitoire du modèle.

Nous avons considéré les impacts piézométriques associés aux pompages en phase travaux pour les deux hypothèses suivantes :

- hypothèse 1 : les constructions des gares ne sont pas synchrones, c'est-à-dire que l'on évalue l'impact des pompages en phase travaux pour chaque gare considérée de manière individuelle,

- hypothèse 2 : toutes les gares seront construites de manière synchrone, c'est-à-dire que l'on considère l'impact de l'ensemble des pompages en phase travaux en même temps. C'est cette hypothèse qu'il convient de privilégier compte tenu du planning prévisionnel du chantier.

L'impact piézométrique des travaux de pompage de nappe a été évalué en régime permanent uniquement, étant entendu qu'en cas de crue de Seine, par rapport à la situation sans crue, il s'agit de maintenir le niveau de nappe rabattu face à une montée généralisée des niveaux de nappe en cours de crue.

Par contre, les débits d'exhaure à pomper lors des opérations de pompage de nappe en phase chantier ont été évalués en régime permanent (hors crue), mais également en situation de crue de Seine. Les crues retenues pour ces évaluations sont les crues de récurrence 5 ans, 10 ans et 50 ans.

Par ailleurs, nous avons considéré que l'ensemble des gares et des correspondances seront réalisées sous protection de parois moulées, ancrées à la fiche indiquée par le Groupement ([11] à [16]).

La cote de dénoyage retenue pour chacune des gares et de leurs correspondances est de 0,5 à 1 m sous la base du radier, dont les cotes sont indiquées par le Groupement ([11] à [16]).

Concernant le mode de gestion des eaux d'exhaure, il a été considéré, pour l'évaluation des impacts, la situation la plus défavorable, à savoir que les eaux d'exhaure ne sont pas réinjectées en nappe (on considère qu'elles sont évacuées en Seine ou au réseau). Cette hypothèse, relative uniquement à l'évaluation des impacts hydrogéologiques, ne présuppose en aucun cas de l'acceptabilité du rejet des eaux d'exhaure en Seine ou au réseau, ni des impacts associés. Cet aspect-là devra faire l'objet d'une étude spécifique.

Enfin, dans les simulations de l'impact du projet en phase chantier, le tunnel du métro en phase définitive n'est pas pris en compte.

4.3.7.2 Résultats

a. <u>Etat piézométrique sans projet géothermie IDEX</u>

Dans un premier temps, les résultats sont donnés pour les simulations effectuées dans un contexte piézométrique qui ne prend pas en compte l'existence du projet de géothermie IDEX.

Le Tableau 51 suivant présente les résultats, en terme de débit d'exhaure au droit de chacune des gares, pour les simulations effectuées dans le cadre de l'hypothèse 2 (travaux des gares synchrones), en régime permanent et pour différentes récurrences de crue (les débits d'exhaure sont similaires entre l'hypothèse 1 et l'hypothèse 2).

Les dispositions constructives représentées des gares et des connexions et correspondances permettent de restituer les débits d'épuisement estimés par le maitre d'œuvre.

Le Tableau 52 présente les résultats, en termes d'abaissements maximums des niveaux de nappe à proximité immédiate des ouvrages, pour les simulations effectuées dans le cadre de l'hypothèse 2 (travaux des gares synchrones), en régime permanent (hors crue).

La Figure 22 présente la carte des isorabattements calculés pour la nappe du complexe alluvions-craie dans le cadre de l'hypothèse 2 (ensemble des chantiers synchrones, soit impact piézométrique maximal pour un régime permanent en situation courante de niveau bas de Seine). Pour juger de l'impact potentiel sur l'existant, on trouvera également sur cette carte le positionnement des ouvrages sollicitant la nappe (forages pour prélèvement ou pour pompe à chaleur) et les structures souterraines pénétrant dans la nappe de la craie (sous-sols, parkings …).

Les simulations effectuées permettent également de définir l'impact du projet sur le sens d'écoulement de la nappe dans l'environnement immédiat de la gare Pont de Sèvres. Les figures 15 et 16 présentent la piézométrie calculée en régime permanent moyennes eaux et les sens d'écoulement déduits (perpendiculaires aux isopièzes) pour la nappe du complexe alluvions-craie, avec respectivement :

- la piézométrie initiale : dans la situation actuelle, la nappe s'écoule globalement d'ouest en est sur le secteur Pont de Sèvres ; on peut par ailleurs noter sur ce zoom l'interférence des structures enterrées existantes sur la piézométrie ;

- la piézométrie influencée par les pompages de mise hors d'eau des fouilles en phase travaux : on note alors une convergence des lignes courant les plus proches en direction de l'enceinte protégé par les parois moulées ; l'influence est surtout sensible du côté intérieur de la boucle de Boulogne, avec une légère modification de l'écoulement sensible jusqu'à une distance d'environ 300 m de la gare.

Tableau 51 : Résultats (en termes de débits) des simulations réalisées pour la phase chantier (construction des gares, des correspondances et du puits tunnelier) pour l'hypothèse 2 (travaux des gares synchrones entre eux)

Gare / Ouvrage		Débit d'exhaure (en m^3/h)			
		Régime normal de la Seine (régime permanent)	Crue de récurrence 5 ans	Crue de récurrence 10 ans	Crue de récurrence 50 ans
Puits tunnelier de l'ile Monsieur		35	38	39	40
Gare du Pont de Sèvres	Gare	53	57	57	59
	Connexion M9	14	18	19	20
	Square Com	7	10	10	11
	TOTAL Gare du Pont de Sèvres	74	84	86	89
Gare Issy RER	Gare	29	30	31	31
	Emergence	15	18	18	19
	Connexion RER	6	7	7	8
	TOTAL Gare Issy RER	50	55	56	58

Tableau 52 : Résultats (en termes d'abaissements piézométriques) des simulations réalisées pour la phase chantier (construction des gares, des correspondances et du puits tunnelier) pour l'hypothèse 2 (travaux des gares synchrones entre eux), hors crue

Gare / Ouvrage	Abaissement maximal à proximité immédiate de l'ouvrage considéré (en m)
Puits tunnelier de l'ile Monsieur	0.05
Gare du Pont de Sèvres	0.15
Gare Issy RER	0.25

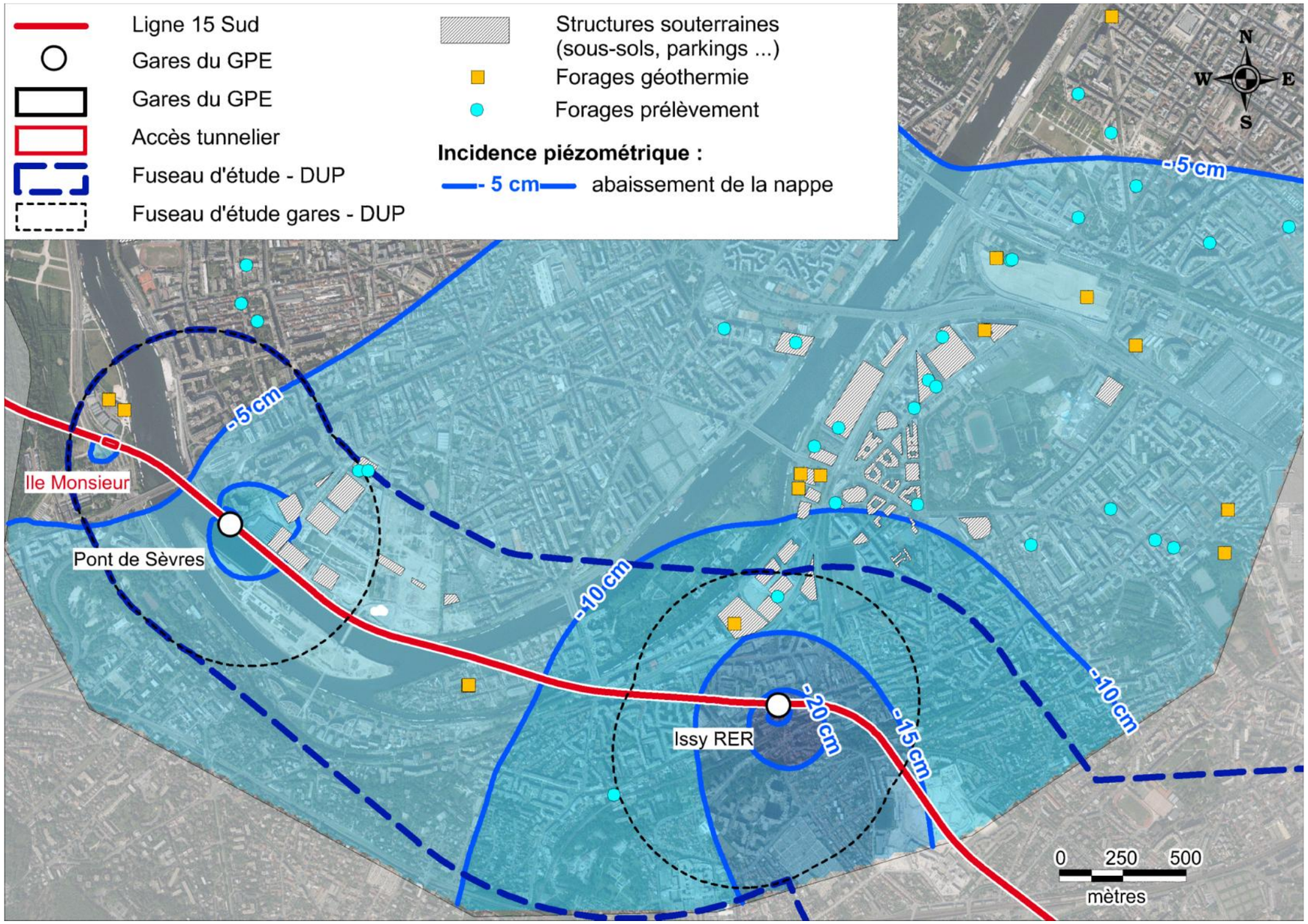


Figure 22 : Carte des courbes d'isorabattement calculés pour la nappe du complexe alluvions-craie en phase chantier (construction des gares, des correspondances et du puits tunnelier) dans le cadre de l'hypothèse 2 (ensemble des travaux synchrones), hors crue

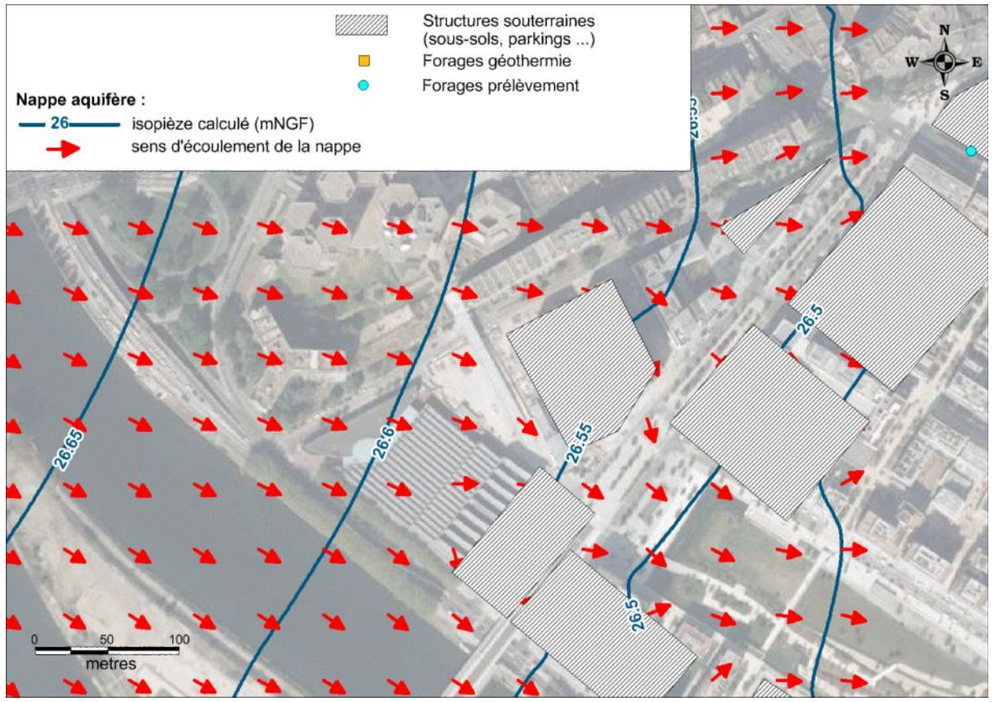


Figure 23 : Gare Pont de Sèvres – Piézométrie initiale en régime permanent

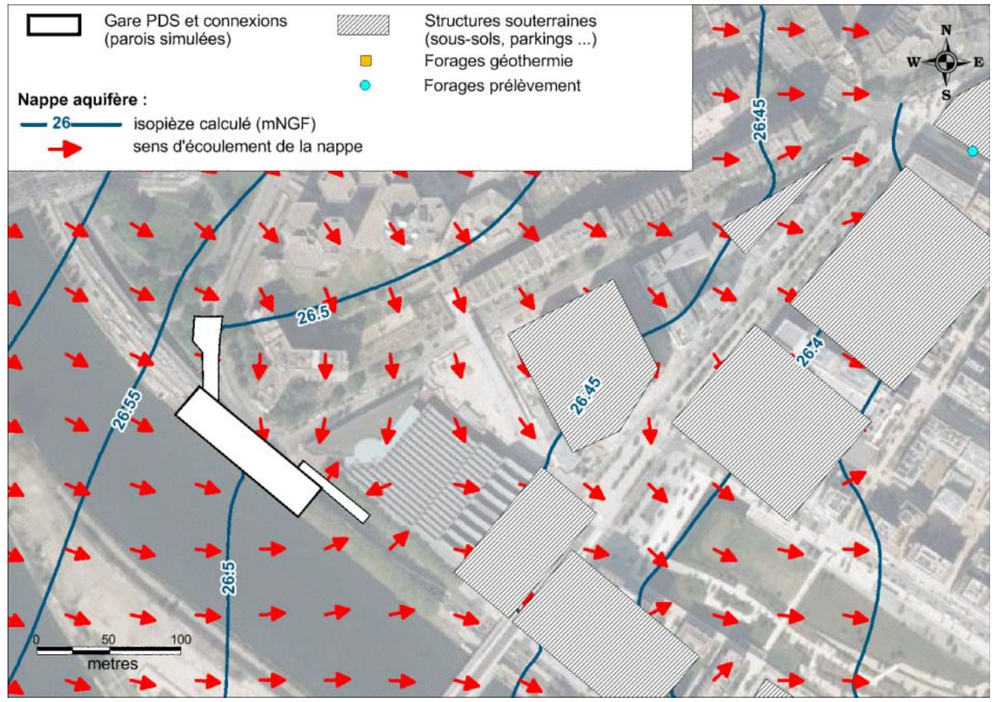


Figure 24 : Gare Pont de Sèvres – Piézométrie phase travaux en régime permanent

b. Etat piézométrique avec projet géothermie IDEX

Dans ce chapitre, les simulations effectuées sont identiques aux précédentes (régime permanent moyennes-eaux et régime transitoire pour les crues) sauf qu'elles incluent le projet géothermie IDEX à son débit maximum de 1 500 m^3/h : l'emplacement de ces forages figure sur la carte des isorabattements avec les quatre ouvrages de pompage en nappe (symbolisés par des triangles verts) et les six ouvrages de réinjection en nappe (triangles rouges).

Les résultats sont présentés sous la même forme :

- Tableau 51 : débits d'exhaure pour l'épuisement des fouilles en phase travaux,
- Tableau 52 : valeurs des rabattements maximums,
- Figure 17 : carte des isorabattements de la nappe,

Avec le projet IDEX, les modifications des directions d'écoulement sont très faibles.

Tableau 53 : Résultats (en termes de débits) des simulations réalisées pour la phase chantier (construction des gares, des correspondances et du puits tunnelier) pour l'hypothèse 2 (travaux des gares synchrones entre eux) – Avec projet IDEX

Gare / Ouvrage		Débit d'exhaure (en m^3/h)			
		Régime normal de la Seine (régime permanent)	Crue de récurrence 5 ans	Crue de récurrence 10 ans	Crue de récurrence 50 ans
Puits tunnelier de l'ile Monsieur		35	38	39	40
Gare du Pont de Sèvres	Gare	54	57	58	59
	Connexion M9	15	19	19	21
	Square Com	8	10	11	11
	TOTAL Gare du Pont de Sèvres	77	86	88	91
Gare Issy RER	Gare	27	29	30	30
	Emergence	14	16	17	18
	Connexion RER	6	7	7	7
	TOTAL Gare Issy RER	47	52	53	55

Tableau 54 : Résultats (en termes d'abaissements piézométriques) des simulations réalisées pour la phase chantier (construction des gares, des correspondances et du puits tunnelier) pour l'hypothèse 2 (travaux des gares synchrones entre eux), hors crue – Avec projet IDEX

Gare / Ouvrage	Abaissement maximal à proximité immédiate de l'ouvrage considéré (en m)
Puits tunnelier de l'ile Monsieur	0.05
Gare du Pont de Sèvres	0.20
Gare Issy RER	0.25

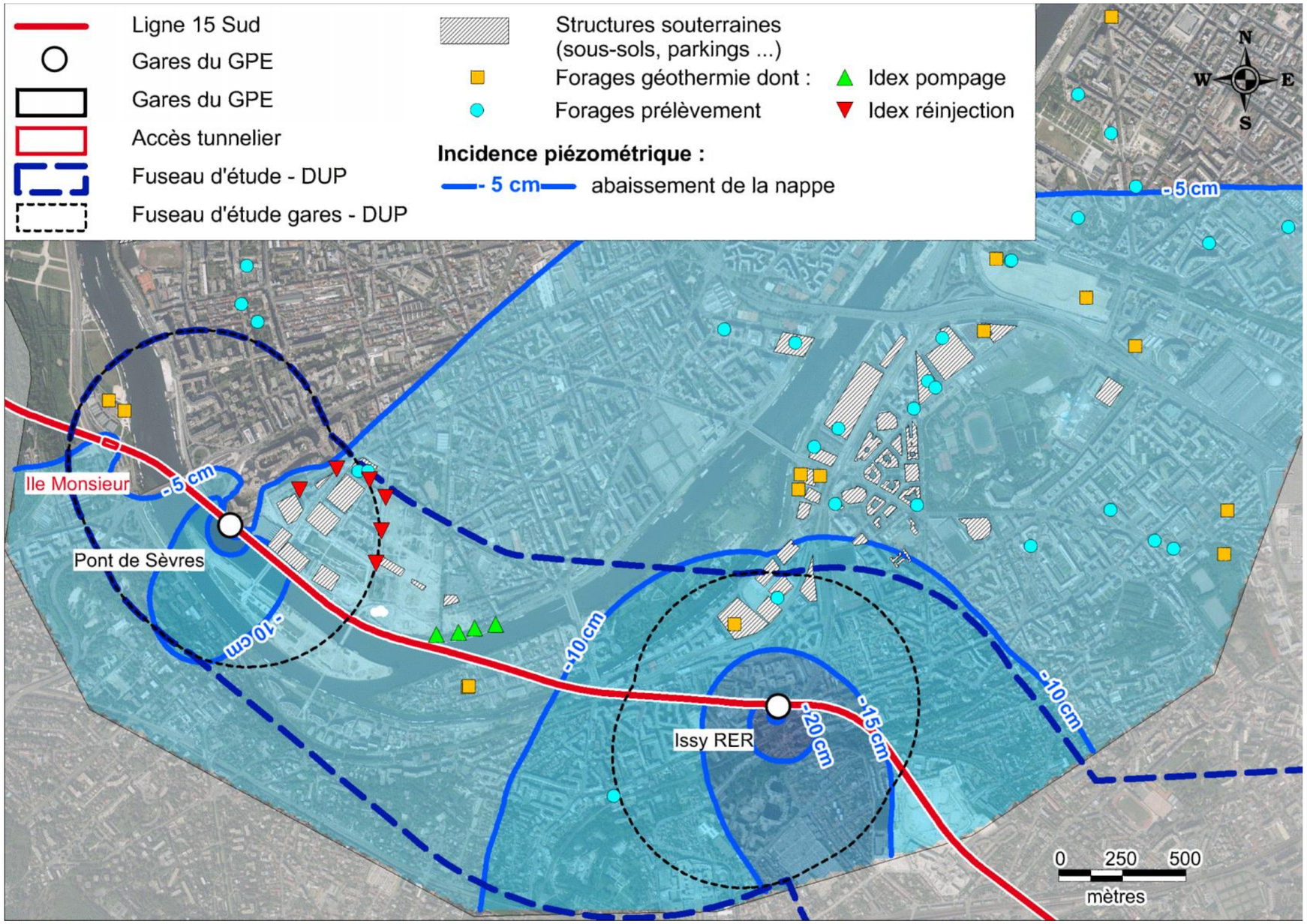


Figure 25 : Carte des courbes d'isorabattement calculés pour la nappe du complexe alluvions-craie en phase chantier (construction des gares, des correspondances et du puits tunnelier) dans le cadre de l'hypothèse 2 (ensemble des travaux synchrones), hors crue – Avec projet IDEX

4.3.7.3 Conclusions

Les débits d'exhaure au droit des différentes gares étudiées sont variables mais restent globalement modérés (de 40 à 80 m^3/h, hors crue).

A superficies sensiblement égales, le débit d'exhaure est logiquement plus important sur la gare Pont de Sèvres avec 80 m3/h (abaissement de 31 m dans l'enceinte) que sur la gare d'Issy (50 m3/h pour un abaissement de 17 m).

En cas de crue de Seine, l'augmentation des débits d'exhaure consécutive à la transmission de l'onde de crue est relativement faible : augmentation de 5 à 15 m^3/h en ordre de grandeur pour la crue de récurrence 50 ans.

On remarquera que l'influence des crues de Seine sur le débit d'exhaure est relativement faible, et d'autant moins grande que la hauteur de dénoyage à imposer est importante, ce qui est tout à fait normal compte tenu du fait que le débit d'exhaure est proportionnel à la hauteur de dénoyage ; ainsi, pour un même relèvement des niveaux d'eau à l'extérieur des parois moulées, l'augmentation relative du débit d'exhaure sera plus importante si la hauteur à dénoyer initial (avant la crue) est faible.

La prise en compte dans la seconde série de calculs du projet de géothermie IDEX à son débit de fonctionnement maximum théorique montre que les débits d'exhaure pour les ouvrages du GPE ne seraient que très peu modifiés : + 5% sur la gare Pont de Sèvres (la proximité des rejets IDEX entraine une remontée de la nappe et ainsi une augmentation de la charge hydraulique par rapport au fond d fouille) et à l'inverse une très légère baisse sur la gare d'Issy (l'influence des pompages pouvant se propager jusqu'à cet ouvrage).

En l'état actuel du projet, les impacts en termes d'abaissement des niveaux de nappe dans la boucle de Boulogne sont au maximum de l'ordre de 30 cm à proximité immédiate des ouvrages (maximum pour la gare Issy RER) :

- puits tunnelier : abaissement maximum de l'ordre de 5 cm,
- gare de Pont de Sèvres : abaissement maximum de l'ordre d'une vingtaine de centimètres,
- gare d'Issy RER : abaissement maximum d'une trentaine de centimètres.

Dans le cadre de l'hypothèse 2 (tous les travaux de pompage de nappe synchrones), les impacts en terme d'abaissement des niveaux de nappe sur les dispositifs d'exploitation géothermique les plus proches (siège BNP et projet sur la ZAC du Trapèze, voir paragraphe 4.2.3.4), et de manière plus générale au centre de la boucle de Boulogne, sont compris entre 10 et 20 cm en ordre de grandeur. Ces résultats sont sensiblement équivalents que l'on tienne compte ou non du projet IDEX.

On constate donc que les impacts sont très faibles et ne sont pas de nature à avoir des conséquences quantitatives, en l'état actuel, sur les forages exploitant l'aquifère ; l'essentiel des impacts étant limités géographiquement aux alentours immédiats des gares et correspondances.

Dans tous les cas, il conviendra, au cours des phases d'étude ultérieures, de vérifier et de valider ou au contraire d'infirmer la géométrie du toit de la craie peu perméable (c'est-à-dire sa profondeur), notamment par la réalisation d'investigations in-situ adaptées (essais au micromoulinet par exemple), afin, le cas échéant, d'ajuster la profondeur d'ancrage des parois moulée.

D'après notre bonne connaissance du contexte et les nombreux retours d'expérience de réalisation de parois moulées dont nous disposons dans la boucle de Boulogne-Billancourt, les impacts, en termes de débit ou d'abaissement piézométrique, ne devraient pas changer significativement par rapport aux résultats des simulations précédentes, si un ancrage suffisant des parois moulées dans la craie peu perméable est assuré. En effet, l'impact est très peu dépendant de l'épaisseur ou de la perméabilité de la craie perméable, mais est surtout dépendant de la hauteur d'ancrage des parois moulées dans la craie saine.

Enfin, les résultats de nos simulations n'intègrent pas, comme cela serait le cas pour une situation de crue centennale, l'effet du débordement de la Seine dans son lit majeur. Toutefois, comme cela a été indiqué précédemment, l'impact du débordement de la Seine sur les débits d'exhaure sera faible compte tenu du fait que les hauteurs de dénoyage, hors crue, sont déjà très importantes (ceci suppose, bien entendu, que la crue de Seine n'inonde pas, par le haut, l'intérieur des enceintes de parois moulées).

4.3.8 Simulation de l'impact du projet en phase définitive

4.3.8.1 Objectifs et méthodologie

Cette simulation consiste à observer les modifications d'écoulement engendrées par la présence du tunnel et des gares traversant l'aquifère, en phase définitive. Le tunnel et les gares constituent en effet des obstacles imperméables à l'écoulement, pouvant potentiellement provoquer un effet de barrage. On notera qu'en phase définitive, il n'est prévu aucun pompage d'exhaure sur l'aquifère. Des faibles débits d'infiltration (suintements) seront toutefois possibles.

Le maillage du modèle numérique a été discrétisé verticalement de manière à pouvoir représenter correctement le tunnel (10 m de diamètre), sous la forme d'un écran imperméable.

Nous avons donc réalisé des simulations permettant de comparer l'état piézométrique de référence à l'état piézométrique en présence de ces infrastructures souterraines en phase définitive (avec ou sans crue de Seine – les crues de récurrence 5 ans, 10 ans et 50 ans ont été simulées).

Comme dans le cas de la phase travaux, les simulations ont été répétées en partant d'un état piézométrique de référence intégrant le projet de géothermie IDEX à son débit maximum théorique. Les résultats avec et sans projet IDEX sont exprimés sous la forme de valeurs d'isorabattements et d'isorelèvements des cotes piézométriques de la nappe du complexe alluvions-craie. Sur les cartes d'incidence, nous avons également fait figurer les sens d'écoulement de la nappe, ce qui permet de situer l'impact propre au projet IDEX sur la piézométrie et d'expliquer les différences d'incidence obtenues selon qu'il soit pris en compte ou non dans les calculs.

4.3.8.2 Résultats sans projet IDEX

En figure 18, les impacts piézométriques, résultant de la présence du tunnel et des gares au sein de la nappe du complexe alluvions-craie, en phase définitive et hors crue (régime permanent), sont les suivants :

- impact piézométrique du puits tunnelier : inférieur au centimètre à proximité immédiate des infrastructures,

- impact piézométrique de la gare de Pont de Sèvres et de ses correspondances : relèvement amont et abaissement aval d'environ 1 cm à proximité immédiate des infrastructures,

- impact piézométrique identique pour la gare Issy RER et de ses correspondances : relèvement amont et abaissement aval d'environ 1 cm à proximité immédiate des infrastructures,

- impact piézométrique du tunnel en lui-même : à peu près nul (de l'ordre du millimètre) tout au long du tracé.

En cas de crue, nous avons comparé la piézométrie de la nappe au pic de crue (transmise dans l'aquifère) à l'état initial (sans les infrastructures) et avec les infrastructures (gares et tunnel en place). Le résultat des simulations pour les des crues de récurrence 5, 10 et 50 ans sont donnés par les cartes en figure 19. D'une manière générale, l'impact augmente avec l'amplitude de l'onde crue simulée (sa résultante étant l'augmentation du gradient de nappe). Dans le cas d'une crue de récurrence 50 ans, elles montrent les impacts maximums suivants (étant entendu que les impacts pour les crues de récurrence 5 ans et 10 ans sont plus faibles) :

- impact piézométrique du puits tunnelier : impact nul ou inférieur au centimètre,

- impact piézométrique de la gare de Pont de Sèvres : augmentation, par effet barrage, de l'amplitude de l'onde de crue transmise dans l'aquifère de 4 cm en amont immédiat de l'ouvrage (côté Seine), et abaissement de la nappe de 7 cm sur l'autre face de la structure (coté boucle de Boulogne),

- impact piézométrique de la gare Issy RER : relèvement du niveau de nappe de 3 cm en amont immédiat de l'ouvrage (côté Seine), et baisse de 2 cm à l'opposé,

- impact piézométrique du tunnel en lui-même : ne se fait sentir que dans sa partie située à l'est de la gare Issy RER avec une baisse de 1 à 2 cm.

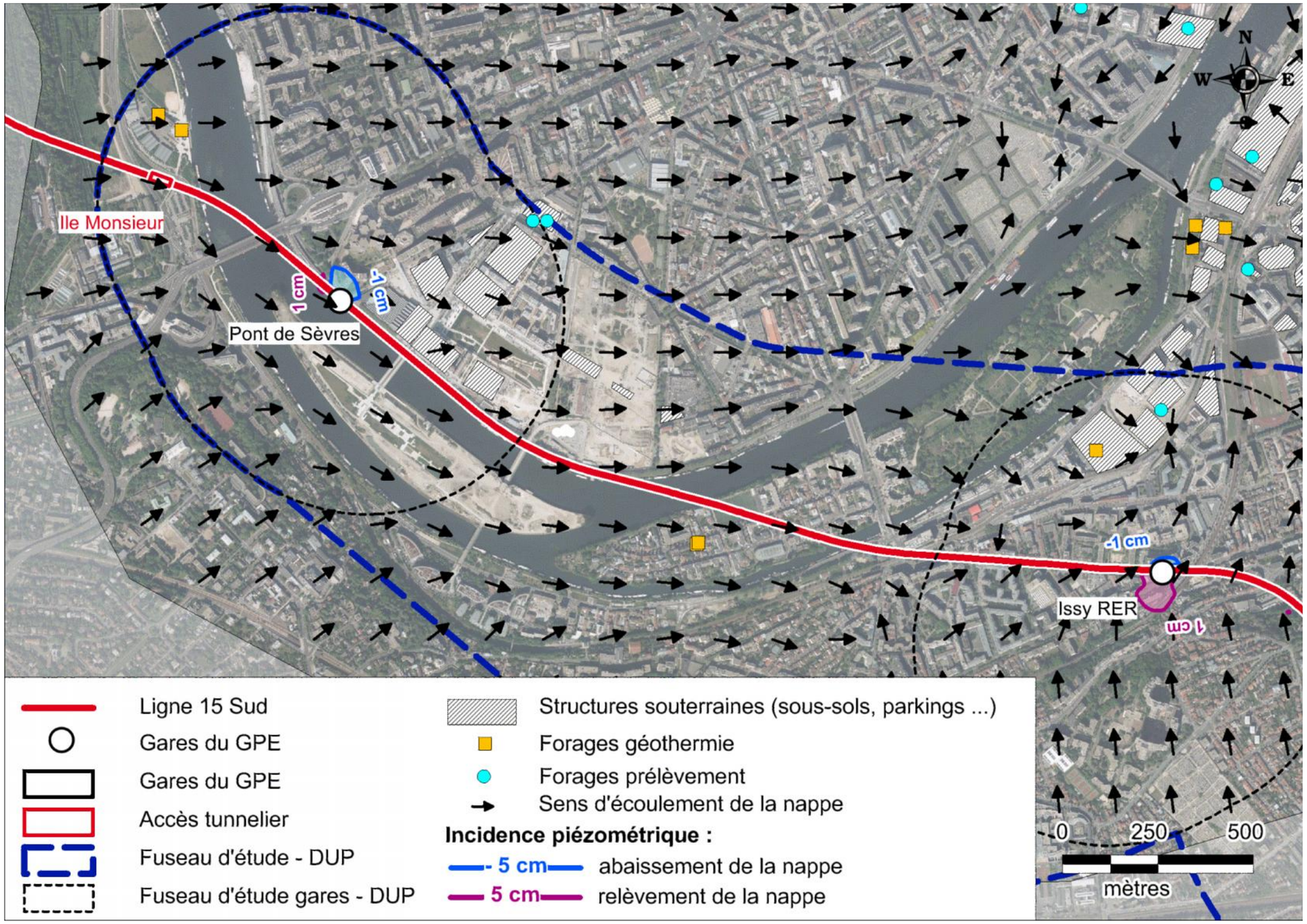
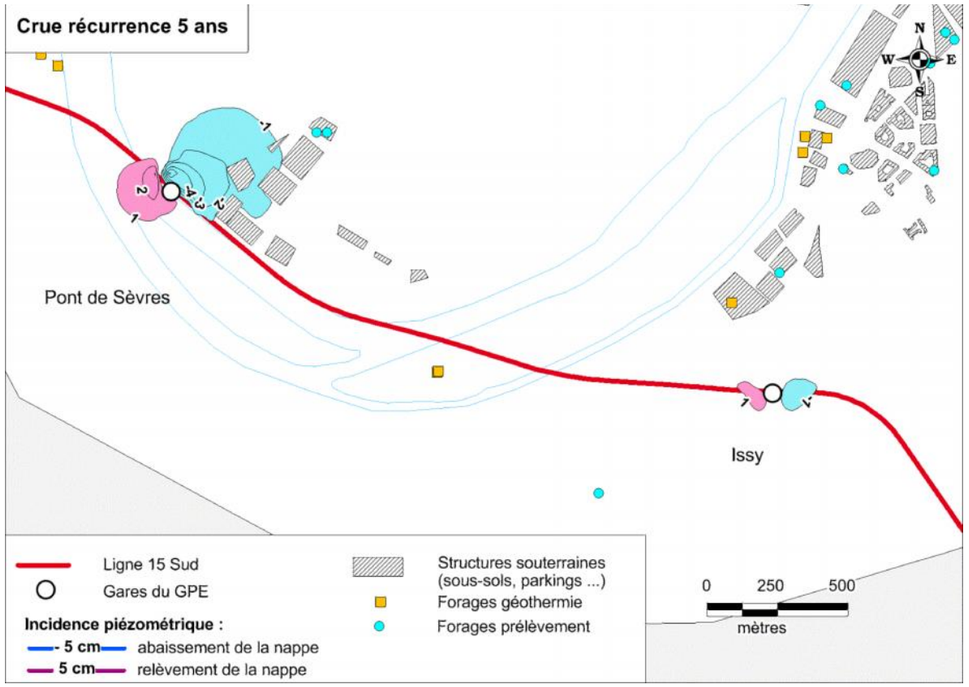
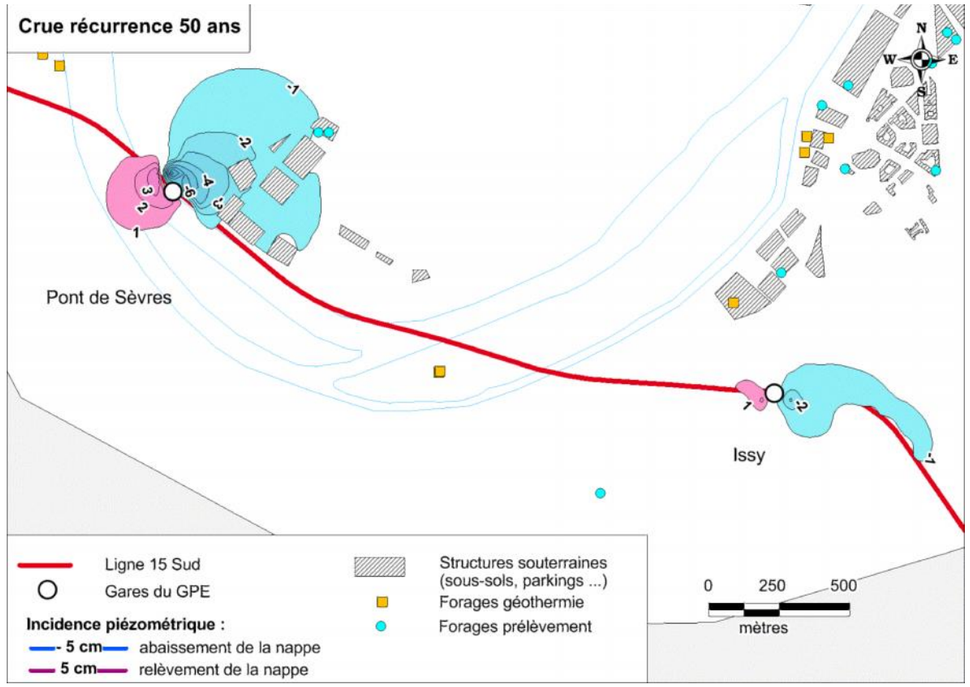


Figure 26 : Carte d'incidence piézométrique en phase définitive (hors crue)





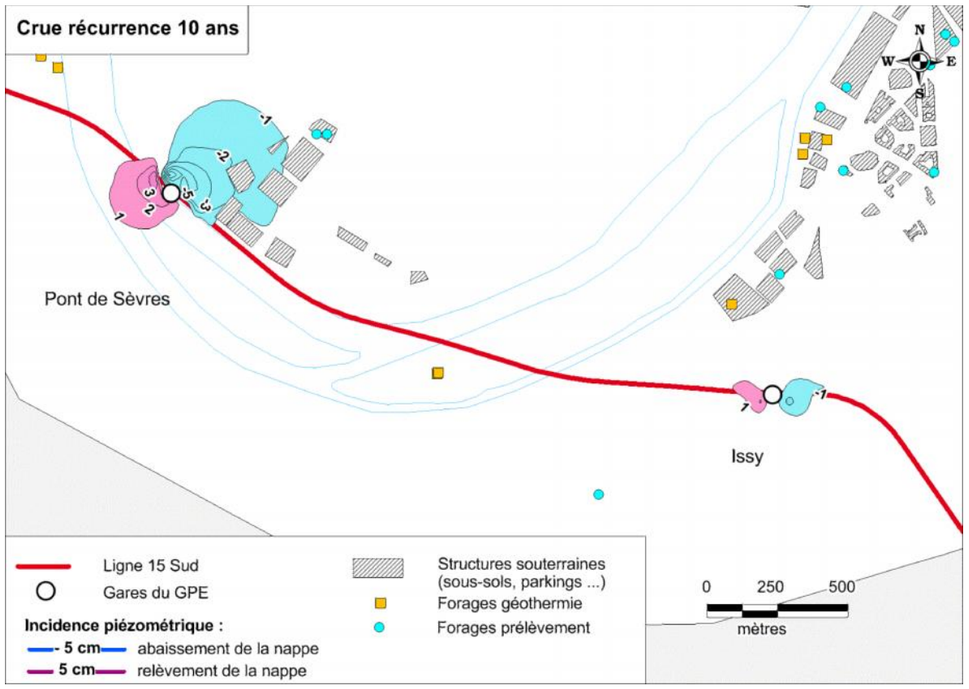


Figure 27 : Cartes d'incidence piézométrique en phase définitive (crues)

4.3.8.3 Résultats avec projet IDEX

Les résultats sont donnés avec les cartes d'incidence en pages suivantes, toujours respectivement pour un régime permanent moyennes eaux puis les cas de crue de récurrence 5, 10 et 50 ans.

Dans cette configuration - où les impacts sont donc calculés à partir d'une piézométrie de référence qui inclut le projet IDEX en fonctionnement - les impacts diffèrent sensiblement de la situation précédente.

En régime permanent, figure 20 :

- Gare Pont de Sèvres : les rejets du projet IDEX modifient l'écoulement de la nappe qui, du sens globalement orienté de l'ouest vers l'est représenté en figure 18, passe à une direction du nord-est vers le sud-ouest, de sorte que l'effet barrage se trouve cette fois du côté Boulogne de la structure. D'autre part les gradients de nappe sont plus forts avec le projet IDEX et l'amplitude de l'impact augmente en conséquence : remontée de 10 cm à l'amont et baisse de 8 cm à l'aval (côté Seine). L'impact est sensible (supérieur au centimètre) jusqu'à une distance de 800 m de la gare.

- Tunnel : entre les deux gares, on note l'apparition d'un impact (baisse faible, de l'ordre de 2 cm) au droit de la zone de pompage du projet IDEX.

- Gare Issy RER : la situation est identique à la configuration sans projet IDEX, l'impact est très faible (1 à 2 cm).

L'évolution des impacts pour les trois cas de crue croissante est donnée en figure 21 :

- Gare Pont de Sèvres : on remarque que l'impact relatif de la gare sur la piézométrie tend à diminuer avec l'augmentation de l'onde crue, notamment dans la boucle de Boulogne où l'extension de l'incidence est plus faible en crue 50 ans qu'en crue 5 ans. Ceci s'explique par le fait que l'onde de crue a pour effet de diminuer le gradient de nappe créé par les rejets IDEX. Cet effet est cependant limité, l'impact restant voisin en ordre de grandeur du cas en régime permanent (5 à 8 cm de remontée de nappe à l'amont de la structure).

- Pour les impacts tunnel et gare Issy RER, l'effet des crues se note avec une incidence qui augmente modérément de 1 à 2 cm par rapport au régime permanent.

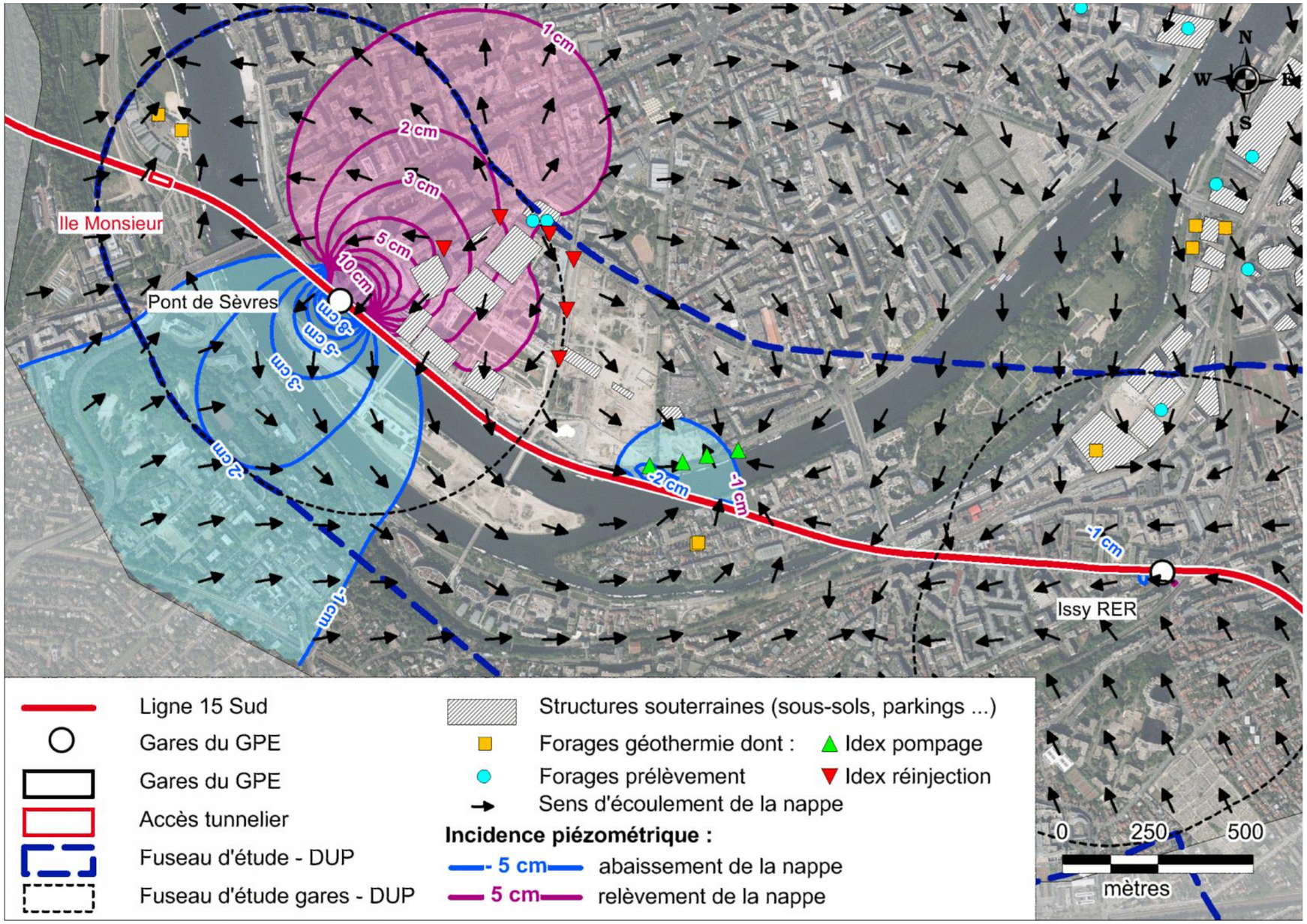
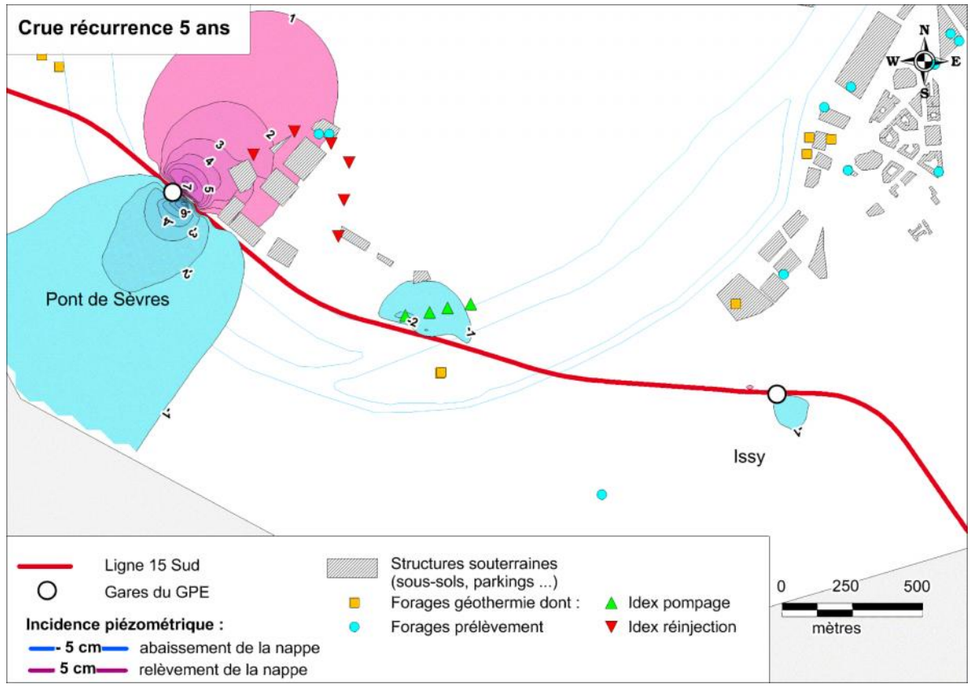
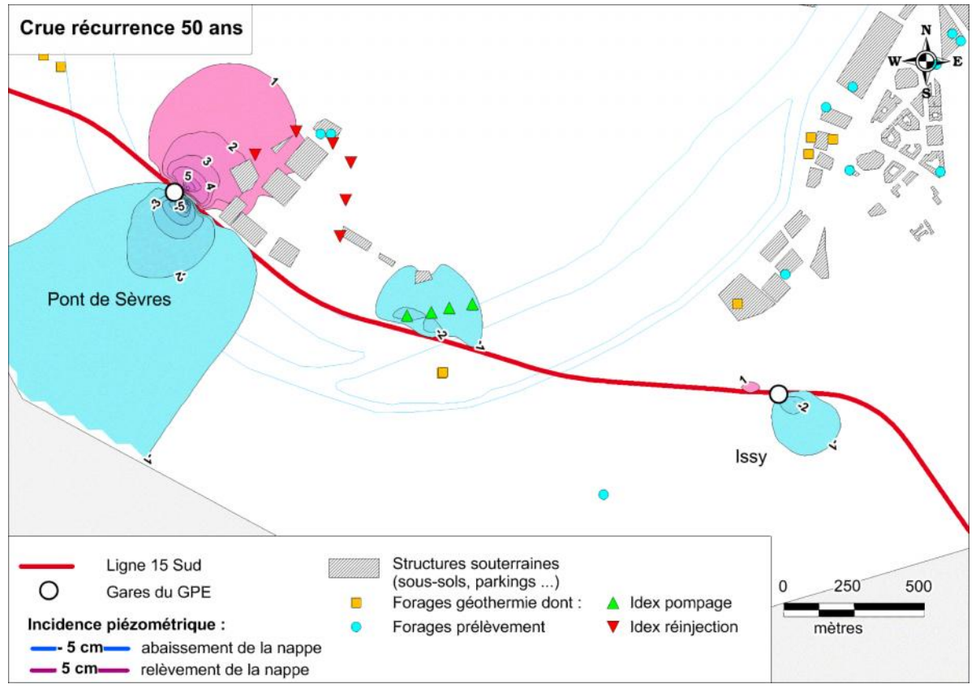


Figure 28 : Carte d'incidence piézométrique en phase définitive avec projet IDEX (hors crue)





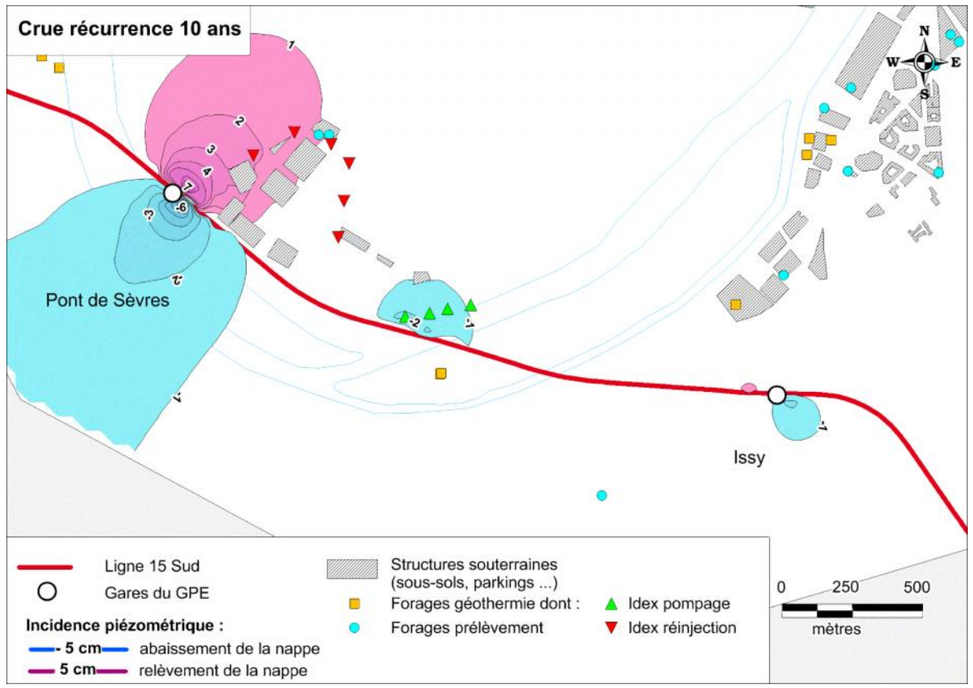


Figure 29 : Cartes d'incidence piézométrique en phase définitive (crues) avec projet IDEX

4.3.8.4 Conclusions

Dans la configuration sans le projet géothermie IDEX au droit de la ZAC du Trapèze, l'impact de la présence du tunnel du métro et des gares en phase définitive est donc extrêmement faible, hors période de crue (impact centimétrique). Ceci résulte principalement du fait que :

- d'une part, l'aquifère étant très productif et donc les gradients d'écoulement relativement faibles, le linéaire des gares n'est pas suffisamment grand pour créer un effet barrage significatif, bien que ces ouvrages occultent complètement la hauteur aquifère,

- d'autre part, le tunnel n'occulte pas l'intégralité de l'aquifère (simplement 30 à 35 % de la hauteur de craie fracturée) et, comme l'aquifère est très productif et les gradients d'écoulement relativement faibles, cette épaisseur de craie occultée par le tunnel n'est pas suffisante pour créer un effet barrage significatif.

En période de crue, les impacts piézométriques sont, en valeur absolue, légèrement plus importants (environ 7 centimètres au maximum à la gare de Pont de Sèvres). L'impact de l'effet barrage en cas de crue est donc également très limité.

En tenant compte du projet IDEX et des modifications qu'il engendre sur les gradients de nappe, l'impact relatif par effet barrage tend à augmenter, son ampleur reste cependant du même ordre que précédemment avec au maximum une dizaine de cm en remontée ou en baisse à proximité immédiate de la gare Pont de Sèvres.

4.4 Conclusions

4.4.1 Impacts du projet de métro sur la piézométrie et les écoulements de la nappe du complexe alluvions-craie

Les résultats des simulations effectuées à partir du modèle calé, en régime permanent et en régime transitoire, montrent que les impacts de la mise en place du tronçon de la ligne 15 sud du projet de métro, dans le secteur de la boucle de Boulogne-Billancourt, seraient les suivants :

- au cours de la phase chantier de construction des gares : l'abaissement des niveaux de nappe est de l'ordre de 20 cm à 30 cm au maximum, à proximité immédiate des infrastructures projetées, selon les hypothèses considérées.

  Les impacts sur l'ensemble de la boucle de Boulogne sont de l'ordre de 10 à 20 cm ; ces impacts sont donc faibles et ne sont pas de nature à avoir des conséquences quantitatives, en l'état actuel, sur les forages exploitant l'aquifère,

- en phase définitive, après mise en place des infrastructures : hors période de crue, l'impact piézométrique lié à la présence des gares est de l'ordre du centimètre et l'impact piézométrique de la présence du tunnel en lui-même est quasi-nul, inférieur au centimètre.

  En période de crue, la présence des infrastructures (gares et tunnel) a pour conséquence d'augmenter l'amplitude de l'onde de crue transmise dans l'aquifère. Toutefois, cette augmentation n'est pas significative : au maximum, l'augmentation de l'onde de crue dans l'aquifère est de l'ordre d'une dizaine de centimètres au droit des gares et de l'ordre du centimètre au droit du tunnel.

Ces impacts sont donc très faibles et ne sont pas de nature à avoir des conséquences quantitatives, en l'état actuel, sur les forages exploitant l'aquifère, ni sur les infrastructures existantes dans le secteur étudié.

4.4.2 Incertitudes et recommandations

Nous rappelons ici les incertitudes rencontrées au cours de cette étude :

- la cote du toit de la craie peu perméable, le long du tracé et au droit des gares et du puits tunnelier, a été estimée d'après les archives internes de BURGEAP [3], par interpolation sur la base d'un certain nombre d'essais au micromoulinet réalisés dans la boucle de Boulogne, à plus ou moins grande distance de la Seine.

  Ainsi, au stade actuel, nous ne connaissons pas la cote précise du toit de la craie peu perméable au droit de chacun des ouvrages, celle-ci pouvant varier de plusieurs mètres sur une faible distance.

  Il conviendra donc, au cours des phases d'étude ultérieures, de vérifier et de valider ou au contraire d'infirmer la géométrie du toit de la craie peu perméable (c'est-à-dire sa profondeur) au droit de chacun des ouvrages, notamment par la réalisation d'investigations in-situ adaptées (essais au micromoulinet par exemple) afin, le cas échéant, d'ajuster la profondeur d'ancrage des parois moulée pour limiter ces impacts.

  D'après notre bonne connaissance du contexte et les nombreux retours d'expérience de réalisation de parois moulées dont nous disposons dans la boucle de Boulogne-Billancourt, les impacts, en termes de débit ou d'abaissement piézométrique, ne devraient pas changer significativement par rapport aux résultats des simulations, si un ancrage suffisant des parois moulées dans la craie peu perméable est assuré. En effet, l'impact est très peu

dépendant de l'épaisseur ou de la perméabilité de la craie perméable, mais est surtout dépendant de la hauteur d'ancrage des parois moulées dans la craie saine,

- les données relatives aux prélèvements et à l'utilisation des eaux souterraines dans la boucle de Boulogne reposent pour l'essentiel sur les déclarations des exploitants auprès de l'Agence de l'Eau et sur les données de la RATP. De fait, la liste des captages n'est probablement pas exhaustive, et il est probable que des prélèvements non déclarés exploitent la ressource aquifère (il n'existe toutefois pas d'exploitation des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable).

  Les simulations tiennent compte de l'existence probable à plus ou moins long terme de l'important projet de géothermie IDEX sur la ZAC du Trapèze. Même si les caractéristiques définitives précises de l'installation ne sont pas connues à ce jour (en termes d'implantation ou de débit), il nous a paru nécessaire de la considérer dans les calculs d'incidence. Il conviendra cependant, une fois les données afférentes à ce projet rendues publiques, de reprendre les simulations précédentes pour réévaluer les impacts hydrogéologiques.

4.5 Bibliographie

[1] BRGM (1980) - Carte géologique au 1/25 000 de Paris

[2] BRGM - Base de données Infoterre, banque du sous-sol (BSS), http://infoterre.brgm.fr/

[3] BURGEAP (1947 – 2013) – Archives internes de la société

[4] Delesse (1882) – Carte hydrogéologique du département de la Seine

[5] BRGM – Carte hydrogéologique de la feuille de Paris. P. Diffre, 1970

[6] Mégnien (1979) – Hydrogéologie du centre du bassin de Paris. Mémoire du BRGM n°98

[7] Mégnien (1970) – Atlas des nappes aquifères de la région parisienne

[8] ADES – banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, http://www.ades.eaufrance.fr

[9] Agence de l'Eau Seine Normandie (2007, 2008) – Listing des prélèvements collectifs, industriels et agricoles pour le département des Hauts de Seine et la Ville de Paris

[10] Régime Autonome des Transports Parisiens – Listing des volumes rejetés pendant la période 2007-2008 sur la Ville de Paris

[11] XELIS (05/07/2012) – Tronçon Villejuif IGR – Saint Cloud. Etudes préliminaires, Etude d'infrastructure, Tracé en plan et profil en long

[12] XELIS (09/11/2011) – Tronçon Villejuif IGR – Saint Cloud, Etudes de faisabilité, Etude d'infrastructure, Mémoire technique

[13] XELIS (05/07/2012) – Tronçon Villejuif IGR – Saint Cloud. Etudes préliminaires, Etude d'infrastructure, Pont de Sèvres, Cahier de Synthèse

[14] XELIS (20/07/2012) – Tronçon Villejuif IGR – Saint Cloud. Etudes complémentaires n°1, Gare Pont de Sèvres, Principe de phasage de réalisation de surface

[15] XELIS (20/07/2012) – Tronçon Villejuif IGR – Saint Cloud. Etudes préliminaires, Etude d'infrastructure, Issy RER, Cahier de Synthèse

[16] XELIS (20/07/2012) – Tronçon Villejuif IGR – Saint Cloud. Etudes préliminaires, Etude d'infrastructure, Principes installations de chantier – Vue en plan – Vue en coupe

[17] INGEROP (23/10/2014) Ligne 15 Sud Villejuif Louis Aragon – Pont de Sèvres. Tracé. Vue en plan et Profil en long

[18] GROUPEMENT (23/10/2014) Ligne 15 Sud Villejuif Louis Aragon – Pont de Sèvres. Annexe 13 au mémoire de synthèse. Estimation des débits d'exhaure

[19] J-M DUTHILLEUL Architecture Urbanisme (23/10/2014) Ligne 15 Sud – Tronçon 3. Gare Pont de Sèvres. Vues en plan des niveaux –2 et -1

[20] J-M DUTHILLEUL Architecture Urbanisme (23/10/2014) Ligne 15 Sud – Tronçon 3. Gare Pont de Sèvres. Vues en plan Halle de correspondance

[21] J-M DUTHILLEUL Architecture Urbanisme (23/10/2014) Ligne 15 Sud – Tronçon 3. Gare Pont de Sèvres. Notice flux et intermodalité

[22] BRUNET SAUNIER Architecture (23/10/2014) Ligne 15 Sud – Tronçon 3. Gare Issy RER. Vues en plan niveaux sous quai, -1 et -0,5.

[23] BRUNET SAUNIER Architecture (23/10/2014) Ligne 15 Sud – Tronçon 3. Gare Issy RER. Vues en plan niveaux sous quai, -3 et -2.

[24] BRUNET SAUNIER Architecture (23/10/2014) Ligne 15 Sud – Tronçon 3. Gare Issy RER. Vues en plan et coupes correspondance 2/2.

[25] Logiciel FEFLOW, version 6.1. DIERSCH, DHI-WASY GmbH, 2013

5 Annexe 5 : Gestion des eaux souterraines – Modélisation hydrogéologique du territoire traversé par ligne 15 sud entre les gares de Fort d'Issy-Vanves-Clamart et Champigny Centre

5.1 Résumé et auteurs des études

5.1.1 Résumé

Dans le cadre de l'étude d'impact de la ligne 15 Sud (Champigny Centre – Fort d'Issy) du projet de métro du Grand Paris, les incidences hydrogéologiques du projet ont été étudiées spécifiquement par modélisation numérique pour les gares comprises entre Fort-d'Issy-Vanves-Clamart et Champigny Centre. La partie ouest de ce linéaire comprise entre Fort-D'Issy-Vanves-Clamart et Arcueil-Cachan (Secteur 1) est caractérisé par la présence de la nappe des Calcaires grossier partiellement saturée et de productivité modérée que le tunnel et les ouvrages vont traverser ce qui induit une sensibilité importante aux phénomènes d'effet barrage. La partie est du linéaire comprise entre Vitry-Centre et Saint-Maur-Créteil (Secteur 2) nécessitera la mise en œuvre de pompages d'épuisement en phase travaux non négligeables, atténués toutefois par les dispositions constructives retenues pour limiter les venues d'eau souterraine, entrainant des abaissements piézométriques potentiels qui doivent être évalués précisément. Les gares et le tunnel entre Villejuif IGR et Villejuif Louis Aragon ne pénétreront pas dans les aquifères représentés dans ce modèle.

La Société du Grand Paris, responsable de la mise en œuvre du projet du Grand Paris Express, a choisi le bureau d'études Burgeap afin de réaliser un modèle hydrogéologique visant à représenter le fonctionnement hydrodynamique de ce secteur et à évaluer les impacts du projet.

Le rapport qui suit présente ce modèle (conception, calage, sensibilité), les simulations réalisées avec ce dernier et les résultats obtenus. Le modèle a été calé en régime permanent et en régime transitoire. Les impacts simulés ont été comparés à la situation de référence.

Deux types d'impact sur les eaux souterraines ont été étudiés :

- l'effet lié à l'abaissement du niveau de nappe en phase chantier, potentiellement induit lors de la construction des gares par la mise en œuvre de pompages d'épuisement permettant de pouvoir construire les infrastructures profondes au sec ,

- l'effet en phase définitive du tunnel et des gares résultant de la perturbation des écoulements souterrains induit par l'obstacle créé par la présence du tunnel et des gares (« effet de barrage »).

Des dispositions constructives telles que des parois moulées et des injections de sol (fonds et jupes injectées) sont prévues pour limiter les débits d'épuisement en phase chantier. Pour l'étude des effets piézométriques en phase chantier, deux cas de figure ont été envisagés. Le premier cas de figure considéré comme probable permet d'évaluer l'effet piézométrique en phase chantier en considérant des performances usuelles en termes d'efficacité des injections de sol permettant de réduire les débits d'épuisement. Le second cas de figure, considéré comme extrême, permet d'évaluer l'effet piézométrique en phase chantier en considérant de moins bonnes performances des dispositions constructives en raison notamment d'aléas géologiques locaux.

Les résultats des simulations effectuées à partir du modèle calé et pour le cas probable montrent que les impacts de la mise en place du tronçon de la ligne 15 Sud du projet de métro, sur le secteur étudié, seraient les suivants :

- Au niveau de la plaine de Vitry, pour les gares situées entre Vitry Centre et Saint-Maur-Créteil nécessitant des pompages d'épuisement non négligeables, l'effet piézométrique durant la phase travaux, c'est-à-dire l'abaissement du niveau de la nappe, serait :

  - De l'ordre de 5 mètres dans le périmètre immédiat des stations, et 0,5 à 1 mètres à une distance de 1 km des stations environ, dans les calcaires grossiers ;
  - compris entre 1,5 et 0,1 mètre dans les alluvions ;
  - de l'ordre d'une dizaine de centimètres dans la nappe de la Craie.

Les résultats des simulations effectuées à partir du modèle calé et pour le cas extrême, c'est-à-dire le plus défavorable, montrent que les impacts de la mise en place du tronçon de la ligne 15 Sud du projet de métro, sur le secteur étudié, seraient les suivants :

- Au niveau de la plaine de Vitry, pour les gares situées entre Vitry Centre et Saint-Maur-Créteil nécessitant des pompages d'épuisement non négligeables, l'effet piézométrique durant la phase travaux, c'est-à-dire l'abaissement du niveau de la nappe, serait :

  - compris entre 10 mètres dans le périmètre immédiat des stations, et 1 à 5 mètres à une distance de 1 km des stations environ, dans les calcaires grossiers ;
  - compris entre 3 et 0,5 mètre dans les alluvions ;
  - compris entre 1 mètre et une dizaine de centimètres dans la nappe de la Craie.

Plus particulièrement, les impacts sur les forages identifiés dans le secteur, et exploitant l'un ou l'autre des aquifères étudiés, sont compris entre 0,5 et 4 mètres mais ne sont pas de nature à compromettre leur exploitation.

En phase définitive, après mise en place des infrastructures : l'impact piézométrique lié à la présence du tunnel et des gares est de l'ordre :

- de la vingtaine à la cinquantaine de centimètres pour la nappe des calcaires grossiers entre les stations de Fort-d'Issy et Arcueil-Cachan, soit un impact équivalent à l'ordre de grandeur du battement moyen observé pour cette nappe dans ce secteur (0,3 à 1 m environ). L'impact serait localisé autour des stations, et serait insignifiant entre les stations ;
- de la trentaine à la demi-dizaine de centimètres pour la nappe des calcaires grossiers et/ou la nappe phréatique dans la plaine de Vitry, soit un impact inférieur au battement moyen observé pour ces nappes dans ce secteur (0,5 à 1 m environ) ;
- l'impact piézométrique est nul dans l'aquifère de la craie.

Les effets barrage sont donc globalement faibles et surtout limités géographiquement, essentiellement à proximité des gares pour la nappe des calcaires grossiers (nappe phréatique).

Enfin, compte tenu de la profondeur de la nappe phréatique (nappe de calcaires grossiers) aux endroits où les impacts sont les plus importants, ces impacts ne sont a priori pas de nature à avoir des conséquences sur les infrastructures existantes dans le secteur étudié.

Il conviendra, au cours des phases d'étude ultérieures, de vérifier et de valider ou au contraire d'infirmer les hypothèses considérées dans cette étude, et notamment :

- les perméabilités des principales formations géologiques, qui seront déterminées à l'issue des pompages d'essai qui doivent être réalisés au droit de chaque gare. Les perméabilités retenues dans le modèle sont celles issues de revues bibliographiques, de résultats d'essais dans le secteur d'étude et du calage des mesures piézométriques effectuées au droit du tracé pour ce projet et disponibles dans la bibliographie.

- les débits d'épuisement qui seront nécessaires pour la construction des infrastructures. Ces débits dépendent de la perméabilité des terrains en place et de la performance et de la géométrie des dispositions constructives sui seront réalisés pour limiter les venues d'eau (injections de sol notamment) En attente des pompages d'essai, les débits d'épuisement retenus, issus des estimations préliminaires de la Maîtrise d'œuvre, sont sécuritaires.

5.1.2 Auteurs de l'étude

Les contributeurs à la réalisation de cette étude sont présentés ci-dessous.

Tableau 55 : Contributeurs de l'étude

Directeur d'étude	Hugues THOMAS (BURGEAP)
Hydrogéologue modélisateur	Didier VANDEN BERGHE (BURGEAP)
Expert hydrogéologue	Laurent PYOT (BURGEAP)
Relecteur qualité	Claude MICHELOT (BURGEAP)

5.2 Introduction

Le projet de Grand Métro est de nature à potentiellement impacter les nappes d'eaux souterraines dans le secteur étudié qui s'étend de Champigny à Issy.

En phase chantier des pompages provisoires seront nécessaires pour réaliser les gares et ouvrages souterrains. Ces pompages sont susceptibles d'abaisser les niveaux piézométriques. Un abaissement piézométrique et plus généralement une modification des sens et gradients d'écoulement est susceptible :

- d'avoir des conséquences sur les performances des exploitations d'eau souterraine en termes de débit maximal exploitable, de consommations électrique pour le pompage, de recyclage hydraulique et thermique pour les doublets de géothermie sur nappe, et peut perturber des systèmes actifs de confinement de pollution de nappe,

- d'entrainer des modifications dans les vitesses et direction de propagation des zones de pollution de nappe éventuellement existantes,

- de créer des phénomènes de tassement d'horizons potentiellement sensibles au niveau piézométrique,

- de créer des conditions plus favorables au phénomène de dissolution du gypse Anté-Ludien.

En phase définitive le tunnel ainsi que les gares et les ouvrages associés vont pénétrer des portions d'aquifères ayant pour conséquences possibles de relever la piézométrie en amont et la rabaisser en aval hydraulique du tracé (effet barrage). Ces modifications piézométriques sont également susceptibles de générer des impacts sur les différents enjeux rencontrés en milieu urbain : exploitations d'eau souterraine, présence d'infrastructures non étanches, présence de zones de pollution de nappe, zones de fragilités potentielles (remblais, niveaux gypseux) etc…

Par ailleurs, le milieu hydrogéologique concerné est complexe :

- il comprend plusieurs horizons aquifères séparés par des niveaux peu perméables continus ou non ;

- les aquifères peuvent être libres dans certains secteurs et captifs dans d'autres ;

- le fonctionnement hydrogéologique de ces aquifères dépend par ailleurs de la proximité, variable suivant les stations, des cours d'eau (Seine, Marne, Bièvre) et de la présence de couvertures peu perméables entre ces aquifères et ces eaux de surface ;

- de nombreux forages en activité prélèvent l'eau des nappes et parfois la rejettent dans le même aquifère (dans le cas de doublets géothermiques notamment).

Le projet en lui-même comprend des gares et des ouvrages annexes, le long du tracé du métro qui s'étend sur plusieurs kilomètres. Au droit des stations et des ouvrages annexes, différentes dispositions constructives ont été retenues afin de limiter les débits de pompage durant la phase de chantier. Ces dispositifs constructifs de réduction des débits d'épuisement ne permettent toutefois pas, en particulier pour les gares, de réduire à un niveau négligeable les débits de pompage nécessaire qui peuvent parfois restés importants au regard du contexte. De plus, des effets cumulatifs sont envisageables dans la mesure où plusieurs chantiers de construction d'ouvrages seront réalisés de manière concomitante d'après le planning estimatif des travaux.

Ainsi l'ampleur du projet, la complexité du contexte hydrogéologique et l'importance des enjeux ont orientés l'étude vers le choix d'un modèle numérique à grande échelle permettant de représenter

les différentes unités géologiques comprises entre les alluvions et la craie, et de prendre en compte le tracé tridimensionnel du projet.

Une importante étude bibliographique du contexte hydrogéologique a été menée afin de déterminer aussi précisément les conditions hydrogéologiques régissant les écoulements souterrains au droit du tracé. Cette étude bibliographique a permis de compléter les données géologiques (coupes des terrains) et hydrogéologiques (mesures de niveaux de nappe) acquises au droit du tracé par la Société du Grand Paris lors des missions géotechniques. Les données recherchées concernent principalement les perméabilités des différents horizons hydrogéologiques, les coupes géologiques renseignant sur l'épaisseur et la profondeur de ces horizons, les niveaux piézométriques et les prélèvements en nappe.

L'extension du domaine modélisé a été choisie pour représenter le tracé de la ligne 15 Sud la gare de Fort-d'Issy-Vanves-Clamart à la gare de Champigny Centre. Il comprend deux secteurs aux caractéristiques hydrogéologiques sensiblement différentes :

- Secteur 1 (Ouest) : le premier a une extension latérale comprise entre la rive droite de la Seine à Issy-les-Moulineaux et la vallée de la Bièvre à l'est. Il est caractérisé par la présence de la nappe des Calcaires grossier partiellement saturée et de productivité modérée que le tunnel et les ouvrages vont traverser.

- Secteur 2 (Est) : l'extension latérale du deuxième secteur est comprise entre la vallée de la Bièvre à l'ouest et le versant sud de la Marne vers Noisy-le-Champ. Il est caractérisé par la présence d'un aquifère productif et captif constitué par les Marnes et Caillasses et le Calcaire Grossier sous couvert des formations plus récentes comme les sables de Beauchamp et les calcaires de Saint-Ouen puis les alluvions de la Seine et de la Marne. Compte tenu de la position profonde du projet, les débits d'épuisement attendus sont assez importants malgré les solutions de réduction prévues. Dans ce secteur de plaine alluvial, le niveau de la nappe est par ailleurs peu profond.

Ce rapport présente une synthèse interprétative du contexte hydrogéologique ayant permis d'aboutir au schéma conceptuel retenu pour le modèle, la construction et le calage du modèle, et les résultats des simulations permettant d'estimer les incidences hydrogéologiques du projet.

5.3 Description de la zone d'étude et du projet

La Ligne 15 Sud entre les gares de Fort-d'Issy et de Champigny recoupe les départements des Hauts-de-Seine (92) et du Val de Marne (94). Ce tronçon comprend les sections T2 (à l'est de Villejuif) et T3 (à l'ouest de Villejuif) du projet de métro du Grand Paris, et comprend 12 gares. La zone étudiée spécifiquement dans le cadre de la présente étude correspond à la partie sud du tracé de la Ligne 15 Sud. Ce domaine étudié est représenté sur la Figure 30 suivante.

Le domaine étudié se situe à cheval sur le département de la Seine au nord (Paris), les Hauts-de-Seine à l'ouest et le département du Val-de-Marne au sud et à l'est. Cette zone, délimitée au nord par la Seine et la Marne représente, au plus large, environ 20 km du nord au sud et 27 km d'est en ouest.

Ce domaine est fortement urbanisé dans sa partie nord (arrondissements de Paris et communes d'Issy-les-Moulineaux, Ivry-sur-Seine, Maisons-Alfort, Maisons-Alfort, Saint-Maur), et modérément urbanisé dans ses parties centrales (par exemple : Clamart, Sceaux, Choisy-le-Roi) et sud (par exemple : Meudon, Verrières, Sucy en Brie).

5.3.1 Hydrographie

Dans le secteur étudié, le réseau hydrographique est essentiellement composé par la Seine et la Marne.

Le niveau de la Seine est contrôlé par le barrage de Suresnes dans sa partie aval (Alfortville et communes plus au nord et à l'ouest), et par le barrage du Port à l'Anglais dans la partie amont (Alfortville et communes plus au sud).

Le niveau de la Marne est contrôlé, en amont de la confluence, par l'écluse de Charenton.

Ainsi, en aval de Vitry-sur-Seine et de Charenton, et hors période de crue, le niveau d'eau de la Seine et de la Marne est constant et imposé à la cote de 26,73 NGF IGN69 (retenue normale de la Seine), afin de permettre sa navigation. En amont du barrage du Port à l'Anglais, le niveau de retenue normale de la Seine est imposé à la cote 29,66 NGF. En amont du barrage de Charenton, le niveau de la Marne est établi à 29,28 m NGF.

Le réseau hydrographique est, dans une moindre mesure, également caractérisé par

- La Bièvre, aujourd'hui canalisée (et couverte en aval d'Antony), mais dont l'ancien lit, partiellement remblayé dans le 13ème arrondissement, marque encore significativement la topographie du secteur nord du domaine étudié.

- le Morbras qui s'écoule d'est en ouest en rive gauche de la Marne, à travers les communes de Chennevières, Noiseau, Sucy et qui alimente la Marne à hauteur de Bonneuil ;

- l'Yerres qui s'écoule d'est en ouest en rive droite de la Seine, à travers les communes de Yerres, Crosne et qui alimente la Seine à hauteur de Villeneuve-Saint-Georges ;

- l'Orge et l'Yvette qui s'écoulent d'ouest en est en rive gauche de la Seine, depuis les communes de Champlan et Longjumeau jusqu'à Villeneuve-le-Roi où se trouve sa confluence avec la Seine.

5.3.2 Géologie

Le domaine étudié est caractérisé, sur ce secteur, par plusieurs éléments structurants, comme le montre la Figure 30 et la Figure 31. On peut ainsi définir globalement deux zones géographiques :

- au nord et à l'est: la plaine alluviale de la Seine (communes de Boulogne, Paris, Ivry-sur-Seine, Vitry, Maisons Alfort). Cette plaine d'inondation est caractérisée par une topographie relativement plane et la présence en surface des alluvions quaternaires, disposées en terrasses (alluvions de basse terrasse et de haute terrasse), et reposant sur le substratum tertiaire. Dans la vallée, ce substratum tertiaire est majoritairement constitué par les formations de l'Eocène moyen et inférieur.

  Ponctuellement, cette vallée alluviale est marquée par la présence de buttes topographiquement surélevées (montagne Sainte Geneviève, butte aux cailles, …), où affleurent les terrains du Bartonien (Eocène moyen).

- Du sud-est au sud-ouest, les plateaux tertiaires de Champigny (au sud-est), Villejuif (au sud) et de Meudon-Clamart (la limite de ce plateau se situe au niveau de Bagneux à l'ouest) surplombent les vallées de la Marne, la Seine et la Bièvre. Le sommet de ces plateaux tertiaires, armés par la formation des calcaires de Brie au sommet, est plus élevé d'environ 80 m que les vallées de la Seine et de la Marne.

La zone d'étude est également caractérisée par la présence de l'anticlinal de Meudon, qui affecte l'ensemble des couches tertiaires jusqu'à la craie du Secondaire, et dont l'axe est orienté globalement ouest-sud-ouest / est-nord-est (voir Figure 31). De fait, de part et d'autre de l'anticlinal, les couches géologiques tertiaires présentent un pendage significatif :

- au nord de l'anticlinal, le pendage est de l'ordre de 1,5 %, en direction du nord,

- au sud de l'anticlinal, le pendage est plus fort, de l'ordre de 2,5 %, en direction du sud-est.

La présence de cet anticlinal dans le secteur a pour conséquence l'affleurement des formations géologiques de la base de l'Eocène (formations de l'Yprésien) le long de l'axe de l'anticlinal, au niveau des vallées de la Seine, de la Bièvre et de la Marne.

La Figure 11, la Figure 32 et la Figure 33 présentent des coupes géologiques schématiques, orientées respectivement nord-sud et est-ouest. On constate notamment sur la coupe de la Figure 33 la diminution de l'épaisseur des sables yprésiens, puis leur disparition en direction du sud, c'est-à-dire au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'anticlinal de Meudon.

La coupe géologique type dans le secteur étudié comprend, de haut en bas, les formations suivantes. Cette coupe résulte d'une synthèse géologique établie sur la base des données de sondages disponibles auprès de la banque de données du sous-sol [2], de la synthèse géologique du BRGM [11], des cartes géologique au 1/5000 de l'IGC et des coupes de sondages associées [19], des archives de BURGEAP [14], du Mémoire de Mégnien [6], de la notice des cartes géologiques de Paris et de Corbeil [8] [9] et des nombreux sondages carottés réalisés dans le cadre des missions géotechniques effectuées pour la ligne 14 Sud [4] et pour la ligne 15 Sud [18][30][31] :

- remblais éventuels (notés X sur la carte géologique), sur une épaisseur variable, pouvant atteindre par endroits une dizaine de mètres et notamment à Paris, dans la vallée de la Bièvre ou au droit d'anciennes carrières à ciel ouvert remblayées (carrière de calcaires grossiers),

- alluvions récentes (F, Quaternaire) de la Seine et de la Bièvre, composées de limons sableux, parfois tourbeux et d'argiles sableuses, hétérogènes, sur une épaisseur de quelques mètres environ,

- alluvions anciennes (F, Quaternaire) de la Seine. Les alluvions de Seine sont composées de sables et graviers, d'épaisseur moyenne de l'ordre de 5 m à plus de 10 m environ. On notera que cette formation est particulièrement bien développée dans le secteur sud (Paris 13ème, Ivry-sur-Seine et Vitry-sur-Seine).

  Les alluvions anciennes de la Bièvre sont peu développées, de l'ordre de 1 à 3 m d'épaisseur, et sont constituée d'une alternance de sables et graviers, de sables argileux et d'argiles sableuses,

- sables de Fontainebleau (g2b, Stampien supérieur) : sables fins quartzeux, blanc-beiges à ocres. La base de cette formation est connue pour être plus argileuse. Au sommet de la butte de Villejuif, sous les remblais, l'épaisseur résiduelle de cette formation est de l'ordre de la dizaine de mètres,

- marnes à huitres (g2a, Stampien inférieur) : cette formation est constituée de marnes beiges à marrons, voire d'argiles, relativement compactes, sur 3 à 4 m d'épaisseur. La base de cette formation semble être plus calcareuse, voire sableuse,

- calcaire de Brie (g1b, Sannoisien supérieur) : marno-calcaire beige présentant localement des bancs de calcaire dur, fracturé. La base de cette formation semble être plus marneuse. L'épaisseur totale de cette formation est de l'ordre de 5 m,

- argile verte (g1a, Sannoisien inférieur) : formation d'argiles compactes, homogènes et plastiques, continue sur tout le plateau. La base a été reconnue comme étant des argiles légèrement sableuses et marneuses (glaises à Cyrènes). Ponctuellement, des bancs plus marneux peuvent être observés. Son épaisseur est de l'ordre de 6 à 8 m en ordre de grandeur,

- marnes supragypseuses (e7c, Ludien supérieur) : cette formation est subdivisée en 2 niveaux : les marnes de Pantin en tête et les marnes d'Argenteuil à la base. Les marnes de Pantin (marnes blanches) sont des marnes calcaires blanchâtres (voire parfois des calcaires marneux), de l'ordre de 5 m d'épaisseur. Les marnes d'Argenteuil (marnes bleues) présentent un faciès nettement plus argileux (marnes argileuses, voire argiles compactes). Ce second niveau présente notamment des bancs de gypse à la base. L'épaisseur des marnes d'Argenteuil est de l'ordre d'une douzaine de mètres environ,

- masses et marnes de gypse (e7b, Ludien moyen) : alternance de bancs marneux et de bancs de gypse. On distingue généralement 3 masses de gypse. En progressant vers le sud, ce faciès est progressivement remplacé par un faciès marno-calcaire (calcaire de Champigny). Les masses gypseuses ont été exploitées, le plus souvent en souterrain, dans le sud de Paris. L'épaisseur totale est de l'ordre d'une vingtaine de mètres,

- marnes infragypseuses (e7a, Marinésien supérieur et Ludien inférieur) : formation de marnes compactes contenant du gypse mais en quantité beaucoup moins importante que le niveau sus-jacent, d'épaisseur comprise entre 2 et 4 m. Cette formation est souvent associée aux masses et marnes de gypse,

- calcaires de Saint Ouen (e6b1, Marinésien inférieur) : alternance de calcaire franc et compact ou légèrement marneux et de passées nettement plus marneuses. Il peut également contenir des passées de calcaire très dur. L'ensemble est généralement fissuré. L'épaisseur moyenne dans le secteur est de l'ordre de 8 à 10 m mais peut atteindre par endroits près de 15 m dans le secteur,

- sables de Beauchamp (Auversien), composés de sables fins, plus ou moins argileux, consolidés par endroits (grésification), sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 3 à 4 m dans le secteur. Il semblerait que les parties supérieure et inférieure de cette formation soient à dominante plutôt sableuse, tandis que la partie intermédiaire soit plutôt constituée de marnes sableuses, voire d'argiles sableuses,

- marnes et caillasses (e5d, Lutétien supérieur) : les marnes et caillasses sont constituées d'une alternance de bancs marneux et de bancs calcaires. Globalement, la partie supérieure de la formation est plutôt constituée de terrains marneux tandis que la base de la formation

présente un faciès plus calcaire (confirmant ainsi les observations de Mégnien [17]). L'épaisseur totale de cette formation est susceptible de varier entre 10 et 15 mètres environ. Toutefois, dans la vallée de la Seine, l'épaisseur résiduelle de cette formation est nettement plus faible, de l'ordre de quelques mètres, quand elle n'a pas été complètement érodée. On notera que la distinction, en forage, de l'interface entre les calcaires grossiers et les marnes et caillasses est assez difficile de par la proximité des faciès,

- calcaires grossiers (e5a-b, Lutétien inférieur), qui sont constitués d'une alternance de bancs calcaires durs et de bancs calcaires plus tendres, parfois marneux ou sableux. La base de cette formation est constituée de sables glauconieux verdâtres à cimentation calcaire, généralement peu perméables (glauconie grossière) et épais d'environ 3 m en moyenne. L'épaisseur totale de la formation des calcaires grossiers est de l'ordre d'une vingtaine de mètres,

- sables et argiles de l'Yprésien (e3-4c, b, à, Yprésien). Au centre du bassin de Paris, les formations de l'Yprésien sont généralement composées de la série suivante (de haut en bas) : argiles de Laon, sables de Cuise, fausses glaises, sables d'Auteuil, argiles plastiques, sables inférieurs.

Les argiles de Laon, argiles ligniteuses à sableuses noires et épaisses de quelques mètres au maximum, n'ont été reconnues en sondage (BSS) qu'à l'extrême nord du domaine étudié (4ème, 5ème et 6ème arrondissements de Paris).

De même, comme le montrent la carte de la Figure 31 et la coupe de la Figure 33, les formations sableuses de l'Yprésien (sables de Cuise et sables d'Auteuil) ne sont présentes que sur la partie nord du domaine étudié, où l'épaisseur cumulée de sables (sables de Cuise et sables d'Auteuil) peut atteindre une quinzaine de mètres.

Le secteur du tracé de la ligne 15 Sud se situe donc globalement au sud de la limite sud du faciès sableux de l'Yprésien : dans le secteur du tracé, les formations sableuses de l'Yprésien ne sont que peu (voire pas) représentées au sud de l'anticlinal de Meudon, présentes au mieux sous forme lenticulaire excepté dans le secteur de Vitry-sur Seine où les sables de Cuise réapparaissent d'après les relevés géotechniques réalisés pour la Société du Grand Paris [30] et les données de la BSS [2].

La formation des fausses glaises se biseaute également en allant vers le sud et disparait à proximité de l'axe de l'anticlinal de Meudon.

Seule la formation des argiles plastiques est continue sur l'ensemble du domaine étudié (à l'exception du secteur d'Ivry-sur-Seine, où les marnes de Meudon sub-affleurent directement sous les alluvions de la Seine, et d'un secteur isolé entre). En dehors de la vallée de la Seine, cette formation d'argiles compactes, plastiques, est épaisse d'une demi-dizaine à une vingtaine de mètres en ordre de grandeur.

On notera enfin que les investigations réalisées dans le cadre des missions géotechniques ont mis en évidence, localement, la présence, sous les argiles plastiques, de sables sur une dizaine de mètres d'épaisseur environ. Après recherche (BSS [8], BRGM [9]), il s'avère que cette formation s'étend de part et d'autre de l'anticlinal de Meudon. Au sud de l'anticlinal, une importante lacune semble exister jusqu'au sud du domaine modélisé (communes de Juvisy sur Orge et d'Igny) où l'on retrouve des sables inférieurs sur plusieurs mètres d'épaisseur. Cette lacune s'étendrait donc sur 5 km environ entre les secteurs du nord et du sud où les sables inférieurs ont été rencontrés en forage. L'âge de ce faciès, que l'on nommera par la suite « sables inférieurs », reste indéterminé [2],

- marnes et calcaires de Meudon (e1, Montien) : cette formation est constitué de calcaires durs granuleux, ou de calcaires cristallins durs et de marnes argileuses à rognons calcaires. L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 7-8 mètres environ. D'après les résultats des campagnes géotechniques et les données de la BSS, il semblerait que la partie supérieure de cette formation soit plutôt à dominante marneuse et argileuse, tandis que la base serait plus calcaire et crayeuse.

En effet, de part et d'autre de l'axe de l'anticlinal de Meudon (de Paris 13ème à Villejuif), les coupes des sondages recensés sur la BSS montrent, au sommet de cette formation, une couche d'environ 2-3 m d'argiles vertes compactes.

Nous distinguerons donc, dans le cadre de cette étude, les marnes de Meudon, à dominante argileuse, en tête de la formation du Montien, et épaisses d'environ 3 m, et les calcaires de Meudon, dans la partie inférieure de la formation, à dominante calcareuse, voire crayeuse, assimilable d'un point de vue hydrogéologique à la craie fracturée sous-jacente,

- craie blanche (c6, Campanien), qui peut être fracturée et plus tendre au sommet. L'épaisseur atteint quasiment 400 mètres à Ivry-sur-Seine. On notera que la distinction, en forage, de l'interface entre les calcaires de Meudon et la craie est parfois assez difficile, de par la proximité des faciès.

L'ouvrage souterrain de la Ligne 15 Sud, s'insère à l'est dans les Calcaires Grossiers du Lutétien à hauteur de la gare de Champigny-Centre, traverse ensuite les Argiles Plastiques sous la Marne, et rejoint le Lutétien dans la Plaine de Vitry (Figure 32). La ligne remonte ensuite progressivement dans les Masses et Marnes du Gypse sous le Plateau de Villejuif, puis passe progressivement du Lutétien à l'Argile Plastique entre la vallée de la Bièvre et Fort d'Issy (Figure 33).

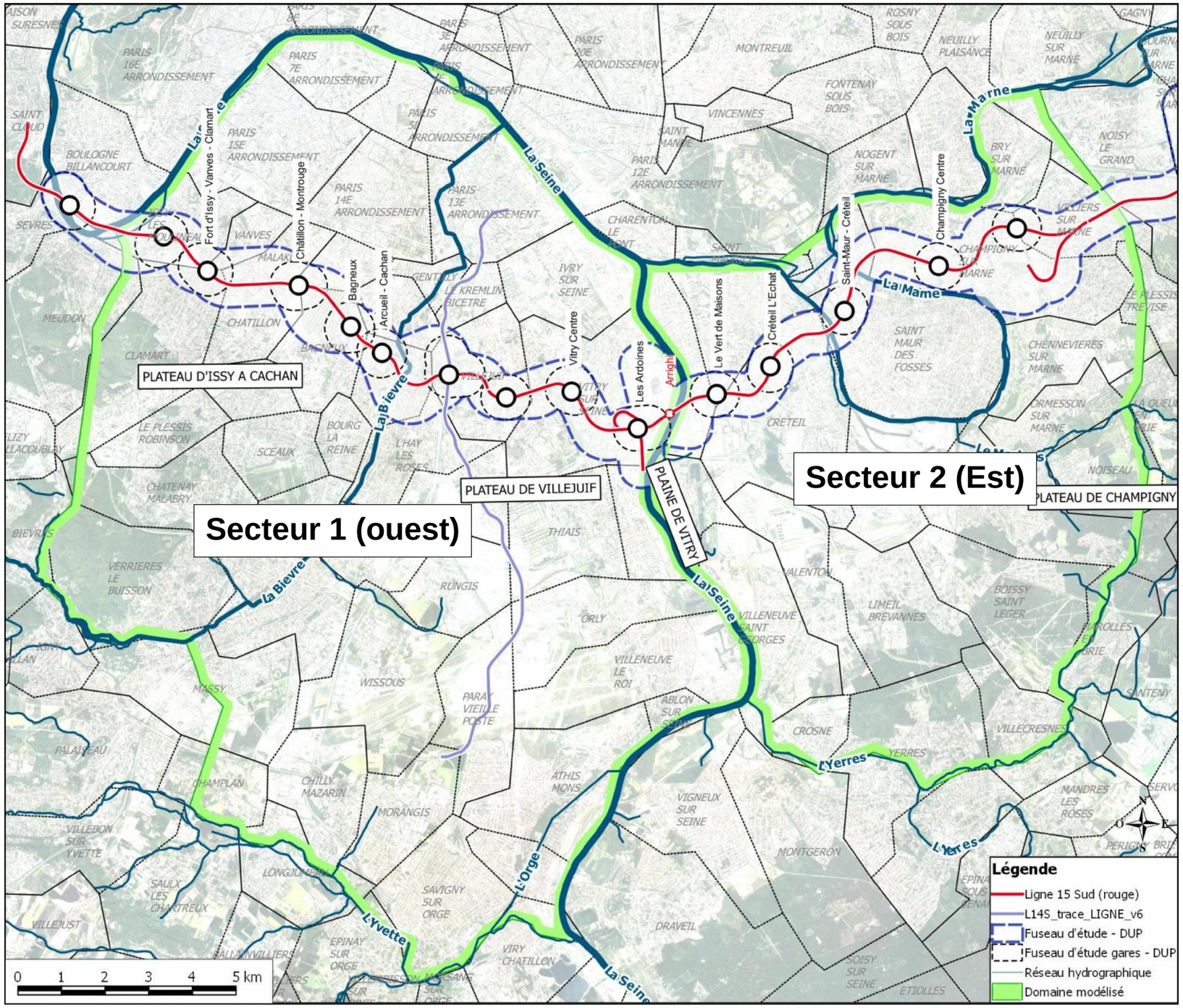


Figure 30 : Localisation du secteur d'étude

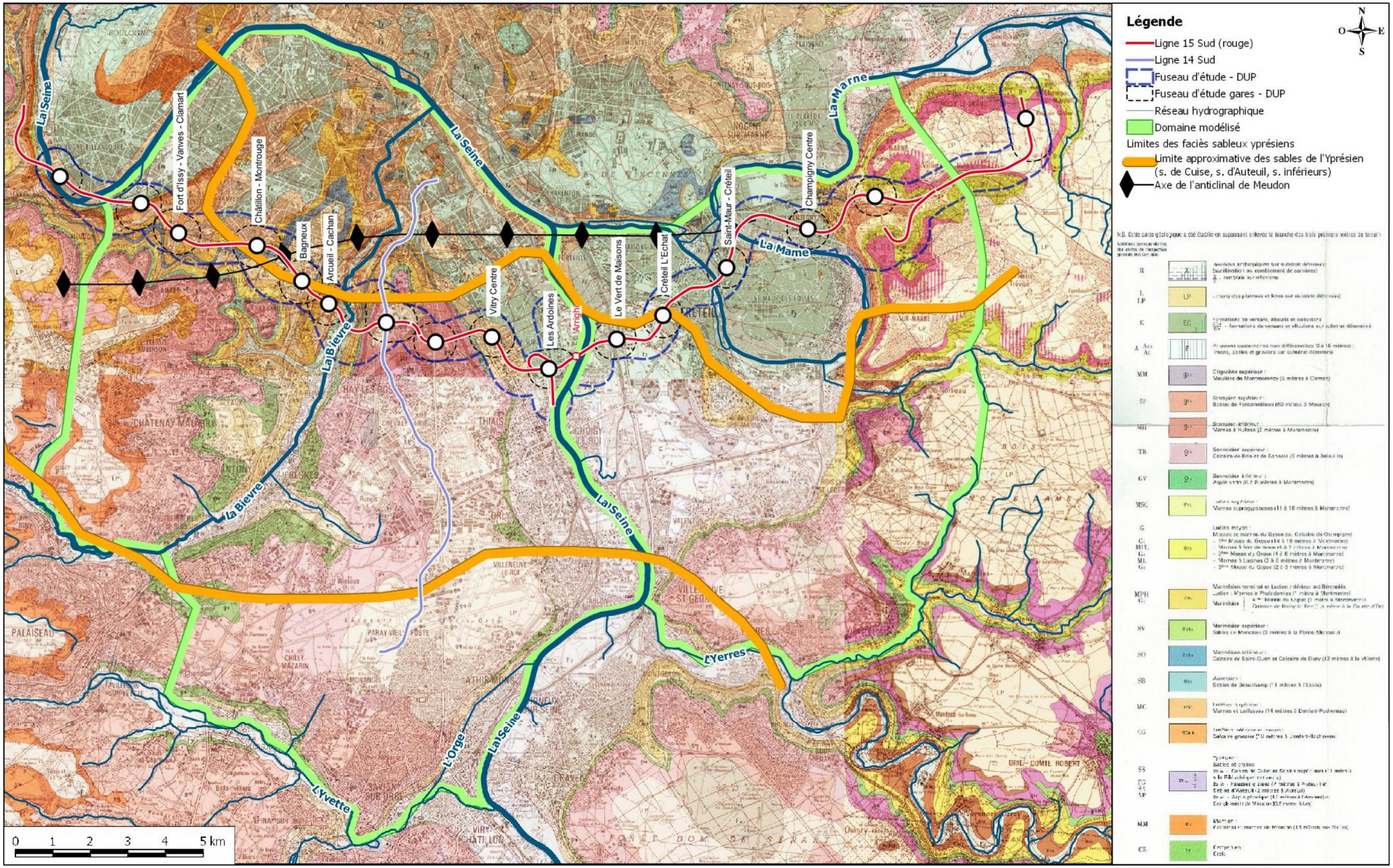


Figure 31 : Contexte géologique du secteur d'étude (extrait de la carte géologique au 1/25 000 de Paris, BRGM [8]) et limites d'extension des

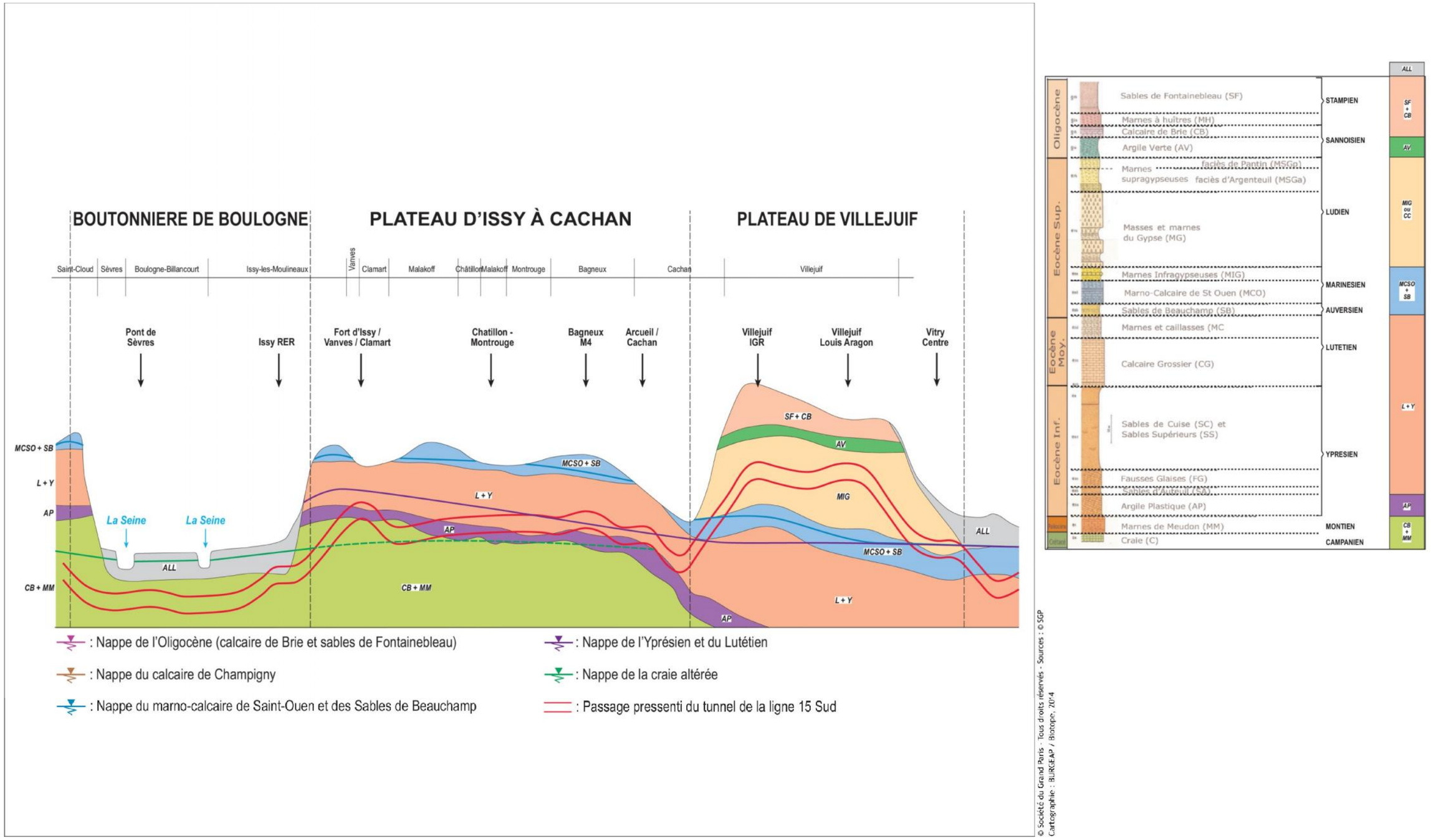
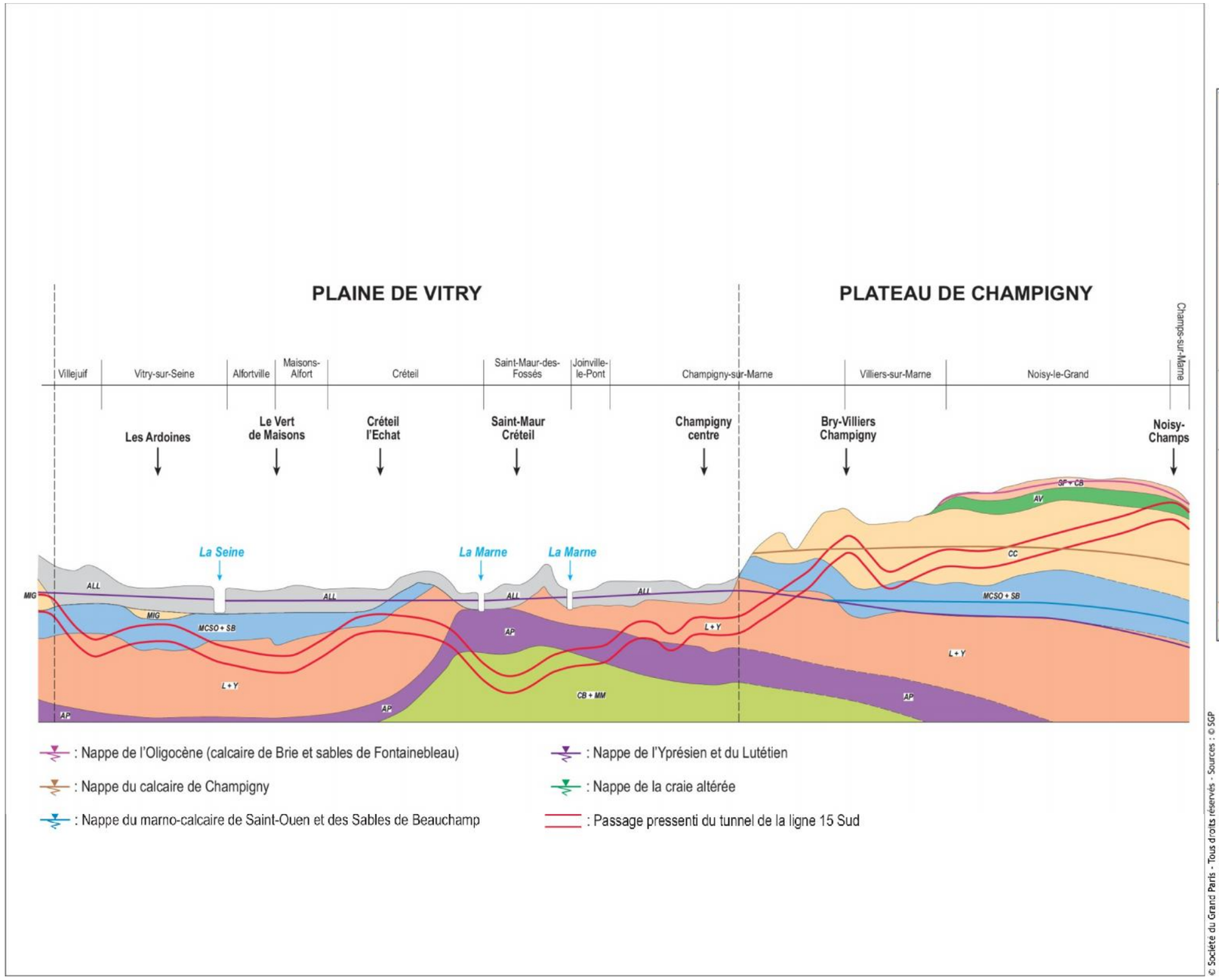
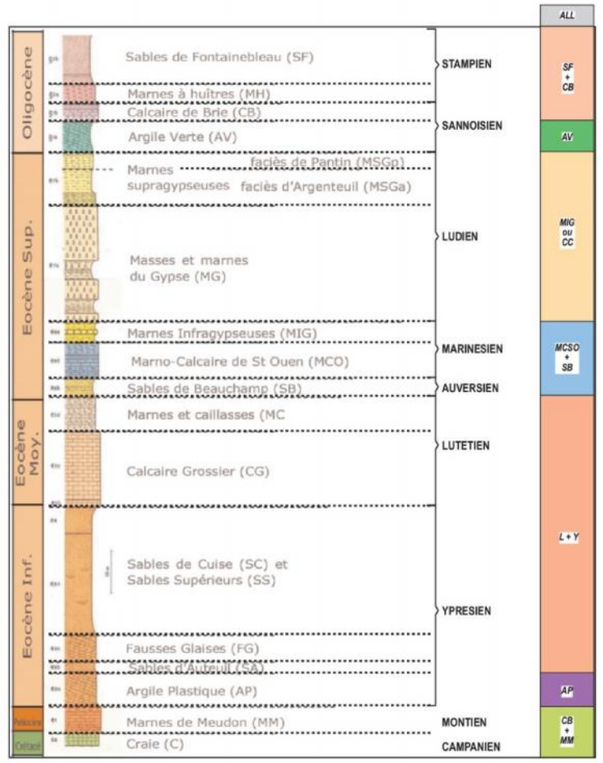


Figure 32 : Coupe géologique simplifiée au droit de la Ligne 15 Sud – Partie occidentale de l'aire d'étude





© Société du Grand Paris - Tous droits réservés - Sources : © SGP
Cartographie : BURGEAP / Biotope, 2014

Figure 33 : Coupe géologique simplifiée au droit de la Ligne 15 Sud – Partie orientale de l'aire d'étude

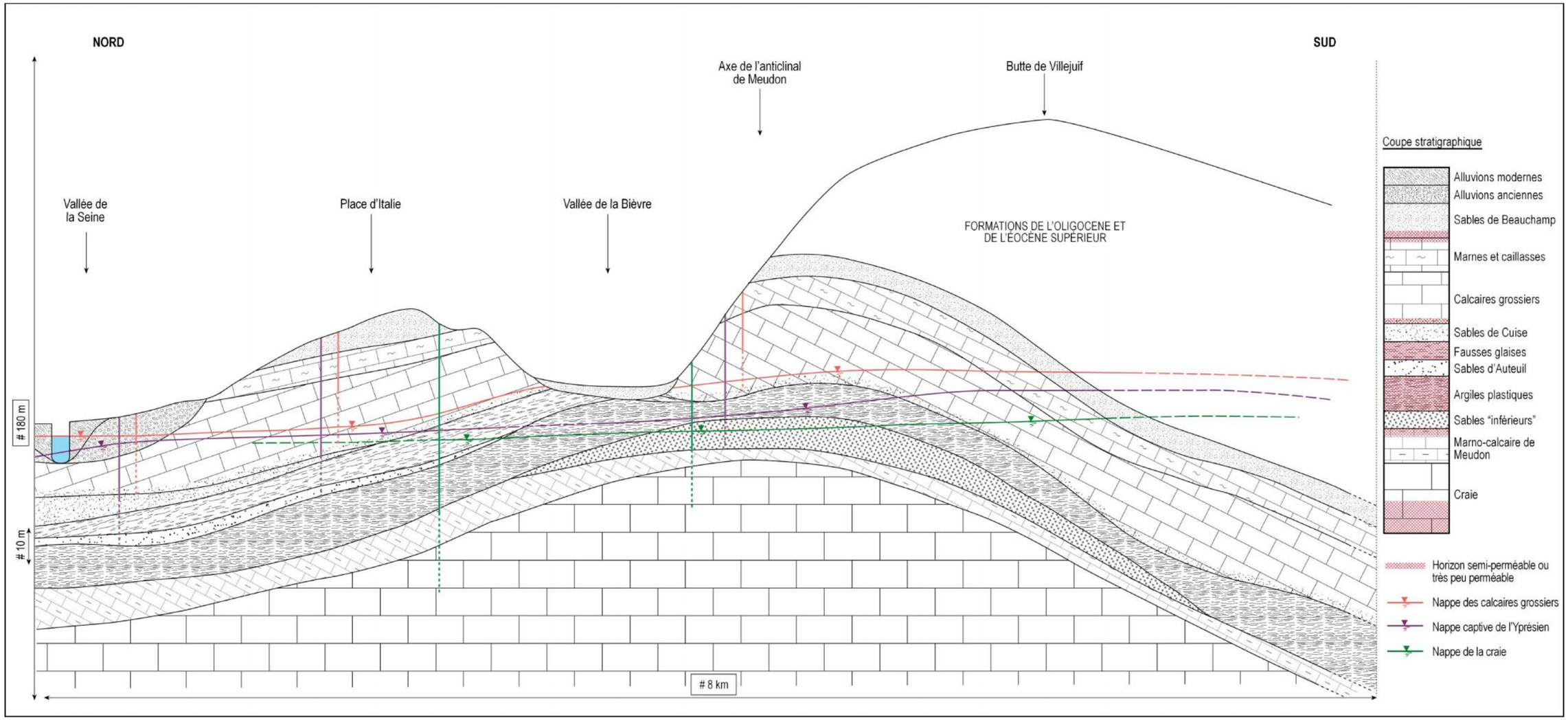


Figure 34 : Coupe géologique schématique Nord - Sud

5.3.3 Hydrogéologie

5.3.3.1 Description des aquifères en présence

La série géologique présentée précédemment est constituée d'une alternance d'horizons perméables et d'horizons semi-perméables à très peu perméables. Ainsi, du fait de ces variations lithologiques, le secteur étudié est caractérisé par une succession d'horizons aquifères plus ou moins perméables (saturés ou non), entre lesquels s'intercalent des horizons semi-perméables à très peu perméables, constituant ainsi autant de « murs » pour les aquifères sus-jacents.

Ainsi, dans ce contexte, on distingue les formations aquifères suivantes, comme le montre le schéma hydrogéologique conceptuel de la Figure 35 :

- sur le plateau de Villejuif, les sables de Fontainebleau et le Marno-calcaire de Brie constituent les premiers réservoirs aquifères, de productivité modérée (les sables sont à perméabilité d'interstices tandis que les calcaires sont à perméabilité de fractures). L'interface semi-perméable constituée par les Marnes à Huîtres est susceptible de séparer hydrauliquement assez significativement ces deux magasins, comme l'ont montré les mesures piézométriques réalisées dans le cadre des missions géotechniques [4] (différences de charge de plus de 5 m entre les deux magasins). La nappe des sables de Fontainebleau, à surface libre, ainsi que la nappe des calcaires de Brie, au-delà des limites d'extension des marnes à huitres, sont directement alimentées par la pluie utile (et par les pertes de réseau) sur le plateau et sont drainées, pour partie, latéralement au niveau des affleurements des argiles vertes, de part et d'autre du plateau, et verticalement par infiltration à travers les argiles vertes. Ces nappes perchées s'écoulent globalement, en direction du sud, suivant la topographie et le pendage des argiles vertes,

- les formations des Marnes de Pantin, plutôt peu perméables, renferment également une nappe, comme l'ont montré les mesures réalisées durant les missions géotechniques [4]. Le niveau de cette nappe est légèrement en charge par endroits sous les argiles vertes (nappe captive). Le mur de cette nappe, à perméabilité de fractures, est constitué par les formations nettement plus marneuses (et donc moins perméables) des marnes d'Argenteuil. Cet aquifère est vraisemblablement alimenté essentiellement par les infiltrations verticales depuis le réservoir sus-jacent (infiltrations depuis les calcaires de Brie à travers les argiles vertes).

  A ce stade, nous ignorons si les terrains sous-jacents aux marnes d'Argenteuil (masses et marnes de gypse, marnes infragypseuses) sont saturés ou non et, s'ils le sont, à quelle charge. Quelques données ponctuelles à flanc de coteau, issues des archives de Burgeap [14], semblent toutefois indiquer l'existence d'une frange saturée à la base des Masses et Marnes du gypse (zone appelée « nappe du gypse »), reposant sur les marnes infragypseuses, dans le secteur de Fontenay-aux-Roses et Chatillon. Cette frange saturée serait assez peu épaisse (quelques mètres d'épaisseur saturée au maximum),

- les Calcaires de Champigny s'étendent sur la partie est du domaine modélisé et au-delà ont intégrés au système multi-aquifère de la Brie. Les mesures de niveau de nappe indiquent un décrochement piézométrique supérieur à 10 mètres entre le Lutétien et les Calcaires de Champigny le long du tracé. Ce décrochement est justifié par la présence d'épontes peu perméables comme les Sables de Beauchamp intermédiaires et le toit marneux du Lutétien.

- le calcaire de Saint-Ouen et les sables de Beauchamp renferment également une nappe, alimentée par la pluie utile dans les zones d'affleurement et par les infiltrations pouvant traverser les murs des réservoirs aquifères sus-jacents dans les zones sous recouvrement (sous le plateau). La moitié inférieure des sables de Beauchamp, plutôt argileuse et donc peu perméable et le toit marneux des Marnes et Caillasses constituent le « mur » de cet aquifère.

  Les eaux de cette nappe, à surface libre a priori en bordure de plateau, se ré-infiltrent dans les formations sous-jacentes, soit verticalement à travers son mur, soit le long des limites d'extension de l'aquifère,

- la base des Marnes et caillasses et les calcaires grossiers constituent un aquifère à perméabilité de fissures. Cet aquifère est une ressource exploitée en Ile-de-France pour différents usages (industriels, eau potable, géothermie). Il semblerait que la productivité de ce réservoir soit essentiellement contenue dans la partie inférieure des Marnes et Caillasses et le sommet des calcaires grossiers (Mégnien [6]). La base des calcaires grossiers, glauconieuse, est généralement assez peu perméable et constitue un frein hydraulique avec l'aquifère yprésien sous-jacent.

- Dans la partie occidentale du tracé l'épaisseur saturée des terrains lutétiens est très réduite, de l'ordre de quelques mètres d'épaisseur, comme le montre la coupe géologique (Figure 32) : dans ce secteur, seule la base glauconieuse des Calcaires grossiers peut être complètement saturée et la nappe est libre. Dans la plaine de Vitry toute l'épaisseur du Lutétien est en permanence saturée sous la couverture tertiaire et quaternaire, excepté à l'intersection du tracé avec la Marne, où la base du Lutétien remonte fortement et où la formation se retrouve parfois complètement érodée. La nappe des Calcaires Grossiers est donc majoritairement captive dans la plaine de Vitry.

  La nappe des calcaires grossiers est alimentée :

  - o par la pluie utile au niveau de ses zones d'affleurement, soit au-delà des zones de couverture par les plateaux de Villejuif et de Meudon,

  - o sous les plateaux, par les infiltrations issues des terrains aquifères sus-jacents, à travers les horizons semi-perméables,

  - o en bordure de plateau, au niveau des coteaux, par le ruissellement et la réinfiltration des eaux issues des réservoirs perchés sur les horizons semi-perméables comme le montre la Figure 35. Ceci provoque donc, au niveau des flancs de coteaux, une concentration de l'alimentation par la pluie utile, car la pluie utile collectée en amont sur le plateau se réinfiltre sur une surface limitée aux flancs des coteaux,

  - o par la Seine et la Marne, via le réservoir tampon des alluvions, au niveau des zones de dépression piézométrique engendrée par les exploitations de nappe diverses. On notera également que, en dehors de ces zones de « pertes », la nappe des calcaires grossiers est drainée par la Seine (hors période de crue), ainsi que par la vallée de la Bièvre, exutoires naturels de l'aquifère.

  En dehors des exploitations de cette nappe, l'exutoire naturel principal de cette nappe est constitué par la Seine (hors période de crue).

- les formations sableuses de l'Yprésien présentent, dans le secteur du domaine étudié, des lacunes, comme le montre la Figure 31 :

    - dans la partie nord du domaine étudié, et dans le secteur sud-est, sous la glauconie grossière et une couche d'argiles ligniteuses (argiles de Laon, seulement identifiées à l'extrême nord du domaine étudié), ces terrains sont constitués en tête d'une dizaine, voire d'une quinzaine de mètres de sables assez propres et perméables (sables de Cuise et d'Auteuil), séparés par la formation des fausses glaises. Cet aquifère sableux, à perméabilité d'interstices, est le siège d'une nappe, captive sous la glauconie grossière. Cette nappe fait l'objet d'une exploitation relativement intensive en rive droite de la Seine pour l'exhaure d'infrastructures, tout comme d'ailleurs la nappe des calcaires grossiers, ce qui a pour conséquence une importante dépression piézométrique centrée sur un secteur entre Saint-Lazare (gare Eole) et Châtelet (Les Halles), et qui a des répercussions piézométriques jusqu'en rive gauche de la Seine.

      Les relations hydrauliques entre la nappe des calcaires grossiers et celle des sables yprésiens sont conditionnées et limitées par la base glauconieuse des calcaires grossiers plutôt peu perméable, et le sommet argileux de l'Yprésien,

    - dans la partie sud du domaine, ces formations sableuses disparaissent progressivement, et les terrains yprésiens sont alors essentiellement constitués par la formation des argiles plastiques.

      Cependant, dans le secteur de l'axe de l'anticlinal de Meudon ainsi que dans la partie sud du domaine modélisé, un horizon de sables a été mis en évidence sous les argiles plastiques. Cet horizon sableux est le siège d'une nappe à perméabilité d'interstices et essentiellement captive, sous les argiles plastiques,

- les calcaires de Meudon (sous les marnes de Meudon), ainsi que la partie supérieure de la craie, sont également le siège d'une nappe. Cette nappe est faiblement alimentée par les infiltrations issues des aquifères sus-jacents, à travers les argiles plastiques et les marnes de Meudon et, à l'échelle plus régionale, par les précipitations sur les zones d'affleurement situées en bordure du bassin parisien et au droit des « boutonnières » (zones d'affleurement de la craie sous alluvions) comme à Boulogne-Billancourt ou à Croissy-sur-Seine. Cette nappe, à perméabilité de fractures, est généralement peu productive lorsqu'elle est recouverte de terrains tertiaires, comme dans le secteur d'étude. Les essais au micro-moulinet réalisés au sein de cette formation dans le secteur [14] montrent que seuls les premiers mètres de l'aquifère (calcaires de Meudon et sommet de la craie confondus) sont productifs. En l'absence de couverture tertiaire la craie fracturée comme c'est le cas dans le secteur de Boulogne, peut présenter une épaisseur supérieure à 10 mètres. Ailleurs, l'épaisseur est limitée à 5 mètres environ.

  Cette nappe, limitée à la base par la craie saine, peu ou pas fracturée, est captive sous les marnes de Meudon.

- enfin, en bord de Seine et de Marne et le long de la vallée de la Bièvre, les alluvions des cours d'eau participent également aux écoulements souterrains en jouant un rôle de transit hydraulique entre le cours d'eau et l'aquifère sous-jacent qu'elles recouvrent. En particulier, les aquifères des alluvions de la Seine et de la Marne constituent un aquifère relativement puissant, sur une épaisseur saturée de l'ordre de 3 à 12 m.

  Cet aquifère, à perméabilité d'interstices, est le siège d'une nappe libre (ou semi-captive sous les alluvions modernes), en communication hydraulique directe avec le fleuve : en période d'étiage, la nappe alluviale, alimentée par la nappe des calcaires grossiers sous-jacente et par la pluie utile, alimente le fleuve, tandis qu'en cas de crue de Seine, c'est le fleuve qui réalimente la nappe.

  Les échanges entre la nappe alluviale et la Seine sont contrôlés par le colmatage des berges et du lit de la Seine. Ce colmatage peut être naturel (dépôts de fines, de limons, …) ou lié à l'imperméabilisation anthropique (confortement des berges ou des quais).

A l'état naturel, et hors période de crue, l'exutoire final de l'ensemble des aquifères précédemment mentionnés est constitué par la Seine, soit directement au niveau des affleurements des formations et via les alluvions (cas de la nappe des calcaires grossiers), soit par drainance verticale ascendante à travers les différents horizons géologiques (cas de la nappe des sables yprésiens ou de la nappe des calcaires de Meudon et de la craie).

Actuellement, les différents aquifères et en particulier le Lutétien et l'Yprésien sont exploités au niveau de Paris, essentiellement dans le cadre de la mise hors d'eau d'infrastructures. De fait, l'ensemble de ces prélèvements constitue un second exutoire pour les nappes aquifères.

En définitive, le domaine modélisé est caractérisé par une succession de multiples magasins aquifères superposés, en relation hydraulique les uns avec les autres, et dont l'intensité des échanges dépend des contrastes de perméabilités verticales et horizontales entre les différentes couches.

Le tracé recoupe ces différents magasins aquifères depuis le Marno-calcaire de Meudon jusqu'aux Marnes supragypseuses lors de la remontée du tunnel entre les gares Kremlin-Bicêtre Hôpital et Villejuif Institut Gustave Roussy.

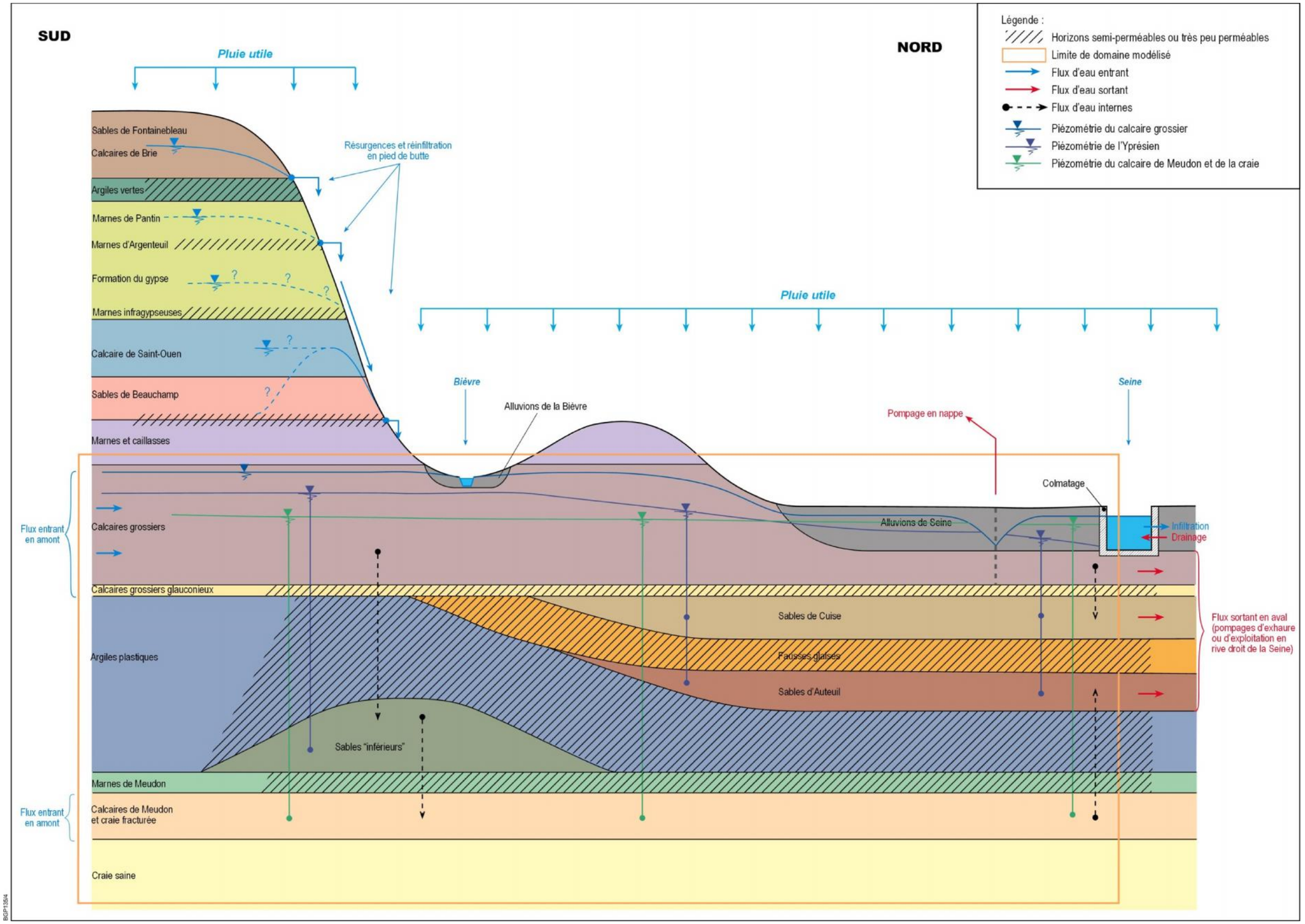


Figure 35 : Schéma hydrogéologique conceptuel

5.3.3.2 Aquifères considérés dans le cadre de la présente étude

L'objectif principal du modèle est d'évaluer l'impact de la Ligne 15 sud au niveau de ces deux secteurs :

- dans le secteur1, c'est-à-dire la partie occidentale de Fort d'Issy à la Vallée de la Bièvre, le tunnel s'inscrit essentiellement dans l'aquifère des calcaires grossiers (également formations de l'Yprésien et du marno-calcaire de Meudon), qui présente une épaisseur saturée relativement faible, de l'ordre de quelques mètres. Le risque d'effet de barrage est donc une problématique potentiellement sensible pour cet aquifère,

- dans le secteur 2, c'est-à-dire la plaine de Vitry entre Vitry et Champigny, où le tunnel traverse le Lutétien, les Sables de Beauchamp et les Calcaires de Saint-Ouen. Les stations sont principalement encrées dans l'Yprésien ou la craie saine ou bien comprennent des jupes ou fonds injectés dans le Lutétien. Les impacts piézométriques doivent donc être évalués dans la nappe phréatique, la nappe des Calcaires Grossier et la nappe de la craie.

Deux autres secteurs sont compris dans le modèle mais ne font néanmoins pas l'objet d'évaluation des impacts :

- dans la partie du plateau de Villejuif, le tracé intercepte essentiellement les marnes d'Argenteuil, très peu perméables, ou les marnes de Pantin, aquifère de faible productivité, et non exploité. Ces nappes sont considérées comme perchées et ne sont pas modélisées par le modèle numérique mais de manière analytique. Les enjeux et l'évaluation des impacts pour ce secteur sont présentés dans l'étude d'impact,

- dans la partie orientale située à l'est de Champigny, le tunnel stagne dans les calcaires de Champigny. Les Calcaires de Champigny sont relativement bien isolés du Lutétien par les formations peu perméables traversées (et notamment les Sables de Beauchamp intermédiaires et la partie supérieure des Marnes et Caillasses). Cette nappe est donc considérée comme perchée et n'est pas modélisée telle quelle par le modèle numérique. Les enjeux et les impacts qui sont évalués de manière analytique pour ce secteur sont présentés dans l'étude d'impact.

Nous avons donc choisi de ne pas représenter dans ce modèle les formations aquifères abritant des nappes perchées toutefois, leur présence et leur influence sur l'alimentation en eau des aquifères sous-jacents seront prises en compte.

Le tracé interceptera donc les formations géologiques situées entre la craie ou le Marno-calcaire de Meudon et les Marnes et Caillasses. Ce sont donc ces étages qui ont été représentés parmi l'ensemble de la série (avec les alluvions), comme indiqué sur la Figure 35. Les couches géologiques qui ont été considérées dans le cadre des travaux de modélisation sont ainsi les suivantes :

- alluvions récentes et anciennes de la Seine, de la Marne ou de la Bièvre (aquifère),
- calcaires de Saint-Ouen (aquifère),
- sables de Beauchamp supérieurs (aquifère),
- sables de Beauchamp intermédiaires (semi-perméable),
- sables de Beauchamp inférieurs (aquifère),
- marnes et caillasses (aquifère),
- calcaire grossier moyen et supérieur fissuré (aquifère),
- calcaire grossier inférieur glauconieux (semi-perméable),
- sables de Cuise (aquifère),
- fausses glaises (semi-perméable),
- sables d'Auteuil (aquifère),
- argiles plastiques (semi-perméable),
- sables inférieurs (aquifère),
- marnes de Meudon (semi-perméable),
- calcaire de Meudon et sommet de la craie (aquifère),
- craie saine, peu ou pas fissurée (semi-perméable).

Les caractéristiques de ces formations seront donc présentées dans cette étude.

5.3.3.3 Piézométrie

Plusieurs cartes piézométriques anciennes ont été réalisées dans le secteur étudié. Citons notamment la carte hydrogéologique de la feuille de Paris au 1/25 000 [5], la carte piézométrique de la nappe des calcaires grossiers pour la période 1960-1965 de la feuille de Paris [11] au 1/25 000, ainsi que celle du rapport R.160 de Burgeap [14] (échelle 1/100 000, 1974).

Toutefois, ces cartes piézométriques sont relativement anciennes et n'intéressent que la nappe des calcaires grossiers. Les cartes piézométriques des nappes du Lutétien, de l'Yprésien et du Montien-craie ont donc été établies à l'échelle du secteur d'étude, sur la base des mesures piézométriques suivantes :

- mesures piézométriques réalisées dans le cadre de la mission G11 des lignes 14 sud [4] et 15 sud [18], entre 2012 et 2014,

- mesures piézométriques effectuées par Burgeap lors de différentes études dans le secteur étudié [14]. Les dates de mesures sont comprises entre 1991 et 2012, et ne sont donc pas synchrones,

- données piézométriques de la BSS [2]. Les dates de mesures sont comprises entre le début du XX^{ème} siècle et 2006, et ne sont donc pas synchrones. Nous avons toutefois taché d'intégrer la variabilité des cotes piézométriques dans le tracé des cartes piézométriques,

- données piézométriques des cartes géologiques de Paris au 1/5 000 [19].

Les Figure 13 et Figure 14 présentent respectivement les cartes piézométriques interprétatives de la nappe phréatique et de la nappe du Lutétien et Yprésien. Ces cartes restent approximatives dans la mesure où les données d'entrée ne sont pas synchrones et où l'on ne dispose pas systématiquement de points de mesure piézométrique dans tous les secteurs du domaine étudié. C'est particulièrement le cas dans le secteur sud du domaine étudié, lorsque les couches géologiques sont plus profondes, comme sous le plateau de Villejuif, et où les forages et piézomètres sont moins nombreux qu'au nord dans le secteur du projet et de Paris.

Toutefois, elles fournissent une image globale assez satisfaisante des écoulements souterrains.

Il apparaît les éléments suivants :

- dans la Plaine de Vitry et de Saint-Maur :

  Dans le domaine de la plaine alluviale de Vitry et de Saint-Maur et lorsque les calcaires sont sous recouvrement par les alluvions anciennes, la piézométrie présente un gradient globalement faible, de l'ordre de 0,5 mm/m. Le gradient global dans les alluvions est équivalent voire plus faible. La nappe présente un écoulement homogène en direction de la

Seine, qui la draine. Des secteurs particuliers présentent des gradients locaux qui diffèrent du gradient global :

- o dans les secteurs qui interceptent une importante quantité d'eau qui ruissèle des plateaux et s'infiltrent en pied de coteaux, les gradients de la nappe phréatique sont supérieurs à 10 mm/m (à proximité de Vitry par exemple),

- o à Saint-Maur le gradient est de l'ordre de 5 mm/m, et traduit vraisemblablement l'alimentation de la nappe par la partie amont de la Marne,

- dans la Vallée de la Bièvre :

  La nappe des calcaires grossiers et la nappe phréatique sont en équilibre dans la vallée de la Bièvre. La nappe des calcaires grossiers est en effet drainée par les formations alluviales de la Bièvre de manière assez marquée, les isopièzes épousant le tracé de la vallée. Le gradient est de l'ordre de 1 mm/m entre Arcueil Cachan et la limite sud de Paris vers où sont dirigées les eaux drainées par la Bièvre.

- entre Arcueil Cachan et Fort d'Issy :

  La nappe phréatique, perchée dans les niveaux perméables du Calcaire de Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp supérieurs, et la nappe des calcaires grossiers sont déconnectées. La nappe des calcaires grossiers forme un dôme piézométrique qui alimente à la fois le secteur de Boulogne à l'ouest, Paris vers le nord et la vallée de la Bièvre vers l'est. Le gradient est compris entre 20 mm/m dans la partie amont du dôme et 10 mm/an dans sa partie aval.

- piézométrie des calcaires de Meudon et de la craie

  La nappe des calcaires de Meudon et de la craie est bien différenciée des nappes phréatiques et du Lutétien, excepté dans le secteur de Boulogne du fait de l'absence d'épontes très peu perméables intermédiaires. Les niveaux piézométriques dans la Craie sont nettement plus bas que ceux des calcaires grossiers ailleurs que Boulogne. Sous Fort d'Issy, par exemple (voire coupe en Figure 32), les niveaux dans la nappe de la craie sont 30 à 10 mètres plus bas que ceux des Calcaires Grossiers. A Kremlin-Bicêtre, cette différence est de 5 mètres.

  L'existence d'une telle différence de charge, sur l'ensemble du domaine et en l'absence de prélèvements significatifs dans la nappe des calcaires de Meudon et de la craie, s'explique très vraisemblablement par le fait que le toit de l'aquifère (marnes de Meudon, constituées au sommet d'une couche compacte de marnes et d'argiles vertes) est continu, homogène et très peu perméable.

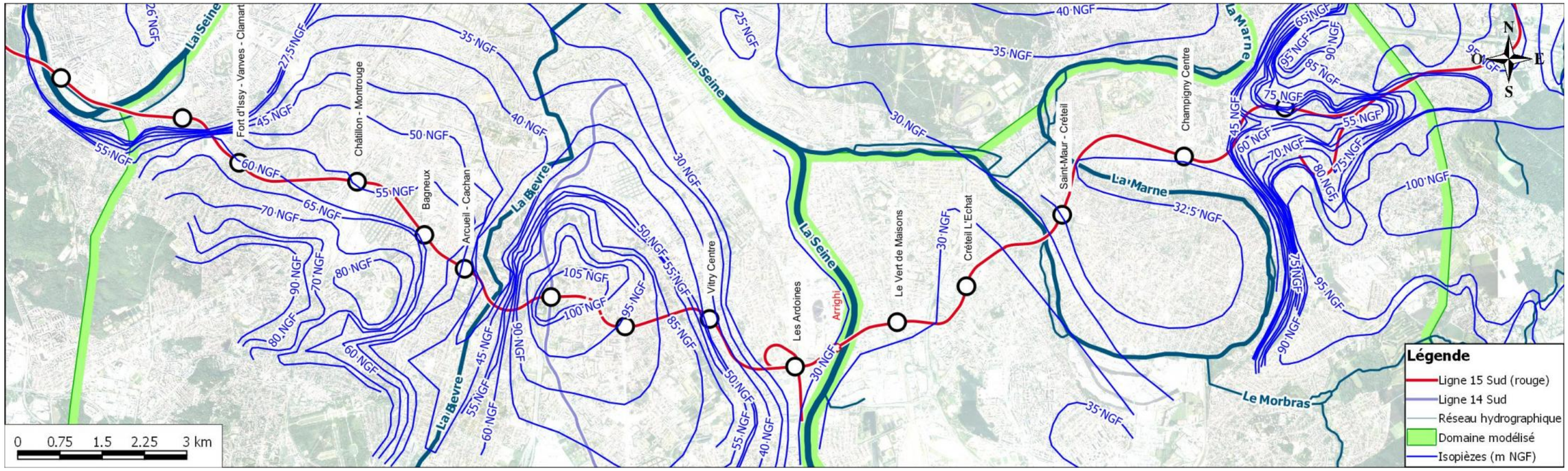


Figure 36 : Carte piézométrique interprétative de la nappe phréatique

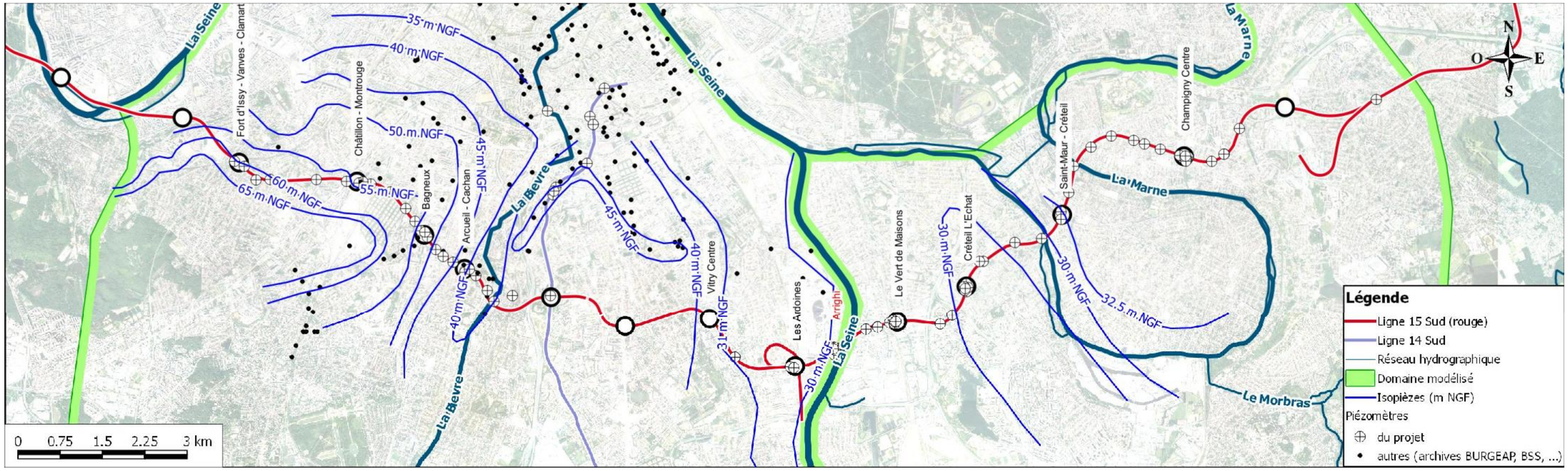


Figure 37 : Carte piézométrique interprétative de la nappe de l'Yprésien et du Lutétien

5.3.3.4 Alimentation par la pluie utile

L'ensemble des aquifères du secteur étudié sont alimentés, au droit de leur zone d'affleurement par la pluie utile.

D'après les données recueillies auprès de la station de Paris Montsouris de METEO FRANCE [23], la valeur moyenne de la pluie utile sur la période 1982-2014, soit sur les 30 dernières années, s'élève à 130 mm/an soit environ 4,2 l/s/km². Cette pluie utile est basée sur une approche de type bilan hydrologique au niveau du sol avec prise en compte d'une réserve hydrique qui est alternativement rechargée en saison des pluies et vidangée pendant les saisons les plus chaudes. Dans un milieu urbain ceci est assez directement applicable à des sols de parcs, jardins voire des secteurs pavés. Ailleurs, le mécanisme de la recharge des nappes en milieu urbain est plus compliqué, en raison de l'imperméabilisation des sols, de la présence de réseaux qui à la fois drainent et rechargent la nappe, ainsi que de puisards.

La recharge en milieu est donc un phénomène complexe et difficile à estimer. Monnier [24] a toutefois mise en évidence, sur la base de l'étude historique et actualisée du débit des sources du nord-est de Paris, que la recharge de la nappe entre le XVIIème siècle et la période actuelle était proche voire légèrement supérieure malgré l'urbanisation marquée au XXème siècle (90% de la surface du bassin-versant étudié par Monnier étant désormais urbanisé). Ces observations sont interprétées comme étant la conséquence d'une compensation de la perte de la capacité théorique de l'alimentation des nappes par des fuites qui participeraient significativement à la recharge. La thèse d'Aurélie Lamé [20] tend également à montrer par des calculs théoriques pour différents types d'occupation des sols (cours, rues, etc.) que la recharge peut y être significativement plus importante que la pluie efficace théorique.

Sur la base de l'étude de l'évolution des débits des sources du Nord, il a été considéré que la recharge en milieu urbain était sensiblement identique à la pluie efficace théorique.

Graphique 62 suivant présente l'évolution de la pluie utile sur la période 1982-2014. On constate que les dernières années hydrologiques ont été inférieures à la moyenne (130 mm/an), excepté l'année 2012-2013 qui a été significativement plus pluvieuse (153 mm/an).

Nous considèrerons que la pluie utile tombant sur les plateaux de couverture se ré-infiltre dans la nappe des calcaires grossiers seulement au niveau des coteaux, ce qui provoque ainsi une concentration de l'alimentation sur une surface relativement étroite, comme le schématise la Figure 35.

5.3.3.5 Paramètres hydrodynamiques

Le Tableau 48 suivant présente les valeurs de perméabilité correspondant aux différentes formations présentes dans le secteur étudié.

Ces valeurs sont issues d'une synthèse bibliographique, réalisée sur la base des éléments suivants : archives de BURGEAP (résultats d'essais d'eau, résultats de modélisation, …) [14], essais de pompage réalisés par la Société du Grand Paris à Issy, mémoire de Mégnien [6], données de la BSS [2] et données fournies par le bureau d'études Antea [4].

Le

Graphique 62 : Evolution de la pluie utile annuelle sur la période 1982-2014 au droit de la station de Paris Montsouris [23]

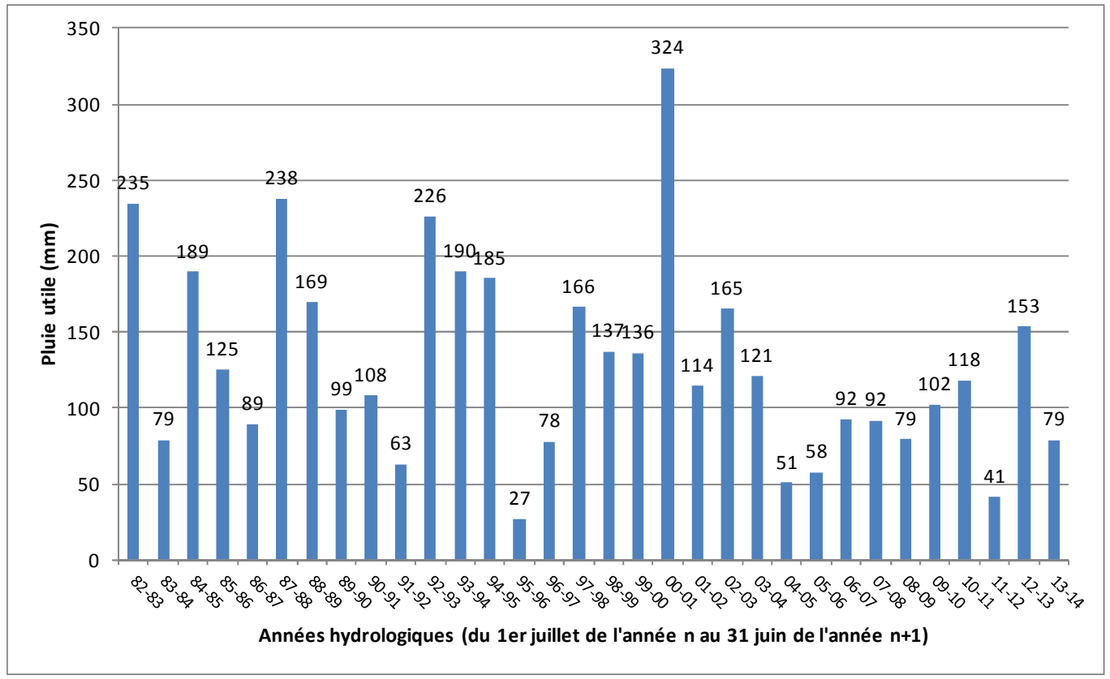


Tableau 56 : Synthèse bibliographique des valeurs de perméabilités des différentes formations géologiques

Nappes souterraines	Perméabilité médiane (m/s)	Perméabilité moyenne (m/s)	Perméabilité min (m/s)	Perméabilité max (m/s)	Coefficient d' emmagasinement (S)	Nombre de mesures
Alluvions anciennes	1,3E-03	2,1E-03	3,0E-05	6,6E-03	3,0E-02	4
Calcaire de Saint-Ouen	3,2E-05	1,2E-04	3,6E-06	4,0E-04	1,0E-03	6
Marnes et Caillasses	7,4E-05	1,9E-04	2,0E-06	1,3E-03	-	10
Calcaire Grossier	1,4E-04	1,8E-04	1,2E-05	5,0E-04	1,7E-03	18
Sables de l'Yprésien	2,3E-04	2,1E-04	1,8E-05	4,0E-04	1,0E-03	5
Craie fracturée	1,5E-03	4,5E-03	1,4E-04	2,0E-02	2,1E-02	16
Craie saine	7,1E-05	8,2E-05	5,9E-06	2,2E-04	7,6E-05	6

On remarquera que, dans cet ensemble de formations géologiques, certaines sont bien connues et bien documentées, comme par exemple les calcaires grossiers ou les sables yprésiens. À l'inverse, pour d'autres formations, les données bibliographiques (et notamment les valeurs de perméabilité) sont plus rares, comme c'est le cas pour la base glauconieuse des calcaires grossiers ou les marnes de Meudon.

Ces valeurs sont toutefois concordantes avec celles de la thèse d'Aurélie Lamé [20] de 2013, qui a eu accès plusieurs centaines de valeurs de perméabilités pour l'ensemble de ces formations, synthétisées dans le tableau 3 suivant.

Les valeurs mentionnés dans ces différents tableaux sont, a priori, représentatives des perméabilités horizontales des formations. En effet, les pompages d'essai renseignent sur la perméabilité horizontale, il est très difficile, voire parfois impossible, de mesurer par essai in situ les perméabilités verticales des formations.

Tableau 57 : récapitulatif des perméabilités mesurées à Paris et dans sa proche banlieue (extrait de la Thèse d'Aurélie Lamé [20])

Nappes souterraines	Perméabilité médiane (m/s)	Perméabilité moyenne (m/s)	Perméabilité min (m/s)	Perméabilité max (m/s)	Coefficient d'emmagasinement (S)	Nombre de mesures
Alluvions modernes	3.1E-07	9.9E-06	1.1E-08	5.3E-05	1.0E-03	6
Alluvions anciennes	1.6E-07	1.3E-03	3.0E-07	7.0E-02	3.6E-02	92
Sables de Fontainebleau	2.0E-05	-	-	-	-	
Marnes à Huîtres	1.6E-06	5.0E-07	1.0E-09	3.2E-06	-	
Travertin de Brie	3.2E-05	4.0E-05	1.1E-05	1.0E-04	-	6
Glaises Vertes	8.0E-10				-	
Marnes Infra gypseuses	8.0E-05	4.6E-04	8.0E-07	1.0E-03	-	9
Sables verts	1.2E-04	1.2E-04	3.9E-05	1.9E-04	-	3
Calcaire de Saint-Ouen	1.8E-04	6.8E-04	1.5E-07	7.9E-03	1.0E-03	48
Sable de Beauchamp supérieurs	1.0E-05	1.0E-04	3.3E-07	7.3E-04	-	13
Sables de Beauchamp médians	2.5E-07	3.9E-07	1.7E-09	1.3E-06	1.0E-04	16
Sables de Beauchamp inférieurs	1.0E-05	9.7E-05	2.5E-06	7.3E-04	2.0E-04	16
Marnes et Caillasses	3.1E-05	8.2E-05	1.6E-07	6.1E-04	-	122
Calcaire Grossier	3.5E-05	8.5E-05	4.5E-07	8.2E-04	-	204
Calcaire Grossier (partie basale)	3.0E-07	3.8E-07	1.0E-08	9.6E-07	1.0E-04	33
Argile de Laon	8.8E-08	8.8E-08	5.0E-08	1.3E-07	-	2
Sables Supérieurs	1.1E-04	6.8E-03	1.2E-06	2.7E-01	1.0E-04	49
Fausses Glaises	6.6E-07	6.5E-07	1.0E-07	1.2E-06	1.0E-04	3
Sables d'Auteuil	1.0E-05	5.4E-05	1.0E-06	1.5E-04	1.0E-04	3
Argile Plastique	2.7E-09	2.7E-09	1.5E-10	2.5E-09	1.0E-04	
Marnes de Meudon	6.5E-07	7.7E-06	6.1E-08	3.0E-05	-	4
Craie Blanche de Meudon (partie supérieur)	4.1E-05	1.0E-04	1.9E-06	6.9E-04	1.0E-04	18

Nota : les données sources de cette synthèse ne sont pas accessibles.

Les perméabilités de la Craie mentionnées dans le tableau 4 suivant, issues également de la thèse d'Aurélie Lamé, correspondent aux perméabilités de la Craie sous recouvrement alluvial. Lorsque la Craie est rencontrée sous les alluvions, sa partie supérieure est généralement fracturée sur une épaisseur de 10 à 20 mètres, conférant à la formation une forte perméabilité de fissures. La frange supérieure de la Craie, très perméable, est alors le siège d'une puissante nappe. Au contraire, sous recouvrement tertiaire, l'épaisseur de la fracturation de la partie supérieure de la craie se réduit. Sous cette frange de craie fracturée, la craie devient progressivement plus saine, et moins perméable, malgré une importante porosité.

	Profondeur de la Craie	Perméabilité (m/s)
Zone altérée	entre 10 et 20 mètres	entre 10^{-1} et 10^{-3}
Zone fissurée	entre 20 et 40 mètres	entre 10^{-4} et 10^{-6}
Zone saine	supérieure à 40 m	entre 10^{-7} et 10^{-8}

Perméabilités de la Craie sous recouvrement alluvial

(Données issues de « Modélisation hydrogéologique des aquifères de Paris et impacts des aménagements du sous-sol sur les écoulements souterrains » – A. Lamé (2013))

Les différentes sources disponibles fournissent donc une base de données conséquente sur les perméabilités horizontales des formations permettant de définir des plages de perméabilités vraisemblables à intégrer dans le modèle.

Par ailleurs, des indications sur les propriétés hydrodynamiques des formations peuvent être recherchées par l'analyse des productivités des forages. La productivité d'un forage est définie par le débit spécifique qui est le rapport entre le débit exploité et le rabattement induit à un temps donné. Ce débit spécifique est fonction de la perméabilité des terrains captés et des caractéristiques intrinsèques de l'ouvrage.

Plus d'une cinquantaine de forages exploitent l'aquifère du Lutétien dans le domaine modélisé (cf. inventaire des prélèvements, paragraphe 5.3.3.7). Le Lutétien est le principal aquifère qui sera concerné par les pompages d'épuisement.

La valeur moyenne des débits spécifiques est de $3E^{-3}$ $m^3/s/m$. Le minimum observé est de l'ordre de $2E^{-4}$ $m^3/s/m$, et le maximum de l'ordre de $2E^{-2}$ $m^3/s/m$. La moitié des valeurs se trouvent toutefois dans une plage comprise entre $8E^{-4}$ $m^3/s/m$ et $4E^{-3}$ $m^3/s/m$. Ces résultats sont issus des deux horizons du Lutétien (Marnes et Caillasses et Calcaires Grossiers, ou parfois les deux qui sont traversés indifféremment par une même crépine). Le débit spécifique moyen obtenu dans des forages exploitant le Calcaire Grossier seul est trois fois plus faible que le débit spécifique moyen obtenu avec les forages exploitant l'ensemble du Lutétien (marnes et caillasses et calcaire grossier), ce qui indique a priori que l'horizon des marnes et caillasses participe pour une part importante voir supérieure à la productivité de l'ensemble. Cette analyse statistique reste indicative de par la taille

de l'échantillon disponible et de par la difficulté à distinguer en coupe de forage ces deux formations.

Ceci étant, la productivité globale obtenue sur les forages exploitant le Lutétien paraît tout à fait cohérente avec les valeurs de perméabilité issues de la bibliographie.

5.3.3.6 Relations hydrauliques entre la Seine et les aquifères

Lorsque le niveau de la Seine est affecté par une crue, les équilibres hydrodynamiques entre le cours d'eau et la nappe alluviale sont temporairement modifiés (inversion du gradient entre le niveau de la Seine et le niveau de la nappe) et l'onde de crue de Seine se propage dans l'aquifère.

La propagation de l'onde de crue dépend du facteur de colmatage des berges et du lit de la Seine, qui peut varier le long du linéaire du cours d'eau, et des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère dans lequel l'onde se propage (ici l'aquifère alluvial, voire l'aquifère des calcaires grossiers).

Dans le domaine étudié, BURGEAP a enregistré un certain nombre d'ondes de crue de Seine transmises en nappe [14] :

- un suivi dans le 5ème arrondissement de Paris, à 300 m de la Seine, en 2002 :
  - amplitude de crue en Seine : 3 m,
  - amplitude de crue transmise dans l'aquifère au droit du point de mesure : 0,9 m,
- un suivi rue Neuve Tolbiac, à 180 et 485 m de la Seine, en 1995 :
  - amplitude de crue en Seine : 1,9 m,
  - amplitude de crue transmise dans l'aquifère au droit du point de mesure : 0,85 et 0,6 m.
- un suivi à Ivry, à 200 et 450 m de la Seine, en 2013 :
  - amplitude de crue en Seine : 3 m,
  - amplitude de crue transmise dans l'aquifère au droit du point de mesure : 1,6 et 1,35 m.
- un suivi à Alfortville, à 345 m de la Seine et de la Marne, en 2001 :
  - amplitude de crue en Seine : 4,5 m,
  - amplitude de crue transmise dans l'aquifère au droit du point de mesure : 3,2 m.

Ces enregistrements permettent d'apprécier le coefficient d'échange entre la nappe et la rivière. Ce coefficient d'échange dépend des caractéristiques de l'aquifère (ou des aquifères) et en particulier du rapport S/T et du degré de colmatage du lit et des berges du cours d'eau.

Pour ces suivis d'onde de crue, le rapport S/T apparent est compris entre 50 et 210 à Paris et entre 5 et 50 à Ivry et Alfortville.

On constate que les données issues des ondes de crue sur le centre de Paris indiquent des rapports S/T plutôt forts, ce qui laisse supposer que le fleuve est particulièrement colmaté au centre de Paris. Cette hypothèse peut s'expliquer par l'importance, depuis des dizaines d'années, des prélèvements d'eau souterraine, notamment en rive droite, qui conduisent la Seine à alimenter la nappe, favorisant une situation où les fines ont tendance à être plaquées contre le lit, augmentant ainsi le colmatage. Les données piézométriques dont nous disposons en rive droite immédiate montre une forte différence de charge entre la Seine et la nappe ce qui indique également un fort colmatage potentiel du fleuve. Plus en amont du fleuve (où les prélèvements en nappe sont moins importants), il semble que les rapports S/T sont globalement plus faibles, ce qui peut laisser supposer une meilleure connexion nappe – cours d'eau, et donc un colmatage plus faible.

En définitive, il est possible qu'un colmatage différentié affecte le cours d'eau le long de son parcours dans Paris, la Seine étant potentiellement plus colmatée au centre.

5.3.3.7 Prélèvements et usages des eaux souterraines dans la zone d'étude

Un inventaire des prélèvements et usages des eaux souterraines a été établi sur la base des données suivantes :

- fichiers de l'Agence de l'Eau Seine Normandie [9], recensant les prélèvements effectués en nappe,
- données de l'Agence Régionale de Santé Ile de France sur les captages d'alimentation en eau potable [3],
- inventaire du BRGM [13] et données de la BSS [2] pour les exploitations géothermiques,
- données des volumes exhaurés par les parkings souterrains et les postes de relevage de la RATP [10],
- dossiers « Loi sur l'Eau » disponibles auprès de la police de l'Eau (DRIEE),
- et enfin contacts directs entre BURGEAP et des foreurs.

Ces données ont été synthétisées sur les cartes présentées en Figure 15. On constate que l'essentiel des prélèvements réalisés sont effectués :

- pour l'alimentation en eau industrielle dans la plaine de Vitry (notamment les puits de BioSpringer et SANOFI),
- pour l'exhaure d'infrastructures (RATP et parkings souterrains) dans Paris, essentiellement dans le 5ème arrondissement,
- pour l'exhaure d'infrastructures (Sous-sols) et pour la géothermie dans le secteur de la boucle de Boulogne,
- on note également la présence de plusieurs installations géothermiques qui sont dans la majorité munis de puits de réinjection.
-

On notera qu'il n'existe pas, dans le secteur, de prélèvement des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable exploitant les nappes superficielles, potentiellement concernées par d'éventuels impacts du projet. Le seul captage AEP identifié est un captage à l'Albien, nappe profonde, isolée des nappes superficielles par d'épaisses couches d'argiles et qui, de fait, ne dispose pas de périmètre de protection éloigné ou rapproché. Seules les installations de surface (fontaine publique) constituent le périmètre de protection immédiat.

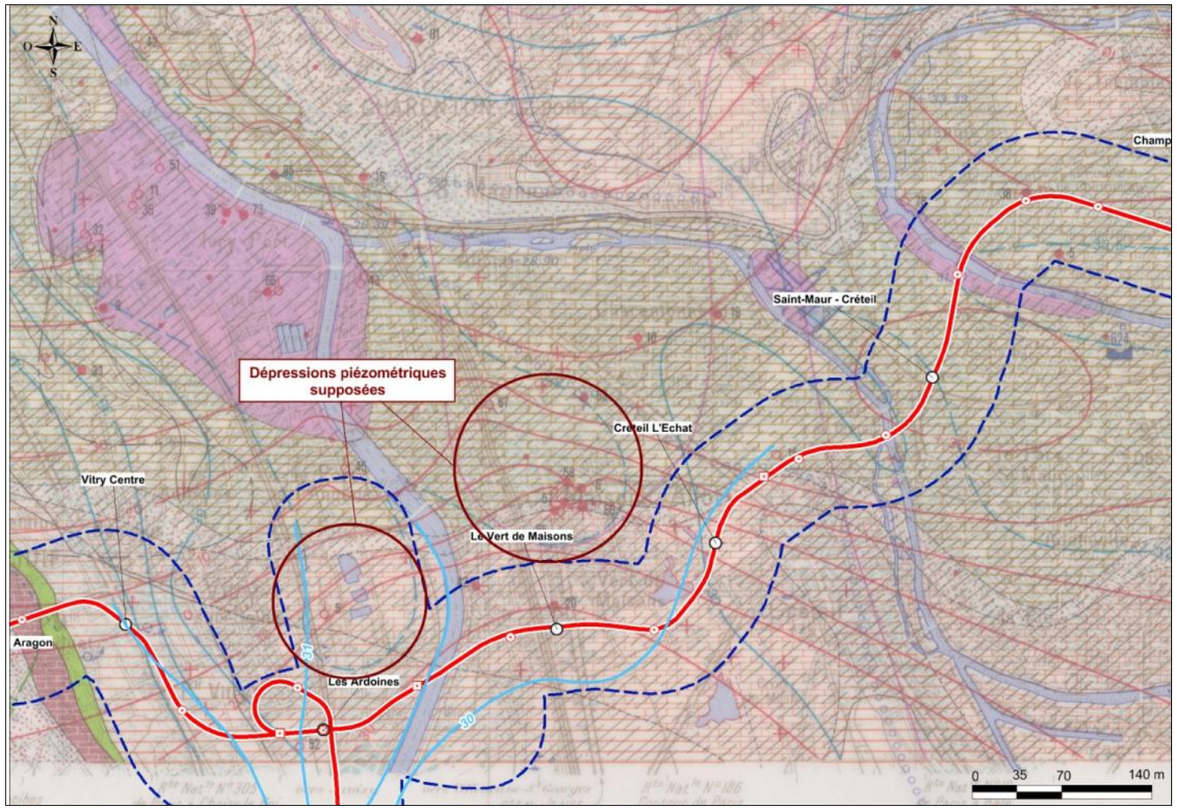


Figure 38 : Localisation des zones de dépression supposées sur la carte de Diffre
(Source : carte piézométrique de Diffre [5] et données issues de la G1 et G2)

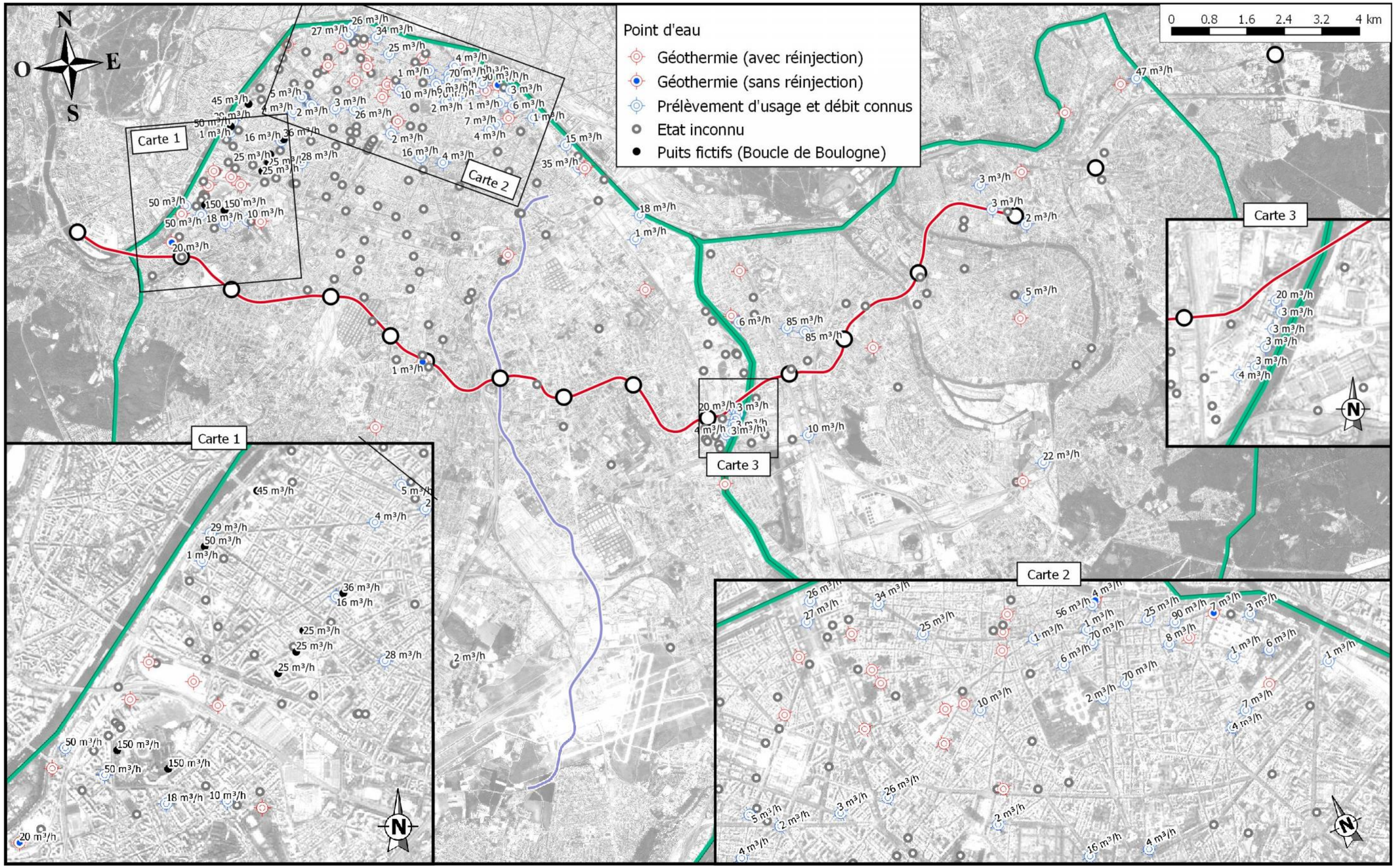


Figure 39 : Carte de localisation des prélèvements en nappe

5.3.4 Description du projet de métro et de ses impacts potentiels

5.3.4.1 Description du projet

Le tunnel sera réalisé suivant la technique du tunnelier. Il traverse deux secteurs principaux qui ont des caractéristiques hydrogéologiques distinctes (voire les coupes du tracé de la Figure 32 et la Figure 33). Ces secteurs sont :

- Le secteur 1 correspondant au plateau d'Issy à Cachan (Figure 32). Au niveau de ce secteur, le tracé du tunnel longe essentiellement les formations des Calcaires Grossiers du Lutétien et des Argiles Plastiques de l'Yprésien. Le tunnel traverse localement les Marnes de Meudon et la Craie sous-jacente au droit de la commune de Malakoff.

- Le secteur 2 correspondant à la plaine de Vitry (Figure 33). Dans cette partie, les alluvions reposent directement sur les Calcaires de Saint-Ouen de Vitry-sur-Seine à Créteil puis sur les Calcaires Grossiers du Lutétien de Créteil à Champigny-sur-Marne.

Les gares seront quant à elles construites sous protection de parois moulées. En fonction du contexte souterrain, différents cas de figures peuvent être rencontrés :

- Si l'ouvrage et ses parois moulées sont implantés au sein d'une formation potentiellement perméable, le débit résiduel à gérer est alors susceptible d'être important. Dès lors, un premier calcul est effectué sur le débit d'épuisement en fonction des caractéristiques des terrains. En fonction du résultat de cette évaluation, des solutions constructives complémentaires sont dimensionnées afin de réduire autant que possible le débit d'épuisement. Ces solutions sont généralement des jupes ou des fonds injectés. C'est le cas de la majorité des gares de la plaine de Vitry (Figure 41).

- Si les parois moulées de l'ouvrage sont implantées au sein d'une couche géologique modérément perméable, les débits d'épuisement attendus sont faibles ou modérés et il n'est pas nécessaire de prévoir des dispositifs particuliers permettant de limiter le débit d'épuisement en phase chantier. C'est le cas des gares du plateau d'Issy à Cachan (Figure 40) ainsi que la gare de Champigny Centre et autres gares situées à l'ouest de celle-ci.

Dans le cadre de la gare de Saint-Maur Créteil, seule une paroi moulée ancrée profondément dans la craie est prévue, sans dispositif complémentaire de type jupe ou fond injecté car la craie profonde est très peu perméable.

5.3.4.2 Impacts potentiels

Le projet est associé à deux impacts potentiels qui sont :

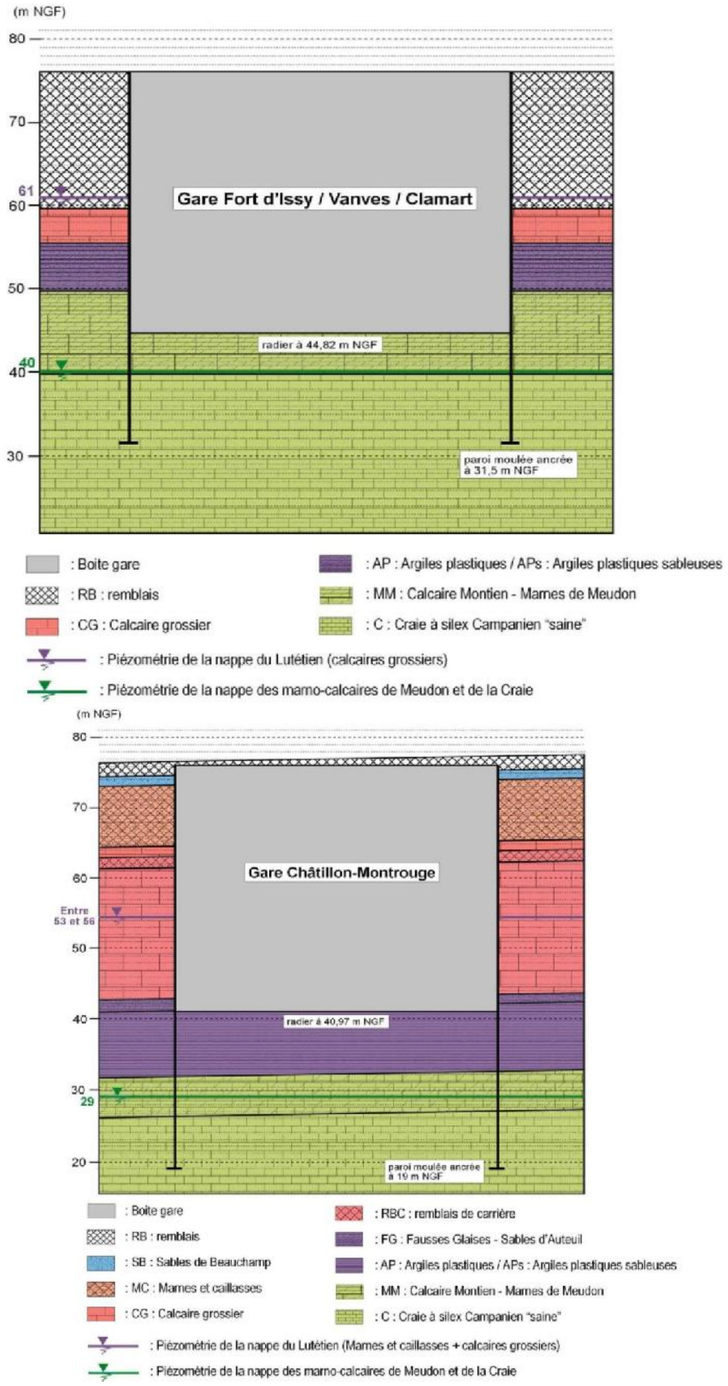
- l'abaissement du niveau de la nappe en phase chantier en raison des pompages d'épuisement résiduel pratiqués temporairement pour réaliser les stations ;

- l'effet barrage en phase définitive (remontée et abaissement du niveau de la nappe) susceptible d'être provoqué à la fois localement par les gares et plus globalement par le tunnel. Les gares et le tunnel sont des ouvrages considérés comme étanches qui, de ce fait, créeront un obstacle aux écoulements.

L'abaissement du niveau de la nappe en phase chantier est potentiellement significatif dans la plaine de Vitry où les débits d'épuisement résiduels estimés par la Maîtrise d'œuvre restent relativement importants. Ils seront toutefois limités grâce à la prise en compte de dispositifs de type paroi moulées, fonds et jupes injectés (cf. Figure 41). La présence de forages exploitant les nappes alluviales, du Lutétien de l'Yprésien et de la craie dans la plaine de Vitry constitue un enjeu direct important. De plus, ce secteur étant fortement urbanisé, les opérations de pompage provisoires ne doivent pas être à l'origine de désordres mécaniques induit notamment par des phénomènes de tassement dans les terrains superficiels compressibles ou par dissolution de gypse anté-ludien.

En ce qui concerne les stations du plateau d'Issy à Cachan les parois moulées ancrées dans les niveaux faiblement perméables de l'Yprésien suffiront à limiter significativement les débits qu'il sera nécessaire de pomper. Aucun impact particulier n'est donc attendu en phase chantier (cf. Figure 40). Par ailleurs, les enjeux sont faibles dans ce secteur. En effet, peu de pompages exploitent la nappe du calcaire grossier dans ce secteur.

L'effet barrage sur la nappe du Lutétien peut être considéré modérément sensible dans le secteur du plateau d'Issy à Cachan, du fait que le gradient de la nappe des Calcaires Grossiers est non négligeable et que cette nappe est peu épaisse. Dans la plaine de Vitry les gradients sont faibles mais les enjeux sont forts du fait de la présence de nombreux ouvrages souterrains (parking, caves).



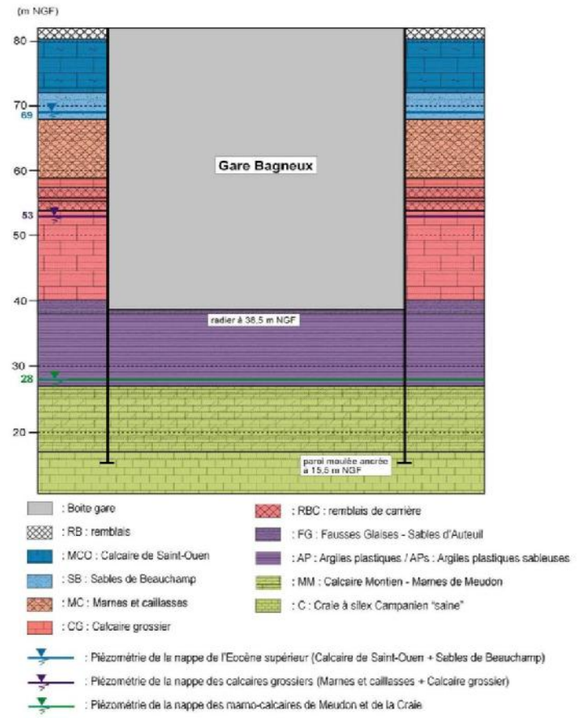
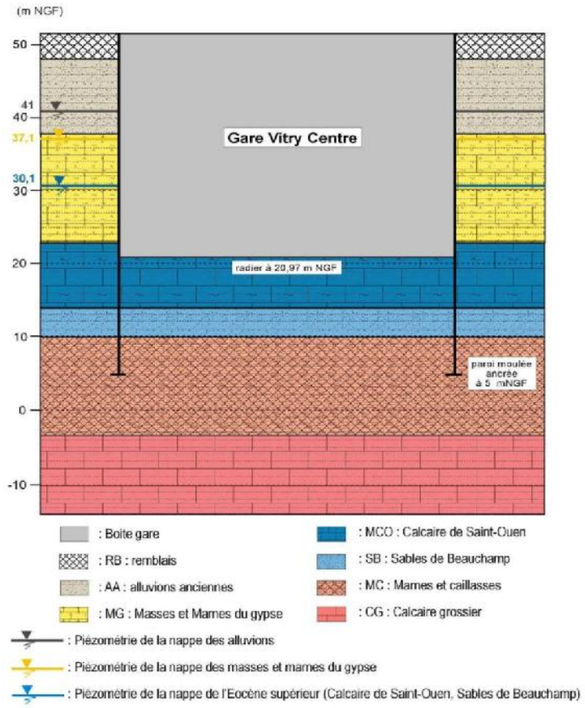
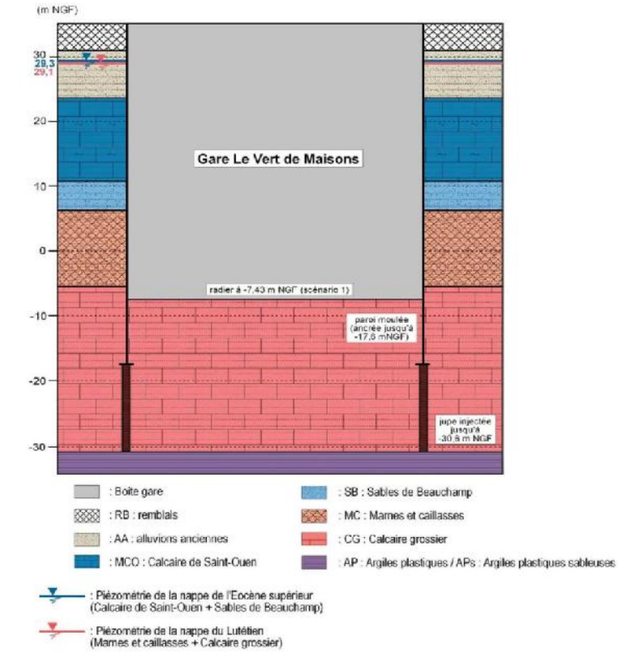
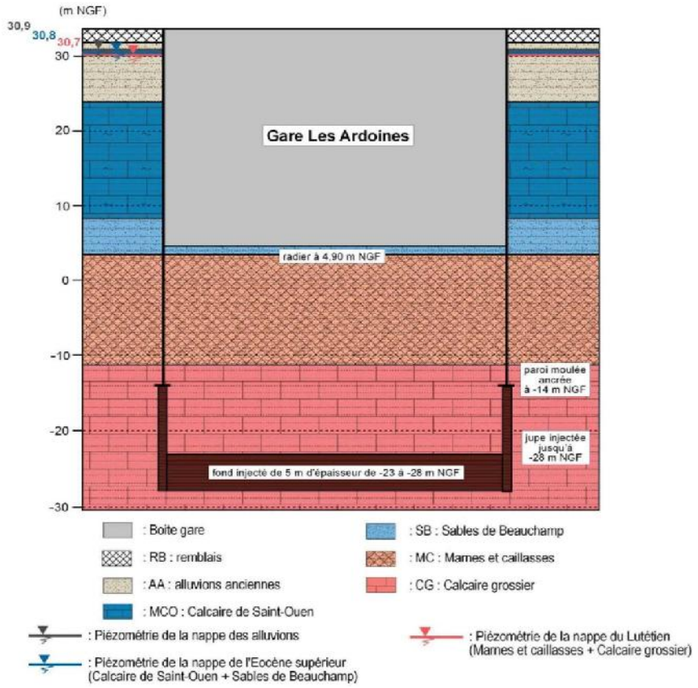
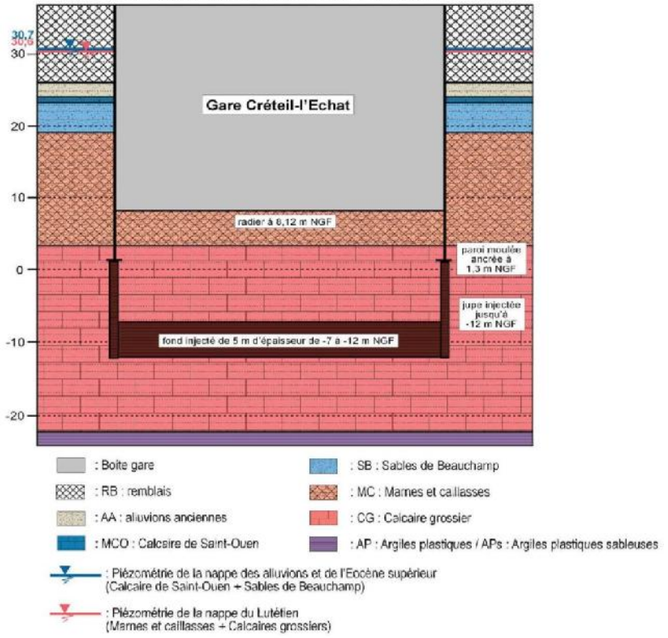


Figure 40 : Coupes schématiques des dispositions constructives des gares du plateau d'Issy à Cachan


(m NGF)
50
41
40
37,1
30,1
30
20
10
0
-10
Gare Vitry Centre
radier à 20,97 m NGF
paroi moulée ancrée à 5 mNGF
: Boite gare
: RB : remblais
: AA : alluvions anciennes
: MG : Masses et Marnes du gypse
: MCO : Calcaire de Saint-Ouen
: SB : Sables de Beauchamp
: MC : Marnes et caillasses
: CG : Calcaire grossier
: Piézométrie de la nappe des alluvions
: Piézométrie de la nappe des masses et marnes du gypse
: Piézométrie de la nappe de l'Eocène supérieur (Calcaire de Saint-Ouen, Sables de Beauchamp)


(m NGF)
30
29,3
29,1
20
10
0
-10
-20
-30
Gare Le Vert de Maisons
radier à -7,43 m NGF (scénario 1)
paroi moulée (ancrée jusqu'à -17,5 mNGF)
jupe injectée jusqu'à -30,5 m NGF
: Boite gare
: RB : remblais
: AA : alluvions anciennes
: MCO : Calcaire de Saint-Ouen
: SB : Sables de Beauchamp
: MC : Marnes et caillasses
: CG : Calcaire grossier
: AP : Argiles plastiques / APs : Argiles plastiques sableuses
: Piézométrie de la nappe de l'Eocène supérieur (Calcaire de Saint-Ouen + Sables de Beauchamp)
: Piézométrie de la nappe du Lutétien (Marnes et caillasses + Calcaire grossier)


(m NGF)
30,9
30,8
30,7
30
20
10
0
-10
-20
-30
Gare Les Ardoines
radier à 4.90 m NGF
paroi moulée ancrée à -14 m NGF
jupe injectée jusqu'à -28 m NGF
fond injecté de 5 m d'épaisseur de -23 à -28 m NGF
: Boite gare
: RB : remblais
: AA : alluvions anciennes
: MCO : Calcaire de Saint-Ouen
: SB : Sables de Beauchamp
: MC : Marnes et caillasses
: CG : Calcaire grossier
: Piézométrie de la nappe des alluvions
: Piézométrie de la nappe de l'Eocène supérieur (Calcaire de Saint-Ouen + Sables de Beauchamp)
: Piézométrie de la nappe du Lutétien (Marnes et caillasses + Calcaire grossier)


(m NGF)
40
30,7
30,5
30
20
10
0
-10
-20
Gare Créteil-l'Echat
radier à 6,12 m NGF
paroi moulée ancrée à 1,3 m NGF
jupe injectée jusqu'à -12 m NGF
fond injecté de 5 m d'épaisseur de -7 à -12 m NGF
: Boite gare
: RB : remblais
: AA : alluvions anciennes
: MCO : Calcaire de Saint-Ouen
: SB : Sables de Beauchamp
: MC : Marnes et caillasses
: CG : Calcaire grossier
: AP : Argiles plastiques / APs : Argiles plastiques sableuses
: Piézométrie de la nappe des alluvions et de l'Eocène supérieur (Calcaire de Saint-Ouen + Sables de Beauchamp)
: Piézométrie de la nappe du Lutétien (Marnes et caillasses + Calcaires grossiers)

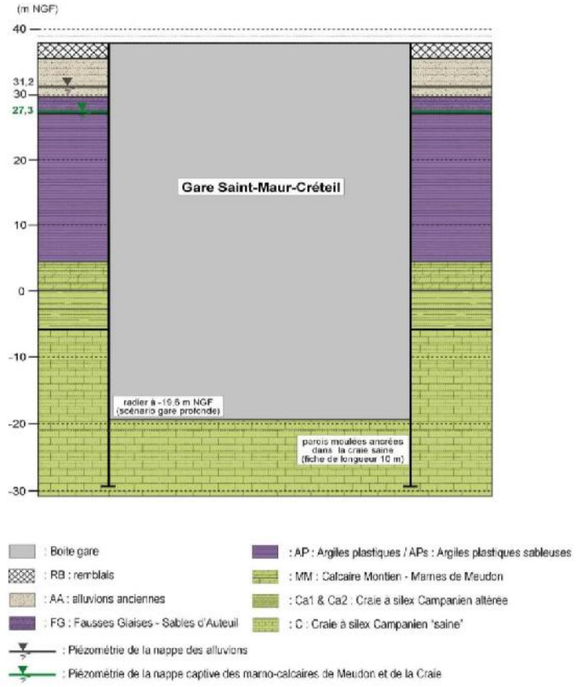


Figure 41 : Coupes schématiques des dispositions constructives des gares la plaine de Vitry

5.4 Modèle hydrogéologique

Le modèle a été réalisé à l'aide du code de calcul FEFLOW. Il s'agit d'un logiciel de modélisation des écoulements souterrains en 3 dimensions, développé par la société DHI-WASY [17]. Le code de calcul FEFLOW est basé sur la résolution des équations d'écoulement par la méthode des éléments finis. Dans le cas présent, le logiciel a été utilisé avec les modes saturé libre et captif, tridimensionnel et en régimes permanent et transitoire.

5.4.1 Modèle conceptuel et limites du domaine

Les limites du domaine hydrogéologique considéré sont représentées sur la Figure 18 et le schéma conceptuel du modèle est représenté sur la Figure 35 ci-avant.

5.4.1.1 Modèle conceptuel

Régionalement, le domaine hydrogéologique est alimenté par des flux horizontaux sur les pourtours ouest, sud et est du domaine pour la nappe des calcaires grossiers (Figure 18), et sur les pourtours est et ouest pour les calcaires de Champigny et de Saint Ouen dans le secteur de Meudon. Les cartes piézométriques suivantes permettent de justifier ces alimentations :

- Pour la partie ouest et sud-ouest : carte piézométrique de l'Atlas des nappes aquifères de la région parisienne de Mégnien de 1970 [7] (Figure 42)

- Pour la partie est et sud-est : carte piézométrique de la Brie de 2008 [5] (Figure 43)

L'alimentation régionale de la craie est supposée faible, la craie fracturée étant considérée comme discontinue en dehors des secteurs de craie sans couverture tertiaires. La partie sud du domaine étant globalement recouverte par une épaisse couverture tertiaire, l'absence de flux régionaux significatifs dans la craie semble justifiée.

L'alimentation régionale de l'Yprésien est de même considérée comme nulle, les niveaux sableux (sables de Cuise, sables d'Auteuil et Sables inférieurs) étant majoritairement présents au nord le long de la Seine et de la Marne et ayant une extension très vite limitée vers le sud comme indiqué sur la Figure 31.

Les exutoires du domaine hydrogéologique sont les vallées de la Seine et de la Marne, et les prélèvements pour l'alimentation en eau industrielle et autres drainages de mise hors d'eau d'infrastructures. Le Lutétien est également drainé au sud-ouest, dans le secteur de la Bièvre amont et de l'Orge, comme indiqué sur les cartes piézométriques régionales.

A l'intérieur même du domaine hydrogéologique, on observe des circulations d'eau verticales entre aquifères, comme le montre le schéma conceptuel. Ceci est la conséquence des différences de charges existant entre ces aquifères, elles-mêmes occasionnées, entre autres, par les prélèvements effectués dans les nappes du Lutétien et de l'Yprésien (eau industrielle, drainage).

Les circulations d'eau internes au domaine hydrogéologique (drainance verticale) sont essentiellement contrôlées par les horizons semi-perméables à très peu perméables que sont les sables de Beauchamp intermédiaires, la partie marneuse du Lutétien, la base glauconieuse des calcaires grossiers, les fausses glaises, les argiles plastiques et les marnes de Meudon.

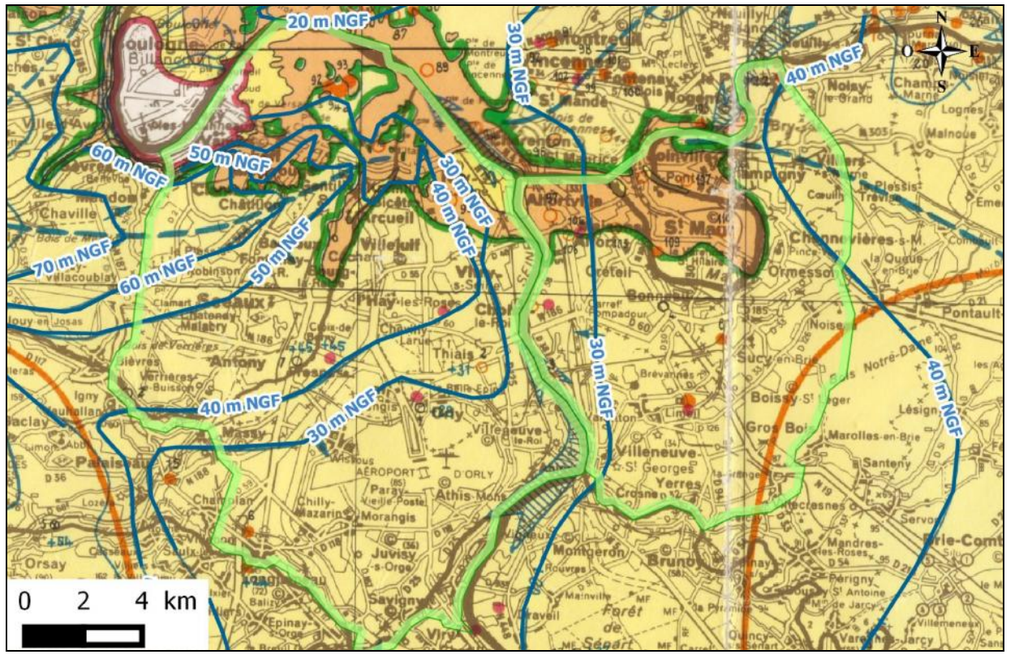


Figure 42 : Extrait de la carte piézométrique de Mégnien (1970) de l'Eocene inférieur et moyen [7]

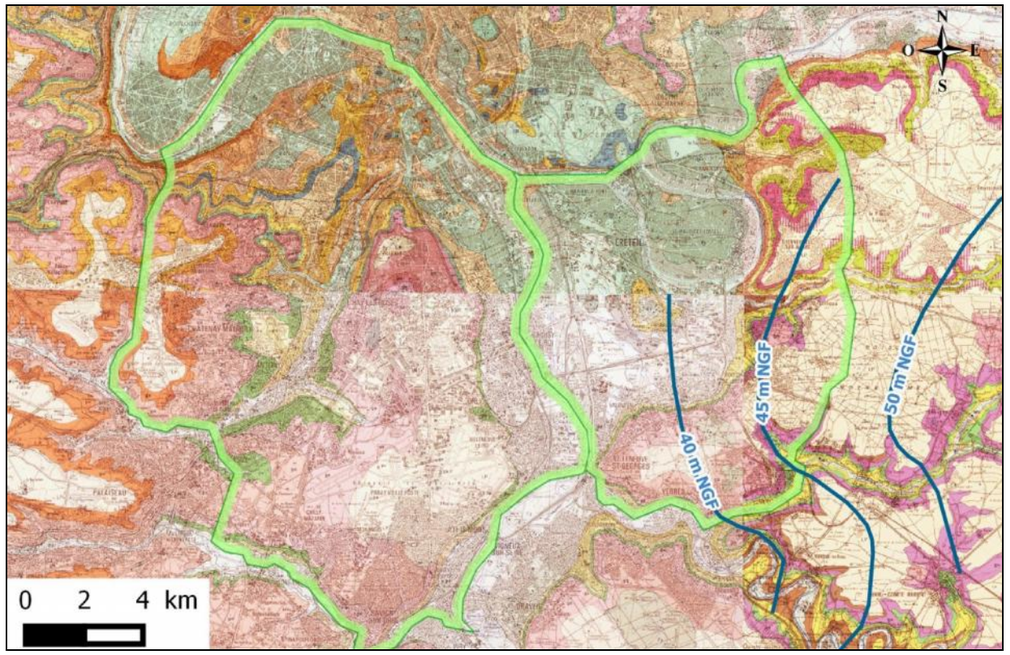


Figure 43 : Extrait de la carte piézométrique AquiBRIE [5]

Les échanges avec les cours d'eau sont quant à eux contrôlés par le colmatage des berges et du lit du fleuve.

Enfin, bien que canalisée, la présence de la Bièvre et de sa vallée alluviale a été prise en compte, car la piézométrie de la nappe des calcaires grossiers montre clairement un drainage de la nappe le long de la vallée de la Bièvre.

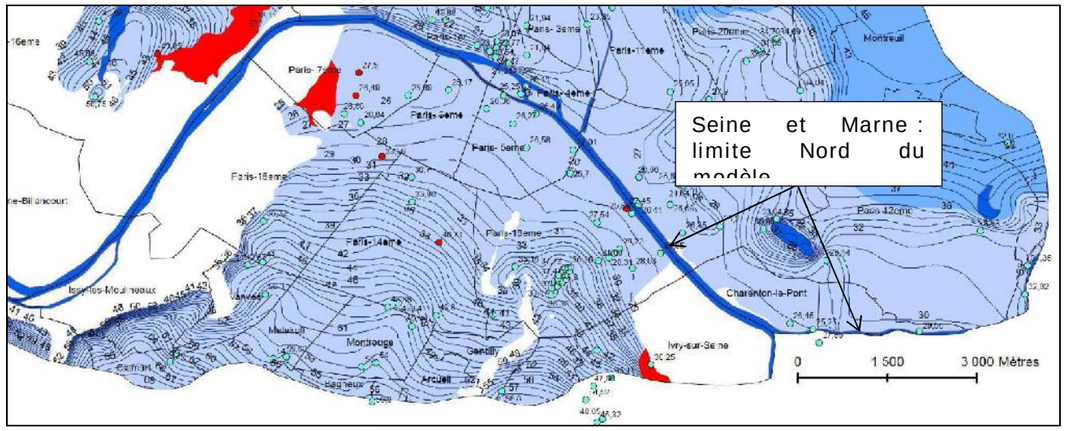


Figure 44 : Extrait de la carte piézométrique du Lutétien en 2010, d'après Lamé [20]

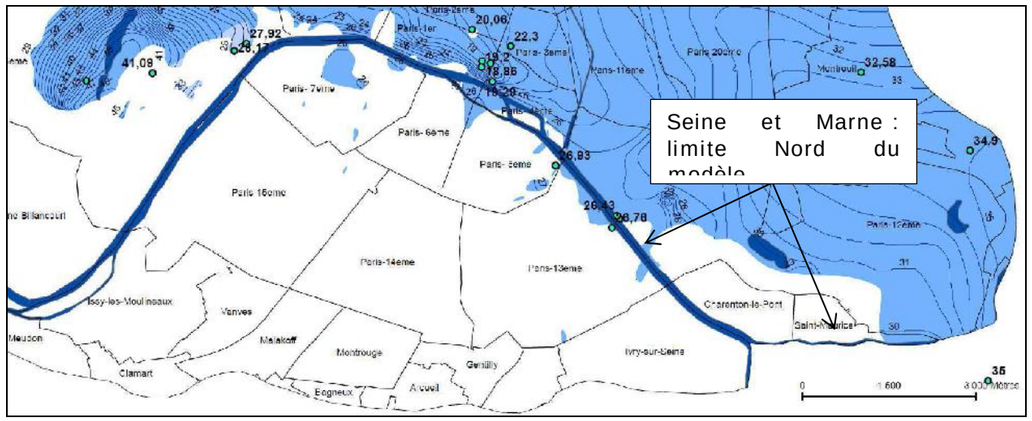


Figure 45 : Extrait de la carte piézométrique de l'Yprésien supérieur en 2010, d'après Lamé [20]

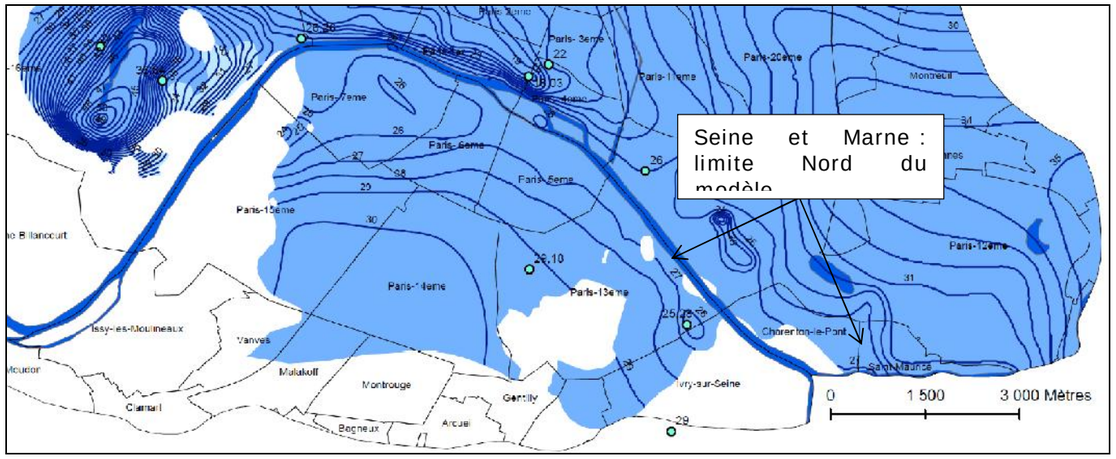


Figure 46 : Extrait de la carte piézométrique de l'Yprésien inférieur en 2010, d'après Lamé [20]

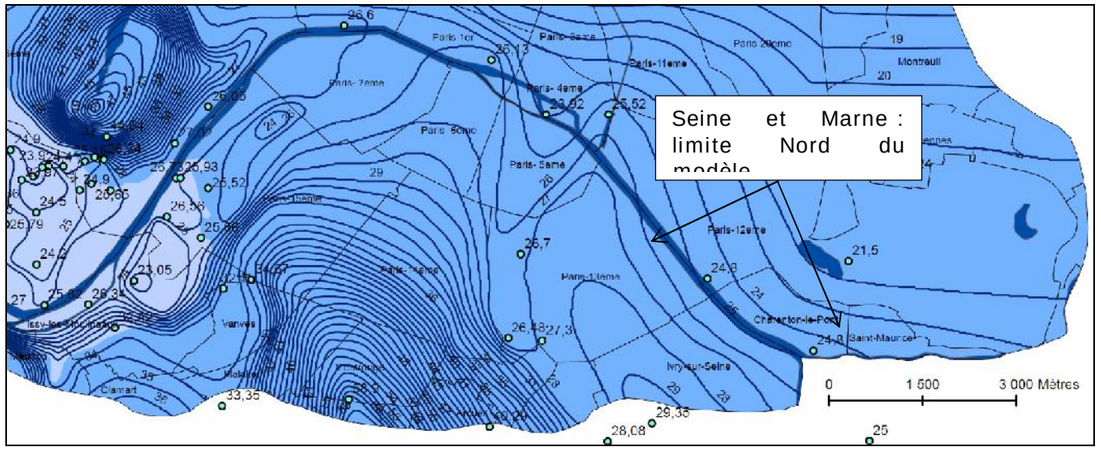


Figure 47 : Extrait de la carte piézométrique de la Craie en 2010, d'après Lamé [20]

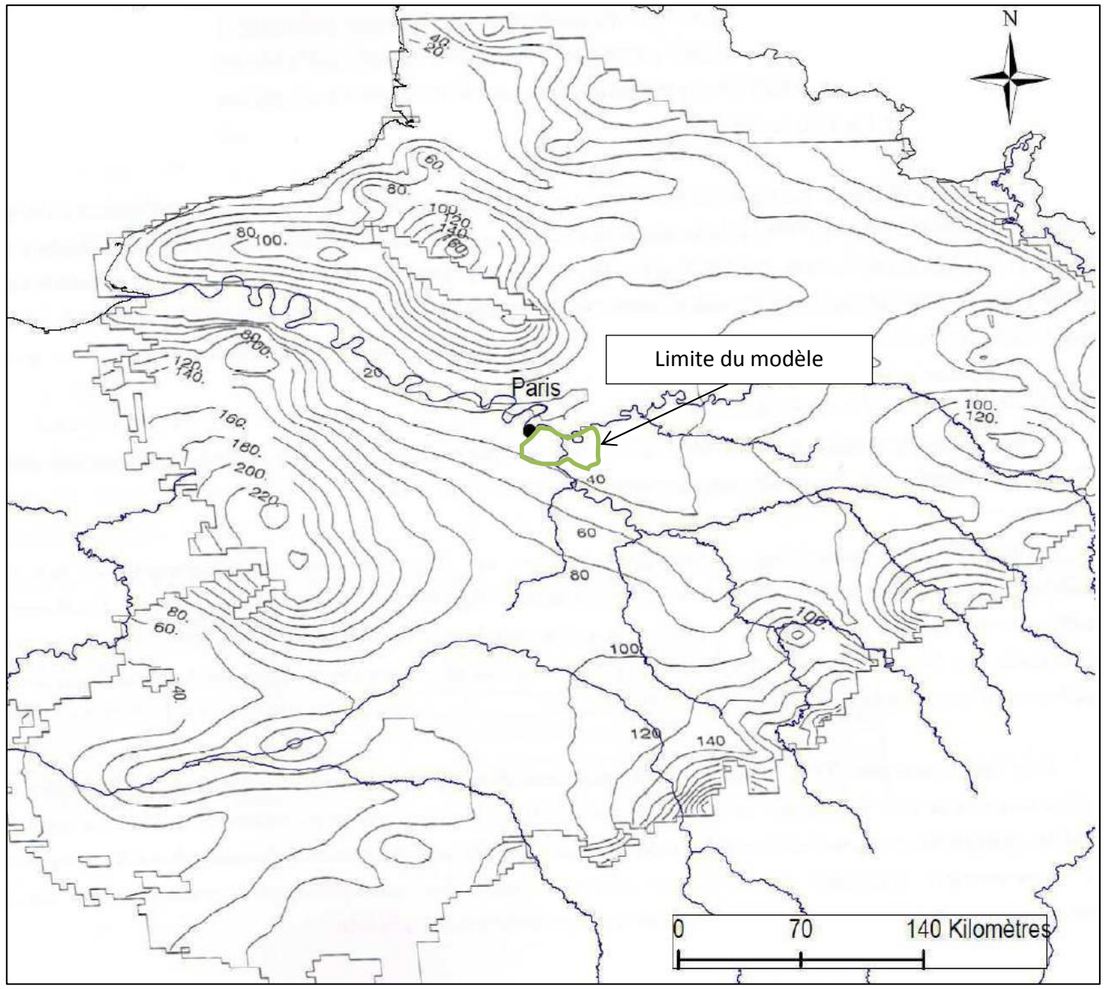


Figure 48 : Extrait de la carte piézométrique de la Craie en 1967, d'après Raoult, tiré de Lamé [20]

5.4.1.2 Limites du domaine hydrogéologique et conditions aux limites

Les limites et conditions aux limites suivantes ont permis de définir l'emprise du domaine hydrogéologique considéré pour les travaux de modélisation. Ces limites sont représentées sur la Figure 18 suivante :

- nappe des calcaires grossiers :
  - o les limites ouest, sud et est correspondent à des flux imposés callés sur les cartes piézométriques régionales [7] [5],
  - o la limite nord-ouest correspond à la Seine. Elle est également présente entre la confluence de la Marne au nord et Ablon-sur-Seine au sud. Elle est représentée comme un potentiel imposé à la cote 26,73 NGF (hors crue) et 29,7 NGF en amont

du barrage de Port-à-l' Anglais situé à Alfortville. La Seine est associée à un facteur de colmatage, afin de représenter le colmatage des berges et du lit. La valeur du facteur de colmatage a fait l'objet, entre autres, du calage du modèle,

- o la limite nord-est correspond à la Marne. Elle a été représentée comme un potentiel imposé à la cote 26,73 NGF (hors crue) et 29,28 NGF en amont du barrage de Saint Maurice et Alfortville. Deux autres barrages situés dans le domaine modélisé, situés à Créteil et à Joinville, rehaussent progressivement la retenue normale à 31,41 m NGF puis 33,66 m NGF [27].

  Comme la Seine, la Marne est également associée à un facteur de colmatage, afin de représenter le colmatage des berges et du lit,

- o à l'intérieur du domaine, la Bièvre a également été représentée comme un potentiel imposé avec colmatage, afin de représenter le drainage mis en évidence par la piézométrie. Le potentiel imposé considéré a été pris égal à la cote du radier de l'ovoïde d'assainissement dans lequel est canalisé le cours d'eau entre Paris et Bourg-la-Reine [29], et est basé sur le modèle numérique de terrain en amont,

- nappe des sables yprésiens :

  - o les limites ouest, sud et est sont des limites à flux nul, parce que les formations géologiques perméables de l'Yprésien y sont absentes,

  - o la limite nord du domaine correspond à une limite à potentiel imposé, afin de traduire l'influence des nombreux pompages existants en rive droite de la Seine à Paris et de reproduire la dépression piézométrique observée notamment dans le secteur de Chatelet indiqué dans l'atlas des nappes aquifères du bassin de Paris [7] et dans la thèse d'Aurélie Lamé [20],

- nappe des calcaires de Meudon et de la craie :

  - o les limites ouest, sud et est correspondent à une limite à flux nul,

  - o la limite nord-ouest (Boucle de Boulogne) est une limite à flux nul, la nappe présentant dans ce secteur un gradient très faible dû entre autres aux nombreux rabattements existants de part et d'autres de la Seine,

  - o la limite nord correspond à une charge imposée simulant l'important axe de drainage localisé une douzaine de kilomètres environ au nord du modèle dans la craie, comme indiqué dans la carte piézométrique de la craie de Raoult reproduite dans la thèse d'Aurélie Lamé [20]. Afin de prendre en compte un gradient équivalent et une perméabilité équivalente entre la limite nord du modèle et l'axe de drainage, une conductance de l'ordre de $1{,}25E^{-8}$ m/s/m associé à une cote de 13 m NGF ont été prises en compte.

Le domaine hydrogéologique ainsi délimité présente une surface de l'ordre de 350 km².

Par ailleurs, une recharge de 4,2 l/s/km² (environ 130 mm/an) a été imposée sur toute la surface du domaine, à l'exception des plateaux tertiaires de Villejuif, d'Arcueil Cachan et de Champigny (infiltration nulle) et des flancs de coteaux (suralimentation liée à la réinfiltration des eaux du plateau par « décharge » des nappes superficielles perchées). Cette valeur de 130 mm/an correspond à la pluviométrie moyenne, en termes de pluie utile, pour une RFU de 50 mm, sur la période 1982-2014 (voir paragraphe 5.3.3.4).

Enfin, les prélèvements connus ont été pris en compte dans le modèle hydrogéologique (voire paragraphe 5.3.3.7).

5.4.2 Modèle géologique

Le modèle géologique comprend toutes les couches géologiques comprises entre les Calcaires de Saint Ouen et la craie ou les alluvions et la craie. Les couches situées au-delà du Calcaires de Saint Ouen sont amalgamées en une seule couche, et ne font pas partie des objectifs de modélisation (cf. paragraphe 5.3.3.2).

Le modèle géologique comprend donc les unités stratigraphiques suivantes :

- alluvions récentes,
- alluvions anciennes,
- calcaires de Saint-Ouen,
- sables de Beauchamp supérieurs,
- sables de Beauchamp intermédiaires,
- sables de Beauchamp inférieurs,
- marnes et caillasses,
- calcaires grossiers moyens et supérieurs fissurés,
- calcaires grossiers inférieurs glauconieux,
- sables de Cuise,
- fausses glaises,
- sables d'Auteuil,
- argiles plastiques,
- sables inférieurs,
- marnes de Meudon
- calcaires de Meudon et sommet de la craie,
- craie saine, peu ou pas fissurée.

La base du modèle géologique est donc constituée par la craie peu perméable.

Une synthèse géologique à l'échelle de l'ensemble du domaine étudié a été établie sur la base des éléments suivants :

- données des missions géotechniques [4] [18] [30] [31],
- coupes validées de la base de données de la BSS du BRGM [2],
- carte géologique de Paris de l'IGC au 1/5 000 [19],
- archives internes de Burgeap [3],
- coupes géologiques des forages recensées par Soyer [31].

Ainsi, au total, le modèle géologique a été établi sur la base de 2 000 coupes géologiques environ. Seulement quelques-unes de ces coupes traversent la totalité des couches prises en compte dans le modèle. La précision sur la profondeur des interfaces géologiques est par ailleurs variable suivant la technique de forage.

Les sondages carottés réalisés pour la Société du Grand Paris dans le cadre des missions géotechniques sont de bonne qualité et permettent de définir précisément l'altitude des formations géologiques au droit du tracé.

De manière générale, les techniques destructives distinguent difficilement les horizons marneux et calcaires, comme par exemple dans le Lutétien et dans les formations de Meudon. De même, les horizons composant l'Yprésien ne sont pas toujours bien distingués. Dans ce cas les coupes permettent uniquement de délimiter le toit et le mur de l'ensemble de l'Yprésien. Au sein de l'Yprésien, la distinction entre les différents horizons est basée sur une sélection restreinte de coupes considérées comme suffisamment précises.

Sur la base de ces données, les isohypses du toit et du mur de chacune des unités stratigraphiques précédemment citées ont été construites puis interpolées, de manière à disposer, pour toutes ces surfaces, de leur cote altimétrique en tout point de l'espace.

5.4.3 Maillage du modèle hydrogéologique

Le maillage du modèle hydrogéologique a été construit en se calant sur les grandes structures comprises dans les limites du domaine, à savoir le lit mineur de la Seine, de la Bièvre, le tracé des lignes 14 sud et 15 sud du projet Grand Paris Express, les gares de ces tracés et leurs parois moulées. Le maillage prend également en compte, dès sa création, la position des puits et forages exploitant les aquifères.

Le maillage est affiné le long de ces structures principales et devient progressivement plus grossier en s'éloignant de ces éléments.

Au moins une couche numérique est utilisée pour chaque unité géologique. Les couches les moins perméables dans lesquelles des gradients verticaux peuvent être attendus ont été discrétisées verticalement.

Afin de représenter les différents faciès lithologiques des sables de Beauchamp, des calcaires grossiers et des formations de l'Yprésien, chacun des faciès a été représenté individuellement. Les couches de la craie fissurée sous couverture tertiaire et des calcaires de Meudon sont amalgamés, leur association formant l'aquifère de la craie. L'épaisseur de la craie est jugée constante et justifiée sur la base des micromoulinets réalisés pour d'autres études (une dizaine de mètres dans la boucle de Boulogne, environ 5 mètres dans les autres plaines alluviales, 3 mètres ailleurs sous couvertures tertiaires).

Le modèle numérique initial qui a servi au calage des paramètres hydrodynamiques comporte ainsi 32 couches, pour environ 65 000 éléments triangulaires par couche.

La Figure 19 présente le maillage du modèle hydrogéologique ainsi construit.

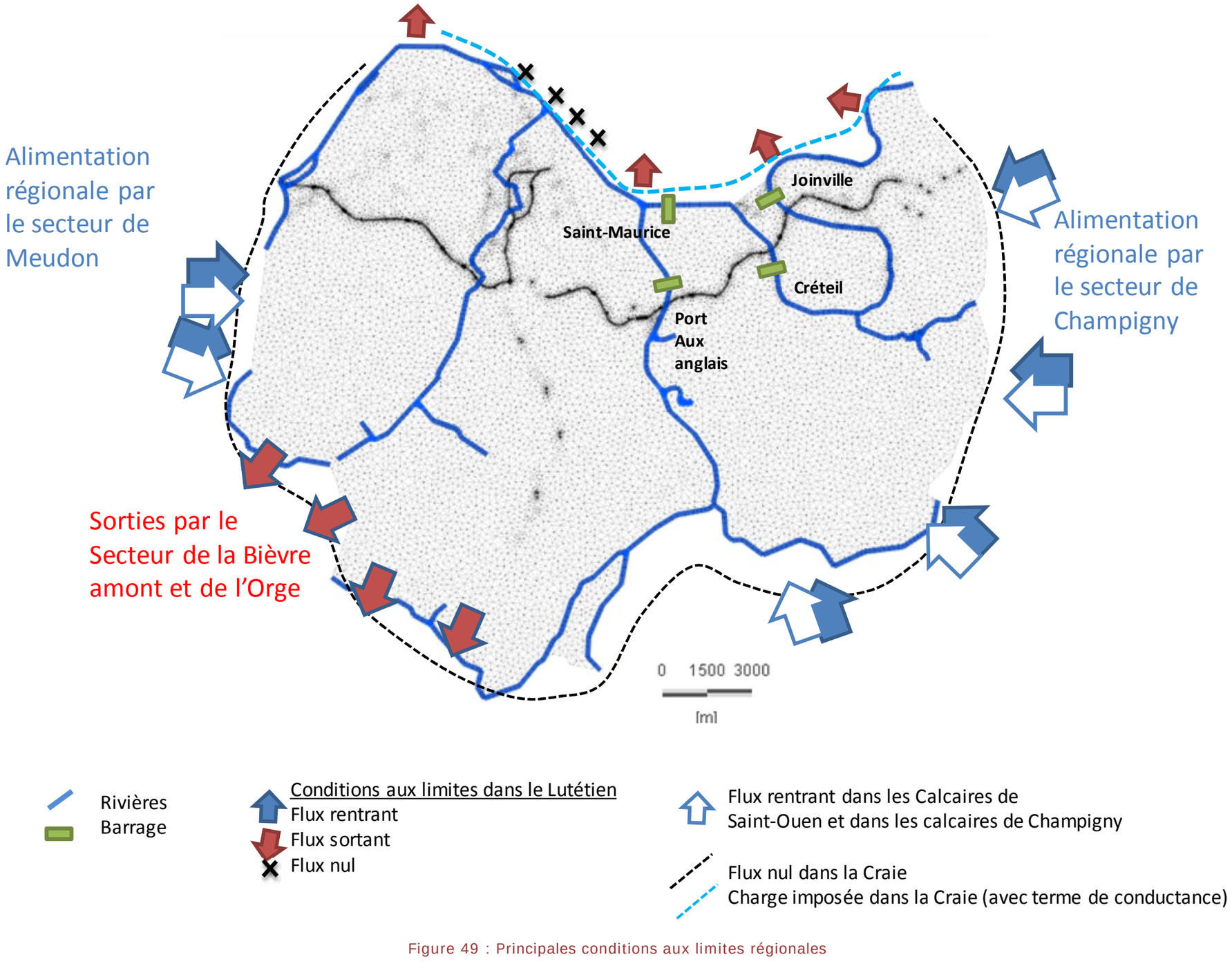


Figure 49 : Principales conditions aux limites régionales

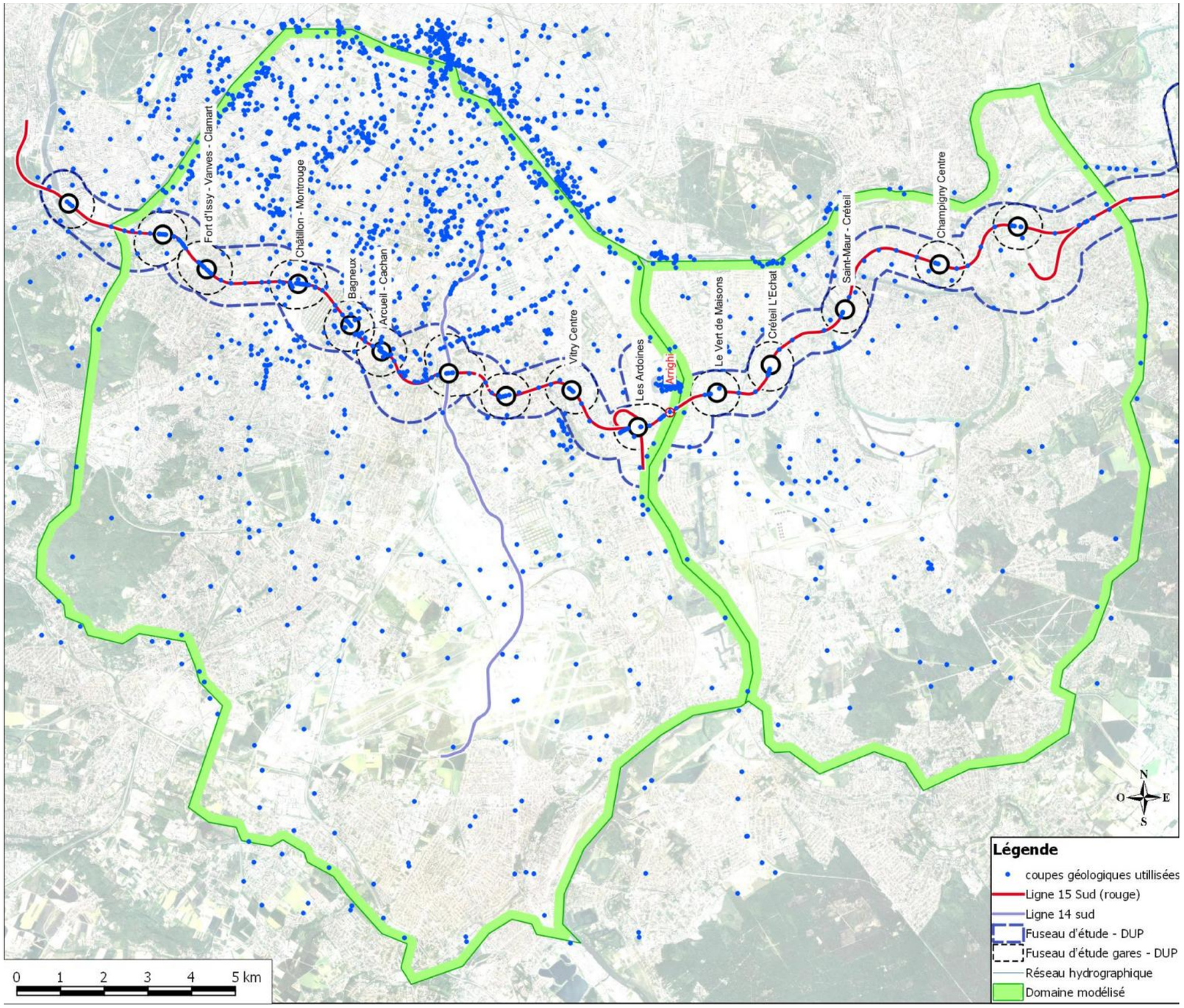


Figure 50 : localisation des sondages utilisés pour la construction du modèle

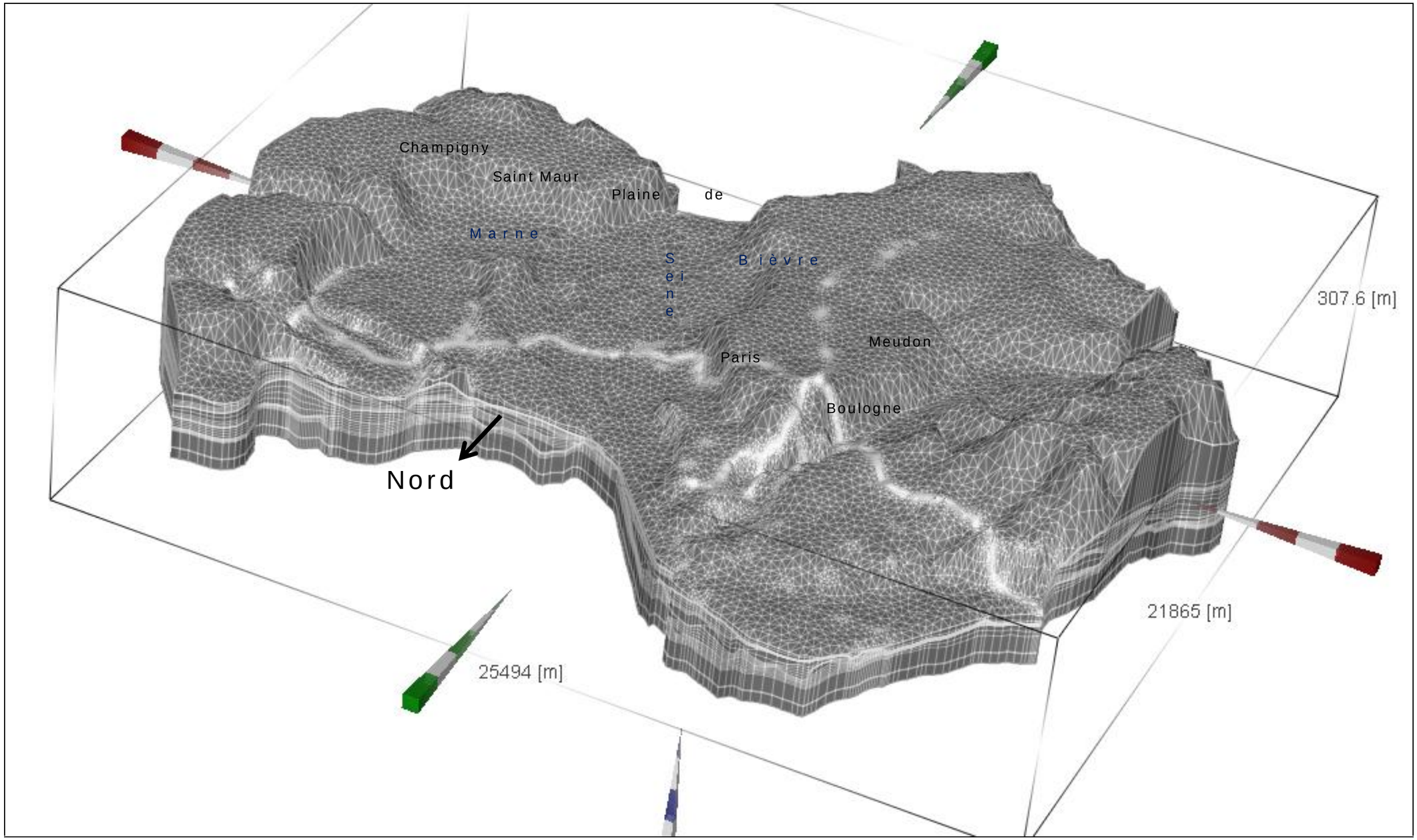


Figure 51 : Maillage 3D du modèle hydrogéologique (dilation verticale : facteur 20)

5.4.4 Calage en régime permanent

5.4.4.1 Objectifs et méthodologie

Le calage du modèle en régime permanent a consisté à reproduire l'allure de la piézométrie de référence établie pour les nappes du Lutétien, de l'Yprésien et des calcaires de Meudon et de la craie, ainsi que les valeurs des mesures piézométriques ponctuelles réalisées dans ces formations.

Le tableau suivant présente le nombre de piézomètres utilisés pour le calage du modèle pour les différentes unités hydrogéologiques. Les piézomètres sont également représentés sur la Figure 52.

Tableau 58 : nombre de hauteurs piézométriques de référence utilisées pour le calage

Formation	Nombre de hauteurs piézométriques disponibles pour le calage
Alluvions	42
Marnes et Caillasses	33
Calcaires grossiers	57
Yprésien	20
Craie	32

Le calage a été réalisé en ajustant un certain nombre de paramètres hydrodynamiques, dont notamment les perméabilités horizontales du Lutétien et de la craie, et les perméabilités verticales des Marnes et Caillasses, des Calcaires Grossiers glauconieux, de l'Yprésien et des Marnes de Meudon.

Les paramètres hydrodynamiques des différentes couches représentées ont été considérées comme constants dans l'espace même si certaines formations présentent une perméabilité de fissures. L'état de fissuration d'une roche carbonatée peut être assez variable localement. Malgré tout, les paramètres hydrodynamiques de ce type de couches peuvent être considérés comme homogènes à l'échelle des phénomènes que l'on cherche à simuler pour les raisons suivantes :

- aucune corrélation spatiale sur les valeurs de paramètres hydrodynamiques dont nous disposons ne permet de définir des zones distinctes ;
- les données piézométriques disponibles ne mettent pas en évidence des changements de gradients d'écoulement « brusques » attribuables à des variations de paramètres hydrodynamiques,
- aucun « accident » ou « phénomène géologique » ne permet d'expliquer ou de proposer clairement une variation spatiale éventuelle dans la perméabilité des couches.

Deux domaines ont toutefois été distingués pour la craie :

- le domaine de la boutonnière de Boulogne-Billancourt où la craie est directement au contact des alluvions de Seine. Dans ce secteur la craie et est considéré comme très perméable sur une épaisseur importante (environ 20-30 mètres),
- le reste du domaine modélisé où la craie est recouverte par une épaisse couverture tertiaire et est considérée comme nettement moins perméable sur une épaisseur réduite (quelques mètres).

Les valeurs importantes de paramètres hydrodynamiques ont par contre fait l'objet de tests de sensibilité lors des simulations qui sont présentés ci-après.

5.4.4.2 Résultats et interprétation

Les graphiques suivants présentent les cotes piézométriques mesurées au regard des cotes piézométriques simulées par le modèle, par unité hydrogéologique et par secteur (Ouest puis Est). Les valeurs présentées sont des valeurs synchrones dans la mesure où elles sont issues du même mois (Avril 2014).

L'erreur du modèle est en moyenne de 2,9% dans le domaine hydrogéologique à l'ouest du plateau de Villejuif, et 1,7 % à l'est (L'erreur est calculée en faisant la moyenne des valeurs absolues des différences, ramenée à l'amplitude piézométrique totale).

Les cotes piézométriques issues des aquifères perchés c'est-à-dire toutes les cotes issues des ouvrages crépinés au-dessus des Sables de Beauchamp intermédiaires, ne font pas partie des objectifs de calage du modèle, excepté à Bagneux où il nous a paru intéressant de restituer le décrochage piézométrique entre les sables de Beauchamp (point BAG-FAI-SC0192) et les calcaires grossiers, cette information pouvant servir à justifier les faibles perméabilités verticales qui peuvent être rencontrées entre ces deux horizons.

Le Tableau 49 suivant présente les perméabilités retenues à l'issue du calage.

Tableau 59 : Paramètres hydrodynamiques des formations géologiques obtenues après calage du modèle en régime permanent

Désignation	Nombre de couches numérique	Kh (m/s)	Kh/Kv	Kv (m/s)
Alluvions modernes de la Seine	1	5,0E-06	10	5,0E-07
Alluvions modernes de la Marne	1	5,0E-05	10	5,0E-06
Limons de plateau	1	4,5E-05	10	4,5E-06
Alluvions de la Bièvre	1	5,0E-04	10	5,0E-05
Remblais	1	2,0E-06	4	5,0E-07
Alluvions anciennes (Seine et Marne)	1 à 2	1,3E-03	10	1,3E-04
Formations comprises entre les alluvions et le calcaire de Saint-Ouen (Masses et Marnes du gypse etc...)	1	2,1E-05	100	2,1E-07
Marno-calcaire de Saint-Ouen	1	1,8E-04	500	3,6E-07
Sables de Beauchamp supérieurs	1	1,0E-05	100	1,0E-07
Sables de Beauchamp intermédiaires	1	1,0E-07	20	5,0E-09
Sables de Beauchamp inférieurs	1	1,0E-05	100	1,0E-07
Marnes et Caillasses	3	2,3E-04	470	5,0E-07
Calcaire grossier	4	8,1E-05	1	8,1E-05
Calcaire grossier inférieur	1	1,5E-08	10	1,5E-09
Sables supérieurs	1	3,0E-04	10	3,0E-05
Fausses glaises	1	5,0E-06	10	5,0E-07
Sables d'Auteuil	1	3,0E-04	10	3,0E-05
Argile plastique	4	1,0E-08	100	1,0E-10
Sables inférieurs faciès graveleux	1	4,0E-04	50	8,0E-06
Sables inférieurs faciès sableux	1	1,5E-04	50	3,0E-06

Sables inférieurs faciès silteux	1	1,5E-05	50	3,0E-07
Marnes de Meudon	4	1,2E-07	100	1,2E-09
Calcaire de Meudon et craie fissurée sous couverture tertiaire	3	2,0E-04	1	2,0E-04
Craie fissurée sous couverture alluviale	1	3,0E-03	1	3,0E-03
Craie Saine	3	5,0E-06	1	5,0E-06 à 5,0E-07

La valeur de transmissivité la plus proche est celle du site de la résidence du Colombier à Créteil par le bureau d'études G2H conseils en 2012 [16] pour le compte de DALKIA. La transmissivité mesurée est de 5E-3 m²/s à l'issue d'un pompage de 24 heures à un débit de 100 m³/h dans le Lutétien. Le modèle restitue parfaitement cette transmissivité.

Le tableau suivant présente une analyse comparée entre les données mesurées et les données simulées gare par gare. Il faut se reporter aux cartes jointes pour visualiser les écoulements (de la Figure 54 à la Figure 63). Pour chaque gare, l'analyse est effectuée pour les nappes principales concernées par le projet. On notera que les isopièzes du Lutétien sont issues de l'horizon perméable des Calcaires Grossiers, qui peuvent être sensiblement différentes des cotes piézométriques dans les Calcaires Grossiers glauconieux, situés à la base du Lutétien, ou des Marnes et Caillasses, situés dans l'horizon supérieur.

Les gradients observés et les sens d'écoulement ont été définis sur la base des données disponibles issues des reconnaissances géotechniques (G1 et G2) et de mesures complémentaires disponibles dans la banque de données du sous-sol notamment. Les mesures réalisées lors des reconnaissances géotechniques sont, évidemment, alignés sur le projet et permettent rarement à elles seules de définir un sens et un gradient d'écoulement précis. Il est donc nécessaire de réaliser une analyse comparée entre les données issues des reconnaissances du projet et les données issues d'autres sources pour pouvoir juger du gradient d'écoulement. Ce travail nécessite donc également une interprétation qui est plus ou moins précise suivant les secteurs. De ce fait et à notre sens, le modèle qui représente de manière aussi fine que possible la géométrie des couches permet aussi de préciser un état initial piézométrique. C'est en particulier le cas au niveau de la gare de Fort-d'Issy-Vanves-Clamart. En effet, cette gare située à proximité immédiate d'un axe de drainage de la nappe du Calcaire Grossier au nord-ouest qui est constitué par l'intersection entre la topographie en bordure de coteau et le toit des formations yprésiennes argileuses. Ce contexte particulier rend mal aisé l'interprétation de la direction d'écoulement dans ce secteur. En effet, il est très difficile, au regard des mesures disponibles, de déterminer si l'écoulement de la nappe du Lutétien est dirigé vers son exutoire principal, à savoir la Seine vers le nord-est, ou vers son exutoire secondaire, à savoir les zones de débordement de coteau vers le nord-ouest. Le modèle restitue une direction d'écoulement vers le nord-ouest en direction du coteau ce qui est possible mais favorable compte tenu de la position de la Gare de Fort d'Issy-Vanves-Clamart.

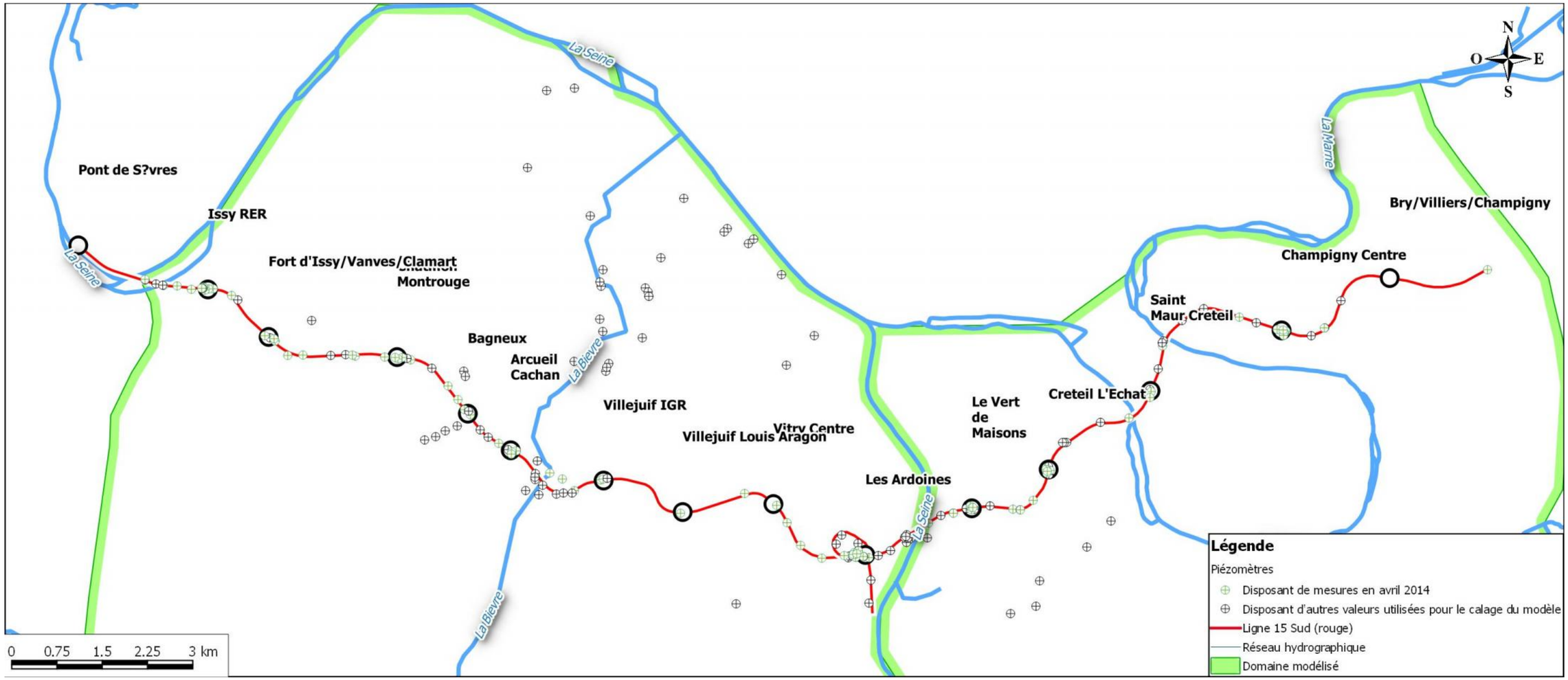


Figure 52 : localisation des piézomètres utilisés pour le calage du modèle

Globalement, le calage est satisfaisant. Il permet de représenter correctement les charges, directions et gradient d'écoulement des principales nappes concernées : nappe de la craie, nappe du Lutétien (Marnes et Caillasses, Calcaire grossier), nappe alluviale. La nappe de la craie reste toutefois la nappe la moins connue car très profonde et peu productive au droit du secteur modélisé.

Les paramètres hydrodynamiques retenus à la fin du processus de calage sont cohérents avec les données disponibles. Ceci étant, les données de référence disponibles sont représentatives des perméabilités horizontales qui est la perméabilité mesurée par les différentes méthodes de pompage d'essai. Aucune mesure de terrain ne permet réellement de déterminer les perméabilités verticales des couches. Ce paramètre résulte donc plutôt des opérations de calage par la restitution des différences de charge observées entre différentes couches. Pour fixer les perméabilités verticales des couches géologiques, nous avons appliqué des ratios en fonction de la nature géologique des matériaux :

- Pour les marno-calcaires (Marno-calcaire de Saint-Ouen et Marnes et Caillasses, marnes de Meudon, Masses et Marnes du Gypse) : ratio fort de 100 à 500 entre perméabilité horizontale et verticale car, pour ces terrains, les écoulements horizontaux peuvent être assez importants dans les horizons calcaires et les écoulements verticaux nettement freinés par les couches de marne ;

- Pour les roches à perméabilité de fissures (craie, Calcaire grossier) : la même perméabilité horizontale et verticale a été appliquée ;

- Pour les autres terrains sableux et argileux : le ratio perméabilité horizontale sur perméabilité verticale est variable entre 10 et 100.

Le modèle restitue correctement les différences de charge observés entre la craie et la nappe du Calcaire grossier et des Marnes et Caillasses. Les échanges verticaux entre ces deux nappes sont donc bien représentés même si les données disponibles ne permettent pas de déterminer précisément les perméabilités verticales respectives des couches situés entre le Calcaire grossier et la Craie perméable.

Une couche géologique intermédiaire au sein des sables de Beauchamp a été créée afin de constituer un frein hydraulique entre le Marno-Calcaire de Saint-Ouen et la nappe du Lutétien sous-jacente (les sables de Beauchamp médians sont réputés peu perméables dans la littérature). La perméabilité verticale de cette couche a été ajustée afin de restituer une différence de charge observée grâce à un piézomètre de la SGP situé dans les Calcaires de Saint-Ouen au niveau de la gare de Bagneux. La différence de charge observée entre le Calcaire grossier et le Marno-Calcaire de Saint-Ouen est de 15 m environ. Le modèle restitue une différence de charge de 10 m ce qui est satisfaisant. Peu de données précises sont toutefois disponibles pour déterminer la perméabilité verticale des terrains entre le Marno-calcaire de Saint-Ouen et le Calcaire Grossier. Ce paramètre est toutefois important car des pompages d'épuisements significatifs sont prévus au sein des Calcaires grossiers dans la plaine alluviale de la Seine et de la Marne. Or, la perméabilité verticale entre les alluvions et le Calcaire Grossier va conditionner, en partie, l'impact résiduel des pompages d'épuisement au sein des alluvions où sont fondés de nombreux bâtiments. Des tests de sensibilité ont donc été réalisés sur ces échanges verticaux (cf. ci-après).

Tableau 60 : synthèse des résultats de calage gare par gare

Gare	Première nappe	Seconde nappe
Fort d'Issy-Vanves-Clamart	Lutétien Gradient observé : 1.3% environ, mais potentiellement deux fois moins sur la base des mesures synchrones d'avril 2014 ou de l'atlas hydrogéologique du bassin de Paris Gradient simulé : 0,5 à 0,9% Piézométrie obs. : +/-61 m NGF Piézométrie sim : +/-61 m NGF Note : L'environnement hydrogéologique est complexe (terminaison de nappe due à la proximité du front d'affleurement). Le modèle restitue une direction d'écoulement vers la bordure de plateau qui est un exutoire de la nappe. Aucune mesure piézométrique ne permet de préciser vraiment l'allure de l'écoulement dans le secteur au nord-ouest immédiat de la gare	Craie Le décrochage entre la craie et le lutétien, de l'ordre de 30 mètres, est respecté.
Chatillon-Montrouge	Lutétien Gradient observé : 0.6% environ Gradient simulé : 0,4% Piézométrie obs : +/-58 m NGF Piézométrie sim : +/-58 m NGF Le gradient piézométrique restitué est plus faible que celui déduit des observations. L'interprétation des résultats des simulations de l'effet barrage dans ce secteur devra tenir compte de cet écart.	Craie Le décrochage entre la craie et le lutétien, de l'ordre de 30 mètres, est respecté. Piézométrie obs : +/-28 m NGF Piézométrie sim : +/-31 m NGF
Bagneux	Lutétien Gradient observé : 0.4% à 1% environ (peu de données synchrones) Gradient simulé : 0,6% Piézométrie obs : +/-53 m NGF Piézométrie sim : +/-54 m NGF	Craie Le décrochage entre la craie et le lutétien, de l'ordre de 25 mètres, est respecté. Piézométrie obs : +/-30 m NGF Piézométrie sim : +/-31,5 m NGF
Arcueil Cachan	Lutétien Gradient observé : 1,6% environ (peu de données synchrones) Gradient simulé : 1,6% à 2% Piézométrie obs : +/-40 m NGF Piézométrie sim : +/-42 m NGF	Craie Le décrochage entre la craie et le lutétien, de l'ordre de 10 mètres, est respecté. Piézométrie obs : +/-30 m NGF Piézométrie sim : +/-31,5 m NGF
Vitry Centre	Alluvions La nappe est uniquement présente à l'est de la station. A l'ouest les cotes piézométriques renseignent sur le niveau d'une nappe d'alluvions individualisée et perchée au-dessus des Masses et Marnes du Gypse, à priori sans connexion avec la nappe alluviale de la plaine de Vitry.	Lutétien Gradient observé : incertitude importante due à l'absence de mesures sous le plateau de Villejuif. Potentiellement très faible si l'on se base sur les mesures de la vallée de la Bièvre Gradient simulé : 0,19% Piézométrie obs : >30,5 m NGF (correspond à une hauteur piézométrique mesurée dans les Marnes et Caillasses en aval vers l'est de la gare) Piézométrie sim : 33,5 m NGF

Gare	Première nappe	Seconde nappe
Les Ardoines	Alluvions Piézométrie obs : +/-30,5 m NGF Piézométrie sim : +/-31,5 m NGF	Lutétien Gradient observé : incertitude due au manque de mesures locales synchrones. Gradient observé : 0,2% environ Gradient simulé : 0,14% à 0,17% Piézométrie obs : +/-30 m NGF Piézométrie sim : +/-31 m NGF
Le Vert de Maisons	Alluvions Piézométrie obs : +/-29,5 m NGF Piézométrie sim : +/-30,5 m NGF	Lutétien Gradient observé : 0,09 % Gradient simulé : 0,09% Piézométrie obs : +/-29 à 30 m NGF Piézométrie sim : +/-31 m NGF
Créteil L'Echat	Alluvions Piézométrie obs : +/-30,5 m NGF Piézométrie sim : +/-30,75 m NGF	Lutétien Gradient observé : 0,08 % Gradient simulé : 0,08% Piézométrie obs : +/-30,5 m NGF Piézométrie sim : +/-31 m NGF
Saint Maur Créteil	Alluvions Gradient observé : pas d'informations Gradient simulé : 0,3% à 0,5% Piézométrie obs : +/-31 m NGF Piézométrie sim : +/-31 m NGF	Craie Le décrochage entre la craie et les alluvions, de l'ordre de 3 mètres, est respecté. Piézométrie obs : +/-27 m NGF Piézométrie sim : +/-28m NGF
Champigny Centre	Alluvions Gradient observé : 0,15% (peu précis) Gradient simulé : 0,17% Piézométrie obs : +/-33 m NGF Piézométrie sim : +/-33,5 m NGF	Craie Piézométrie obs : pas d'information, mais probablement proche de 30 m NGF Piézométrie sim : +/-27,5 m NGF

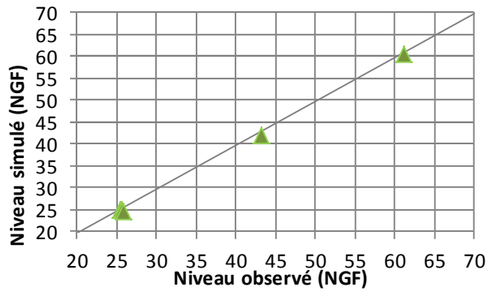
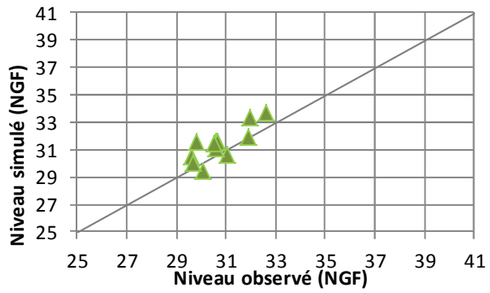
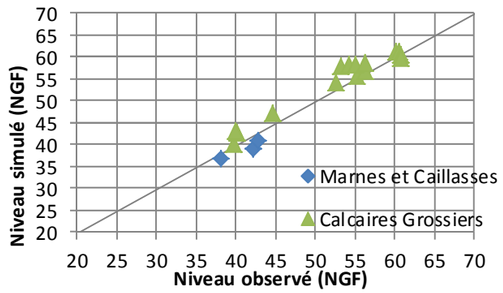
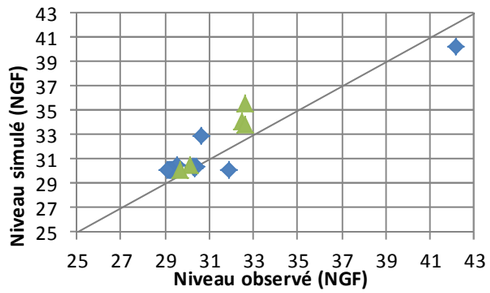
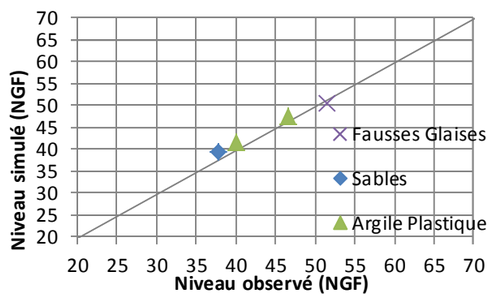
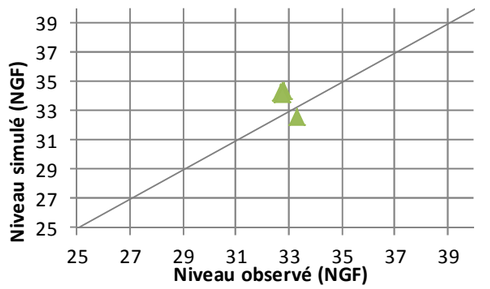
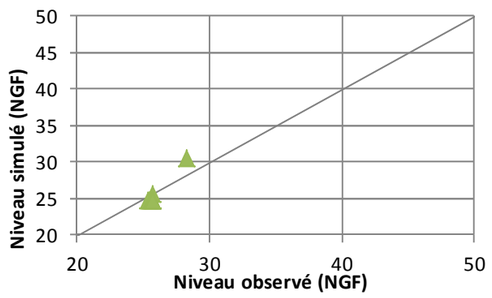
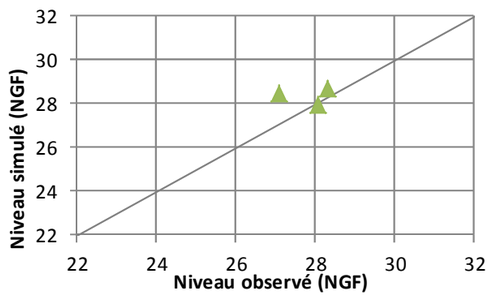
Unité hydrogéologique	Domaine ouest	Domaine est
Alluvions, colluvions		
Lutétien		
Yprésien		 (Fausse Glaises uniquement)
Craie		

Figure 53 : Corrélation entre les valeurs piézométriques de référence et les valeurs piézométriques calculées à l'issue du calage du modèle en régime permanent

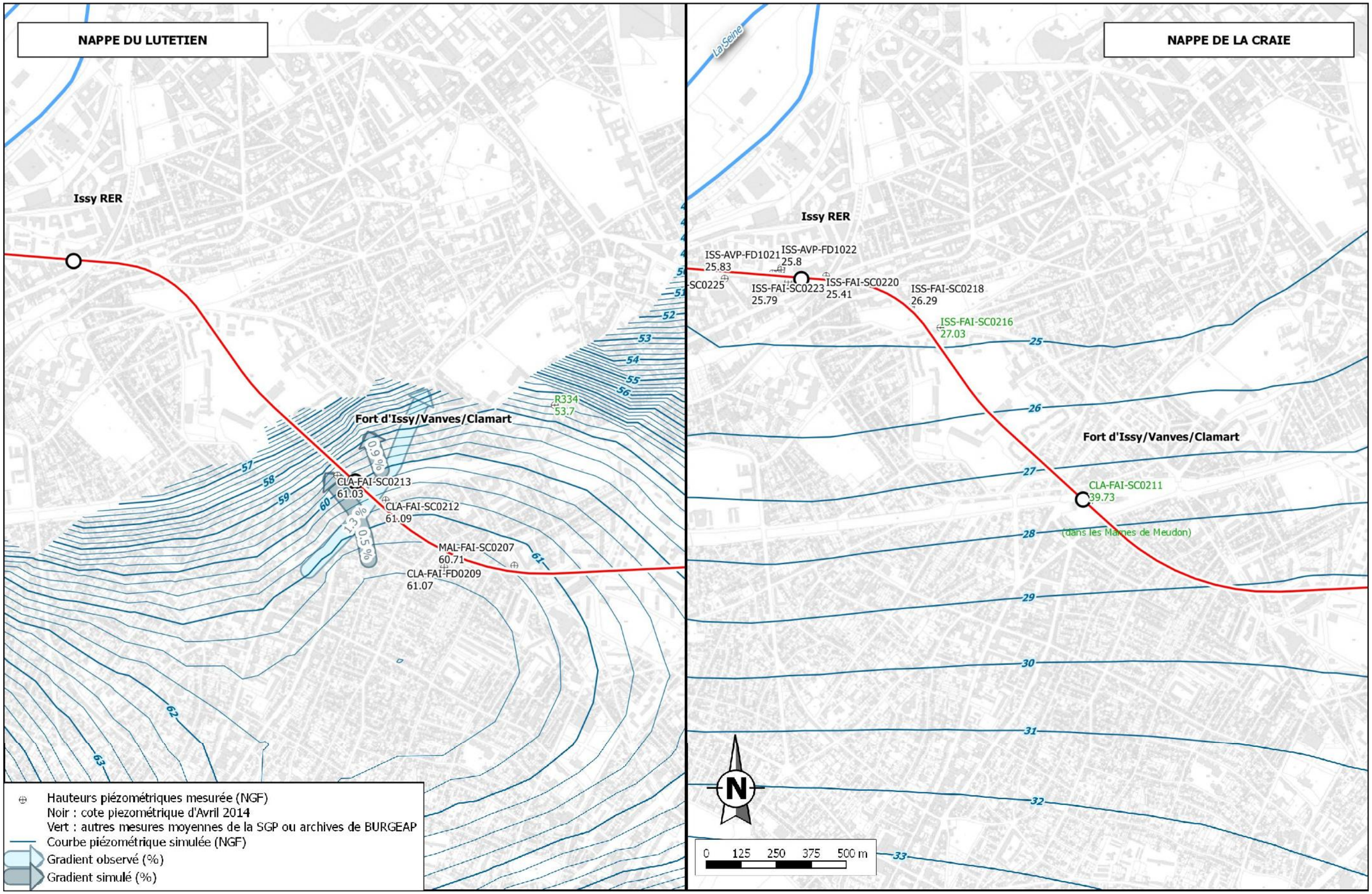


Figure 54 : Carte piézométrique callée au droit de la station de Fort d'Issy et comparaison des gradients observés et simulés

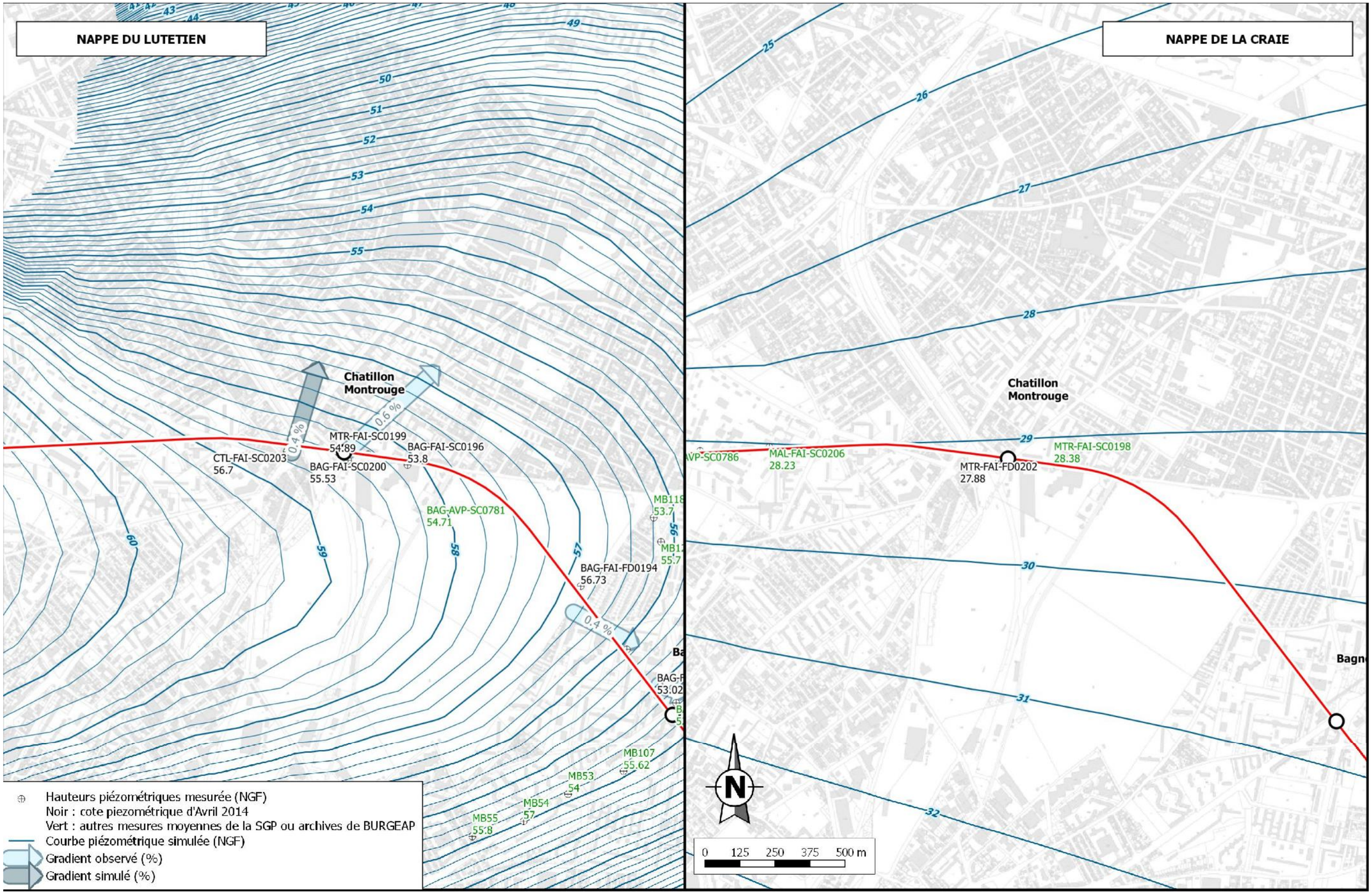


Figure 55 : Carte piézométrique callée au droit de la station de Chatillon Montrouge et comparaison des gradients observés et simulés

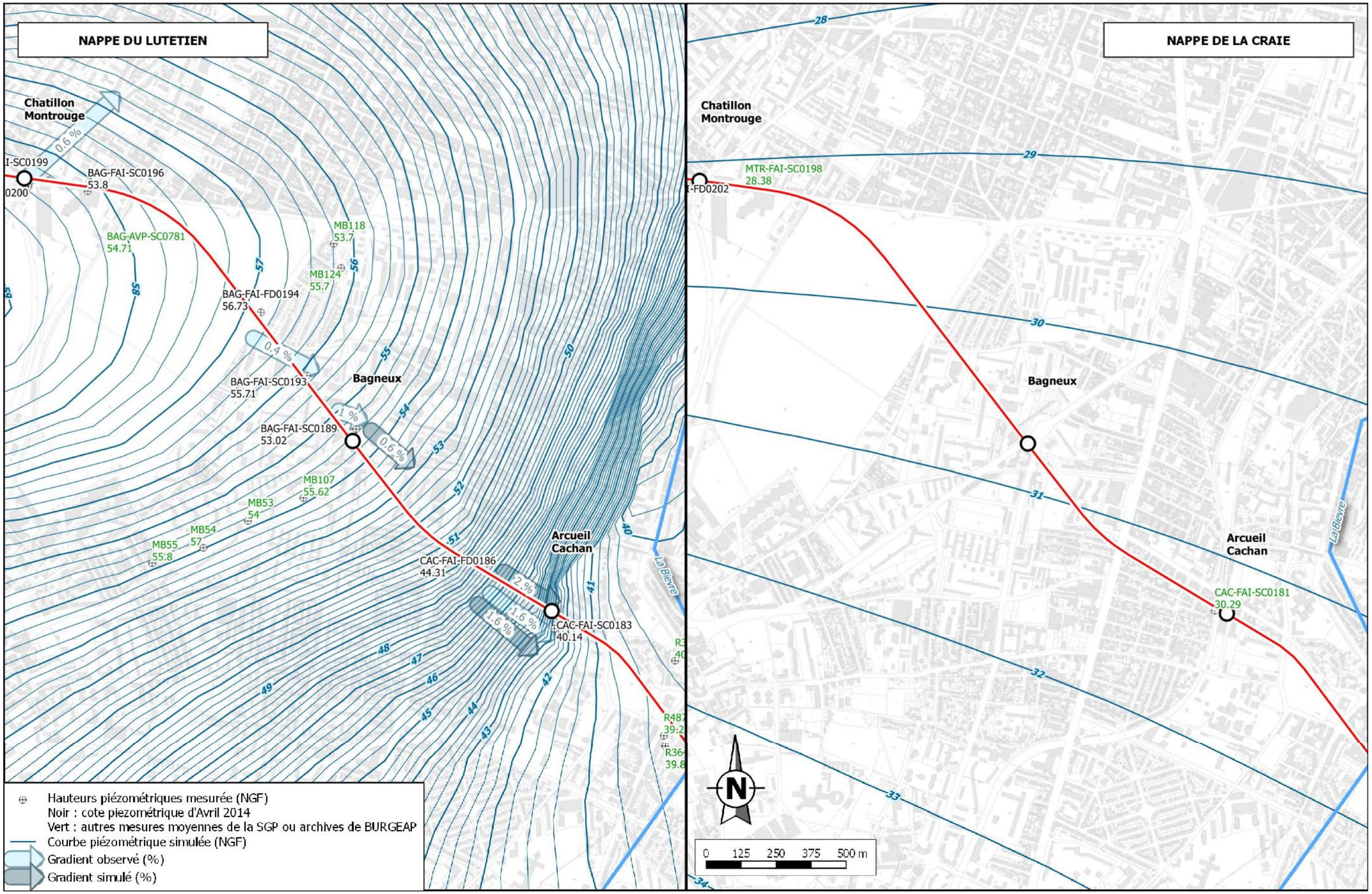


Figure 56 : Carte piézométrique callée au droit de la station de Bagneux et comparaison des gradients observés et simulés

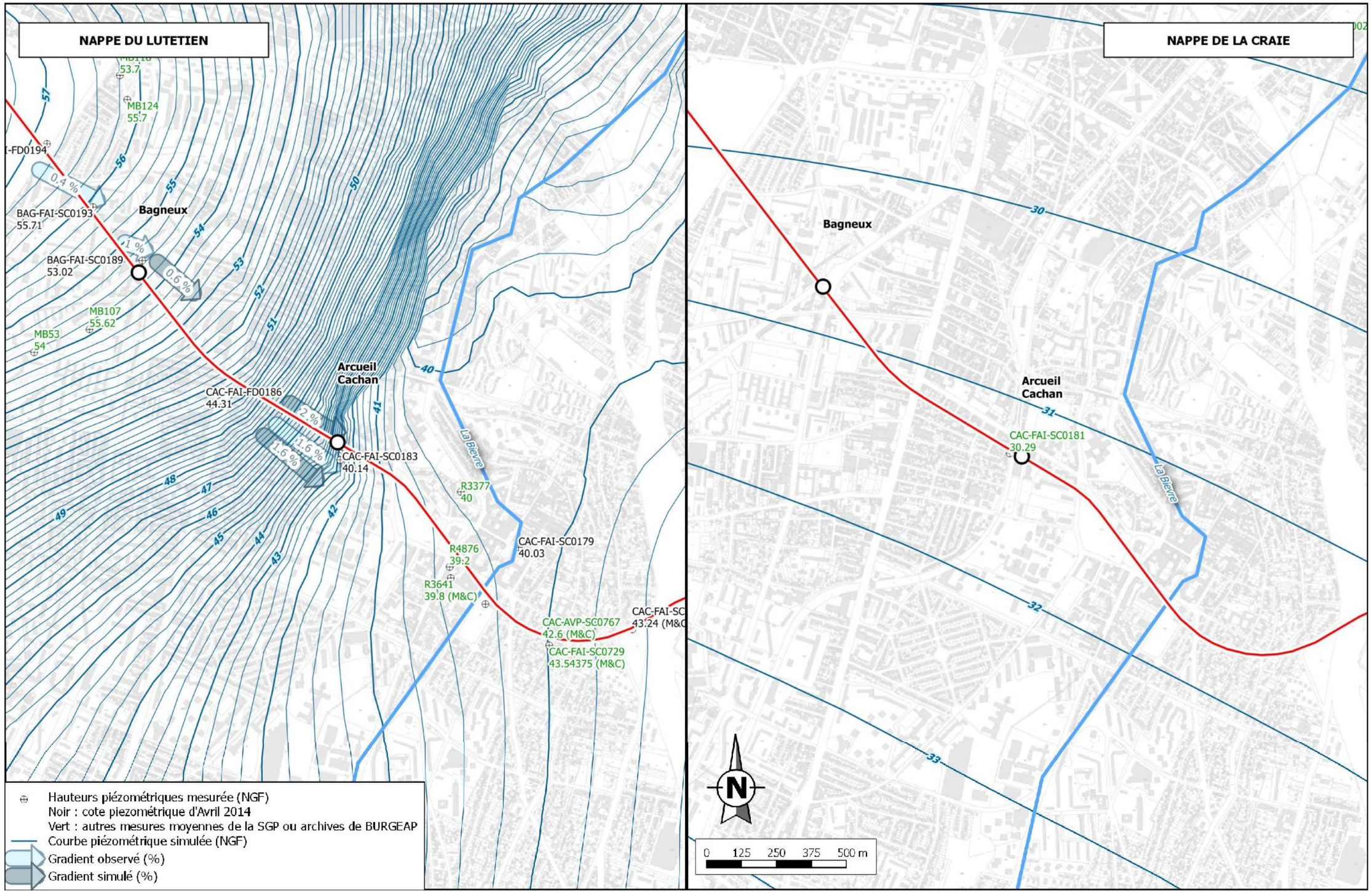


Figure 57 : Carte piézométrique callée au droit de la station d'Arcueil Cachan et comparaison des gradients observés et simulés

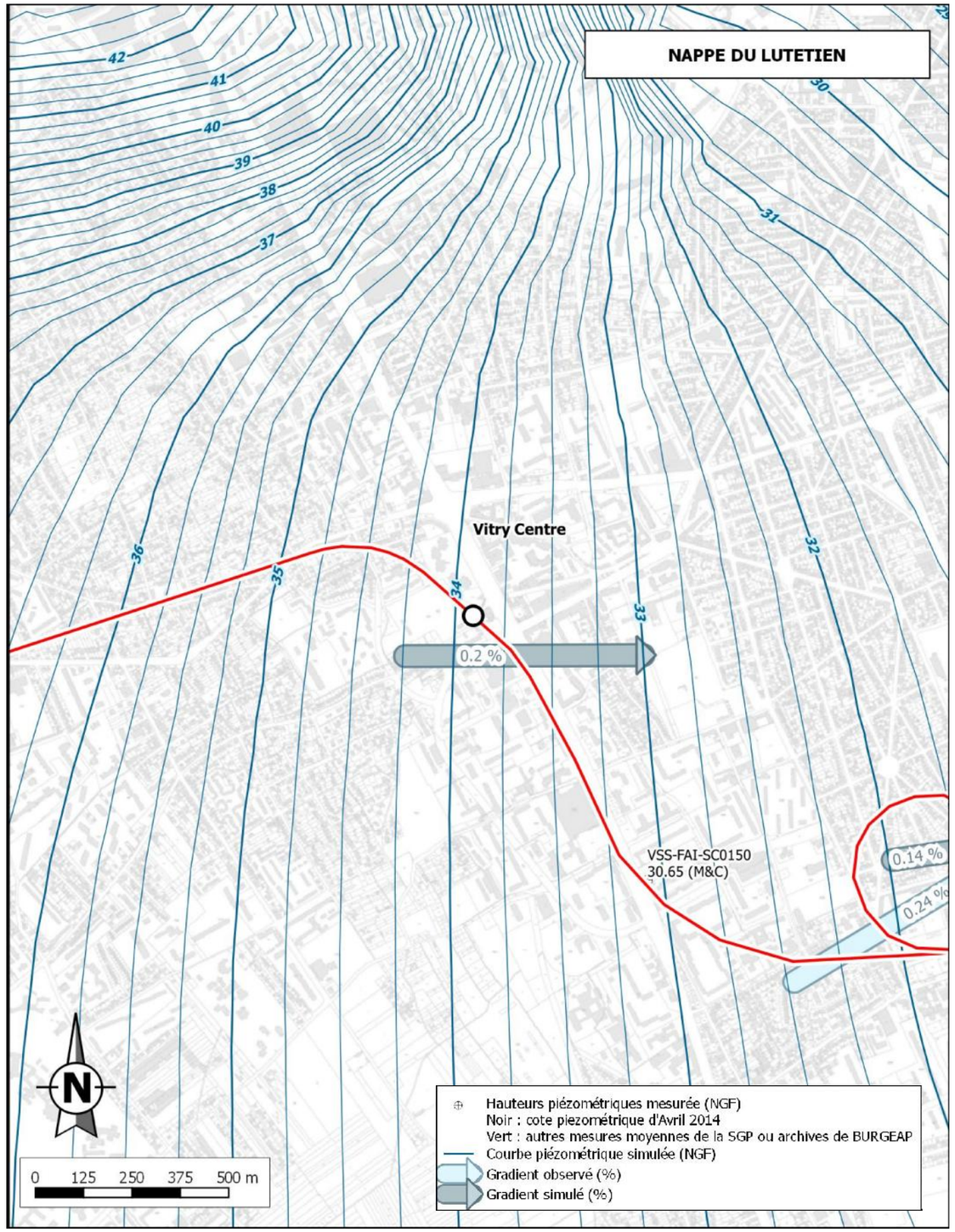


Figure 58 : Carte piézométrique callée au droit de la station de Vitry Centre et comparaison des gradients observés et simulés

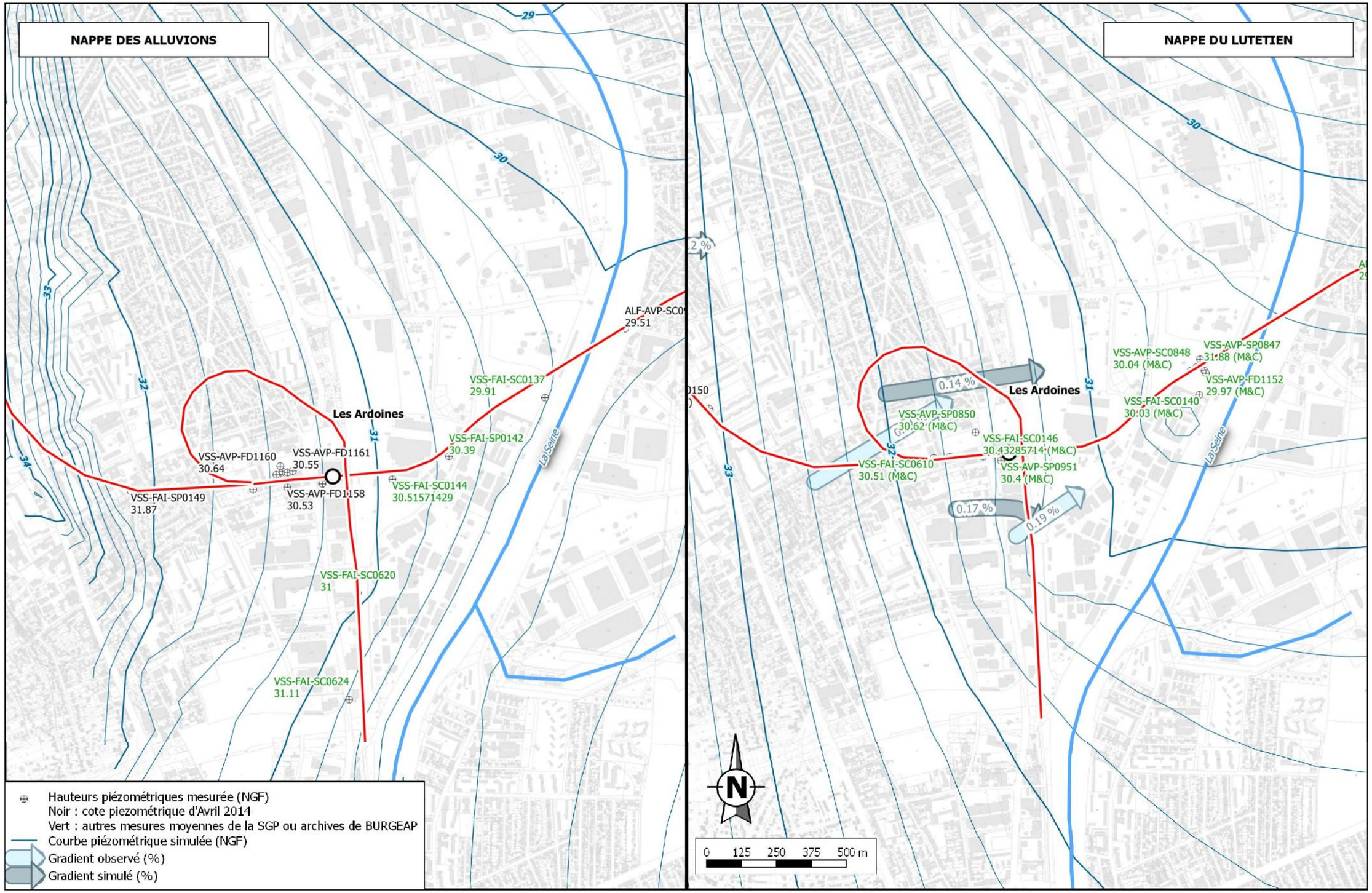


Figure 59 : Carte piézométrique callée au droit de la station des Ardoines et comparaison des gradients observés et simulés

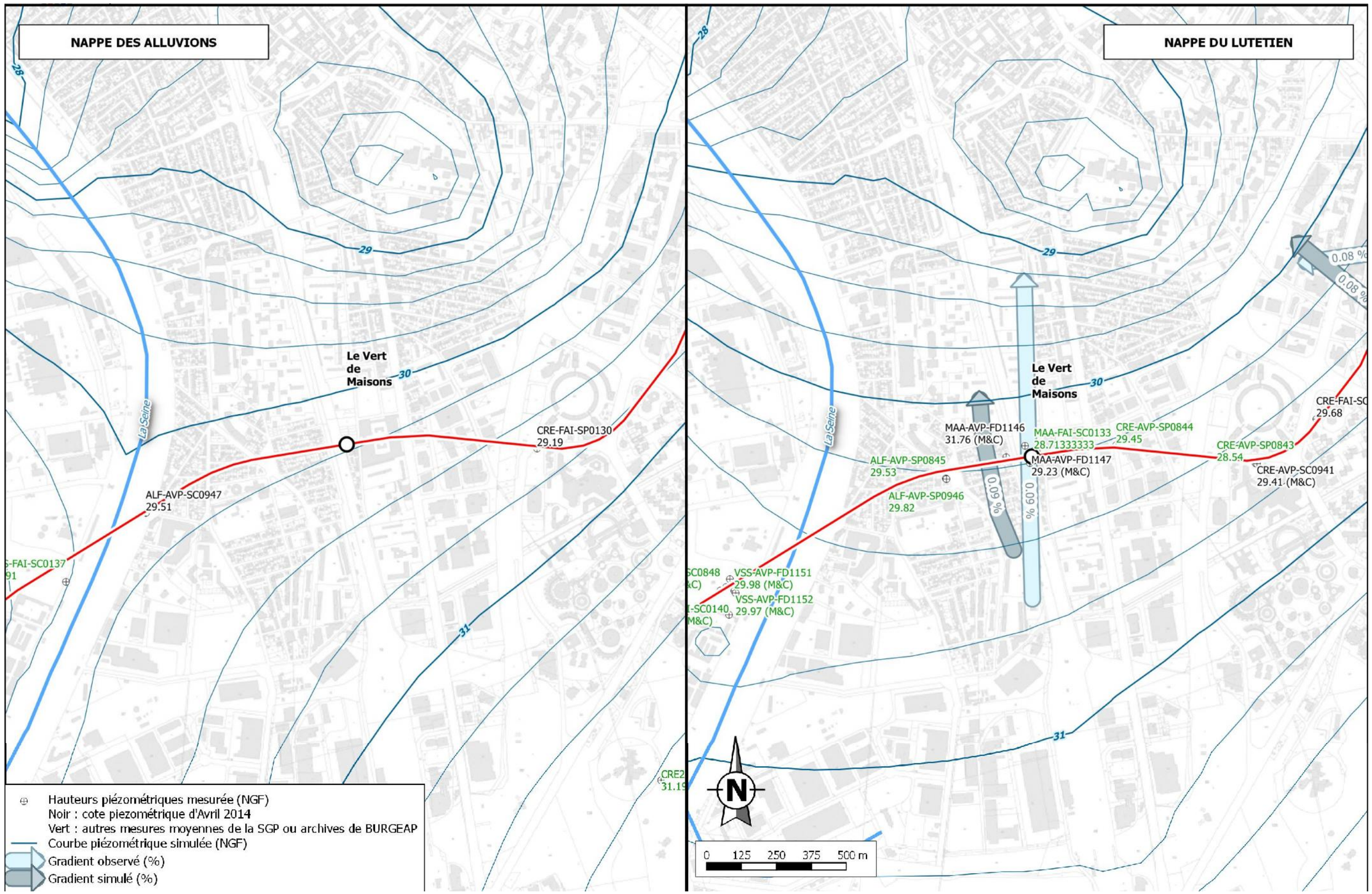


Figure 60 : Carte piézométrique callée au droit de la station de Vert de Maisons et comparaison des gradients observés et simulés

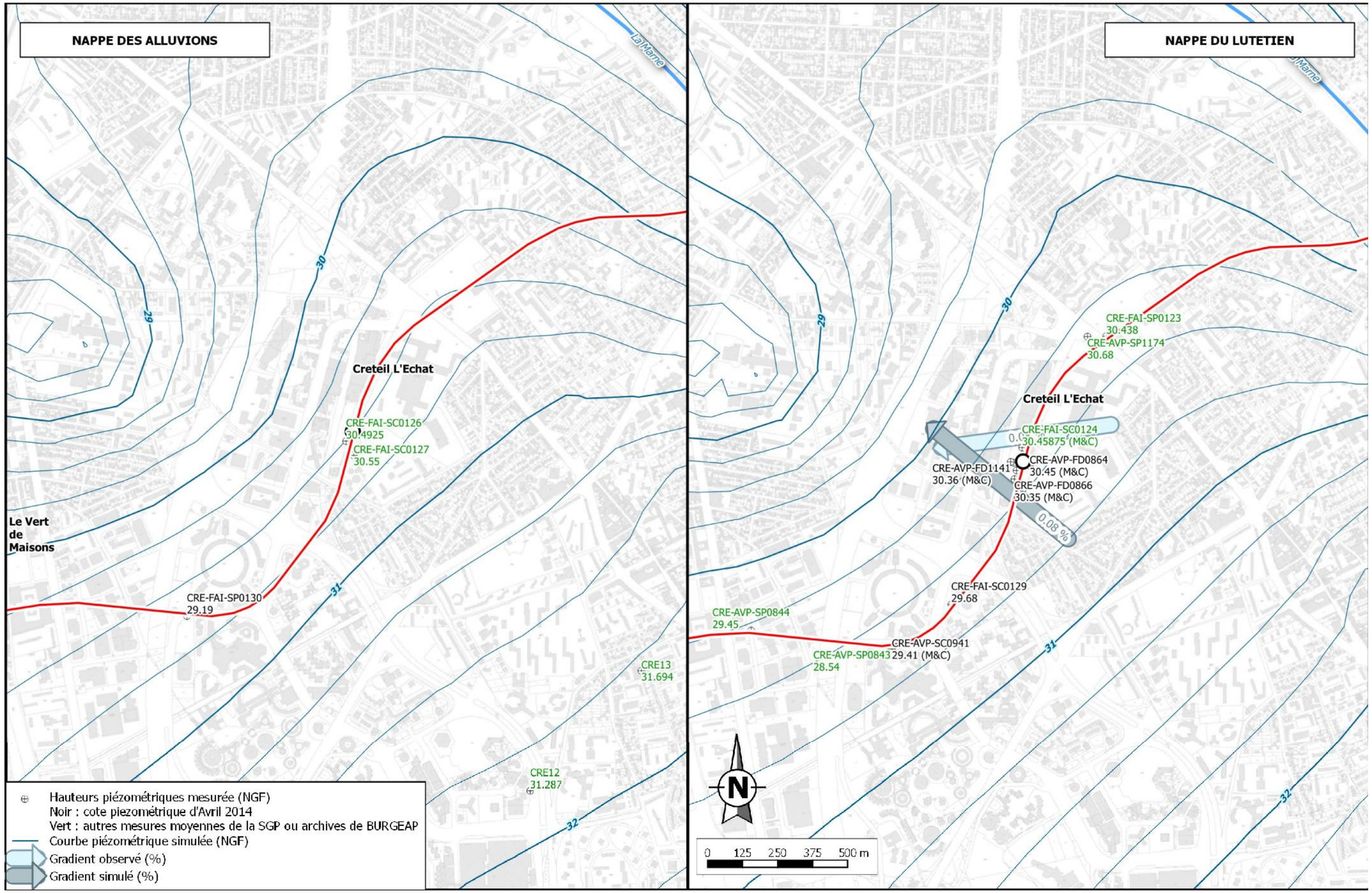


Figure 61 : Carte piézométrique callée au droit de la station de Créteil l'Echat et comparaison des gradients observés et simulés

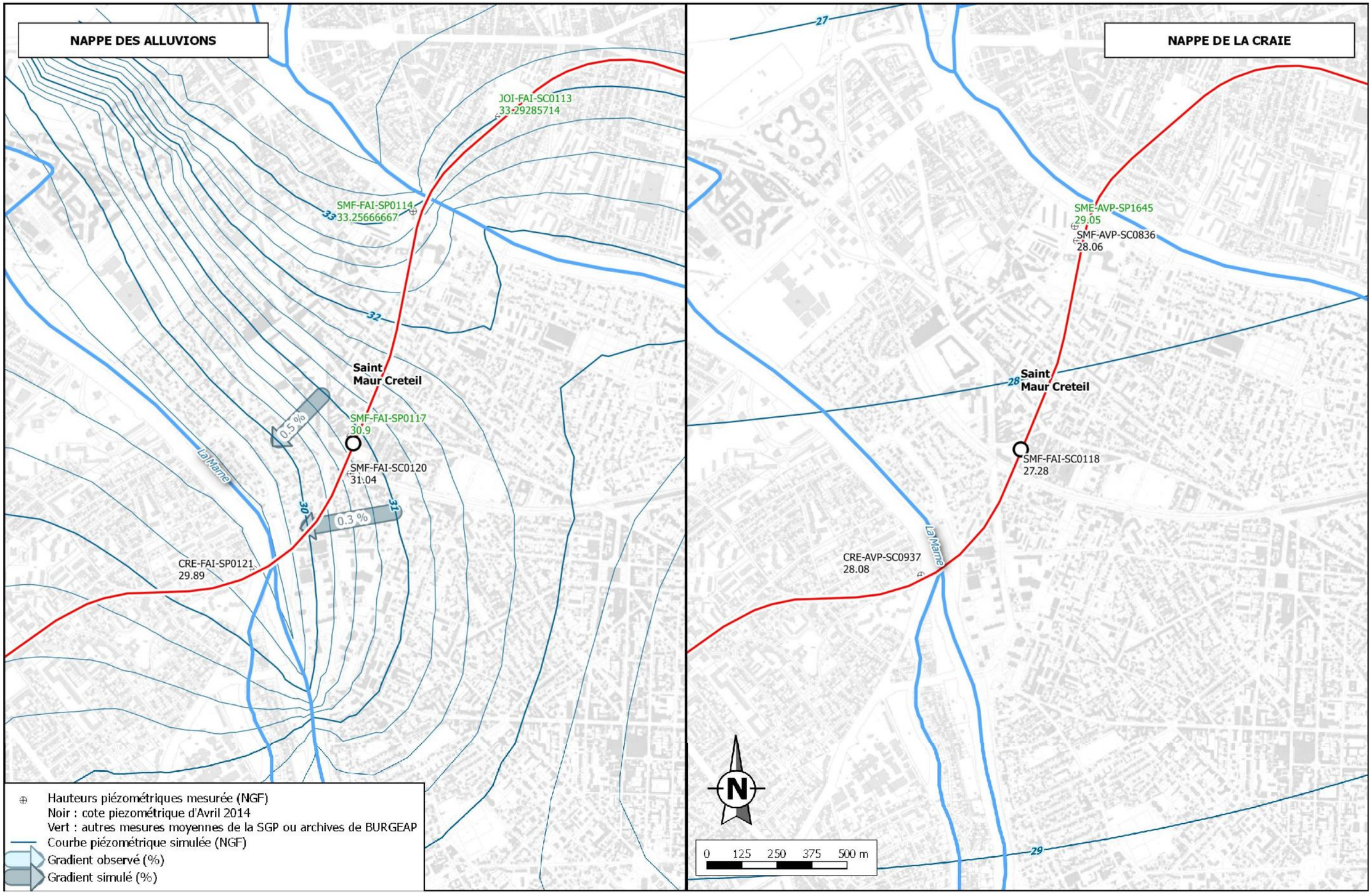


Figure 62 : Carte piézométrique callée au droit de la station de Saint Maur Créteil et comparaison des gradients observés et simulés

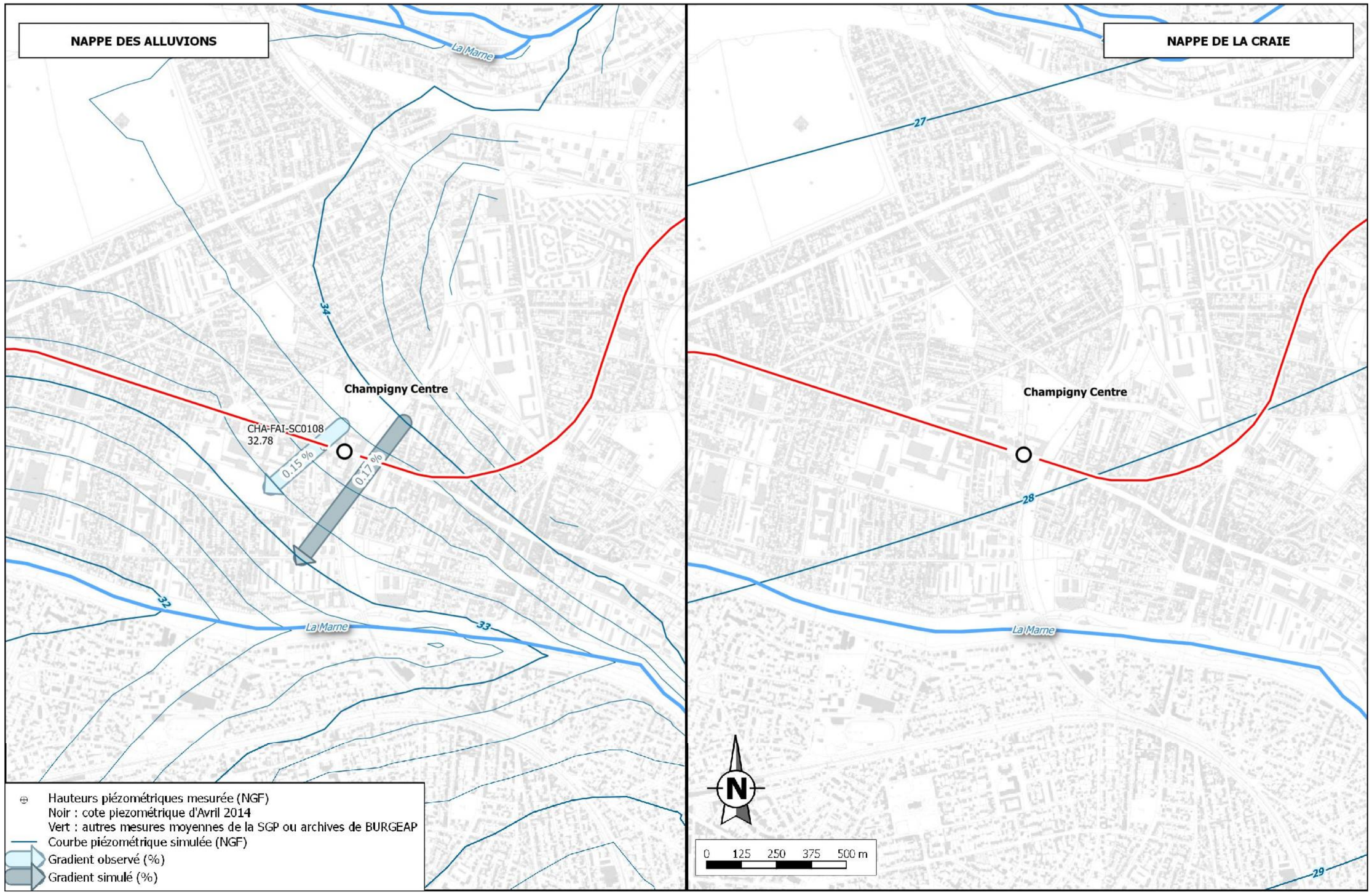


Figure 63 : Carte piézométrique callée au droit de la station de Champigny Centre et comparaison des gradients observés et simulés

Suivant les estimations du modèle calé en régime permanent, le bilan des flux sur l'ensemble du domaine se décompose comme dans le tableau ci-dessous.

Tableau 61 : bilan des flux du modèle

SECTEUR	Débit rentrant L/s	Débit sortant L/s	Rentrant-sortant L/s
Formations de l'éocène supérieur et autres couvertures			
secteur de Meudon	64		64
secteur de Champigny	206		206
Lutétien			
secteur de Meudon	89		89
secteur de Champigny	71		71
secteur de la vallée de la Bièvre amont et de l'Orge	4	131	-127
la Marne en aval de l'écluse d'Alfortville		1	-1
la Marne en amont de l'écluse d'Alfortville		36	-36
la Seine (secteur d'Ivry)		3	-3
La Seine (entre Ivry et l'Ile de la Cité)		0	0
La Seine (entre l'Ile de la Cité et Boulogne)		4	-4
La Seine (Boulogne)		0	0
Yprésien		38	-38
Craie			
Sous la Marne		9	-9
Sous la Seine entre la confluence et Boulogne		8	-8
Sous Boulogne		0	0
Apports régionaux	5	0	5
Bièvre	123	67	56
Orge	4	0	4
Rivière Sud-Est	30	10	20
Seine			
en amont de la confluence avec la Marne	17	310	-292
en aval de la confluence avec la Marne	165	12	153
Marne	55	377	-322
Prélèvements en nappe			
Secteur de Boulogne		201	-201
Secteur de Paris		121	-121
Secteur de la Plaine de Créteil		78	-78
Autres secteurs		33	-33
Chantier métro			
Recharge	620		620
TOTAL			15

D'après le bilan restitué par le modèle, la craie est alimentée essentiellement par drainance descendante des couches supérieures au travers des formations très peu perméables que sont les argiles plastiques et les Marnes de Meudon. Avec les perméabilités verticales retenues dans le modèle aucun flux régional dans la craie significatif n'est nécessaire. Il est possible toutefois que les perméabilités verticales des Marnes de Meudon et des Argiles plastiques retenues dans le modèle soient surestimées (bien que très faibles). Aucun élément ne permet de définir précisément la perméabilité verticale à retenir pour ces formations très peu perméables. Il s'agit toutefois d'un paramètre peu influant sur les résultats des simulations.

5.4.5 Calage en régime transitoire

5.4.5.1 Objectifs et méthodologie

Le calage du modèle en régime transitoire a essentiellement consisté à reproduire les transmissions d'onde de crues de Seine dans l'aquifère, qui ont été enregistrées en bordure de Seine.

Le calage en régime transitoire a ainsi été réalisé en ajustant les paramètres suivants :

- le coefficient de colmatage des berges et du lit de la Seine,
- la porosité des alluvions de la Seine.

En effet, outre la transmissivité de l'aquifère, qui a été calée en régime permanent, ce sont ces deux paramètres qui conditionnent essentiellement l'évolution piézométrique de la nappe alluviale lorsque la Seine est sujette à une crue.

Pour caler ces paramètres, nous avons considéré les suivis de transmission d'onde de crue présentés dans le paragraphe 5.3.3.6.

5.4.5.2 Résultats et interprétation

Les restitutions des amplitudes d'ondes de crue en nappe ont été établies en appliquant les colmatages des berges et du lit du fleuve donnés dans le tableau suivant et pour une porosité efficace des alluvions anciennes égale à 10%. La carte de la Figure 64 permet de visualiser l'emprise des différentes zones de colmatage retenues dans le modèle.

Tableau 62 : Facteur de colmatage de la Seine et de la Marne obtenu après calage du modèle en régime transitoire

La Seine à Boulogne et Issy	3x10-7 s-1
La Seine à Paris (en aval de la confluence Seine-Bièvre)	4,4x10-7 s-1
La Seine à Paris (en amont de la confluence Seine-Bièvre) et Ivry	3x10-6 s-1
La Seine en amont de la confluence avec la Marne	1x10-5 s-1
La Marne	1,3x10-5 s-1
La Bièvre en aval de Cachan	1x10-4 s-1
La Bièvre en amont de Cachan	1x10-6 s-1

On constate que les opérations de calage en régime transitoire ont conduit à la mise en place d'un colmatage géographiquement différencié entre l'amont et l'aval du domaine : le colmatage augmente en direction du centre de Paris, ce qui est cohérent avec la présence depuis plusieurs dizaines d'années de prélèvements en nappe importants dans ce secteur (voir paragraphe

5.3.3.6),ces pompages conduisant les fines à migrer de la Seine vers l'aquifère dont elles comblent et donc colmatent les vides.

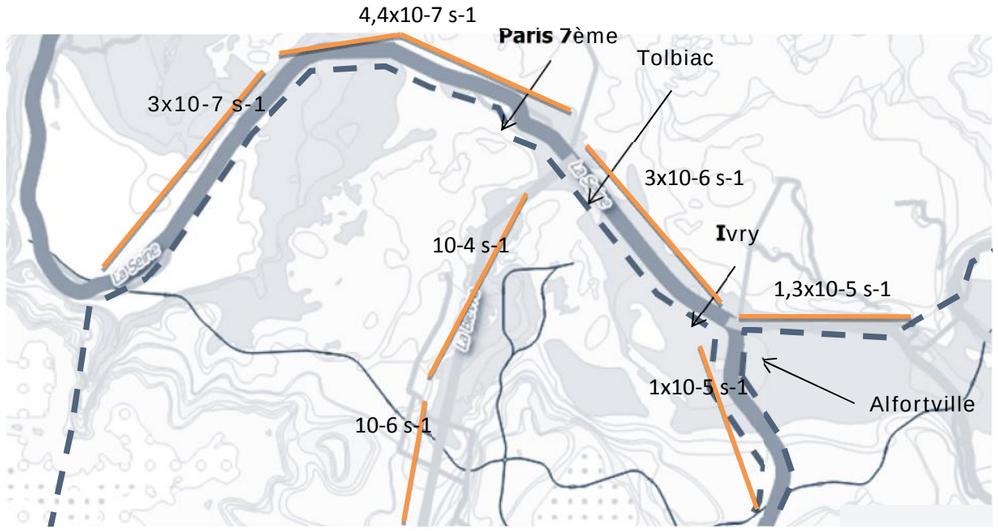


Figure 64 : carte des facteurs de colmatage retenus à l'issue des calages en régime transitoire

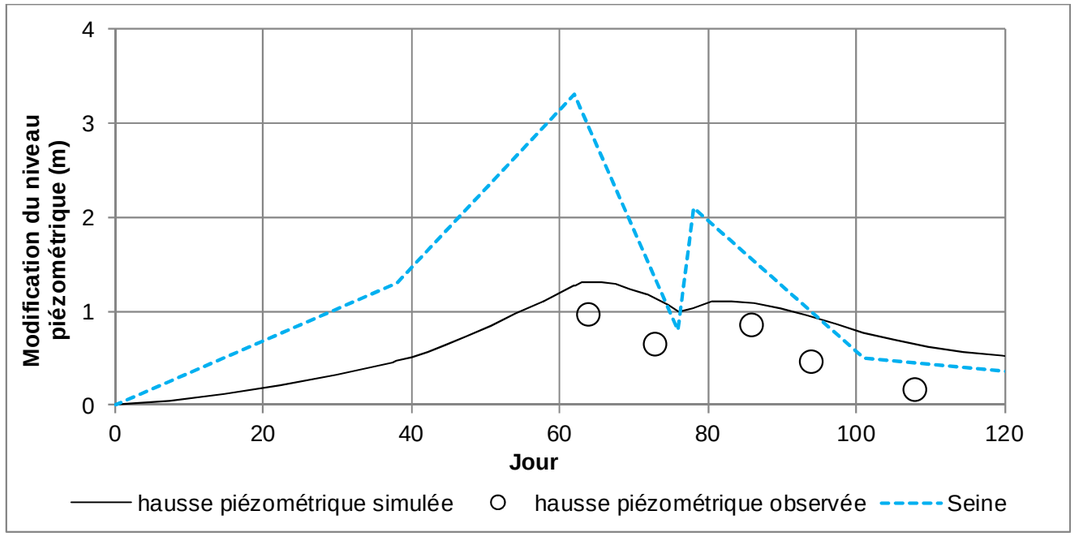


Figure 65 : onde de crue de Paris 7ème

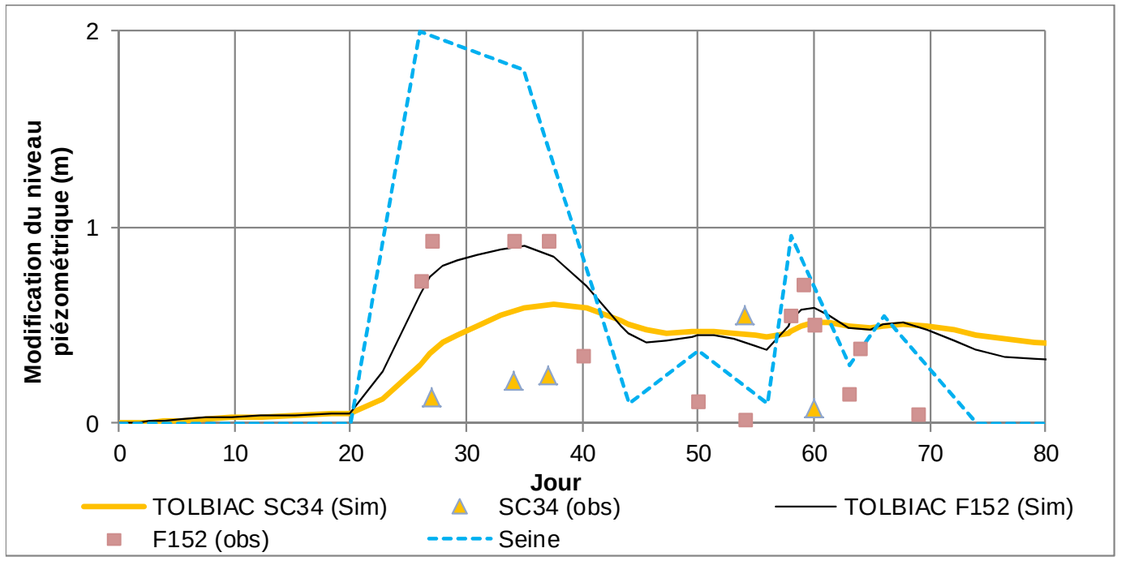


Figure 66 : onde de crue de la Rue Tolbiac (Paris)

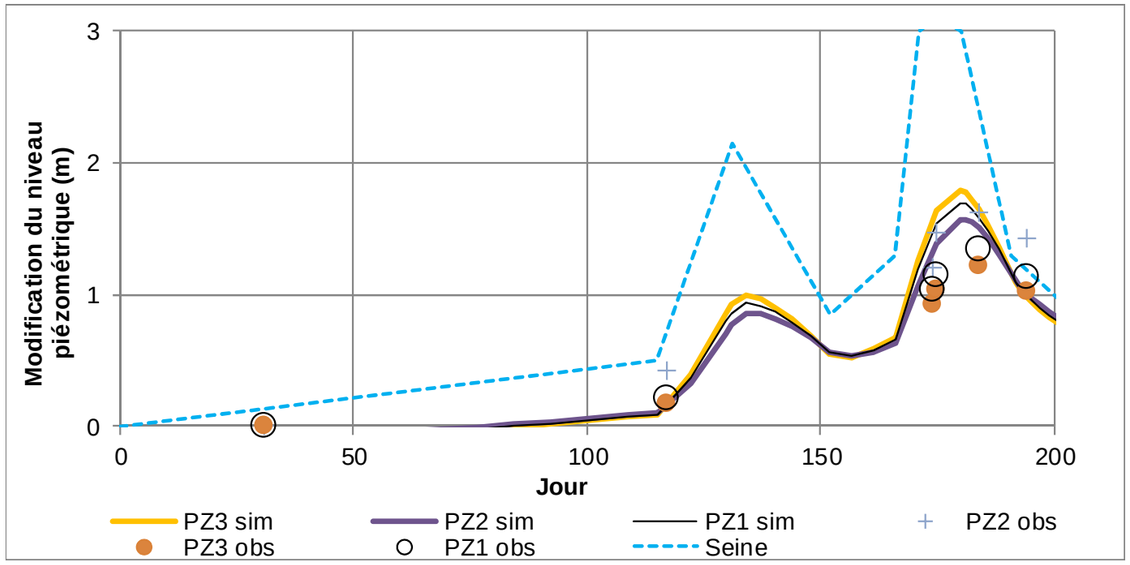


Figure 67 : onde de crue d'Ivry

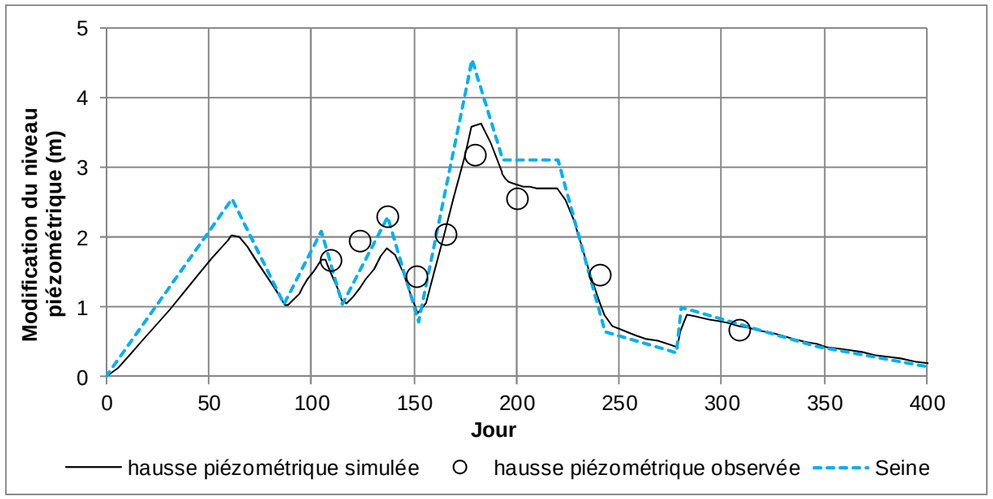


Figure 68 : onde de crue d'Alfortville

Le bilan des flux donnés au paragraphe 5.4.4.2 tient compte de l'ajustement des paramètres de colmatage.

Les valeurs des coefficients d'emmagasinement (libre ou captif) retenues pour les autres formations sont indiquées dans le Tableau 63 suivant. Hormis pour les alluvions anciennes, les coefficients d'emmagasinement n'ont pas l'objet de calage spécifique, étant donné que les données de transmission de crue disponibles ne concernent que les alluvions anciennes.

Tableau 63 : Valeurs des coefficients d'emmagasinement retenues

Désignation	Emmagasinement captif (m^{-1})	Emmagasinement libre (m^3/m^3)
Alluvions modernes	5E-04	1%
Alluvions modernes	5E-04	10%
Limons de plateau	5E-04	10%
Alluvions de la Bièvre	5E-04	10%
Remblais	5E-04	10%
Alluvions anciennes (Seine et Marne)	5E-04	10%
Formations comprises entre les alluvions et le calcaire de Saint-Ouen (Masses et Marnes du gypse etc…)	5E-04	1%
Marno-calcaire de Saint-Ouen	5E-04	1%
Sables de Beauchamp supérieurs	5E-04	1%
Sables de Beauchamp intermédiaires	5E-04	1%
Sables de Beauchamp inférieurs	5E-04	1%
Marnes et Caillasses	1E-04	1%
Calcaire grossier	1E-04	1%
Calcaire grossier inférieur	1E-04	1%
Sables supérieurs	1E-04	5%
Fausses glaises	1E-04	1%
Sables d'Auteuil	1E-04	5%
Argile plastique	1E-04	1%
Sables inférieurs faciès graveleux	1E-04	5%
Sables inférieurs faciès sableux	1E-04	5%
Sables inférieurs faciès silteux	1E-04	5%
Marnes de Meudon	1E-05	1%
Calcaire de Meudon et craie fissurée sous couverture tertiaire	1E-05	1%
Craie fissurée sous couverture alluviale	1E-05	1%
Craie Saine	1E-05	0,1%

5.5 Simulations

5.5.1 Principe et méthodologie

Les solutions constructives prévues et les principales caractéristiques des ouvrages sont rappelées dans le tableau suivant :

	Solution constructive retenue pour limiter le débit d'épuisement	Cote et hauteur de dénoyage de la nappe à l'intérieur des parois moulées	Débit d'épuisement estimé
Gare Vitry-Centre	Parois moulées ancrées de quelques mètres au toit des Marnes et Caillasses de perméabilité réduite	Dénoyage à 20,5 m NGF soit sur une hauteur de 10m	200 m^3/h
Puits tunnelier Arrighi	Parois moulées ancrées au sein du Calcaire Grossier et prolongées par une jupe injectée jusqu'aux formations peu perméables yprésiennes (13 m de haut et 2 m d'épaisseur)	Dénoyage à -2 m NGF soit sur une hauteur de 32m	200 m^3/h
Gare Les Ardoines	Parois moulées ancrées au toit du Calcaire Grossier et prolongées par une jupe injectée de 2 m d'épaisseur et un fond injecté de 5 m d'épaisseur	Dénoyage à 4,5 m NGF soit sur une hauteur de 26m	250 m^3/h
Gare Le Vert De Maisons	Parois moulées ancrées au sein du Calcaire Grossier et prolongées par une jupe injectée jusqu'aux formations peu perméables yprésiennes (13 m de haut et 2 m d'épaisseur)	Dénoyage à -8 m NGF soit sur une hauteur de 37m	300 m^3/h
Gare Créteil L'Echât	Parois moulées ancrées au toit du Calcaire Grossier et prolongées par une jupe injectée de 2 m d'épaisseur et un fond injecté de 5 m d'épaisseur	Dénoyage à 11,5 m NGF soit sur une hauteur de 19m	250 m^3/h
Gare Saint-Maur Créteil	Parois moulées ancrées dans la craie saine sur 10 m sous le radier	Dénoyage à -20 m NGF soit sur une hauteur de 47m	250 m^3/h

Tableau 64 : Caractéristiques principales des pompages d'épuisement des gares du secteur de la vallée de la Seine et de Marne

La gare de Champigny-Centre ne présentera pas de débits d'épuisement significatifs car elle sera réalisée sous protection de parois moulées ancrées dans les formations peu perméables de l'Yprésien. Elle n'a donc pas fait l'objet de simulations.

Le puits tunnelier Arrighi a fait l'objet de simulations dans la mesure où cet ouvrage annexe a une surface importante et est susceptible de présenter un débit d'épuisement significatif. En revanche, les autres ouvrages annexes du secteur ne seront pas à l'origine de débits d'épuisement importants et seront réalisés sur une courte durée. Ils n'ont donc pas fait l'objet de simulations spécifiques car les débits d'épuisement nécessaires pour réaliser ces ouvrages ne sont pas de nature à entrainer des impacts importants.

Les simulations effectuées pour évaluer l'impact de la réalisation des gares ont été effectuées en reproduisant dans le modèle les caractéristiques techniques énoncées ci-avant ; à savoir la profondeur d'ancrage des parois moulées, la présence d'injections de sol et la cote d'épuisement à atteindre. La profondeur de cette cote d'épuisement est appliquée sur une couche géologique suffisamment profonde à l'intérieur de la fouille pour assurer la stabilité mécanique des horizons peu perméables éventuellement présents immédiatement sous le fond de fouille comme les sables de Beauchamp par exemple.

Les simulations ont été réalisées sur la base des hypothèses suivantes :

- Les parois moulées sont représentées par des mailles de perméabilité très faible dans la mesure où celles-ci sont pratiquement imperméables ;

- Les simulations ont été réalisées en régime permanent uniquement et pour un niveau de Seine normale étant entendu qu'il s'agit du cas le plus défavorable vis-à-vis des exploitations d'eau souterraine ;

Les débits d'exhaure retenus et présentés dans le tableau ci-avant a été calculé avec un coefficient de sécurité de l'ordre de 1,5 à 2 de manière à couvrir la possibilité d'aléas géologiques locaux ne permettant pas de réaliser des injections de qualité homogène sur toute la surface des terrains injectés. Ces aléas sont notamment des hétérogénéités de perméabilité des terrains injectés liées à la fissuration naturelle ou à la présence de vides locaux potentiellement associés au phénomène de dissolution du gypse.

Pour la gare de Vitry-Centre ne nécessitant pas la mise en œuvre d'injection, la perméabilité verticale retenue dans les Marnes et Caillasses pour évaluer le débit d'épuisement est nettement supérieure à la perméabilité usuellement rencontrée dans cette couche. Le débit d'épuisement est donc surévalué pour couvrir le risque de rencontrer localement des fissures dans les Marnes et Caillasses.

Le débit d'épuisement de la gare de Saint-Maur-Créteil dépendra également de la perméabilité naturelle locale de la craie profonde.

La craie, lorsqu'elle est recouverte d'un épais recouvrement tertiaire comme au droit de la gare Saint-Maur-Créteil, est généralement modérément productive sur une épaisseur limitée (quelques mètres) puis devient franchement peu productive car très peu fissurée.

Toutefois, des chantiers profonds d'assainissement réalisés aux alentours de l'axe de l'anticlinal de Meudon (à environ 500 mètres) ont rencontrés localement des fractures ouvertes profondes dans la craie pouvant apporter des venues d'eau significatives qui ont nécessités des traitements par injection de ciment. Ces observations ont conduit à considérer que l'existence de ces failles profondes dans la craie était une conséquence mécanique de la formation de l'anticlinal. De ce fait, le risque de rencontrer des fractures profondes est vraisemblablement conditionné par la distance à l'axe de l'anticlinal.

La gare de Saint-Maur-Créteil étant relativement éloignée de l'axe de l'anticlinal (environ 1200 mètres), l'existence de failles profondes dans la craie au droit de la gare est un aléa peu probable.

Toutefois, le débit d'épuisement en phase travaux a été évalué avec une marge de sécurité importante pour tenir compte notamment de la possible présence de craie particulièrement productive localement. L'existence de failles profondes peut être considérée comme un phénomène localisé et qui donc n'affecterait pas la craie sur de grandes distances.

Ainsi, les débits d'épuisement annoncés pour les gares dans le tableau ci-avant reflètent des cas extrêmes liés à des aléas géologiques non prévisibles.

Pour la quantification des impacts, un premier scénario a été considéré afin d'évaluer les effets piézométriques cumulés entre ouvrages durant la période du chantier où les débits d'épuisement seront les plus importants. Il s'agit donc de la phase du chantier la plus pénalisante en termes d'effet piézométrique à l'échelle du secteur de la plaine de Vitry.

- Une première simulation a été réalisée avec le modèle en retenant des performances d'injection de sol et des perméabilités de terrain considérés comme vraisemblables ; il s'agit du cas de figure probable. Ce cas de figure conduit à des débits d'épuisement nettement inférieurs à ceux présentés dans le dossier, en raison des coefficients de sécurité retenus par les Maitres d'Œuvre.

- Dans un second temps, une simulation a été réalisée en restituant pour chaque ouvrage le débit d'épuisement sécuritaire retenu par le maître d'œuvre. Cette simulation reflète les effets piézométriques attendus dans un cas de figure extrêmement défavorable en termes d'aléas géologiques.

Les résultats obtenus avec ces deux cas de figure sont présentés ci-après.

L'analyse fine du planning prévisionnel du chantier a permis de définir ce scénario de simulation qui présente le plus fort débit instantanément et le plus d'effets cumulés potentiels à l'échelle du tronçon. Ceci étant, toutes les gares ne seront pas réalisées de manière concomitante. En effet, le pic de pompage d'épuisement local au droit de certaines gares est susceptible de se produire avant ou après la phase critique qui a fait l'objet de la première simulation. En conséquence, le scénario qui présente instantanément le plus gros débit d'épuisement cumulé n'est pas nécessairement celui qui est susceptible de présenter le plus d'effets piézométriques en tout point du secteur. C'est pourquoi, 3 autres scénarios de simulation complémentaires ont été définis qui correspondent à trois autres phases du chantier permettant d'évaluer l'effet piézométrique maximal en tout point. Pour ces 3 autres scénarios de simulation, seul le cas de figure extrême a été considéré c'est-à-dire celui obtenu avec les débits d'épuisement sécuritaires retenus par le maître d'œuvre.

5.5.1.1 Simulation de la phase la plus critique du chantier où les débits d'épuisement cumulés sont les plus importants : CAS DE FIGURE PROBABLE

Cette situation est représentative de la période où le plus gros débit d'épuisement sera prélevé simultanément sur l'ensemble du secteur.

Le tableau suivant, issu de l'analyse fine du planning du chantier, présente l'abaissement piézométrique qui a été simulé dans chaque ouvrage exprimé en pourcentage de l'abaissement piézométrique maximal prévu.

Cette situation prévoit donc un débit maximal d'épuisement pour les gares de Vert-de-Maisons et Créteil L'Echât. Il peut donc être considéré comme représentatif de la période où l'effet piézométrique sera le plus fort à proximité de ces deux gares.

Ouvrages	Pourcentage du dénoyage maximal dans l'enceinte de parois moulées	Débit d'épuisement (m^3/h)
Vitry Centre	25%	6
Puits Arrighi	pas d'épuisement (0%)	0
Les Ardoines	40%	65
Le Vert de Maisons	100%	102
Créteil L'Echât	100%	104
Saint-Maur-Créteil	pas d'épuisement (0%)	0
DEBIT TOTAL		277

Tableau 65 : Abaissement piézométrique simulé en % de l'abaissement maximal dans chaque ouvrage et débits d'épuisements restitués pour la phase la plus critique (cas de figure probable)

La simulation a été réalisée en retenant les paramètres hydrodynamiques suivants :

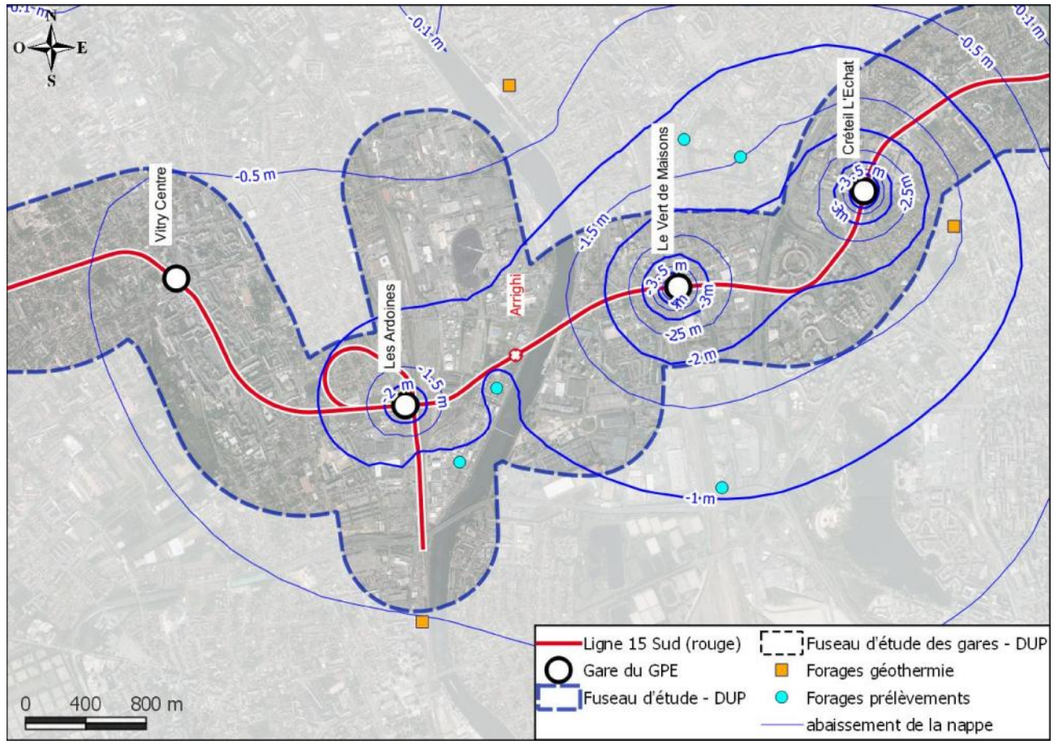
- une perméabilité vraisemblable des jupes et fonds injectés à savoir 1.10^{-6} m/s ;
- une perméabilité des parois moulées de 1.10^{-10} m/s ;
- une perméabilité verticale vraisemblable des Marnes et Caillasses obtenu après calage du modèle à savoir 5.10^{-7} m/s.

Il s'agit de paramètres vraisemblables ; les résultats de la simulation donnent donc des effets piézométriques qui sont probables.

Le tableau précédent présente les débits d'épuisement restitués par le modèle. Ceux-ci sont bien inférieurs à ceux retenus par le maître d'œuvre qui tiennent compte d'aléas géologiques particulièrement défavorables. Il s'agit de débits vraisemblables pour ce type d'ouvrage.

Le débit total prélevé atteint 277 m^3/h dans la nappe du Calcaire grossier et des Marnes et Caillasses.

Les figures suivantes présentent les effets piézométriques calculés par le modèle dans les nappes principales concernées à savoir au sein de la nappe du Calcaire Grossier et des alluvions.



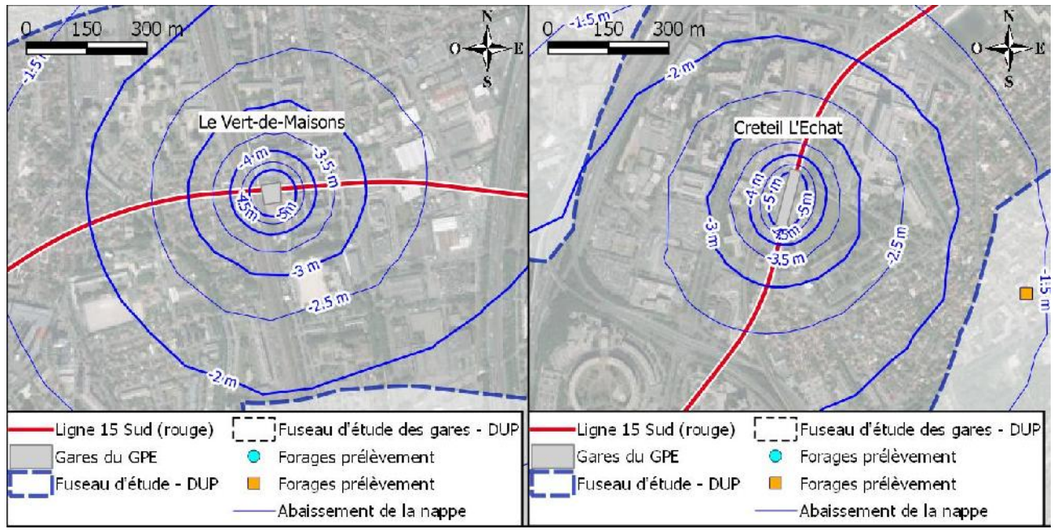


Figure 69 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement de la phase la plus critique (cas de figure probable) dans le Calcaire Grossier au niveau de la plaine de Vitry

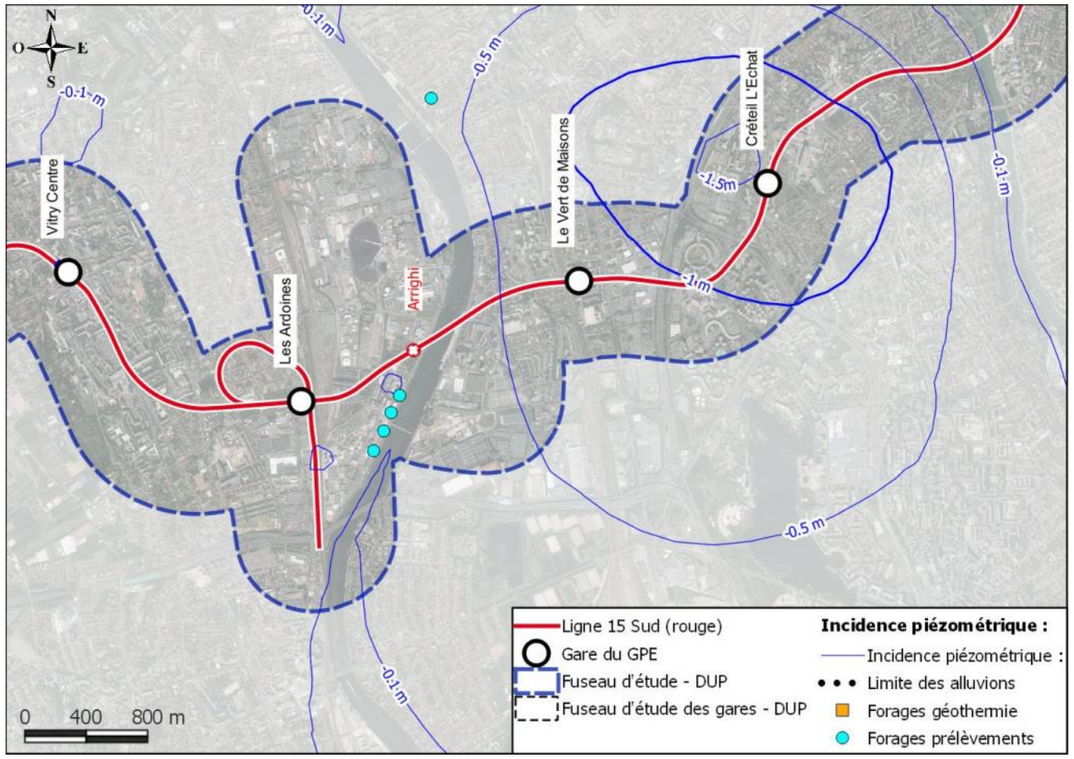


Figure 70 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement de la phase la plus critique (cas de figure probable) dans la nappe alluviale au niveau de la plaine de Vitry

L'effet piézométrique est maximal dans la nappe du Calcaire Grossier à proximité immédiate des parois moulées de la gare du Vert-De-Maisons et Créteil l'Echât avec des abaissements atteignant 5 mètres.

Le dénoyage est de 37 m au sein de la paroi moulée de Vert-de-Maisons. Les dispositions de réduction de débit mis en place permettent donc de réduire considérablement l'abaissement piézométrique à l'extérieur de l'enceinte de parois moulées. L'effet piézométrique est réduit significativement de par la présence des parois moulées prolongées de jupes injectées atteignant les couches peu perméables de l'Yprésien.

Au niveau de la gare de Créteil L'Echat, l'abaissement piézométrique atteint au maximum 5 mètres à proximité immédiate de l'enceinte de parois moulées dans les Calcaires Grossiers. Le dénoyage au centre des parois moulées est de 19 mètres. Les dispositions constructives prévues que sont les parois moulées prolongées d'une jupe injectée et d'un fond injecté permettent donc de diminuer l'abaissement piézométrique à l'extérieur de la paroi moulée de manière significative.

Globalement, dans la nappe du Calcaire grossier, l'abaissement piézométrique supérieur à 1 m s'étend sur une étendue d'environ 11 km^2, soit une distance autour des gares comprises entre 0,3 km (les Ardoines) et 1.5 km environ (gares de Créteil l'Echât et Vert-de-Maisons). L'aquifère du Calcaire grossier est relativement mal réalimenté car il est séparé des cours d'eau et de la nappe alluviale par les formations peu perméables comprises entre le toit des Marnes et Caillasses et la

base des alluvions. Ce contexte géologique particulier explique l'importance et l'étendue de l'effet piézométrique dans la nappe du Calcaire grossier.

Dans la nappe des alluvions, l'effet piézométrique atteint 1,5 m au centre de la plaine de la Seine et de la Marne. Ce scénario entraine l'abaissement piézométrique le plus important de par la présence de deux débits d'épuisement conséquents sur deux gares proches.

Le tableau suivant donne :

- le débit circulant par drainance verticale descendante au travers des Marnes et Caillasses au droit de différents secteurs du cône d'abaissement piézométrique du Calcaire Grossier ;

- les apports des cours d'eau au débit pompé c'est-à-dire la participation des cours d'eau à l'alimentation du débit d'épuisement. Le reste provient de la recharge et des apports régionaux.

SCENARIO LE PLUS CRITIQUE (CAS PROBABLE) : 277 m^3/h			
Flux vertical descendant traversant les Marnes et caillasses	Surface (Km^2)	Débit m^3/h	Flux mm/an
Abaissement dans le Calcaire grossier > 2 m	1,4	31	197
Abaissement dans le Calcaire grossier > 1 m	7,8	82,2	93
Apport des cours d'eau au débit pompé	Débit (m^3/h)		
Apport par la Seine	23		
Apport par la Marne	14		
Apport total par les cours d'eau	37		

Tableau 66 : Bilan des flux dans le cône d'abaissement piézométrique issu de la phase la plus critique (cas de figure probable)

Principaux résultats du de la phase la plus critique (cas de figure probable)

L'abaissement piézométrique maximal dans la nappe du Calcaire grossier est de 5 mètres à proximité immédiate des parois moulées de Vert-De-Maisons et de Créteil-L' Echât.

L'abaissement du niveau de la nappe des Calcaires Grossiers peut atteindre 1 mètre à une distance aux gares comprise entre 0,3 km environ (Gare des Ardoines) et 1,5 km (autour des gares de Créteil l'Echât et Vert-de-Maisons). Un abaissement piézométrique supérieur à 1 mètre dans la nappe du Calcaire Grossier est constaté sur une surface d'environ 8 km^2.

L'abaissement du niveau de la nappe des alluvions est plus modéré que l'abaissement estimé dans la nappe des Calcaires Grossiers. Il est de l'ordre de 0,1 à 0,5 m environ à 2 km autour des Ardoines et Vitry Centre. Il est par ailleurs atténué le long de la Seine et de la Marne.

Les eaux de la Seine et de la Marne représentent environ 13 % du débit pompé.

5.5.1.2 Simulation de la phase la plus critique du chantier où les débits d'épuisement cumulés sont les plus importants : CAS DE FIGURE EXTREME

Pour cette simulation, les débits d'épuisement retenus par le maître d'œuvre ont été restitués dans le modèle :

- Par l'ajustement des perméabilités des injections de sol. Les injections sont donc nettement moins performantes que ce qui est retenu usuellement de sorte à traduire des difficultés locales de traitement lié à un contexte géologique défavorable ;

- au niveau de la gare de Vitry Centre, en retenant une perméabilité verticale des Marnes et Caillasses de $1{,}7.10^{-5}$ m/s au lieu de 5.10^{-7} m/s issu du calage. Cette forte perméabilité verticale traduit la présence de fissures locales dans les Marnes et Caillasses limitant le rôle de frein hydraulique attendu dans cette formation.

Cette simulation permet donc d'évaluer les effets piézométriques maximaux attendus en retenant un cas de figure extrêmement défavorable en termes d'aléas géologiques.

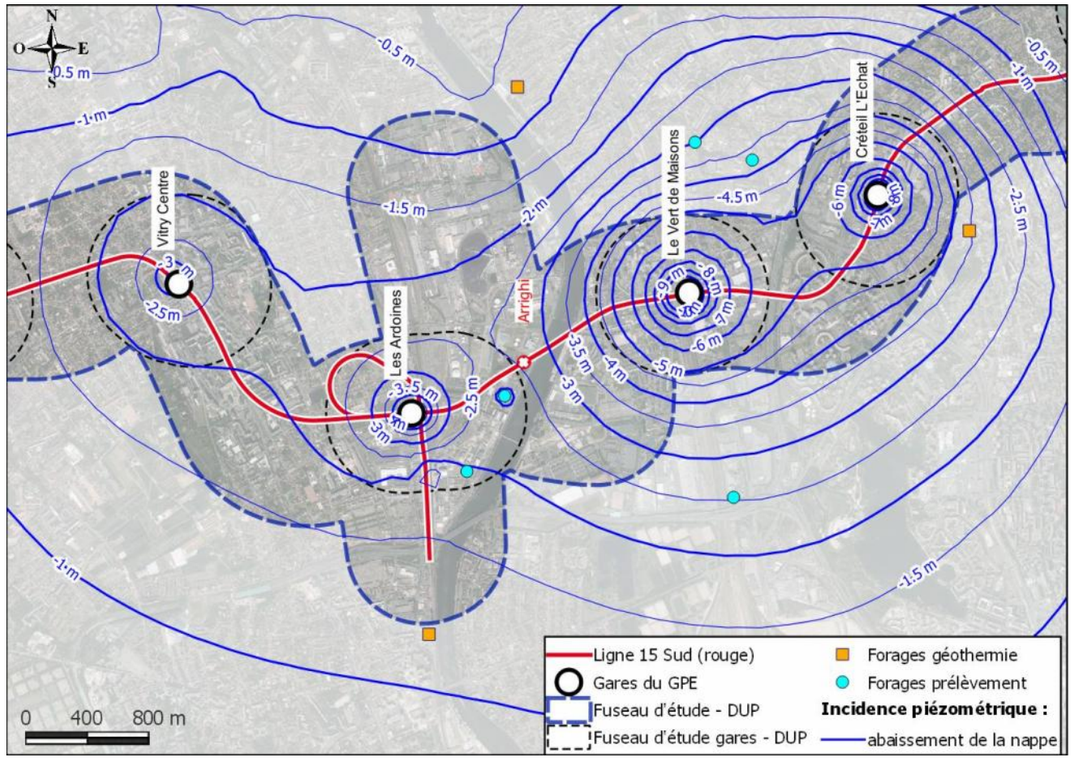
Le tableau suivant présente les débits d'épuisement simulés.

Scénario	Pourcentage du dénoyage maximal dans l'enceinte de parois moulées	Débit d'épuisement (m^3/h)
Vitry Centre	25%	60
Puits Arrighi	0%	0
Les Ardoines	40%	105
Le Vert de Maisons	100%	295
Créteil L'Echat	100%	206
Saint-Maur-Créteil	0%	0
DEBIT TOTAL		666

Abaissement piézométrique simulé en % de l'abaissement maximal dans chaque ouvrage et débits d'épuisements restitués pour la phase la plus critique (cas de figure extrême)

Le débit total prélevé atteint 666 m^3/h dans la nappe du Calcaire grossier et des Marnes et Caillasses.

Les figures suivantes présentent les effets piézométriques calculés par le modèle dans les nappes principales concernées à savoir au sein de la nappe du Calcaire Grossier et des alluvions.



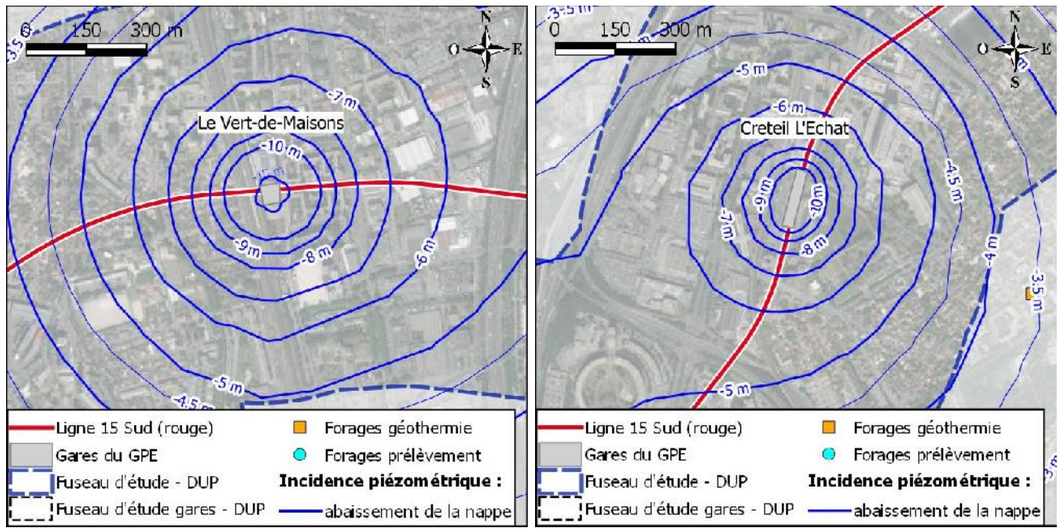


Figure 71 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement de la phase la plus critique (cas de figure extrême) dans le Calcaire Grossier au niveau de la plaine de Vitry

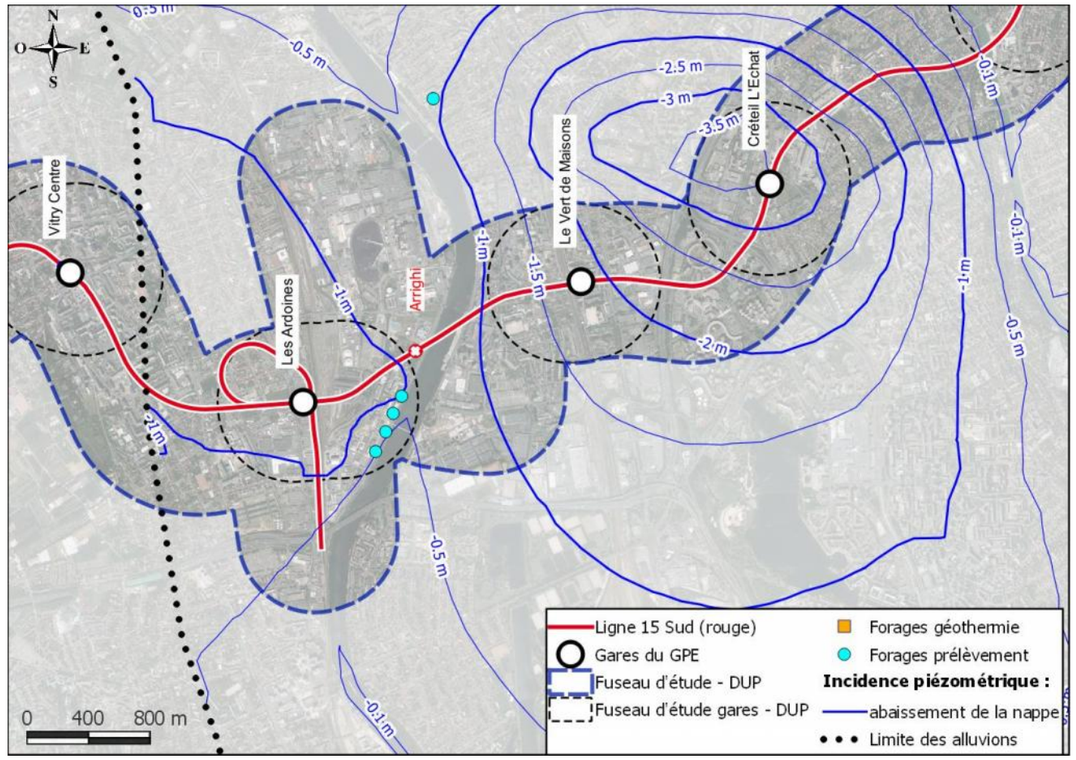


Figure 72 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement de la phase la plus critique (cas de figure extrême) dans la nappe alluviale au niveau de la plaine de Vitry

L'effet piézométrique est maximal dans la nappe du Calcaire Grossier à proximité immédiate des parois moulées de la gare du Vert-De-Maisons avec des abaissements atteignant 15 mètres (le dénoyage est de 37 m au sein de la paroi moulée). Les dispositions de réduction de débit mis en place permettent donc de réduire significativement l'abaissement piézométrique à l'extérieur de l'enceinte de parois moulées.

Au niveau de la gare de Vert-De-Maisons, l'effet piézométrique est réduit de par la présence des parois moulées prolongées de jupes injectées atteignant les couches peu perméables de l'Yprésien.

Au niveau de la gare de Créteil L'Echat, l'abaissement piézométrique atteint au maximum 10 mètres à proximité immédiate de l'enceinte de parois moulées. Le dénoyage au centre des parois moulées est de 19 mètres. Les dispositions constructives prévues que sont les parois moulées prolongées d'une jupe injectée et d'un fond injecté permettent donc de diminuer l'abaissement piézométrique à l'extérieur de la paroi moulée.

Ceci étant, malgré l'efficacité des dispositions constructives prévues, l'abaissement piézométrique global dans la nappe du calcaire Grossier reste significatif. Il s'agit toutefois d'un cas de figure pessimiste qui prend en compte une efficacité réduite des injections de sol.

Globalement, dans la nappe du Calcaire grossier, l'abaissement piézométrique supérieur à 1 m s'étend sur une étendue d'environ 40 km^2, soit une distance autour des gares comprises entre 1 km (Vitry-Centre et les Ardoines) et 3 km environ (gares de Créteil l'Echât et Vert-de-Maisons. L'aquifère du Calcaire grossier est relativement mal réalimenté car il est séparé des cours d'eau et de la nappe alluviale par les formations peu perméables comprises entre le toit des Marnes et

Caillasses et la base des alluvions. Ce contexte géologique particulier explique l'importance et l'étendue de l'effet piézométrique dans la nappe du Calcaire grossier.

Dans la nappe des alluvions, l'effet piézométrique atteint 3,5 m au centre de la plaine de la Seine et de la Marne. Ce scénario entraine l'abaissement piézométrique le plus important de par la présence de deux débits d'épuisement conséquents sur deux gares proches.

Le tableau suivant donne :

- le débit circulant par drainance verticale descendante au travers des Marnes et Caillasses au droit de différents secteurs du cône d'abaissement piézométrique du Calcaire Grossier ;

- les apports des cours d'eau au débit pompé c'est-à-dire la participation des cours d'eau à l'alimentation du débit d'épuisement. Le reste provient de la recharge et des apports régionaux.

SCENARIO LE PLUS CRITIQUE (CAS DEFAVORABLE EXTREME) : 666 m^3/h			
Flux vertical descendant traversant les Marnes et caillasses	Surface (Km^2)	Débit m^3/h	Flux mm/an
Abaissement dans le Calcaire grossier > 4 m	4,0	229	506
Abaissement dans le Calcaire grossier > 3 m	15,6	412	231
Abaissement dans le Calcaire grossier > 2 m	22,5	536	209
Abaissement dans le Calcaire grossier > 1 m	39,3	667	149
Apport des cours d'eau au débit pompé	Débit (m^3/h)		
Apport par la Seine	114		
Apport par la Marne	41		
Apport total par les cours d'eau	155		

Tableau 67 : Bilan des flux dans le cône d'abaissement piézométrique issu de la phase la plus critique (cas de figure extrême)

Principaux résultats de la phase la plus critique (cas de figure extrême)

L'abaissement piézométrique maximal dans la nappe du Calcaire grossier est de 15 et 10 mètres à proximité immédiate des parois moulées de Vert-De-Maisons et de Créteil-L' Echât respectivement.

L'abaissement du niveau de la nappe des Calcaires Grossiers peut atteindre 1 mètre à une distance aux gares comprise entre 1 km environ (Gare de Vitry-Centre et les Ardoines) et 3 km (autour des gares de Créteil l'Echât et Vert-de-Maisons). Un abaissement piézométrique supérieur à 1 mètre dans la nappe du Calcaire Grossier est constaté sur une surface d'environ 40 km^2.

L'abaissement du niveau de la nappe des alluvions est plus modéré que l'abaissement estimé dans la nappe des Calcaires Grossiers. Il est de l'ordre de 0,1 à 0,5 m environ à 3 km autour des Ardoines et Vitry Centre. Il est par ailleurs atténué le long de la Seine et de la Marne.

Les eaux de la Seine et de la Marne représentent environ 25 % du débit pompé.

5.5.1.3 Scenario complémentaire 1 : effets piézométriques maximaux à proximité des gares de Vitry-Centre et des Ardoines : CAS DE FIGURE EXTREME

Ce scénario complémentaire 1 prévoit un débit maximal d'épuisement pour les gares de Vitry Centre et Les Ardoines. Il peut donc être considéré comme représentatif de la période où l'effet piézométrique sera le plus fort à proximité de ces deux gares.

Le tableau suivant, issu de l'analyse fine du planning du chantier, présente l'abaissement piézométrique qui a été simulé dans chaque ouvrage exprimé en pourcentage de l'abaissement piézométrique maximal prévu.

Ouvrages	Abaissement piézométrique simulé en % de l'abaissement maximal prévu
Vitry Centre	100%
Puits Arrighi	pas d'épuisement (0%)
Les Ardoines	100%
Le Vert de Maisons	50%
Créteil L'Échat	25%
Saint-Maur-Créteil	60%

Tableau 68 : Abaissement piézométrique simulé en % de l'abaissement maximal dans chaque ouvrage

Pour cette simulation, les débits d'épuisement retenus par le maître d'œuvre ont été restitués dans le modèle :

- **Par l'ajustement des perméabilités des injections de sol. Les injections sont donc nettement moins performantes que ce qui est retenu usuellement de sorte à traduire des difficultés locales de traitement lié à un contexte géologique défavorable ;**
- **au niveau de la gare de Vitry Centre, en retenant une perméabilité verticale des Marnes et Caillasses de $1{,}7.10^{-5}$ m/s au lieu de 5.10^{-7} m/s issu du calage. Cette forte perméabilité verticale traduit la présence de fissures locales dans les Marnes et Caillasses limitant le rôle de frein hydraulique attendu dans cette formation.**

Cette simulation permet donc d'évaluer les effets piézométriques maximaux attendus en retenant un cas de figure extrêmement défavorable en termes d'aléas géologiques.

Le tableau suivant présente les débits d'épuisement simulés.

Scénario	Scénario 1 Pourcentage du dénoyage maximal dans l'enceinte de parois moulées	Débit d'épuisement (m^3/h)
Vitry Centre	100%	144
Puits Arrighi	0%	0
Les Ardoines	100%	267
Le Vert de Maisons	50%	150
Créteil L'Echât	25%	42
Saint-Maur-Créteil	60%	6
DEBIT TOTAL		611

Tableau 69 : Débits d'épuisement restitués pour le scénario 1

Le débit total prélevé atteint 611 m^3/h dont 605 m^3/h dans la nappe du Lutétien.

Les figures suivantes présentent les effets piézométriques calculés par le modèle dans les nappes principales concernées à savoir au sein du Calcaire Grossier et au sein des alluvions.

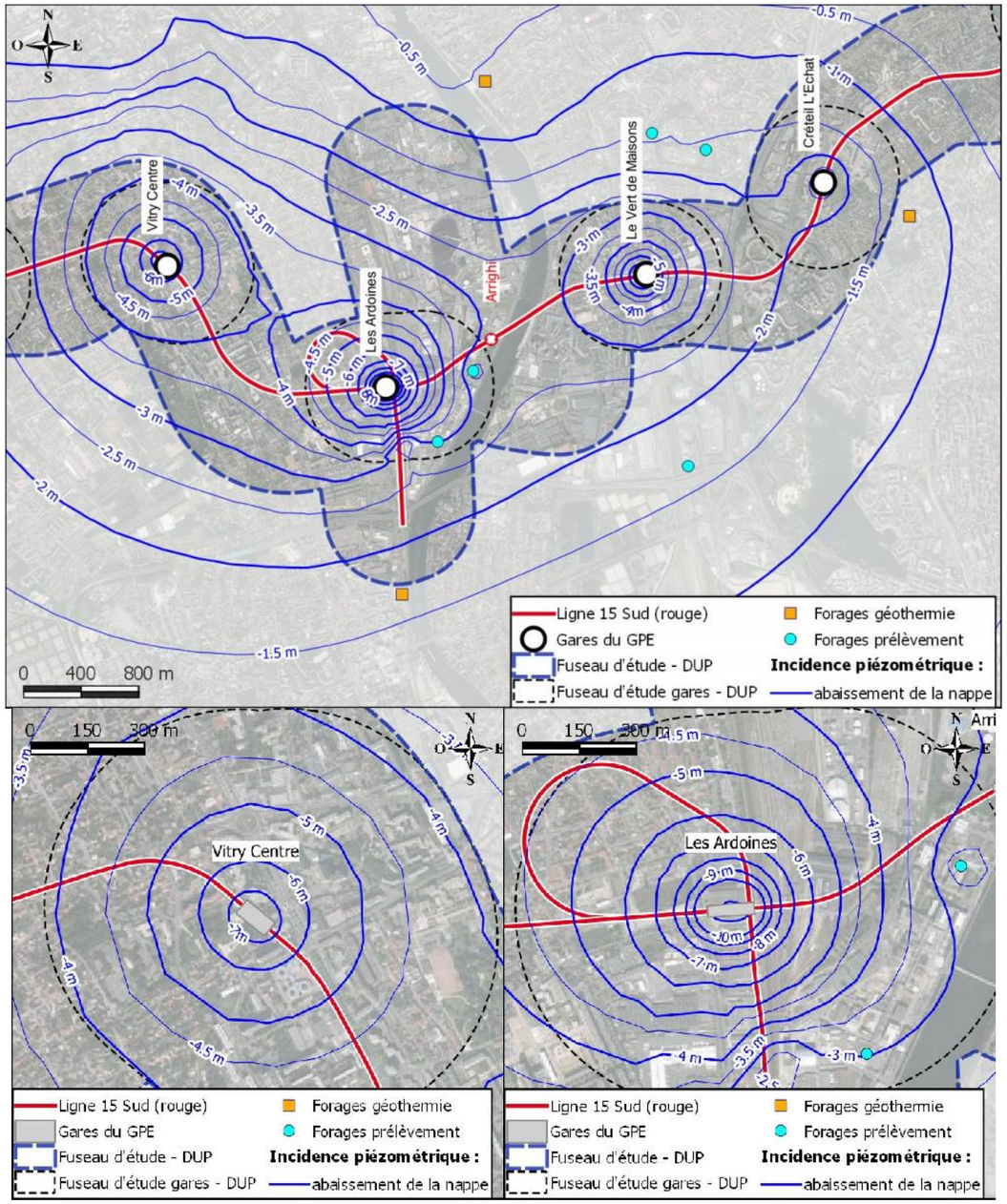


Figure 73 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement du scénario 1 dans le Calcaire Grossier au niveau de la plaine de Vitry

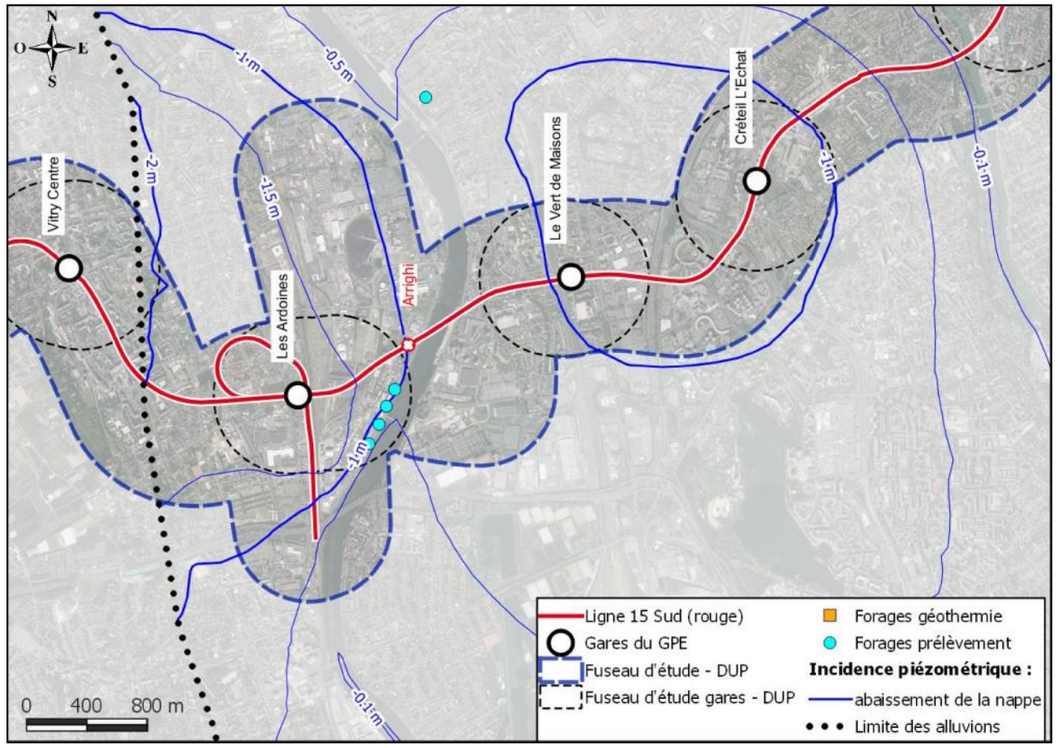


Figure 74 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement du scénario 1 dans la nappe alluviale au niveau de la plaine de Vitry

L'effet piézométrique est maximal dans la nappe du Calcaire Grossier à proximité immédiate des parois moulées des gares de Vitry Centre et des Ardoines avec des abaissements atteignant :

- 7 mètres à proximité immédiate des parois moulées de Vitry Centre (le dénoyage est de 10 mètres au sein de la paroi moulée) ;

- 11 mètres à proximité immédiate des parois moulées au niveau des Ardoines (le dénoyage est de 26 m au sein de la paroi moulée).

Les dispositions de réduction de débit mis en place permettent de réduire significativement l'abaissement piézométrique à l'extérieur de l'enceinte de parois moulées. C'est particulièrement significatif pour la gare des Ardoines. Le débit d'épuisement de la gare de Vitry Centre peut toutefois être considéré comme particulièrement prudent dans la mesure où il est restitué avec une perméabilité verticale particulièrement élevée dans les Marnes et Caillasses. Pour la gare des Ardoines, c'est essentiellement la performance de la jupe injectée et du fond injecté qui seront mis en place en prolongement de la paroi moulée qui conditionneront le débit d'épuisement et donc l'abaissement piézométrique résiduel. Dans ce cas de figure extrême, ce sont des performances défavorables qui sont restitués dans le modèle.

Ceci étant, l'abaissement piézométrique global dans la nappe du calcaire Grossier reste significatif.

L'abaissement piézométrique supérieur à 1 m s'étend sur une étendue d'environ 37 km^2 autour des gares, soit à une distance aux gares comprise entre 1 km environ (Gare de Créteil-L'Echât) et plus de 3 km (autour des gares des Ardoines et Vitry Centre). L'aquifère du Calcaire grossier est relativement mal réalimenté car il est séparé des cours d'eau et de la nappe alluviale par les formations peu perméables comprises entre le toit des Marnes et Caillasses et la base des alluvions. Ce contexte géologique particulier explique l'importance et l'étendue de l'effet piézométrique dans la nappe du Calcaire grossier.

Pour les mêmes raisons, l'effet piézométrique dans les alluvions est considérablement réduit en amplitude. Celui-ci atteint 1 mètre entre la Seine et la Marne et 1,5 m en limite d'extension des alluvions à l'ouest de la gare des Ardoines.

Le tableau suivant donne :

- le débit circulant par drainance verticale descendante au travers des Marnes et Caillasses au droit de différents secteurs du cône d'abaissement piézométrique du Calcaire Grossier ;

- les apports des cours d'eau au débit pompé c'est-à-dire la participation des cours d'eau à l'alimentation du débit d'épuisement. Le reste provient de la recharge et des apports régionaux ;

SCENARIO 1 : 611 m3/h			
Flux vertical descendant traversant les Marnes et caillasses	Surface (Km^2)	Débit m^3/h	Flux mm/an
Abaissement dans le Calcaire grossier > 4 m	1,8	66	322
Abaissement dans le Calcaire grossier > 3 m	5,6	121	190
Abaissement dans le Calcaire grossier > 2 m	13,5	177	115
Abaissement dans le Calcaire grossier > 1 m	36,6	280	67
Apport des cours d'eau au débit pompé	Débit (m^3/h)		
Apport par la Seine	97		
Apport par la Marne	14		
Apport total par les cours d'eau	111		

Tableau 70 : Bilan des flux dans le cône d'abaissement piézométrique issu du scénario 1

Principaux résultats du Scénario 1

L'abaissement piézométrique maximal dans la nappe du Calcaire grossier est de 7 mètres à proximité immédiate des parois moulées de Vitry Centre et de 11 mètres à proximité immédiate des parois moulées des Ardoines.

L'abaissement du niveau de la nappe des Calcaires Grossiers peut atteindre 1 mètre à une distance aux gares comprise entre 1 km environ (Gare de Créteil-L'Echat) et plus de 3 km (autour des gares des Ardoines et Vitry Centre). Un abaissement piézométrique supérieur à 1 mètre dans la nappe du Calcaire Grossier est constaté sur une surface d'environ 37 km^2.

L'abaissement du niveau de la nappe des alluvions est plus modéré que l'abaissement estimé dans la nappe des Calcaires Grossiers. Il est de l'ordre de 0,1 à 0,5 m environ à 3 km autour des Ardoines et Vitry Centre. Il est par ailleurs atténué le long de la Seine et de la Marne.

Les eaux de la Seine et de la Marne contribuent à environ 15 % du débit pompé.

5.5.1.4 Scenario complémentaire 2 : effets piézométriques maximaux à proximité des gares du Vert-De-Maisons et de Saint-Maur-Créteil : CAS DE FIGURE EXTREME

Ce scénario complémentaire 2 prévoit un débit maximal d'épuisement pour les gares du Vert de Maisons et de Saint-Maur-Créteil. Il peut donc être considéré comme représentatif de la période où l'effet piézométrique sera le plus fort à proximité de ces deux gares.

Le tableau suivant, issu de l'analyse fine du planning du chantier, présente l'abaissement piézométrique qui a été simulé dans chaque ouvrage exprimé en pourcentage de l'abaissement piézométrique maximal prévu.

Ouvrages	Abaissement piézométrique simulé en % de l'abaissement maximal prévu
Vitry Centre	50%
Puits Arrighi	pas d'épuisement (0%)
Les Ardoines	75%
Le Vert de Maisons	100%
Créteil L'Échat	0%
Saint-Maur-Créteil	100%

Tableau 71 : Abaissement piézométrique simulé en % de l'abaissement maximal dans chaque ouvrage

Pour cette simulation, les débits d'épuisement retenus par le maître d'œuvre ont été restitués dans le modèle :

- Par l'ajustement des perméabilités des injections de sol. Les injections sont donc nettement moins performantes que ce qui est retenu usuellement de sorte à traduire des difficultés locales de traitement lié à un contexte géologique défavorable ;

- au niveau de la gare de Vitry Centre, en retenant une perméabilité verticale des Marnes et Caillasses de $1,7.10^{-5}$ m/s au lieu de 5.10^{-7} m/s issu du calage. Cette forte perméabilité verticale traduit la présence de fissures locales dans les Marnes et Caillasses limitant le rôle de frein hydraulique attendu dans cette formation.

Cette simulation permet donc d'évaluer les effets piézométriques maximaux attendus en retenant un cas de figure extrêmement défavorable en termes d'aléas géologiques.

Pour la gare de Saint-Maur-Créteil, le débit retenu par le maître d'œuvre traduit un aléa géologique particulier à savoir une fissuration locale profonde et anormalement importante de la craie entrainant temporairement la nécessité de réaliser un pompage d'épuisement important. Il n'est pas possible de prendre en compte ce cas de figure particulier qui n'est pas transposable en termes de paramètres de modélisation. Le modèle global a été construit en retenant un schéma hydrogéologique usuellement retenu pour la craie sous recouvrement tertiaire à savoir quelques mètres de craie modérément productive puis une craie saine peu perméable. De ce fait, le débit résiduel restitué par le modèle est nécessairement nettement inférieur à celui proposé par le maître d'œuvre. Ainsi, le débit d'épuisement en phase travaux pour cette gare a été évalué pour tenir compte de la possible présence de craie particulièrement productive localement. L'existence de failles profondes peut être considérée comme un phénomène localisé et qui donc n'affecterait pas la craie sur de grandes distances. En ce sens, les résultats issus du modèle en termes d'impact piézométrique et de débit d'épuisement stabilisé peuvent être considérés comme fiables.

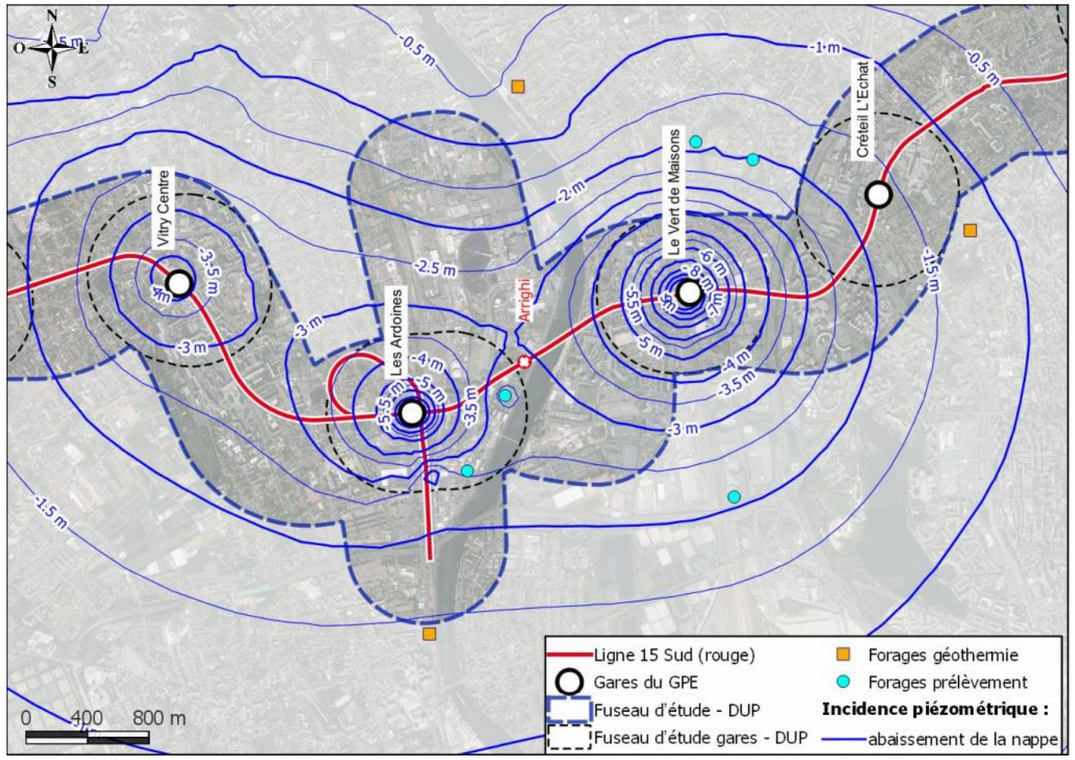
Le tableau suivant présente les débits d'épuisement simulés.

Scénario	Scénario 2 Pourcentage du dénoyage maximal dans l'enceinte de parois moulées	Débit d'épuisement (m^3/h)
Vitry Centre	50%	89
Puits Arrighi	0%	0
Les Ardoines	75%	202
Le Vert de Maisons	100%	279
Créteil L'Echat	0%	0
Saint-Maur-Créteil	100%	7
DEBIT TOTAL		577

Tableau 72 : Débits d'épuisement restitués pour le scénario 2

Le débit total prélevé atteint 577 m^3/h dont 570 m^3/h dans la nappe du Calcaire grossier et des Marnes et Caillasses et 7 m^3/h dans la nappe de la craie.

Les figures suivantes présentent les effets piézométriques calculés par le modèle dans les nappes principales concernées à savoir au sein de la nappe du Calcaire Grossier, des alluvions et de la nappe de la craie.



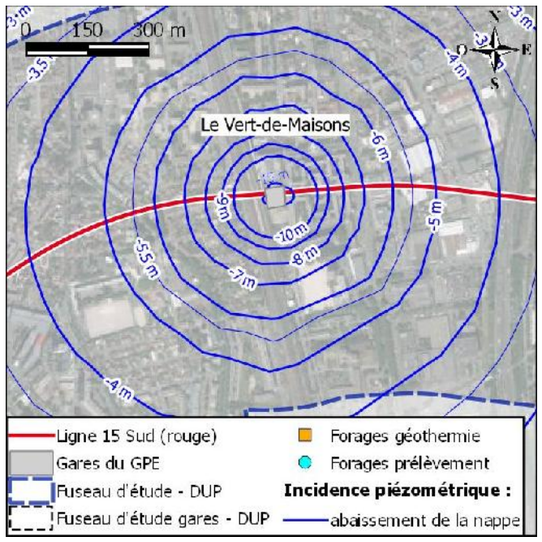


Figure 75 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement du scénario 2 dans le Calcaire Grossier au niveau de la plaine de Vitry

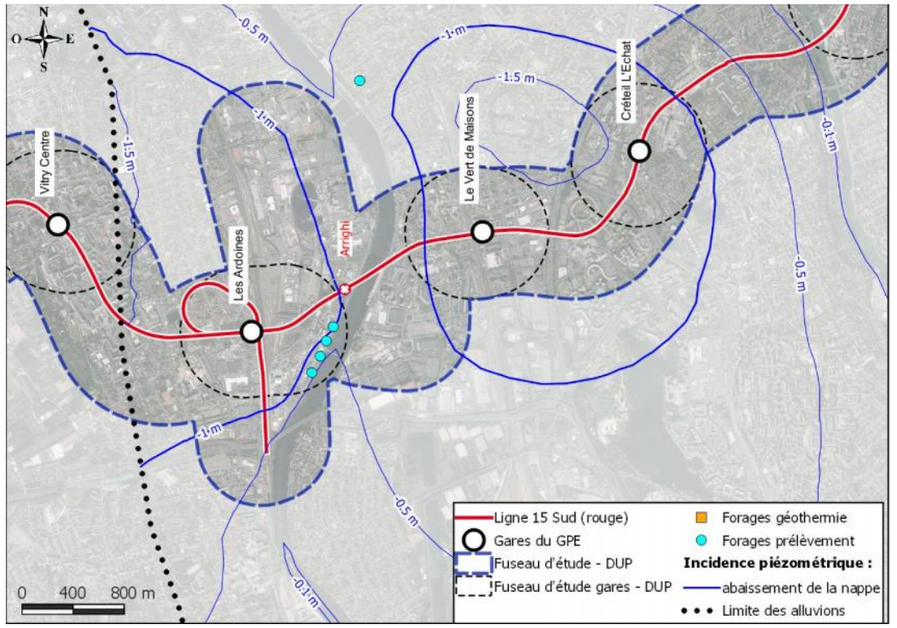


Figure 76 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement du scénario 2 dans la nappe alluviale au niveau de la plaine de Vitry

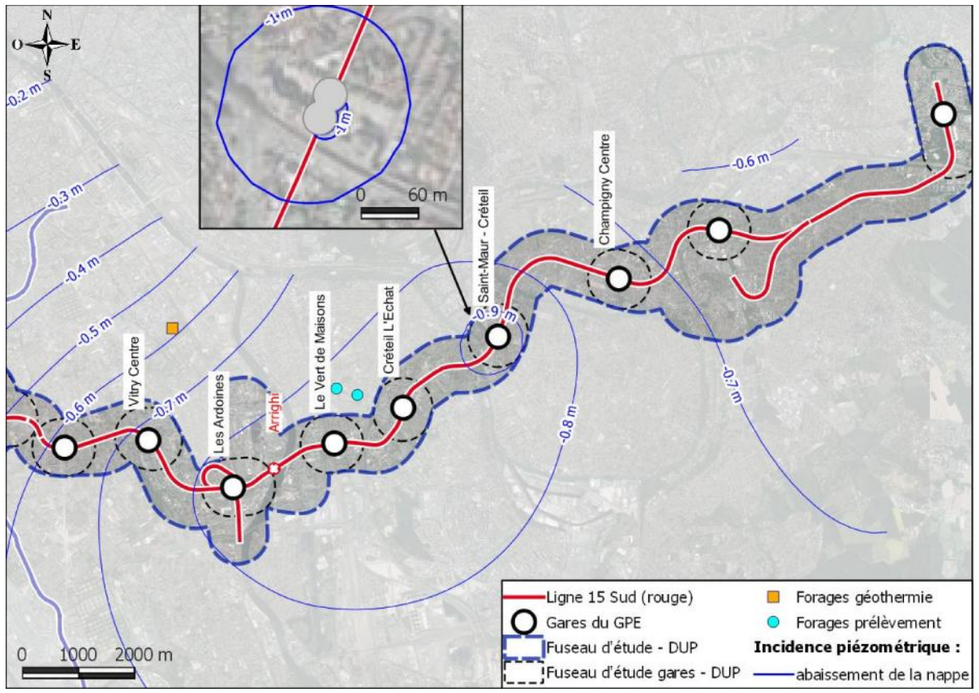


Figure 77 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement du scénario 2 dans la nappe de la craie au niveau de la plaine de Vitry

(Figure issue du modèle réalisé par BURGEAP)

L'effet piézométrique est maximal dans la nappe du Calcaire Grossier à proximité immédiate des parois moulées de la gare du Vert-De-Maisons avec des abaissements atteignant 15 mètres (le dénoyage est de 37 m au sein de la paroi moulée). Les dispositions de réduction de débit mis en place permettent donc de réduire significativement l'abaissement piézométrique à l'extérieur de l'enceinte de parois moulées.

Au niveau de la gare de Vert-De-Maisons, l'effet piézométrique est réduit de par la présence des parois moulées prolongées de jupes injectées atteignant les couches peu perméables de l'Yprésien.

Ceci étant, l'abaissement piézométrique global dans la nappe du calcaire Grossier reste significatif. Il est évalué dans ce cas de figure extrême avec des performances d'injection de sol qui sont défavorables.

Globalement, dans la nappe du Calcaire grossier, l'abaissement piézométrique supérieur à 1 m s'étend sur une étendue d'environ 30 km^2, soit à 3 km autour des gares considérées dans ce scénario comme faisant l'objet d'opérations d'épuisement. L'aquifère du Calcaire grossier est relativement mal réalimenté car il est séparé des cours d'eau et de la nappe alluviale par les formations peu perméables comprises entre le toit des Marnes et Caillasses et la base des alluvions. Ce contexte géologique particulier explique l'importance et l'étendue de l'effet piézométrique dans la nappe du Calcaire grossier.

Pour les mêmes raisons, l'effet piézométrique dans les alluvions est considérablement réduit en amplitude. Celui-ci atteint 1,5 mètre entre la Seine et la Marne et 1 m en limite d'extension des alluvions à l'ouest de la gare des Ardoines.

Le tableau suivant donne :

- le débit circulant par drainance verticale descendante au travers des Marnes et Caillasses au droit de différents secteurs du cône d'abaissement piézométrique du Calcaire Grossier ;
- les apports des cours d'eau au débit pompé c'est-à-dire la participation des cours d'eau à l'alimentation du débit d'épuisement. Le reste provient de la recharge et des apports régionaux.

SCENARIO 2 : 577 m^3/h			
Flux vertical descendant traversant les Marnes et caillasses	Surface (Km^2)	Débit m^3/h	Flux mm/an
Abaissement dans le Calcaire grossier > 4 m	0,9	44	419
Abaissement dans le Calcaire grossier > 3 m	3,3	138	362
Abaissement dans le Calcaire grossier > 2 m	10,4	249	210
Abaissement dans le Calcaire grossier > 1 m	30,0	363	106
Apport des cours d'eau au débit pompé	Débit (m^3/h)		
Apport par la Seine	100		
Apport par la Marne	16		
Apport total par les cours d'eau	116		

Tableau 73 : Bilan des flux dans le cône d'abaissement piézométrique issu du scénario 2

Dans la nappe de la craie au niveau de la gare de Saint-Maur-Créteil, l'effet piézométrique résiduel est très réduit à proximité de la paroi moulée. Il atteint environ 1 mètre pour un dénoyage de 47 mètres au sein de l'enceinte de parois moulées. L'effet piézométrique est globalement de faible amplitude à distance de la gare.

Principaux résultats du Scénario 2

L'abaissement du niveau de la nappe de la Craie serait au maximum de 1 mètre environ à proximité de la gare de Saint-Maur Créteil, et de 0,5 m à 5 km de cette station.

L'abaissement piézométrique maximal dans la nappe du Calcaire grossier est de 15 mètres à proximité immédiate des parois moulées Vert-De-Maisons.

L'abaissement du niveau de la nappe des Calcaires Grossiers peut atteindre 1 mètre à une distance de 3 km environ autour des opérations d'épuisement considérées pour ce scénario (Gares de Vitry Centre, Ardoines, Vert de Maisons). Un abaissement piézométrique supérieur à 1 mètre dans la nappe du Calcaire Grossier est constaté sur une surface d'environ 30 km^2.

L'abaissement du niveau de la nappe des alluvions est plus modéré que l'abaissement estimé dans la nappe des Calcaires Grossiers. Il est de l'ordre de 0,5 m environ à 2 km autour des Ardoines et Vert-de-Maisons. Il est par ailleurs atténué le long de la Seine et de la Marne.

Les eaux de la Seine et de la Marne contribuent à environ 20 % du débit pompé.

- ***Scenario complémentaire 3 : effets piézométriques maximaux à proximité du puits d'accès du tunnelier Arrighi : CAS DE FIGURE EXTREME***

Ce scénario complémentaire 3 prévoit un débit maximal d'épuisement au niveau du puits d'accès du tunnelier « Arrighi ». Il peut donc être considéré comme représentatif de la période où l'effet piézométrique sera le plus fort à proximité de cet ouvrage.

Le tableau suivant, issu de l'analyse fine du planning du chantier, présente l'abaissement piézométrique qui a été simulé dans chaque ouvrage exprimé en pourcentage de l'abaissement piézométrique maximal prévu.

Ouvrages	Abaissement piézométrique simulé en % de l'abaissement maximal prévu
Vitry Centre	0%
Puits Arrighi	100 %
Les Ardoines	pas d'épuisement (0%)
Le Vert de Maisons	40%
Créteil L'Échat	pas d'épuisement (0%)
Saint-Maur-Créteil	0%

Tableau 74 : Abaissement piézométrique simulé en % de l'abaissement maximal dans chaque ouvrage

Pour cette simulation, les débits d'épuisement retenus par le maître d'œuvre ont été restitués dans le modèle par l'ajustement des perméabilités des injections de sol. Les injections sont donc nettement moins performantes que ce qui est retenu usuellement de sorte à traduire des difficultés locales de traitement lié à un contexte géologique défavorable.

Cette simulation permet donc d'évaluer les effets piézométriques maximaux attendus en retenant un cas de figure extrêmement défavorable en termes d'aléas géologiques.

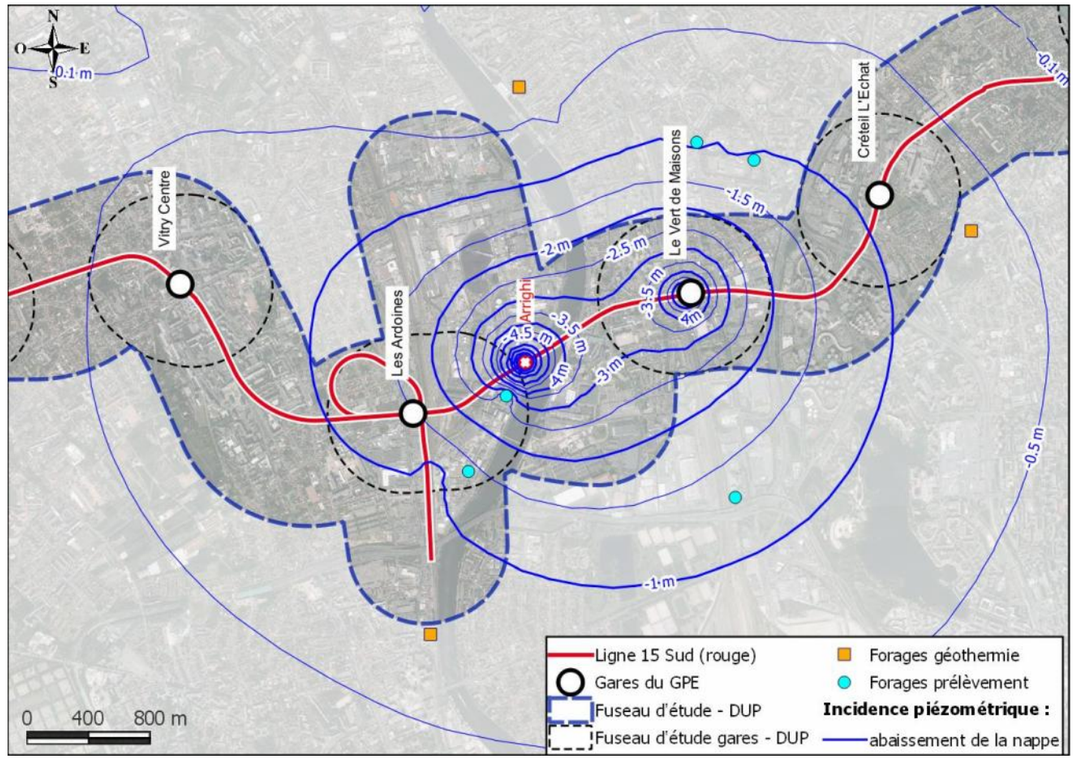
Le tableau suivant présente les débits d'épuisement simulés.

Scénario	Scénario 3 Pourcentage du dénoyage maximal dans l'enceinte de parois moulées	Débit d'épuisement (m^3/h)
Vitry Centre	0%	0
Puits Arrighi	100%	197
Les Ardoines	0%	0
Le Vert de Maisons	40%	120
Créteil L'Echat	0%	0
Saint-Maur-Créteil	0%	0
DEBIT TOTAL		308

Tableau 75 : Débits d'épuisement restitués pour le scénario 3

Le débit total prélevé atteint 308 m^3/h dans la nappe du Calcaire grossier.

Les figures suivantes présentent les effets piézométriques calculés par le modèle dans les nappes principales concernées à savoir au sein de la nappe du Calcaire Grossier et des alluvions.



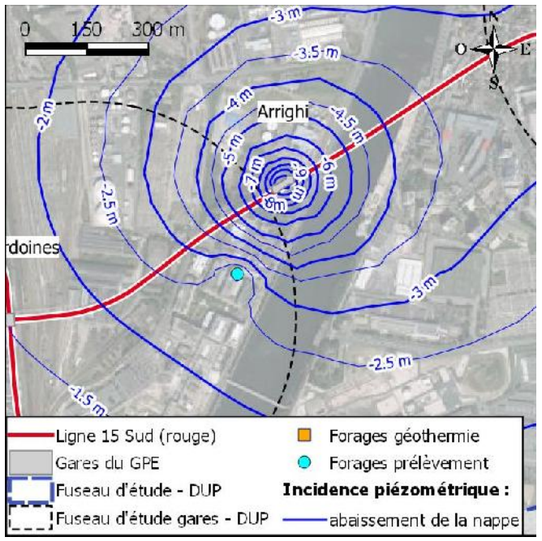


Figure 78 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement du scénario 3 dans le Calcaire Grossier au niveau de la plaine de Vitry

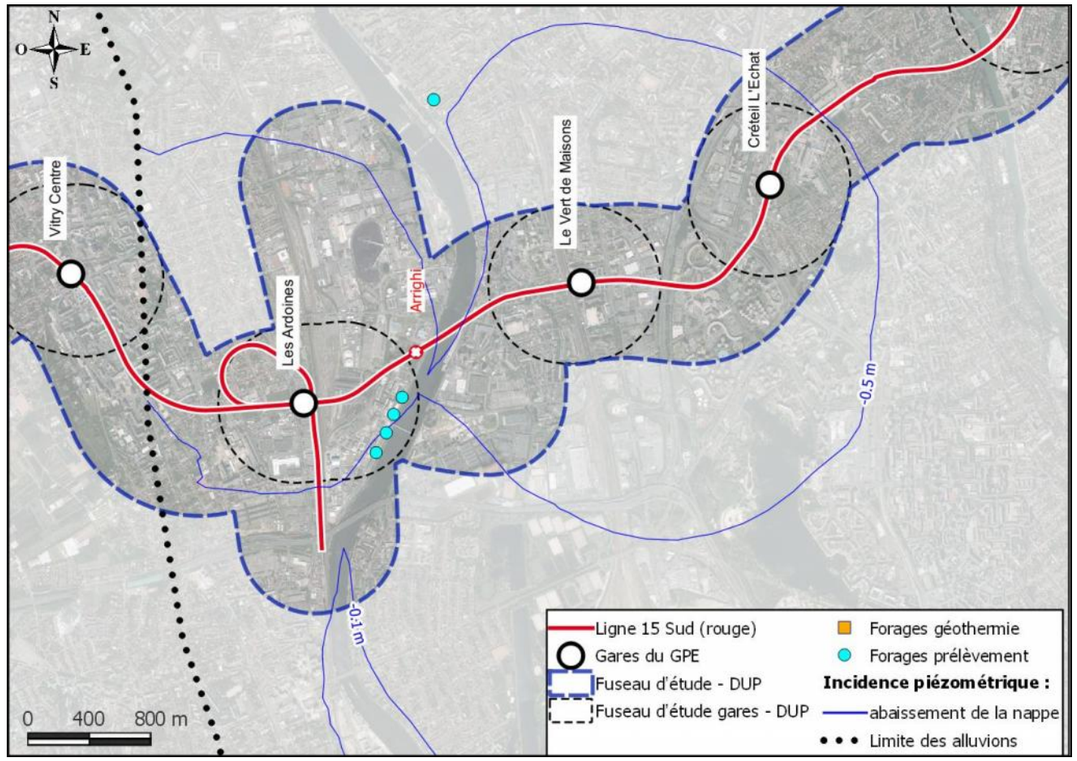


Figure 79 : Effets piézométriques des pompages d'épuisement du scénario 3 dans la nappe alluviale au niveau de la plaine de Vitry

L'effet piézométrique est maximal dans la nappe du Calcaire Grossier à proximité immédiate des parois moulées du puits Arrighi avec des abaissements atteignant 11 mètres (le dénoyage est de 32 m au sein de la paroi moulée). Les dispositions de réduction de débit mis en place permettent donc de réduire significativement l'abaissement piézométrique à l'extérieur de l'enceinte de parois moulées.

Ceci étant, l'abaissement piézométrique global dans la nappe du calcaire Grossier reste significatif. Il est toutefois nettement moins important que les autres scénarios. Il est, par ailleurs, évalué dans ce cas de figure extrême avec des performances d'injection de sol qui sont défavorables.

Globalement, dans la nappe du Calcaire grossier, l'abaissement piézométrique supérieur à 1 m s'étend sur une étendue d'environ 8,5 km^2, soit à une distance de 2 km autour du Puits Arrighi et de la gare Vert-de-Maisons.

Dans la nappe des alluvions, l'effet piézométrique est assez limité. Il atteint 0,5 m au centre de la plaine de la Seine et de la Marne. Ce scénario entraine l'abaissement piézométrique le moins important.

Le tableau suivant donne :

- le débit circulant par drainance verticale descendante au travers des Marnes et Caillasses au droit de différents secteurs du cône d'abaissement piézométrique du Calcaire Grossier ;
- les apports des cours d'eau au débit pompé c'est-à-dire la participation des cours d'eau à l'alimentation du débit d'épuisement. Le reste provient de la recharge et des apports régionaux.

SCENARIO 3 : 308 m^3/h			
Flux vertical descendant traversant les Marnes et caillasses	Surface (Km^2)	Débit m^3/h	Flux mm/an
Abaissement dans le Calcaire grossier > 4 m	0,2	12	451
Abaissement dans le Calcaire grossier > 3 m	0,9	37	365
Abaissement dans le Calcaire grossier > 2 m	2,6	74	252
Abaissement dans le Calcaire grossier > 1 m	8,3	117	123
Apport des cours d'eau au débit pompé	Débit (m^3/h)		
Apport par la Seine	39		
Apport par la Marne	8		
Apport total par les cours d'eau	47		

Tableau 76 : Bilan des flux dans le cône d'abaissement piézométrique issu du scénario 3

5.5.1.5 Tests de sensibilité

Afin d'évaluer l'incertitude du modèle, plusieurs tests de sensibilité ont été réalisés sur les principaux paramètres susceptibles d'influencer les résultats tels que :

- le colmatage des cours d'eau (test 1). Le colmatage des cours d'eau influence directement la qualité des échanges nappe-rivière. Le colmatage retenu dans le modèle d'origine a été callé afin de reproduire correctement ces ondes de crues observées dans des piézomètres. Ces observations proviennent de sites compris entre la confluence et Paris. Les informations relatives au colmatage de la Seine et la Marne en amont de la confluence sont rares et ont donc été extrapolées à partir des données aval. Nous avons donc réalisé un test qui suppose une relation hydraulique sans colmatage entre la nappe et les cours d'eau afin de tester l'incertitude du modèle sur cette lacune, et un autre test dans lequel nous supposons un colmatage important. Ce colmatage important serait justifié par les nombreux prélèvements industriels qui ont eu lieu jusque récemment, et qui ont pour effet de plaquer les fines dans le lit de la Seine.

  Un autre test a été réalisé consistant à considérer le colmatage de la Seine comme étant plus important dans le secteur de Vitry et Créteil où de nombreux prélèvements ont existé. En effet, il est possible de considérer que des fines présentent dans l'eau de la Seine migrent par le jeu des pompages au travers des premiers mètres d'aquifères qu'elles finissent par colmater ;

- La perméabilité horizontale des principaux horizons aquifères (test 2). La perméabilité horizontale des principaux aquifères retenue dans le modèle peut être considérée comme vraisemblable. Nous avons réalisé un test de sensibilité sur ce paramètre en considérant une perméabilité horizontale plus faible des terrains, représentatif de conditions plutôt défavorables pour ce paramètre à l'échelle du modèle ;

- La perméabilité verticale des sables de Beauchamp intermédiaire (test 3). La perméabilité verticale des sables de Beauchamp intermédiaire est un des paramètres principaux qui conditionne les relations entre la nappe du Calcaire grossier (où sont pratiqués les pompages) et la nappe des alluvions.

Le Tableau 77 suivant présente une synthèse du résultat des tests de sensibilité.

Au vue de ces résultats les résultats du modèle sont peu sensibles aux variations des paramètres hydrodynamiques testés. Les différences entre les abaissements piézométriques calculés avec les paramètres hydrodynamiques initiaux et les abaissements calculés lors des tests de sensibilité sont comprises entre 5 et 20 % environ. De ce fait, une confiance élevée peut être accordée aux effets piézométriques calculés par le modèle en réponse aux débits d'épuisement restitués.

5.5.1.6 Analyse des impacts sur les prélèvements existants

Le Tableau 78 suivant présente une synthèse des effets piézométriques sur les différentes exploitations d'eau souterraine recensées dans les environs du projet qui sont toujours en activité d'après les informations disponibles. Les exploitations d'eau souterraines étudiées sont celles dont les informations ont pues être récupérées auprès :

- Des exploitants eux-mêmes,
- Des fichiers de l'agence de l'eau disponible,
- De l'examen des dossiers à la police de l'eau,
- D'une enquête auprès d'entreprises de forage.

Il est possible toutefois que ce recensement ne soit pas parfaitement exhaustif. En effet, il existe plusieurs autres « points d'eau » enregistrés à la Banque de données du sous-sol dont il très difficile de connaître l'état d'exploitation. Il s'agit essentiellement d'ouvrages très anciens qui sont vraisemblablement fermés. Par ailleurs, l'existence de prélèvements d'eaux souterraines non déclarés est toujours possible.

Pour le cas particulier des doublets de géothermie sur nappe et des pompages de confinement, l'effet piézométrique est également décrit en termes de modifications des directions et gradient d'écoulement. En effet, un dispositif de géothermie sur nappe avec réinjection comprend à minima deux ouvrages : un ouvrage de pompage et un ouvrage d'injection. L'ouvrage d'injection est positionné en fonction de l'espace disponible et du gradient d'écoulement de la nappe de sorte à ce que l'eau réinjectée ne soit pas (ou peu) recyclée vers le puits de pompage au risque de dégrader la température pompée et donc la performance du système.

Tableau 77 : Tableau synthétique des résultats des tests de sensibilité réalisés sur les perméabilités du modèle

Test	Perméabilité d'origine	Valeurs modifiées	Sensibilité du modèle au test	Description des résultats du test
<u>Test 1 :</u> Test de l'influence du colmatage des cours d'eau	Colmatage de la Seine dans la plaine de Vitry $1x10^{-5}$ m/s/m	Colmatage de la Seine dans la plaine de Vitry $1x10^{-2}$ m/s/m (moins de colmatage) $3x10^{-7}$ m/s/m (plus de colmatage)	Faible pour les débits, modérés pour les impacts le long du tracé, importante pour le degré d'échange nappe-rivière	En considérant un colmatage moins important : Les apports par la Seine sont doublés (d'une centaine de m³/h à 200 m³/h environ). Les apports par la Marne sont multipliés par six (d'une cinquantaine de m³/h à 300 m³/h environ). Les impacts dans les alluvions sont sensiblement atténués le long de la Seine et de la Marne. Entre les deux, l'effet est faible (abaissement de 3 m au lieu de 3,5 m). Dans le Lutétien, les impacts piézométriques diminuent globalement de 20% environ dans un périmètre de 1 km autour du tracé, voire près de 50% à plus grande distance. En considérant un colmatage plus important : Les impacts dans le Lutétien sont sensiblement plus importants (de l'ordre de +10% à proximité des stations, et de l'ordre de +25% environ à 1 km de distance). Les impacts dans les alluvions sont également accentués, jusqu'à +1m de baisse piézométrique à proximité de la Seine ainsi qu'en rive gauche entre la Seine et la station de Vitry Centre. Dans le secteur de la Marne les modifications ne sont pas significatives étant donné que le colmatage reste inchangé par rapport à l'état initial. Notons toutefois qu'accentué le colmatage réduit significativement la qualité du calage en régime permanent, les cotes piézométriques étant rehaussées dans la nappe des alluvions de la plaine (+1 m environ à hauteur des Ardoines). L'influence du colmatage, qu'il soit absent ou plus important, est très faible sur les débits de pompage qui sont quasiment équivalents à ceux du scénario de référence.
<u>Test 2 :</u> Test de la perméabilité horizontale des principaux horizons aquifères	Saint-Ouen : $1,5x10^{-4}$ m/s Marnes et Caillasses : $2,33x10^{-4}$ m/s Calcaires Grossiers : $8x10^{-5}$ m/s	Saint-Ouen : $5x10^{-5}$ m/s Marnes et Caillasses : $8x10^{-5}$ m/s Calcaires Grossiers : inchangé	Faible pour les débits et pour les impacts	Les débits sont globalement réduits de 10 à 20% par rapport au scénario de référence. Les impacts sont sensiblement les mêmes.
<u>Test 3 :</u> Test de la perméabilité verticale des sables de Beauchamp intermédiaires	$5x10^{-9}$ m/s	$5x10^{-7}$ m/s $1x10^{-10}$ m/s	Faible pour les débits et pour les impacts	Les débits et les impacts sont sensiblement les mêmes.

Tableau 78 : Synthèse des effets piézométriques sur les prélèvements recensés dans le périmètre d'incidence piézométrique de la plaine de Vitry

Site	Usage	Fiche BSS disponible	Nappe captée	Type de nappe	Nom du forage	Localisation	Débits actuels et besoins de pompage	Débit maximum testé	Rabattement maximal au débit de pointe testé (m)	Baisse du niveau piézométrique engendré par le projet (m)	Modification du gradient d'écoulement
BIO SPRINGER Maisons-Alfort	Eau industrielle	non	inc.	inc.	F2	partie Nord-Est du site	Débit total d'exploitation de 170 m³/h (24/24 et 7/7), la majorité du prélèvement étant pompé à parts égales par deux puits (à priori le F6 et le F15).	inc.	inc.	-3 m	sans objet compte tenu de l'usage
		oui	Lutétien, Yprésien, Craie	captive	F3	partie Est du site		inc.	inc.	-3 m	
		oui	Yprésien	captive	F4	partie Nord du site		inc.	inc.	-3 m	
		oui	Lutétien, Yprésien, Craie	captive	F6	centre du site		140	-11,5	-3,5 m	
		oui	Lutétien, Yprésien, Craie	captive	F15	partie Sud du site		170	-40	-4 m	
SANOFI Vitry-Sur-Seine	Eau industrielle	oui	Lutétien (a priori)	captive	à priori 219-3X-0320 F	partie Ouest du site	Débit de pointe de l'ordre de 100 m³/h, de mai à octobre environ, prélevé à partir d'un seul ouvrage	F : 96 m³/h F2 : 225 m³/h	F : -42,5 m F2 : -29,45 m	-3 m	sans objet compte tenu de l'usage
	Confinement	non	Alluvions	semi-captive	Forages 1 à 4	Le long de la bordure Est du site (le long de la Seine).	Environ 12 m³/h au total sur tous les puits	inc.	inc.	-0,5 m	Baisse du gradient de 4°/oo à l'état initial à 1°/oo en phase chantier. L'orientation des écoulements qui était sud-est devient nord-est, et reste globalement dirigée vers la Seine.
RESIDENCE DU COLOMBIER Créteil	Géothermie	oui	Lutétien	captive	F1-Puits de pompage	à l'est-nord-est du site	Débit de pointe de 110 m³/h	101	-8,79	-3 m	Augmentation du gradient de 1 °/oo à 5°/oo. La direction du gradient, qui est nord-ouest à l'état initial, devient ouest pendant le projet.
					F2-Puits de rejet	à l'ouest-sud-ouest du site					
CENTRE AQUATIQUE Alfortville	Géothermie	non	Sables inférieurs	captive	Puits de pompage	inc.	Débit de pointe de 100 m³/h	inc.	-13	-0,5m	Le gradient et son orientation sont inchangés.
					Puits de rejet	inc.					
MEDIATHEQUE Alfortville	Géothermie	non	Sables inférieurs	captive	Puits de pompage	inc.	Débit de pointe 40 m³/h	inc.	inc.	-0,5m	Le gradient et son orientation sont inchangés.
					Puits de rejet	inc.					
ARTELIA Choisy-le-Roi	Géothermie	Non	Lutétien	captive	Puits de pompage	sud-est du site	Débit de pointe de 60 m³/h	inc.	inc.	-1,7 m	Augmentation du gradient de 0,8 °/oo à 1,7°/oo. La direction du gradient, qui est nord-est à l'état initial, devient nord pendant le projet.
					Puits de rejet	nord-ouest du site					
MANUFACTURE DES LUNETTES Sucy-en-Brie	Géothermie	non	Lutétien	captive	Puits de pompage	sud du site	Débit de pointe 70 m³/h	inc.	inc.	-0,4m	Le gradient et son orientation sont inchangés.
					Puits de rejet	nord du site					
EHPAD Ivry	Géothermie	nn	Craie	captive	Puits de pompage		Débit de pointe de 45 m³/h. Volume annuel de 8000 m³	inc.	inc.	-0,4 m	Le gradient et son orientation sont inchangés.
					Puits de rejet						
INCINERATEUR Créteil	Eau industrielle	oui	Lutétien	captive	inc.		Débit moyen de 10 m³/h	75	-2,6	-1,5 m	sans objet compte tenu de l'usage
F1 (ARROSAGE) Alfortville	Arrosage	oui	alluvions	semi-captive	inc.			inc.	inc.	-1,5m	sans objet compte tenu de l'usage
SAINT GOBAIN Sucy-en-Brie	Eau industrielle	oui	Lutétien	captive	inc.		Débit moyen de 22 m³/h	80	-23,9	-0,5m	sans objet compte tenu de l'usage
COINDEROUX Ivry	Eau industrielle	oui	alluvions	libre ou semi-captive	inc.		Débit de pointe 56 m³/h	56	-1	-0,3m	sans objet compte tenu de l'usage

5.5.2 Simulation de l'effet barrage (phase définitive)

5.5.2.1 Gare de Fort d'Issy-Vanves-Clamart

La future gare d'Issy-Vanves-Clamart traversera localement la totalité des Marnes et Caillasses et des Calcaires grossiers du Lutétien. Au niveau de ce secteur, le tunnel oscille dans les formations de l'Yprésien, non aquifère, ainsi que dans la Craie sous-jacente. L'effet barrage provoqué par le tunnel dans cette zone est négligeable.

La figure suivante permet de visualiser le relèvement et l'abaissement de la nappe du Lutétien créé par le projet par rapport à l'état de référence.

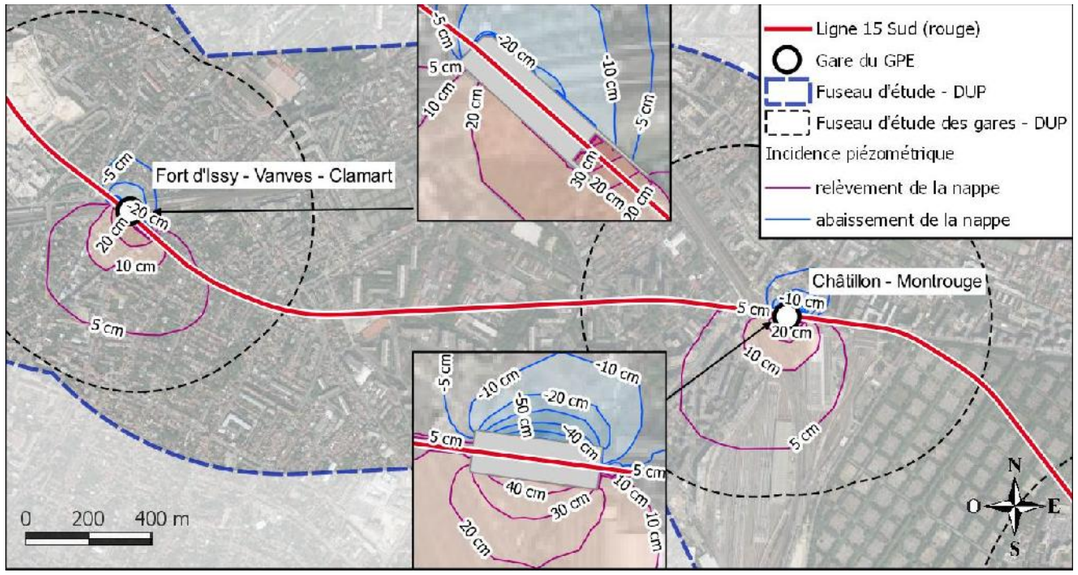


Figure 80 : Impacts de la gare de Fort d'Issy-Vanves-Clamart sur l'écoulement souterrain de la nappe du Lutétien

5.5.2.2 Gare de Châtillon-Montrouge

La future gare de Châtillon-Montrouge traversera localement la totalité des Marnes et Caillasses et des Calcaires grossiers du Lutétien. Au niveau de ce secteur, le tunnel traversera localement une partie des Calcaires grossiers.

La figure suivante permet de visualiser le relèvement et l'abaissement de la nappe du Lutétien créé par le projet par rapport à l'état de référence.

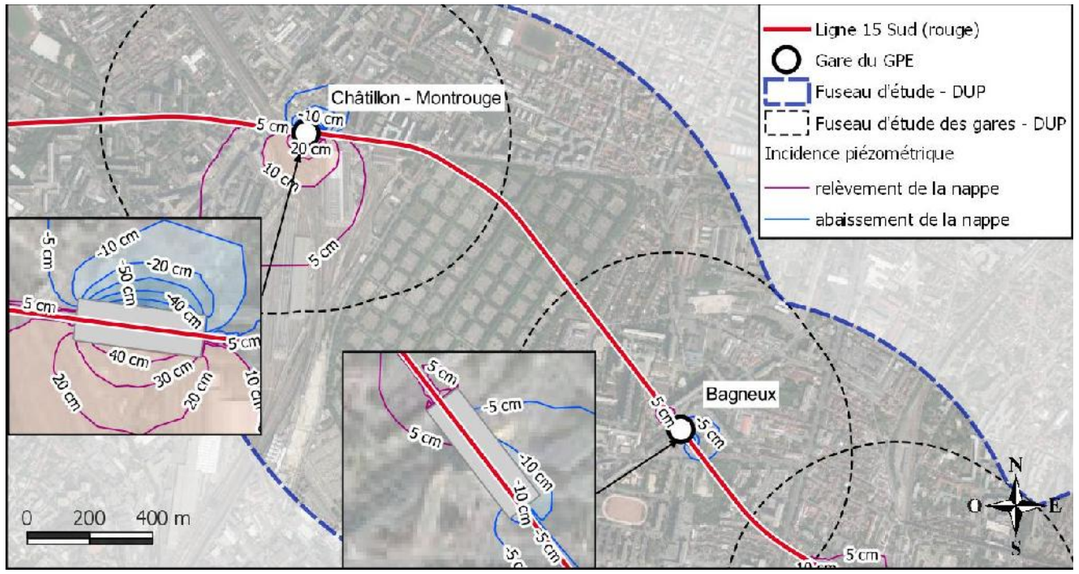


Figure 81 : Impacts de la gare de Châtillon-Montrouge sur l'écoulement souterrain de la nappe du Lutétien

Les résultats des simulations montrent que les impacts de la future gare sur les écoulements souterrains de la nappe du Lutétien restent faibles. Le relèvement en amont de la gare est estimé à +0,50 m et l'abaissement en aval à -0,60 m.

5.5.2.3 Gare de Bagneux

La future gare de Bagneux traversera localement la totalité des Marnes et Caillasses et des Calcaires grossiers du Lutétien ainsi que le la totalité du Marno-calcaire de Saint-Ouen. Le tunnel dans ce secteur occulte la partie inférieure du Calcaire grossier du Lutétien.

La figure précédente permet de visualiser le relèvement et l'abaissement de la nappe du Lutétien créé par le projet par rapport à l'état de référence.

Les résultats des simulations montrent que l'effet piézométrique est extrêmement faible à proximité de la gare de Bagneux. Les modifications piézométriques issues du modèle n'excèdent pas une dizaine de centimètres à proximité immédiate de la gare, ce qui est négligeable.

5.5.2.4 Gare d'Arcueil-Cachan

La future gare d'Arcueil-Cachan traversera localement la totalité des Marnes et Caillasses et des Calcaires grossiers du Lutétien.

La figure suivante permet de visualiser le relèvement et l'abaissement de la nappe du Lutétien créé par le projet par rapport à l'état de référence.

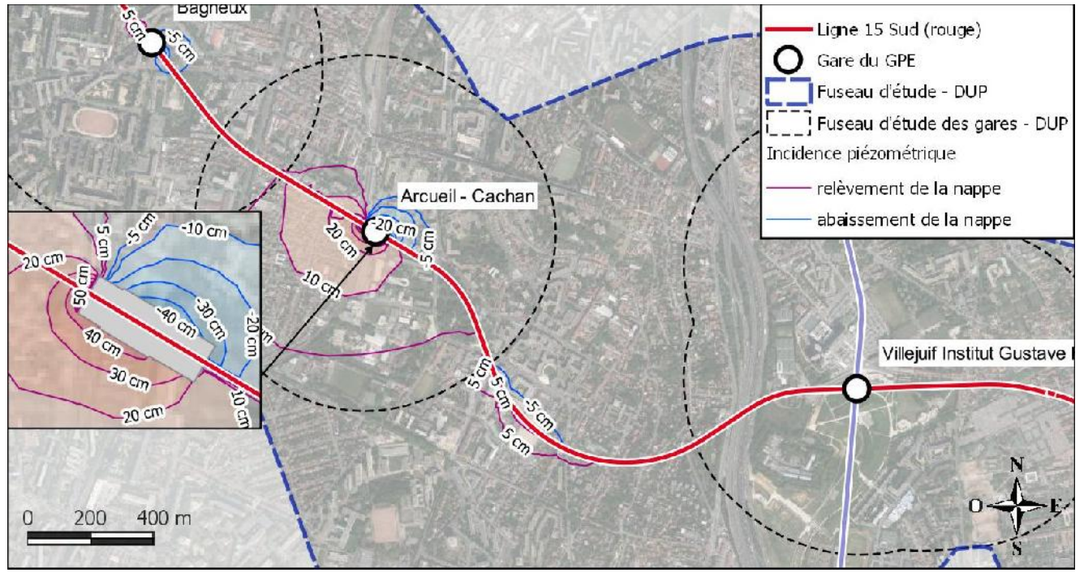


Figure 82 : Impacts de la gare d'Arcueil-Cachan sur l'écoulement souterrain de la nappe du Lutétien

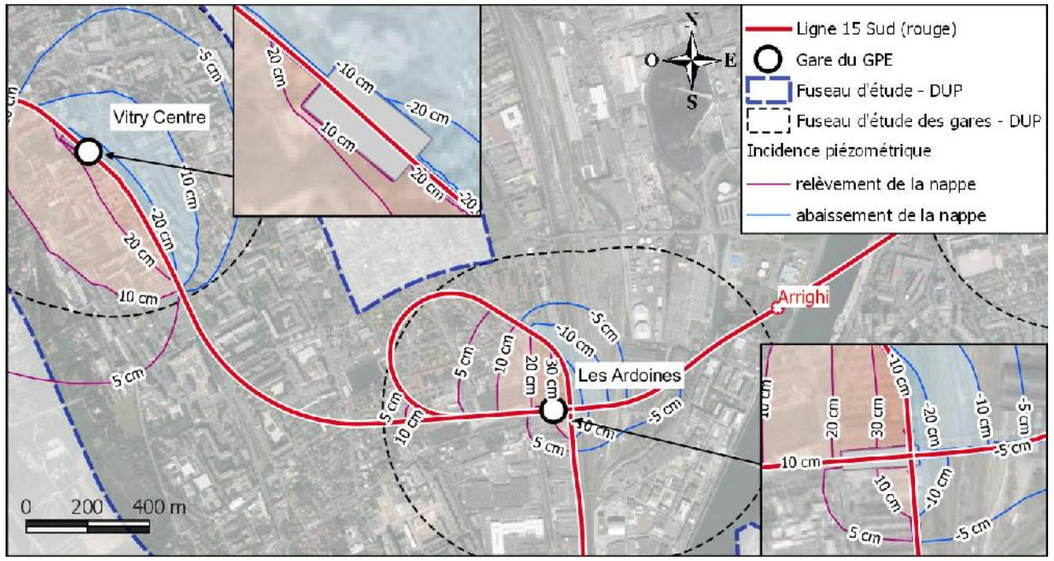


Figure 83 : Impacts des gares Vitry-Centre, Ardoines et du Puits tunnelier Arrighi sur l'écoulement souterrain de la nappe du *Lutétien*

Les résultats des simulations montrent que l'effet piézométrique est faible à proximité de la future gare d'Arcueil-Cachan. Les modifications piézométriques issues du modèle atteignent près de 0,4 mètre à proximité immédiate de la gare, ce qui est négligeable.

5.5.2.5 Plaine de Vitry

Les figures suivantes présentent les résultats des simulations. Elles permettent de visualiser le relèvement et l'abaissement de la nappe créé par le projet par rapport à l'état de référence dans la nappe des alluvions de la plaine de Vitry, entre les stations Vitry Centre et Champigny Centre.

Les résultats des simulations montrent que l'effet piézométrique est limité. Les modifications piézométriques calculées n'excèdent pas une dizaine de centimètres.

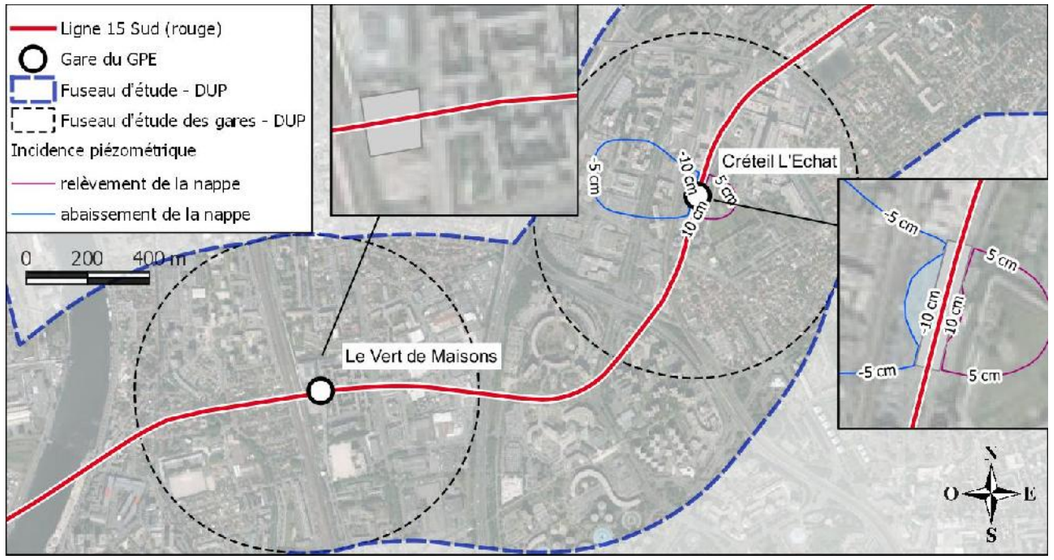


Figure 84 : Impacts des gares Vert de Maisons et Créteil l'Echat sur l'écoulement souterrain de la nappe du Lutétien

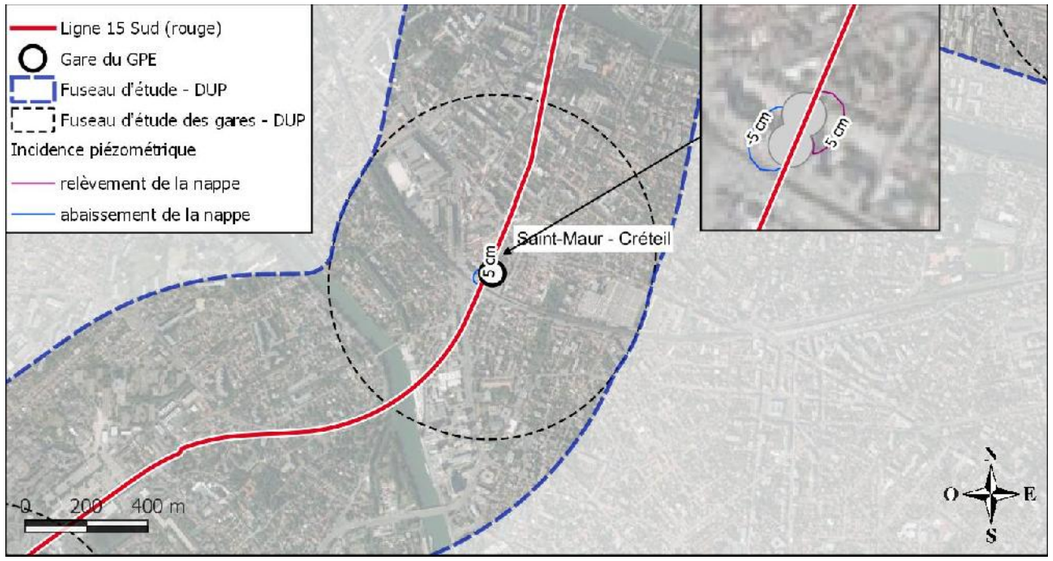


Figure 85 : Impacts de la gare Saint-Maur-Créteil sur l'écoulement souterrain de la nappe du Lutétien

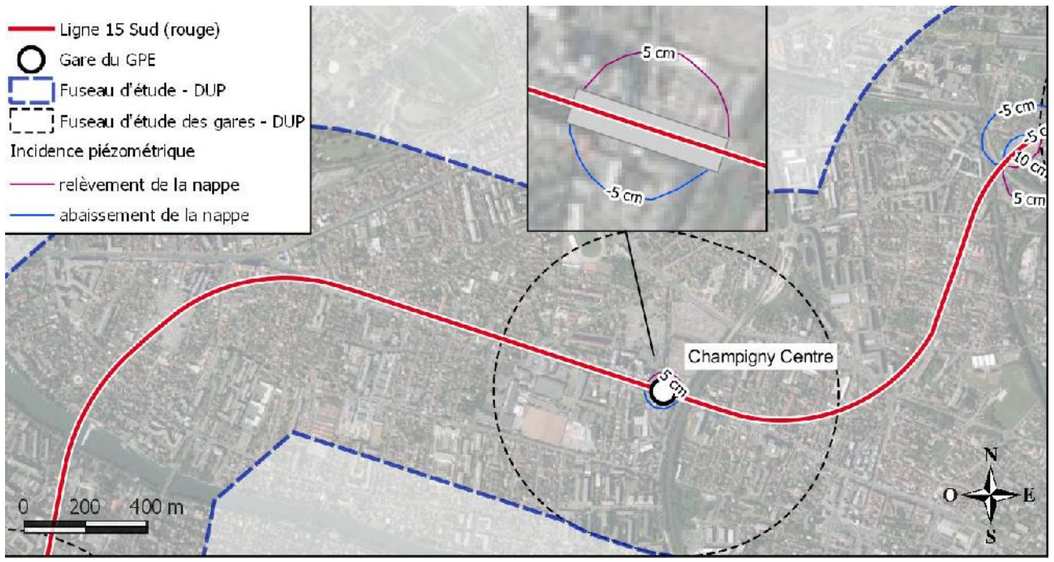


Figure 86 : Impacts de la gare Champigny Centre sur l'écoulement souterrain de la nappe du Lutétien

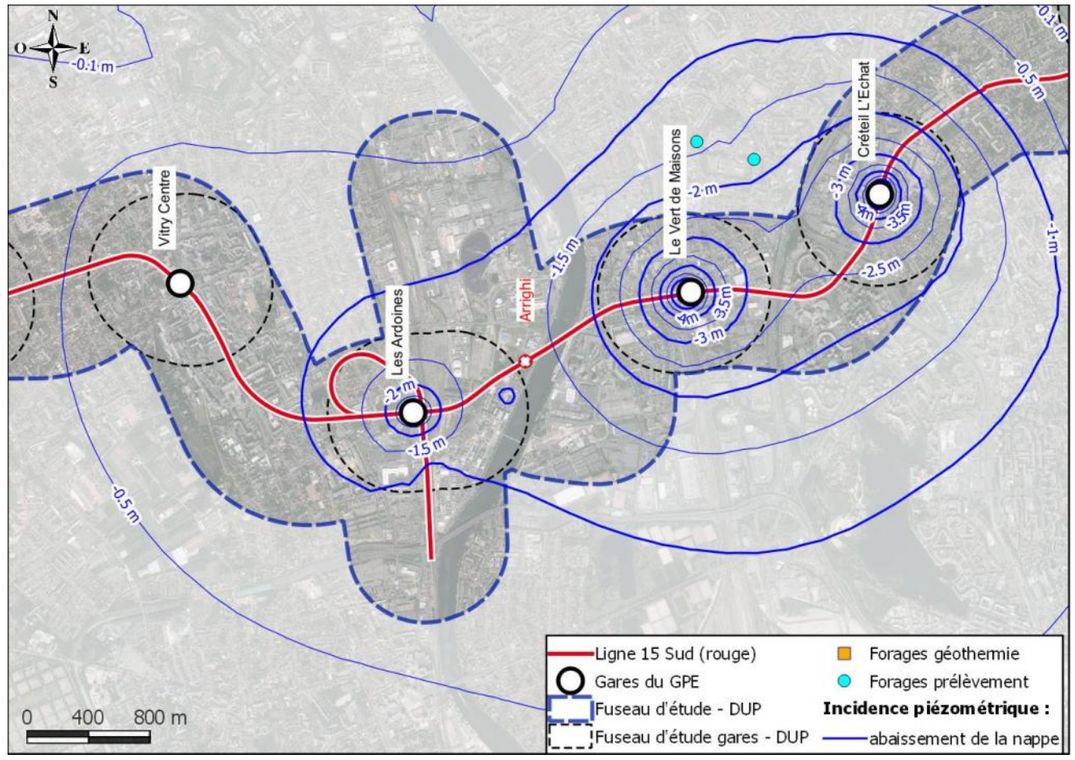


Figure 87 : Effets piézométriques dans le Lutétien (test de sensibilité n°1)

5.6 Conclusions

Le projet de métro du Grand Paris « ligne 15 sud » entre Fort-d'Issy-Vanves-Clamart et Champigny Centre a fait l'objet d'une étude hydrogéologique par modélisation afin de préciser ses impacts potentiels sur les nappes d'eau souterraine. La construction du modèle et les résultats des simulations du projet sont l'objet de ce rapport.

Les résultats du modèle présentés dans ce rapport ont pour objectif de fournir les éléments quantitatifs hydrogéologiques nécessaires pour évaluer l'impact du projet sur les différents enjeux sensibles aux conditions d'écoulement des eaux souterraines.

Sur le plateau entre Fort d'Issy et Arcueil Cachan la principale nappe concernée par les impacts est la nappe du Lutétien. Les impacts attendus dans ce secteur sont principalement liés à l'effet barrage du tunnel et des stations en phase d'exploitation.

Dans la plaine de Vitry jusqu'à Champigny Centre les nappes concernées sont celles des alluvions, du Lutétien et dans une moindre mesure de la craie. Les impacts attendus dans ce secteur sont principalement ceux liés aux pompages d'épuisement prévus à des débits non négligeables dans les gares de la plaine en phase chantier malgré les dispositions constructives prévues pour réduire les débits d'exhaure. Un effet barrage est également attendu en phase définitive dans ce secteur.

Ce modèle représente toutes les unités géologiques comprises entre les alluvions et la craie saine qui forme le fond du modèle. Les formations situées au-delà du Calcaire de Saint Ouen sont amalgamées en une seule couche numérique et ne font pas partie des objectifs du modèle. Ainsi, les gares et le tunnel entre Villejuif IGR et Villejuif Louis Aragon ne pénétreront pas dans les aquifères ciblés par ce modèle et ne font pas partie des simulations.

Le modèle a été calé en régime permanent sur un jeu de hauteurs piézométriques mesurées en Avril 2014 et réparties dans les différentes unités hydrogéologiques traversées par le projet et le modèle. Ces mesures proviennent du réseau de piézomètres de la Société du Grand Paris ; ces piézomètres sont principalement alignés le long du tracé. Afin de consolider le calage en dehors du tracé, des hauteurs piézométriques asynchrones issues d'autres piézomètres ont également été utilisées.

Le modèle a également été calé en régime transitoire sur la base de chroniques piézométriques représentant la propagation d'ondes de crues de la Seine, mesurées en différents sites entre Paris et Vitry. Ces mesures proviennent pour l'essentiel des archives de Burgeap.

Deux types d'effet sur les eaux souterraines ont donc été simulés au moyen du modèle calé :

- l'effet lié à l'abaissement du niveau de nappe en phase chantier dans la plaine de Vitry, potentiellement induit lors de la construction des gares par la mise en œuvre de pompages d'épuisement permettant de pouvoir construire les infrastructures profondes au sec,

- l'effet en phase définitive du tunnel et des gares résultant de la perturbation des écoulements souterrains induit par l'obstacle créé par la présence du tunnel et des gares (« effet de barrage »), sur tout le linéaire du tracé étudié (plaine de Vitry et plateau d'Issy à Arcueil Cachan).

Des dispositions constructives telles que des parois moulées et des injections de sol (fonds et jupes injectées) sont prévues pour limiter les débits d'épuisement en phase chantier. Pour l'étude des effets piézométriques en phase chantier, deux cas de figure ont été envisagés. Le premier cas de figure considéré comme probable permet d'évaluer l'effet piézométrique en phase chantier en considérant des performances usuelles en termes d'efficacité des injections de sol permettant de réduire les débits d'épuisement. Le second cas de figure, considéré comme extrême, permet d'évaluer l'effet piézométrique en phase chantier en considérant de moins bonnes performances des dispositions constructives en raison notamment d'aléas géologiques locaux.

Les résultats des simulations effectuées à partir du modèle calé et pour le cas probable montrent que les impacts de la mise en place du tronçon de la ligne 15 Sud du projet de métro, sur le secteur étudié, seraient les suivants :

- Au niveau de la plaine de Vitry, pour les gares situées entre Vitry Centre et Saint-Maur-Créteil nécessitant des pompages d'épuisement non négligeables, l'effet piézométrique durant la phase travaux, c'est-à-dire l'abaissement du niveau de la nappe, serait :

  - de l'ordre de 5 mètres dans le périmètre immédiat des stations, et 0,5 à 1 mètres à une distance de 1 km des stations environ, dans les calcaires grossiers ;

  - compris entre 1,5 et 0,1 mètre dans les alluvions ;

  - de l'ordre d'une dizaine de centimètres dans la nappe de la Craie.

Les résultats des simulations effectuées à partir du modèle calé et pour le cas extrême, c'est-à-dire le plus défavorable, montrent que les impacts de la mise en place du tronçon de la ligne 15 Sud du projet de métro, sur le secteur étudié, seraient les suivants :

- Au niveau de la plaine de Vitry, pour les gares situées entre Vitry Centre et Saint-Maur-Créteil nécessitant des pompages d'épuisement non négligeables, l'effet piézométrique durant la phase travaux, c'est-à-dire l'abaissement du niveau de la nappe, serait :

  - compris entre 10 mètres dans le périmètre immédiat des stations, et 1 à 5 mètres à une distance de 1 km des stations environ, dans les calcaires grossiers ;

  - compris entre 3 et 0,5 mètre dans les alluvions ;

  - compris entre 1 mètre et une dizaine de centimètres dans la nappe de la Craie.

Plus particulièrement, les impacts sur les forages identifiés dans le secteur, et exploitant un ou l'autre des aquifères étudiés, sont compris entre 0,5 et 4 mètres.

Des tests de sensibilité ont montré que les résultats du modèle étaient globalement peu sensibles aux variations de paramètres hydrodynamiques testés dans des gammes raisonnables. De ce fait, une confiance importante peut être accordée aux effets piézométriques calculés par le modèle en réponse aux débits d'épuisement restitués.

En phase définitive, après mise en place des infrastructures : l'impact piézométrique lié à la présence du tunnel et des gares est de l'ordre :

- de la vingtaine à la cinquantaine de centimètres pour la nappe des calcaires grossiers entre les stations de Fort-d'Issy et Arcueil-Cachan, soit un impact équivalent à l'ordre de grandeur du battement moyen observé pour cette nappe dans ce secteur (0,3 à 1 m environ). L'impact serait localisé autour des stations, et serait insignifiant entre les stations,

- de la trentaine à la demi-dizaine de centimètres pour la nappe des calcaires grossiers et/ou la nappe phréatique dans la plaine de Vitry, soit un impact inférieur au battement moyen observé pour ces nappes dans ce secteur (0,5 à 1 m environ).

- l'impact piézométrique est nul dans l'aquifère de la craie,

Il conviendra, au cours des phases d'étude ultérieures, de vérifier et de valider ou au contraire d'infirmer ces hypothèses ainsi que :

- les perméabilités des principales formations géologiques, qui seront déterminées à l'issue des pompages d'essai qui doivent être réalisés au droit de chaque gare. Les perméabilités retenues dans le modèle sont celles issues de revues bibliographiques, de résultats d'essais dans le secteur d'étude et du calage des mesures piézométriques effectuées au droit du tracé pour ce projet et disponibles dans la bibliographie.

- les débits d'épuisement qui seront nécessaires pour la construction des infrastructures. Ces débits dépendent de la perméabilité des terrains en place et de la performance et de la géométrie des dispositions constructives sui seront réalisés pour limiter les venues d'eau (injections de sol notamment) En attente des pompages d'essai, les débits d'épuisement retenus, issus des estimations préliminaires de la Maîtrise d'œuvre, sont sécuritaires.

5.7 Bibliographie

[1] ADES – banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, http://www.ades.eaufrance.fr

[2] AGENCE DE L'EAU SEINE NORMANDIE (2007) – Listing des prélèvements collectifs, industriels et agricoles pour les départements de Seine (Paris) et du Val de Marne (94)

[3] AGENCE REGIONALE DE SANTE ILE-DE-FRANCE (2011 - 2012) – Carte de localisation des prises d'eau et des captages d'alimentation en eau potable sur les départements de Seine (Paris) et du Val de Marne (94)

[4] ANTEA – inventaire des perméabilités issues de la BSS et des archives d'ANTEA

[5] AQUI' Brie : association de l'aquifère des calcaires de Champigny en Brie. Site internet www.aquibrie.fr

[6] ARCADIS (2013) – Synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique à l'issue des reconnaissances G11

[7] ARCADIS (2013) – Profil en long géologique et hydrogéologique – Synthèse de reconnaissance G11

[8] BRGM (1980) - Carte géologique au 1 / 25 000 de Paris

[9] BRGM (1989) – Carte géologique au 1 / 50 000 de Corbeil

[10] BRGM - Base de données Infoterre, banque du sous-sol (BSS), http://infoterre.brgm.fr/

[11] BRGM (1966) – Etat de la documentation sur les ouvrages souterrains implantés sur la feuille topographique de Paris et synthèse hydrogéologique provisoire

[12] BRGM – Carte hydrogéologique de la feuille de Paris. P. Diffre, 1970

[13] BRGM (2008)- RP56341-FR, Inventaire des installations géothermiques sur eaux souterraines à Paris

[14] BURGEAP (1947 – 2013) – Archives internes de la société

[15] BURGEAP (2013) – RGHCIF00530 Analyse détaillée du contexte hydrogéologique dans le cadre de la modélisation de la ligne 14 sud, Secteur Kremlin Bicêtre

[16] DALKIA 2012 (bureau d'études G2H conseils) – Résidence du Colombier – Créteil – Rapport de fin de travaux des forages F1 et F2.

[17] DHI-WASY GmbH, 2010 – DIERSCH – Logiciel FEFLOW, version 6.2

[18] FUGRO, ERG, FONDOUEST, TECHNOSOL (2013) – Ligne 15 Sud : Rapports de mission de reconnaissances G11

[19] INSPECTION GENERALE DES CARRIERES (1967 – 1990) – Carte géologique au 1 / 5 000 de Paris

[20] Lamé, Aurélie (2014) – Modélisation hydrogéologique des aquifères de Paris et impacts des aménagements du sous-sol sur les écoulements souterrains.

[21] Mégnien (1979) – Hydrogéologie du centre du bassin de Paris. Mémoire du BRGM n°98

[22] Mégnien (1970) – Atlas des nappes aquifères de la région parisienne

[23] METEO FRANCE – Publithèque, données de la pluie brute et de l'évapotranspiration potentielle à Paris Montsouris, période 1982 - 2013

[24] Monnier – Evaluation of the influence of urban development on groundwater recharge north-east of Paris (France). Bull Eng Geol Env (2001 59:329-342 Springer Verlag.

[25] RATP – Listing des volumes rejetés pendant la période 2007-2008 sur la Ville de Paris

[26] RATP (2012 - 2013) – Tronçon Olympiades – Aéroport d'Orly, Etudes préliminaires, infrastructure. Plans structures gares et rapport de description. Gare de Maison Blanche Paris XIII. Gare de Kremlin-Bicêtre Hôpital / Gabriel Péri. Gare de Villejuif Institut Gustave Roussy

[27] SAGE Marne Confluence. Etat des lieux Partie 4 : l'état des écosystèmes et leur fonctionnement. Site internet : http://www.sage-marne-confluence.fr

[28] SETEC (17/12/2012) – Tronçon Olympiades – Aéroport d'Orly. Etudes préliminaires approfondies. Tracé de la ligne. Vue en plan et profil en long

[29] SIAAP (2010) – Cote du radier des ovoïdes d'assainissement le long de la vallée de la Bièvre

[30] Société du Grand Paris (2014) – Synthèse des reconnaissances G11

[31] Société du Grand Paris (2014) – Tracé vue en plan et profil en long du Tronçon 3

[32] SOYER (1953) – Géologie de Paris.

6 Annexe 6 : Fiches de résultats détaillés des campagnes de mesures des niveaux de bruit réalisées au niveau des secteurs d’aménagement des ouvrages annexes de la Ligne 15 Sud

L15 SUD	Secteur d'aménagement de l'OA 2301P - Ile de Monsieur



Ouvrage

Point de mesure

Ligne 15 Sud

0 50 m

N O E S

RESULTATS DES MESURES EN dB(A) - JOUR

Point	Période	Début	LAeq	L90
2301P_1	Jour	13/11/2014 16:22	59,5	56,4
2301P_2		13/11/2014 16:22	57,9	53,8
2301P_3		13/11/2014 16:18	57,8	55,0

RESULTATS DES MESURES EN dB(A) - NUIT

Point	Période	Début	LAeq	L90
2301P_1	Nuit	14/11/2014 00:55	51,5	45,5
2301P_2		14/11/2014 00:43	51,2	45,7
2301P_3		14/11/2014 00:43	47,8	44,1



2301P_1



2301P_2



2301P_3

SITES SENSIBLES

Deux sites sensibles sont situés à proximité du secteur d'aménagement de l'OA de l'Ile de Monsieur: le parc de Saint-Cloud et la base nautique de l'Île de Monsieur à 100m environ au nord de l'ouvrage. Le secteur ne présente pas de zone d'habitation située à proximité.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore dans le secteur d'aménagement de l'ouvrage est caractérisée par le bruit du trafic routier du Quai du Maréchal Juin et le Pont de Sèvres (RD910) où le trafic est quasiment permanent en période de jour.

En période de jour, l'environnement sonore est modérée et homogène avec des niveaux LAeq compris entre 57 et 60 dB(A). Les niveaux de bruit de fond LA90 relevés au niveau des 3 points de mesure sont élevés et très proches des LAeq mesurés avec de 54 à 56 dB(A), ce qui montre un impact continu et fort induit par le trafic routier des axes précédemment cités.

De nuit l'environnement sonore est plus calme et toujours assez homogène avec des niveaux de bruit ambiant LAeq compris entre 48 et 51 dB(A). Le point 2301P_3 est le plus calme du fait de son plus éloignement par rapport aux axes routiers. Ce point est également le seul a être impacté très ponctuellement par le passage du tram T2 à environ 20m de l'ouvrage. Les niveaux de bruit de fond LA90 sont compris entre 44 et 46 dB et caractéristiques d'un environnement sonore encore bien impacté par le trafic routier.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu faible à modéré lié à un environnement sonore marqué par le bruit routier continu et à l'absence d'habitation à proximité directe.
La proximité du Parc de Saint-Cloud et surtout de la base nautique de l'Ile de Monsieur induit malgré tout des enjeux sonores spécifiques.

L15 SUD	Secteur d'aménagement de l'OA 2203P - ZAC SAEM





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dB(A)

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	2203P_1	14/12/2014 20:17	45,1	42,2
Nuit		14/12/2014 22:04	47,0	41,8

SITES SENSIBLES

La zone d'aménagement de l'ouvrage était en chantier lors de la réalisation des mesures de bruit. Les immeubles en construction à proximité de l'ouvrage représentent les sites les plus sensibles mais n'étaient pas accessibles lors des mesures.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est impactée par un bruit routier lointain (les quais de Seine RD1 et RD7 se trouvent respectivement à 50m et 400m au sud-ouest).

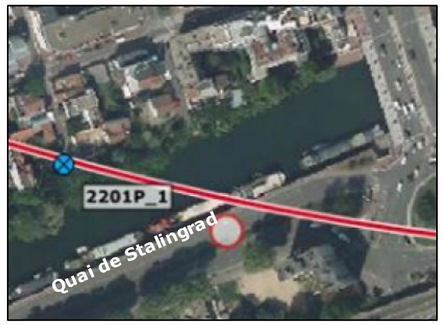
De jour comme de nuit, le niveau de bruit LAeq mesuré est compris entre 45 et 47 dB(A). Ce qui représente une zone à ambiance sonore très calme.

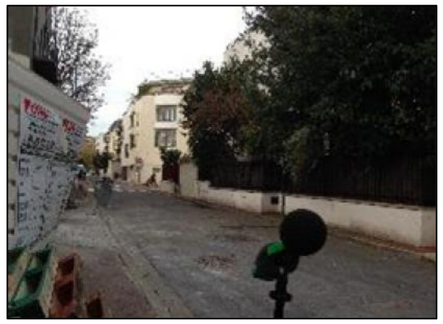
Les niveaux de bruit de fond L90 sont proches des niveaux sonores moyens avec de l'ordre de 42 dB(A) en journée et la nuit. L'environnement sonore est principalement impacté par le bruit continu du trafic routier du Quai Georges Gorse (RD1).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré lié à la présence d'un environnement sonore relativement calme mais qui reste aujourd'hui éloigné des habitations.

L15 SUD	Secteur d'aménagement de l'OA 2201P - pl de la Résistance





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	2201P_1	13/11/2014 16:35	55,1	49,4
Nuit		13/11/2014 00:53	44,4	39,6

SITES SENSIBLES

Aucun site sensible ne se trouve à proximité de l'ouvrage. Les riverains les plus proches sont situés à environ 60m au sud-est (derrière le chemin de fer) et au nord-ouest (autre rive).

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier des différents boulevards de la zone : D7 à 40m au sud, D2 à 140m à l'est, D1 à 300m au nord-ouest et boulevard périphérique intérieur à 1700m au nord-est. Le survol des avions n'est pas toujours audible car masqué par les sources de bruit citées ci-dessus.

De jour, les niveaux sonores LAeq mesurés sont de l'ordre de 55 dB(A).

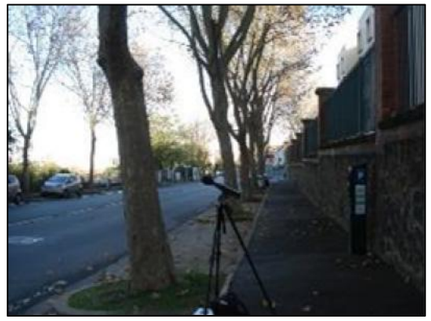
La nuit, le niveau de bruit de fond L90 est inférieur à 40 dB(A) ce qui caractérise un environnement sonore peu bruyant et principalement influencé par le bruit routier lointain.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu faible lié à l'absence de riverains à proximité directe

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 2101P - Parc H. Barbusse





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	2101P_1	13/11/2014 15:19	65,2	51,9
Nuit		14/11/2014 00:12	57,2	39,3

SITES SENSIBLES

L'ouvrage est situé sur le parc Henri Barbusse, zone verte de détente à préserver du bruit. Lles premières habitations sont assez distantes de l'ouvrage : environ 25m au Sud, rue de la Martelle.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier de la rue de l'Egalité qui longe le parc Henri Barbusse, ainsi que par un bruit routier lointain en bruit de fond (boulevard périphérique à environ 1km700 au nord-est).

Le survol des avions n'est pas toujours audible car ils volent en altitude dans cette zone et le bruit qu'ils génèrent est masqué par les autres sources de bruit.

En journée, le niveau sonore LAeq mesuré est de 65 dB(A), soit une zone à ambiance sonore bruyante.

La nuit, l'environnement reste assez bruyant avec un niveau de bruit de fond L90 mesuré de l'ordre de 40 dB(A) généré principalement par le bruit routier du boulevard périphérique et le vent dans la végétation.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu faible à modéré lié à la la présence du parc Henri Barbusse, zone verte à préserver du bruit. Les premières habitations sont situées à 25m environ du secteur d'aménagement. L'environnement sonore existant est cependant déjà très exposé au bruit.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 2002P - sq Malleret Joinville





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	2002P_1	13/11/2014 14:36	69,4	51,1
Nuit		13/11/2014 23:30	66,6	38,0

SITES SENSIBLES

L'ouvrage se situe dans le square du général Malleret Joinville, à environ 15m de l'école élémentaire Henri Barbusse (à l'est). Les premières habitations sont situées de l'autre côté du boulevard du colonel Fabien à environ 20m.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier du boulevard du colonel Fabien. Le trafic y est rythmé par un feu de signalisation situé à environ 50m au nord-ouest de l'ouvrage. Hormis cela, les bruits naturels sont aussi présents dans l'environnement sonore (vent dans la végétation et chants d'oiseaux).

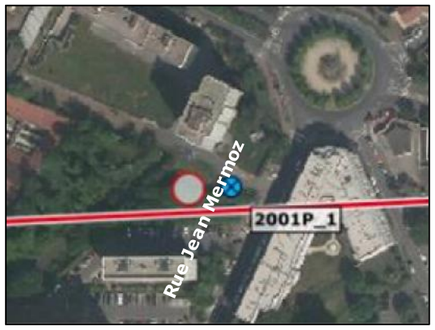
Les niveaux de bruit LAeq mesurés en période de jour sont de l'ordre de 69 dB(A).

La nuit, les niveaux de bruit ambiants restent très élevés avec plus de 66 dB(A) mais les niveaux de bruit de fond L90 sont inférieurs à 40 dB(A). Cela montre des périodes de calme relatif lorsque le trafic routier du

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré à fo lié à la proximité des premières habitations et de l'école élémentaire Henri Barbusse et à la présence d'une zone verte à préserver. L'environnement sonore existant reste cependant déjà très exposé au bruit.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 2001P - Fort de Vanves





Ouvrage — Ligne 15 Sud

0 50 m

Point de mesures

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	2001P_1	13/11/2014 14:02	50,7	46,0
Nuit		13/11/2014 23:08	45,8	37,8

SITES SENSIBLES

L'ouvrage est situé dans un parc résidentiel à proximité de deux immeubles d'habitation à environ 15m au nord et au sud. Hormis cela, aucun site sensible ne se trouve aux alentours.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage annexe 2001P est impactée par un bruit routier lointain : le périphérique intérieur se trouve à 1500m au nord; ainsi que par des bruits naturels étant donné la localisation : vent dans la végétation, chants d'oiseaux...

En journée, le niveau sonore LAeq mesuré est de l'ordre de 50 dB(A) ce qui représente un environnement calme.

La nuit, la zone présente un niveau de bruit de fond L90 inférieur à 40 dB(A), l'environnement est peu bruyant.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré à fort lié à un environnement sonore existant peu bruyant, à la présence d'une zone de parc et de riverains à proximité du site.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1902P - Cimetière Parisien





Ouvrage — Ligne 15 Sud

0 50 m

Point de mesures

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1902P_1	13/11/2014 13:12	73,5	57,0
Nuit		13/11/2014 22:44	65,8	48,2

SITES SENSIBLES

L'ouvrage est localisé au niveau du cimetière Parisien de Bagneux, entouré d'un mur de hauteur supérieure à 2m. Hormis cela, il y a peu d'habitations à proximité (1ère habitation : 20m de l'autre côté de l'avenue Jean Jaurès).

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est marquée par le bruit routier de deux axes importants : l'avenue Marx Dormoy et l'avenue Jean Jaurès qui se croisent à environ 40m au nord. Ce trafic est ponctué par un feu de signalisation qui alterne entre le bruit continu des voitures qui attendent au feu rouge et le bruit ponctuel du trafic pulsé au feu vert.

La journée, le niveau de bruit LAeq mesuré est de l'ordre de 73 dB(A), ce qui est très bruyant.

La nuit le trafic routier des deux avenues reste important et la zone bruyante. Les niveaux de bruit de fond L90 sont élevés avec plus de 45

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu faible à modéré lié à la présence du cimetière Parisien de Bagneux, zone calme. Néanmoins, peu d'habitations sont situées à proximité et l'environnement sonore existant est cependant déjà très exposé au bruit.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1901P - Pierre Plate





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1901P_1	12/11/2014 15:08	53,6	45,2
Nuit		13/11/2014 00:36	45,4	35,5

SITES SENSIBLES

Aucun site sensible ne se trouve à proximité, hormis les habitations situées à environ 15m à l'est.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est impactée par un bruit routier lointain (le boulevard périphérique est situé à environ 1700m au nord), ainsi que par les passants et usagers du supermarché de quartier (discussions, valise à roulettes...).

Malgré les sources de bruit environnantes, le survol des avions a parfois été audible lors des mesures.

La journée, le niveau de bruit LAeq mesuré est de l'ordre de 54 dB(A). Ceci est plutôt calme.

La nuit, les niveaux de bruit de fond L90 sont de l'ordre de 35 dB(A). Ceci équivaut à un environnement sonore plutôt calme impacté par le bruit continu du trafic routier lointain.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré à fort lié à la proximité d'un immeuble d'habitation et à un environnement sonore existant calme.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1702P - Sq Général De Gaulle





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1702P_1	12/11/2014 16:07	67,1	58,7
Nuit		12/11/2014 23:55	57,5	49,4

SITES SENSIBLES

Les sites sensibles sont les logements de la rue Marx Dormoy, situés à 20m environ et le square du général De Gaulle dans lequel l'ouvrage est implanté. L'hôtel de ville localisé à une vingtaine de mètre au nord de l'ouvrage.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier de la rue Marx Dormoy et de la rue Camille Desmoulins, ainsi que par le bruit généré par les jets d'eau du Square Général De Gaulle. Le niveau sonore LAeq mesuré en période de jour est de l'ordre de 67 dB(A). Soit un environnement sonore bruyant.
La nuit, les jets d'eau sont plus audibles et en grande partie responsables du niveau de bruit LA90 élevé de l'ordre de 50 dB(A) mesuré à cette période.

Le survol d'avions est rare et n'est pas toujours audible car masqué par les sources de bruit observées.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré lié à la présence de riverains et de l'hôtel de ville à proximité du site ainsi que le square du Général de Gaulle.

L15 SUD	Secteur d'aménagement de l'OA 1801P - Parc Robespierre



RESULTATS DES MESURES - JOUR

Point	Période	Début	LAeq	L90
1801P_1	Jour	13/11/2014 12:35	47,9	44,1
1801P_2		13/11/2014 12:35	47,2	44,4
1801P_3		13/11/2014 12:27	48,7	46,3
1801P_4		13/11/2014 12:27	59,7	49,0

RESULTATS DES MESURES - NUIT

Point	Période	Début	LAeq	L90
1801P_1	Nuit	13/11/2014 22:11	45,2	42,1
1801P_2		13/11/2014 22:11	43,9	42,7
1801P_3		13/11/2014 22:09	46,5	45,1
1801P_4		13/11/2014 21:58	56,6	46,8



1801P_1



1801P_2



1801P_3



1801P_4

SITES SENSIBLES

Le parc Robespierre dans lequel est prévu l'ouvrage est le site le plus sensible. Le parc est bordé par des habitations. Les logements en partie Sud sont plus éloignés du secteur d'aménagement de l'ouvrage (plus de 100m de l'ouvrage concerné).

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore est caractérisé par un bruit routier lointain et par les bruits ponctuels des usagers du parc. L'environnement sonore de jour comme de nuit est calme. La rue de Verdun située au Nord du Parc est la seule voie routière qui longe le Parc. Le bruit en provenance de l'avenue Louis Pasteur et de la rue de la Bièvre est stoppé par les immeubles de logements qui font obstacles. Le Sud du Parc est occupé par un parking résidentiel qui génère peu de nuisances sonores en raison de la faible vitesse des véhicules.

Les niveaux sonores moyens LAeq mesurés en période de jour sont compris entre 47 et 49 dB(A) hormis le long de la rue de Verdun où l'impact de la circulation routière est plus fort avec environ 60 dB(A) mesuré en journée au point 1801P_4. Les niveaux de bruit de fond sont plus homogènes avec de 44 à 49 dB(A) constatés pour l'ensemble des points de mesures.

La nuit, l'ambiance sonore est légèrement plus calme avec 2 à 3 dB(A) de moins observé par rapport à la période de jour. De même les niveaux de bruits de fond LA90 diminuent peu avec de 42 à 47 dB(A) mesurés en période de nuit.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence d'une zone verte calme (parc Robespierre) et à la présence de nombreux riverains à proximité.

L15 SUD	Secteur d'aménagement de l'OA 1701P - Jardin Panoramique





Ouvrage
Ligne 15 Sud
Point de mesures
0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1701P_1	12/11/2014 13:31	53,5	49,6
Nuit		12/11/2014 22:31	54,5	52,1

SITES SENSIBLES

Les sites sensibles sont représentés par le jardin panoramique et les maisons individuelles situées à 10m et plus de l'ouvrage. Le Jardin fait l'objet d'une attention particulière (zone d'intérêt PPBE).

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par l'omni-présence du bruit généré par l'A6 située à environ 100m à l'est du point de mesure. Le trafic routier local est quant à lui très faible et influence peu l'environnement sonore.
Le survol des avions est en général masqué par le bruit de l'autoroute.

Le niveau sonore LAeq mesuré en journée est de l'ordre de 54 dB(A).

La nuit, l'environnement sonore est similaire à la période de jour, le niveau de bruit de fond LA90 est même plus élevé que le jour avec plus de 50 dB(A), en raison de la propagation plus fort du bruit à cette période.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré lié à un niveau de bruit de fond existant élevé. Le parc constitue néanmoins une zone à préserver du bruit, identifiée dans le PPBE du Val de Bièvres.

L15 SUD	Secteur d'aménagement de l'OA 1601P - rue Jules Joffrin





Ouvrage
Ligne 15 Sud
Point de mesures
0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1601P_1	12/11/2014 14:30	65,4	48,4
Nuit		12/11/2014 23:40	53,9	43,4

SITES SENSIBLES

La zone est résidentielle et les premières habitations sont situées à environ 15m au niveau de la rue Jules Vallès. Un centre médico-psychologique est situé au sud de l'ouvrage à environ 130m. Au nord-ouest, à environ 180m se trouve l'hôpital universitaire Paul Brousse.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier des axes à proximité : rue Jules Joffrin, rue Edouard Vaillant (20m au nord) et rue Griffuelhes (50m au nord-ouest). Le bruit de fond L90 est de 48 dB(A) et caractéristique d'un bruit routier lointain provenant de l'autoroute A6 située à 1km à l'ouest de l'ouvrage.

La nuit, le niveau de bruit de fond L90 est supérieur à 40 dB(A) ce qui est assez bruyant. Ceci est dû au fait que le trafic des rues avoisinantes diminue mais laisse place au bruit continu de l'autoroute A6. Le survol des avions marque également la période nocturne.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu faible à modéré lié à la présence d'une habitation à proximité.
Le site est néanmoins déjà impacté par le bruit routier continu.

L15 SUD | Secteur d'aménagement de l'OA 1501P - rue du Génie





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1501P_1	12/11/2014 14:31	58,1	40,4
Nuit		12/11/2014 23:35	48,0	38,1

SITES SENSIBLES

Aucun site sensible ne se trouve à proximité de l'ouvrage, hormis les habitations situées autour, à environ 10m pour les plus proches.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par un bruit routier lointain (D7 située à 500m à l'ouest, D5 située à 750m à l'est...) ainsi que par le trafic routier de la rue du Génie (peu important).

Le niveau de bruit LAeq mesuré en journée est d'environ 58 dB(A).

Avec un niveau de bruit de fond nocturne L90 de 38 dB(A), la zone pavillonaire est peu bruyante et impactée par le bruit continu du trafic routier des grands axes alentours.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la proximité des habitations et à un environnement sonore préexistant peu bruyant la nuit.

L15 SUD | Secteur d'aménagement de l'OA 1404P - rue Gabriel Péri





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1404P_1	12/11/2014 13:17	59,1	44,0
Nuit		12/11/2014 22:36	50,0	43,7

SITES SENSIBLES

Les habitations situées situées à proximité de l'ouvrage constituent les sites les plus sensibles.

ANALYSE DES MESURES

L'environnement sonore autour de l'ouvrage est caractérisé par un bruit routier lointain provenant de D274 situé à environ 120m à l'est ainsi que par le passage régulier de trains sur la ligne du RER C à 210m à l'est.

Le survol des avions n'est pas toujours audible car masqué par les sources de bruit précédemment citées.

Le jour le niveau sonore LAeq mesuré est de l'ordre de 59 dB(A).

La nuit l'environnement sonore est légèrement plus calme, mais le bruit routier lointain reste très présent avec un niveau de bruit de fond L90 de 44 dB(A).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré lié à la présence de nombreuses habitations à proximité du site

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1402P - rue L. Marchandise





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1402P_1	29/10/2014 16:19	52,9	48,0
Nuit		29/10/2014 23:32	45,2	38,8

SITES SENSIBLES

Les sites sensibles identifiés sont le parc et les immeubles de logement, nombreux mais plus éloignés de l'ouvrage (plus de 15m).

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est calme, malgré le bruit routier de la RD5 et les bruits générés par les usagers du parc (enfants, piétons).

De jour le niveau sonore LAeq mesuré est de l'ordre de 53 dB(A).

La nuit l'environnement sonore est encore plus calme avec un niveau moyen LAEq de 45 dB(a) mais le niveau de bruit de routier de la RD5 reste assez soutenu avec un niveau de bruit de fond LA90 de l'ordre de 40 dB(A).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la situation du site, localisé dans un parc, et à la forte densité de population autour du site, caractérisé par un environnement sonore aujourd'hui peu impacté.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1401P - rue Bel Air





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1401P_1	12/11/2014 13:15	67,3	53,9
Nuit		12/11/2014 22:38	57,3	44,3

SITES SENSIBLES

Aucun site sensible ne se trouve à proximité de l'ouvrage. Les habitations les plus proches sont situées à environ 75m au nord (rue Victor Ruiz) et au sud (rue du Bel Air).

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est impactée par un bruit routier lointain en bruit de fond de la rue Léon Geffroy à environ 250m à l'Est et de la rue de Choisy à 100m à l'Ouest. Le bruit des activités industrielles de la zone est aussi une source non négligeable.

Le niveau sonore LAeq mesuré en période de jour est de 67 dB(A), ce qui correspond à une ambiance préexistante bruyante mais le niveau de bruit de fond est sensiblement plus bas avec un LA90 d'environ 54 dB(A).

La nuit, l'ambiance sonore est plus calme mais reste élevée (LAeq de 57 dB(A)) avec en bruit de fond un bruit routier lointain et les équipements techniques des usines de la zone. Le niveau de bruit de fond LA90 est d'environ 44 dB(A).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu faible lié à un environnement sonore préexistant déjà bruyant et à l'absence de riverain à proximité directe du site.

L15 SUD	Secteur d'aménagement de l'OA 1302P - Friche Arrighi



RESULTATS DES MESURES EN dBA - JOUR

Point	Période	Début	LAeq	L90
1302P_1	Jour	29/10/2014 14:09	59,8	54,0
1302P_2		29/10/2014 12:50	73,5	57,8
1302P_3		29/10/2014 12:50	60,3	51,7
1302P_4		29/10/2014 13:33	62,3	50,3

RESULTATS DES MESURES EN dBA - NUIT

Point	Période	Début	LAeq	L90
1302P_1	Nuit	30/10/2014 01:07	52,3	41,8
1302P_2		29/10/2014 22:03	70,7	56,5
1302P_3		29/10/2014 22:03	58,5	53,3
1302P_4		29/10/2014 22:41	56,9	49,8


1302P_1


1302P_2


1302P_3


1302P_4

SITES SENSIBLES

Il n'y a pas de sites sensibles à toute proximité de l'ouvrage qui est implanté en pleine zone industrielle. Les premiers logements sont observés à environ 150m à l'ouest du site et 220m à l'est.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore est modérée à très bruyante. Elle est caractérisée par un bruit routier continu et élevé en provenance du quai Jules Guesde à Vitry-sur Seine et du quai de la Révolution à Alfortville. En bruit de fond, l'autoroute A86 située à environ 900m du site est perceptible la nuit mais masqué par le bruit routier des routes les plus proches en journée. En journée les niveaux LAeq mesurés sont compris entre 60 dB(A) et 73,5 dB(A). Les niveaux de bruit de fond LA90 quant à eux sont compris entre 50 et 58 dB(A).

Les bruits industriels sont importants sur la zone. Au point 1302P_1, la société Holcim (cimenterie) impacte l'environnement sonore mais celle-ci ne fonctionne pas la nuit, ce qui abaisse significativement le niveau de bruit de fond LA90 à cette période avec près de 42 dB(A).
Les points de la rue Léon Mauvais sont tous deux fortements impactés par le bruit de l'usine Sanofi et, dans une moindre mesure, par la centrale électrique. Cet impact est particulièrement identifiable la nuit avec un bruit très stable et des niveaux de bruit de fond LA90 élevés (équivalent ou supérieurs à 50 dB(A)).

Le point situé le long du quai Jules Guesde est beaucoup moins impacté par le bruit industriel car masqué par le trafic routier important, même en période de nuit, ce qui explique le niveau de bruit de fond qui reste élevé à cette période avec plus de 56 dB(A). Un bruit sourd d'origine industrielle est cependant parfois perceptible entre deux passages de véhicule.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu faible lié au caractère industriel du secteur d'aménagement de l'ouvrage et à l'absence de riverains à proximité.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1301P - Rue de Rome





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1301P_1	28/10/2014 17:30	58,2	43,6
Nuit		29/10/2014 01:28	39,1	34,1

SITES SENSIBLES

Les premiers riverains sont situés à 15m à l'Ouest de l'ouvrage.
Deux autres sites sensibles se trouvent à proximité de l'ouvrage: le collège Paul Langevin situé à 50m au Sud ainsi que l'école Montaigne située à environ 110m au Sud de l'ouvrage.

ANALYSE DES MESURES

En période de jour l'environnement sonore est modérée et principalement caractérisé par le trafic routier au niveau de la rue de Rome et de la rue de Madrid. Le niveau sonore LAeq mesuré est de 58 dB(A).

De nuit le trafic routier des 2 axes précedemment cités devient négligeable et c'est donc le bruit en provenance de l'autoroute A86 située à environ 880m à l'Est de l'ouvrage qui devient prédominant. L'environnement sonore est calme avec un niveau de bruit ambiant de 39 dB(A). Les niveaux de bruit de fond LA90 relevés sont quant à eux de l'ordre de 34 dB(A).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la proximité des riverains et à un environnement sonore préexistant assez calme, en particulier la nuit. La proximité de 2 écoles et la présence de nombreux piétons au niveau de la rue de Rome renforcent également les enjeux sur ce secteur.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1201P - Université de Créteil





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1201P_1	29/10/2014 12:59	55,2	48,3
Nuit		30/10/2014 02:20	43,7	40,6

SITES SENSIBLES

Les sites sensibles sont représentés par les bâtiments universitaires de l'université de Paris Est Créteil Val de Marne à environ 10m pour le plus proche. Les riverains les plus proches sont situés à environ 35m au Nord.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est calme et principalement caractérisée par le bruit routier de la rue pasteur Vallery Radot (longeant l'ouvrage au nord) qui présente un trafic important, ainsi que par le bruit routier en bruit de fond de l'autoroute A86 (environ 200m à l'ouest). Le niveau sonore LAeq mesuré en journée est de 55 dB(A).

A noter que l'université comporte des équipements techniques qui sont audibles au point de mesure (en particulier la nuit).

La nuit les niveaux de bruits diminuent significativement (LAeq de 44 dB(A) environ). La principale source de bruit est l'autoroute A86 (lointain), ce qui explique le niveau de bruit de fond LA90 soutenu avec de l'ordre de 40 dB(A) mesuré à cette période.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence de bâtiments universitaires à proximité directe du secteur d'aménagement de l'ouvrage, localisé dans un environnement peu impacté par le bruit

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1103P - Stade F Desmond





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1103P_1	28/10/2014 15:11	68,6	53,6
Nuit		28/10/2014 23:58	61,0	39,1

SITES SENSIBLES

Le collège Plaisance est situé à environ 75m au Nord-Est l'ouvrage et les premiers riverains se trouvent à 130m au Sud-Est.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier de l'avenue Laferrière, de la RD19 (à environ 115m au Sud-Ouest) et de l'autoroute A86 en bruit de fond à environ 550m à l'Ouest/Nord-Ouest.

Le niveau de bruit LAeq mesuré en journée est de 68,5 dB(A). Ce qui représente un environnement sonore très bruyant (limite PNB Bruit routier).

La nuit, les niveaux sonores LAeq diminuent pour atteindre 61 dB(A) mais l'environnement sonore reste bruyant. Le niveau de bruit de fond LA90 est de 39 dB(A) et induit par le bruit lointain de l'autoroue A86.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu faible à modéré lié à la présence d'un gymnase et du collège Plaisance à proximité. Néanmoins, peu de bâtiments sont identifiés à proximité directe du site, qui est par ailleurs déjà très impacté par le bruit routier.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1102P - avenue de Ceinture





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1102P_1	28/10/2014 15:10	50,5	38,6
Nuit		28/10/2014 23:55	39,6	28,1

SITES SENSIBLES

L'ouvrage se situe dans un quartier résidentiel type pavillonnaire. L'habitation la plus proche est située à environ 10m au nord-ouest et l'école maternelle des Buttes se trouve à envrion 50m au Sud-Est de l'ouvrage.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est calme avec un niveau sonore LAeq de 50 dB(A) mesuré en journée. Elle est caractérisée par un bruit routier lointain (A86 à environ 800m au nord-ouest) ainsi que des bruits naturels (chants d'oiseaux, vent dans la végétation).

Lors de la mesure, aucun avion n'a survolé la zone.

La nuit l'environnement sonore est très calme avec un niveau de bruit ambiant LAEq de l'ordre de 40 dB(A) et un niveau de bruit de fond LA90 inférieur à 30 dB(A), le quartier est peu traversé par les voitures et seul le bruit routier lointain est audible.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence d'un environnement sonore préexistant calme, particulièrement la nuit, et à la présence de riverains à proximité.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1101P - rue du Port





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1101P_1	29/10/2014 12:46	54,8	42,5
Nuit		30/10/2014 02:13	39,7	36,0

SITES SENSIBLES

Les habitations situées à environ 8m à l'Ouest de l'ouvrage sont les plus sensibles.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage estcaractérisée par le bruit routier de la Rue du Port (à environ 5m de l'ouvrage) ainsi que par l'activité de l'usine CEMEX située de l'autre côté de la Marne à environ 125m de l'ouvrage.

Le jour avec un niveau de bruit LAeq d'environ 55 dB(A), la zone est plutôt calme. Le niveau de bruit de fond LA90 est très bas à cette période avec 42 dB(A).

De nuit l'environnement sonore est également calme et principalement impacté par un bruit routier lointain en provenance de la rue du Port de Créteil. Avec un niveau de bruit de fond LA90 de 36 dB(A).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence d'un environnement sonore préexistant calme et à la présence de riverains à proximité.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1003P - Imp. De l'Abbaye





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1003P_1	23/10/2014 18:03	58,1	50,5
Nuit		24/10/2014 01:13	50,5	44,8

SITES SENSIBLES

Présence d'un jardin à environ 15m d'un immeuble d'habitation. Le parc de L'Abbaye constitue aussi un site sensible mais situé à plus de 160m de l'ouvrage. Il est à noter que face au point de mesures, des bâtiments sont en construction.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier des quais (Nord de l'ouvrage à +/- 30m) et de la rue de l'Abbaye, ainsi que par une chute d'eau sur la Marne en bruit de fond (+/- 70m au Nord-Est).

Le jour, les niveaux sonores LAeq mesurés sont caractéristiques d'une zone d'ambiance sonore modérée avec environ 58 dB(A).

La nuit, le trafic routier diminuant, l'environnement sonore devient plus calme (LAeq de 50 Db(A) environ). C'est le bruit de la chute d'eau qui domine la zone d'étude et qui est responsable du niveau de bruit de fond LA90 assez élevé de 45 dB(A) observé à cette période.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence de logements à proximité directe du site et à un environnement sonore préexistant relativement calme malgré des niveaux de bruit de fond assez élevés.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 1001P - av Roger Salengro





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	1001P_1	23/10/2014 14:48	65,7	56,5
Nuit		24/10/2014 00:54	59,6	39,2

SITES SENSIBLES

Les habitations de l'avenue Roger Salengro dont certaines sont situées à moins de 10m de l'ouvrage sont les sites plus sensibles observés autour de l'ouvrage.

ANALYSE DES MESURES

Avec des niveaux de bruits LAeq mesurés supérieurs à 65 dB(A) le jour et proches de 60 dB(A) la nuit, l'ambiance sonore autour de l'ouvrage annexe 1001P est bruyante et caractérisé par le bruit généré par le trafic routier de l'avenue Salengro mais aussi du boulevard Aristide Briand et de la rue Pirolley.

La présence de feux de circulation au carrefour induit la présence quasi en continu de véhicules à l'arrêt (moteur en marche) en journée, ce qui explique les niveaux de bruit de fond LA90 assez élevés à cette période avec environ 56 dB(A). A noter que le Garage Speedy génère ponctuellement du bruit (à-coups) mais celui-ci est en général masqué par le trafic routier.

La nuit, du fait d'une circulation moins dense, les niveaux de bruits de fonds L90 sont beaucoup moins élevés mais le niveau de bruit routier LAeq reste soutenu.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré lié à un environnement sonore impacté par le bruit routier continu. Les premières habitations restent néanmoins proches du secteur d'aménagement.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 0902P - RP du colonel Grancey





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0902P_1	23/10/2014 15:47	63,6	59,6
Nuit		23/10/2014 23:48	58,9	48,1

SITES SENSIBLES

Les riverains les plus proches se trouvent à environ 10m au Nord de du site. Aucun autre site sensible ne se trouve à proximité de l'ouvrage.

ANALYSE DES MESURES

L'environnement sonore autour de l'ouvrage est très impacté par le bruit routier de l'ensemble des axes qui arrivent au rond point du colonel Grancey comme la RD145, RD130 et la rue Guy Moquet.

Avec un niveau de bruit LAeq de 64 dB(A) de jour et 59 dB(A) la nuit, l'ambiance sonore existante est assez bruyante mais reste modérée.

Les niveaux de bruit de fond LA90 sont en revanche élevés avec près de 60 dB(A) en journée et 48 dB(A) la nuit. En effet le trafic routier reste soutenu sur le rond point même en période de nuit.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré lié à un environnement sonore existant déjà très impacté par bruit routier. Les premiers riverains restent cependant proche du site.

L15 SUD | Secteur d'aménagement de l'OA 0901P - Clos du Pré de l'Etang





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0901P_1	23/10/2014 18:23	60,2	41,8
Nuit		23/10/2014 23:13	63,1	32,3

SITES SENSIBLES

Les premières habitations qui se trouvent à 15m de l'ouvrage au niveau du clos du Pré de l'Etang sont les plus sensibles.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est avant tout caractérisée par le bruit ponctuel engendré par le trafic ferroviaire. En effet deux voies ferrées passent à proximité de l'ouvrage : voies du réseau Ferré de France à environ 40m à l'Ouest de l'ouvrage et RER E à +/- 220m au Nord de l'ouvrage.

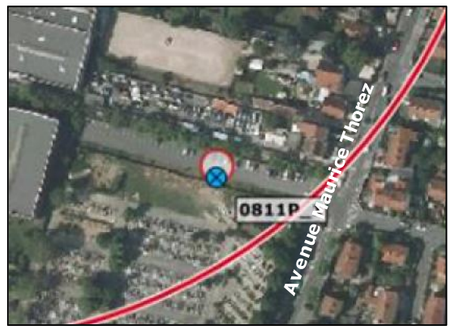
En période de jour, le niveau sonore LAeq mesuré représente une zone d'ambiance sonore modérée avec environ 60 dB(A).

La nuit, les niveaux de bruit ambiant LAeq restent élevés avec environ 63 dB(A) à cause du trafic ferroviaire mais le niveau de bruit de fond LA90 est très calme avec 32 dB(A). Cela est caractéristique d'un environnement sonore calme et principalement impacté par le passage des trains.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la proximité des riverains, situés dans un environnement sonore calme (hors du passage des trains), en particulier la nuit.

L15 SUD | Secteur d'aménagement de l'OA 0811P - Av M. Thorez





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0811P_1	28/10/2014 13:22	54,0	44,1
Nuit		28/10/2014 22:05	51,8	34,3

SITES SENSIBLES

Les habitations les plus proches sont situées à 15 m au Sud-Est et à 30m au Nord de l'ouvrage.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier de l'avenue Maurice Thorez (à environ 55m à l'Est de l'ouvrage), ainsi que par le trafic des allées et venues des voitures au niveau du parking du cimetière.

Avec un niveau sonore LAeq mesuré de 54 dB(A) en période de jour, la zone est plutôt calme.

La nuit les niveaux sonores mesurés sont caractéristiques d'un environnement sonore assez calme avec un niveau de bruit ambiant LAeq de 52 dB(A) environ mais le niveau de bruit de fond LA90 est bas avec 34 dB(A). Le trafic routier de l'avenue Maurice Thorez reste prédominant.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la proximité des riverains et la présence d'une zone de passage (usagers du cimetière). Par ailleurs, l'environnement sonore préexistant est calme.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 0810P - rue du G. Leclerc





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0810P_1	22/10/2014 17:05	62,0	52,2
Nuit		23/10/2014 01:30	54,3	35,4

SITES SENSIBLES

Les riverains sont très proches du site avec une habitation observée à moins de 10m.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de est avant tout caractérisée par le bruit routier de la rue du Général Leclerc (20m à l'Est). Les passages régulier des RER de la ligne E située à environ 200m au Nord du point de mesure sont souvent masqués par le bruit routier.
Le survol des avions n'est pas non plus toujours audible car masqué par les sources de bruit précédemment citées.

En journée, l'environnement sonore est modéré avec un niveau sonore LAeq mesuré de 62 dB(A).

La nuit, avec des niveaux de bruit LAeq de l'ordre de 54 dB(A), l'environnement sonore reste modérée mais le niveau de bruit de fond mesuré L90 diminue fortement avec près de 35 dB(A) mesuré. Ceci montre qu'entre deux passages de voiture l'ambiance sonore est calme.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence d'un environnement sonore préexistant modéré et à la présence de riverains à proximité directe.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 0808P - av H. Dunant





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0808P_1	22/10/2014 17:06	66,0	41,2
Nuit		23/10/2014 01:32	34,6	30,2

SITES SENSIBLES

L'immeuble d'habitation le plus proche se situe à environ 10m à l'Ouest du site d'aménagement de l'ouvrage.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le passage régulier de RER sur la ligne E (au Sud à 20m). Le bruit routier (autoroute A4 au nord-ouest à environ 950m et l'avenue Henri Dunant au nord à 7m) est également audible et a un léger impact sur le bruit de fond.
Le survol des avions n'est pas toujours audible car masqué par les sources de bruit précédemment citées.

La journée, l'environnement sonore est bruyant avec un niveau de bruit LAeq mesuré de 66 dB(A). Celui-ci est néanmoins uniquement engendré par le passage ponctuel des RER E. En effet le niveau de bruit de fond LA90 est beaucoup plus calme avec 41 dB(A).

La nuit, en l'absence de passage de RER, l'environnement sonore est très calme avec un niveau de bruit ambiant LAeq de moins de 35 dB(A) et un niveau de bruit de fond LA90 de 30 dB(A) où seul le bruit routier de l'autoroute A4 reste perceptible.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence d'un environnement sonore préexistant calme (en dehors du passage des RER), en particulier la nuit, et à la présence de riverains à proximité.

L15 SUD	Secteur d'aménagement de l'ouvrage 0807P - Sentier des Marins



RESULTATS DES MESURES EN dBA - JOUR

Point	Période	Début	LAeq	L90
0807P_1	Jour	22/10/2014 17:22	59,8	39,8
0807P_2		22/10/2014 16:39	53,7	43,5
0807P_3		22/10/2014 16:39	65,5	42,8
0807P_4		22/10/2014 17:22	63,4	42,6

RESULTATS DES MESURES EN dBA - NUIT

Point	Période	Début	LAeq	L90
0807P_1	Nuit	23/10/2014 01:12	42,1	29,5
0807P_2		23/10/2014 00:32	39,4	31,6
0807P_3		23/10/2014 00:35	35,9	32,5
0807P_4		23/10/2014 01:12	36,4	32,6


0807P_1


0807P_2


0807P_3


0807P_4

SITES SENSIBLES

L'ouvrage est localisé est dans une zone pavillonnaire avec de nombreux riverains à 15m environ au Nord du site mais aussi au Sud à environ 60m. Le parc du Bois Saint Denis situé à environ 80m à l'Ouest est également un site sensible situé à proximité de l'ouvrage 0807P. Plus au loin dans un fuseau de 500m autour de l'ouvrage deux autres sites sensible sont identifiés: l'école Jean Jaurès à environ 290m au Sud de l'ouvrage ainsi que l'école élémentaire publique Jean Renon à environ 460m à l'Est de l'ouvrage.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est avant tout caractérisée par le bruit du RER E situé à environ 45m au Sud de l'ouvrage. Des annonces de gare sont également audibles au point 0807P_3 du fait de la proximité de la gare de Villiers-sur-Marne - Le Plessis-Trévise. Enfin, le trafic routier de la rue des Chapelles est également déterminant pour l'environnement sonore au point 0807P_1.
Le survol des avions dans cette zone est fréquent mais pas toujours audible car masqué par les autres sources de bruit.

En période de jour les niveaux de bruit ambiants sont compris entre 54 et 65 dB(A), soit un environnement calme à modéré, principalement impacté par le trafic ferroviaire du RER E. En effet les niveaux de bruit de fond LA90 relevés sont beaucoup plus bas et homogènes (40 à 43 dB(A) observé).

La nuit et en l'absence de passage de RER, les niveaux sonores mesurés autour de l'ouvrage sont très calmes, sauf pour le point 0807P_1 qui est en hauteur et plus proche du trafic routier, les niveaux de bruit LAeq sont inférieurs à 40 dB(A) et les niveaux de bruit de fond compris entre 29 et 33 dB(A).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la proximité des riverains, situés dans un environnement sonore calme (en dehors du passage des RER), particulièrement la nuit.
Le sentier des Marins est par ailleurs, une ruelle empruntée par les usagers du parc du Bois Saint Denis.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 0806P - rue Mozart





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0806P_1	22/10/2014 16:00	54,4	45,7
Nuit		23/10/2014 00:40	44,7	30,6

SITES SENSIBLES

Le secteur d'aménagement est situé en plein coeur d'une zone pavillonnaire et est très proche des premières habitations (< 10m).

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est calme de jour comme de nuit et caractérisée par un bruit routier lointain en bruit de fond (autoroute A4 au Nord à environ 850m et RD203 au Nord-Ouest, à environ 80m du site). Les passages réguliers des RER E à 35m au Sud-Est du point de mesure ont également une influence significative sur les niveaux de bruit mesurés.
Le survol des avions est en revanche peu audible car masqué par les sources de bruit précédemment citées.

En journée, le niveau de bruit LAeq mesuré représente un environnement sonore calme avec environ 54 dB(A). Le niveau de bruit de fond LA90 est également peu élevé, de l'ordre de 46 dB(A).

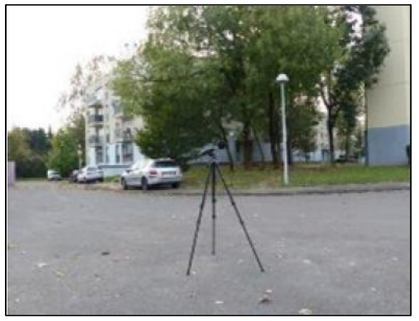
La nuit, l'environnement sonore est calme avec un niveau de bruit ambiant LAeq mesuré de l'ordre de 45 d(A) et un niveau de bruit de fond L90 qui frôle les 30 dB(A). Seul le bruit routier loitain de l'autoroute A4 est perceptible.

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence d'un environnement sonore préexistant calme, en particulier la nuit, et à la présence de riverains à proximité.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 0805P - av Médéric





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures — 0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0805P_1	22/10/2014 16:07	53,8	51,0
Nuit		23/10/2014 00:41	42,7	33,3

SITES SENSIBLES

Aucun site sensible n'est présent à proximité dus site, hormis les habitations qui sont proches de l'ouvrage, à environ 10m pour la première au Sud-Est et 15m pour l'immeuble au Sud-Ouest.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par le bruit routier de l'avenue Médéric (au nord à 10m) ainsi que par le bruit routier lointain en bruit de fond (autoroute A4 au nord à 600m). Le passage régulier des RER de la ligne E est aussi une source audible sur la zone (située à environ 100m au Sud du point de mesure).
Le survol des avions n'est pas toujours audible car masqué par les sources de bruit précédemment citées.

Les niveaux de bruit LAeq mesurés en journée représentent un environnement sonore plutôt calme avec environ 54 dB(A) mais le niveau de bruit de fond LA90 reste assez élevé avec 51 dB(A) mesuré.

La nuit, l'environnement sonore est beaucoup plus calme avec un niveau de bruit de fond LA90 inférieur à 35 dB(A). La principale source de bruit audible à cette période est l'autoroute A4 (bruit de fond continu).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la présence d'un environnement sonore préexistant calme, en particulier la nuit, et à la présence de riverains à proximité.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 0804P - place des Yvris





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0804P_1	22/10/2014 15:40	55,6	47,1
Nuit		22/10/2014 23:46	47,6	37,9

SITES SENSIBLES

Le secteur d'aménagment est localisé au centre d'un espace vert. Les habitations de la rue Pléiades, en particulier du n°40 à 48 sont les plus sensibles car situées entre 12 et 20m de l'ouvrage et moins soumis au bruit routier que ceux de la rue de La Chapelle ou du Bd des Astronautes. Du fait de leur densité de population plus forte, les immeubles d'habitations situés à 40m à l'est de l'ouvrage sont également sensibles.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage est caractérisée par un bruit routier lointain en bruit de fond (autoroute A4 à environ 450m au nord), par le trafic routier de la rue de la Chapelle et, dans une moindre mesure, celui de la rue des Pléiades.
En journée, le survol des avions (aérodrôme d'Emerainville) n'est pas toujours audible car masqué par les sources de bruit précédemment citées. Il n'a pas d'impact significatif sur le niveau sonore global LAeq mesuré.

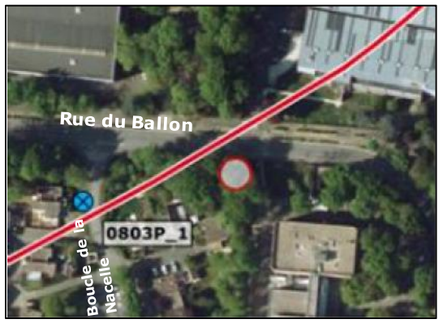
En journée, le niveau de bruit LAeq mesuré est de 55 dB(A), cela représente un environnement sonore plutôt calme.

La nuit l'environnement sonore est plus calme avec un niveau LAeq mesuré de l'ordre de 48 dB(A) mais le bruit routier lointain en provenance de l'A4 reste soutenu avec un niveau de bruit de fond L90 mesuré de 38 dB(A).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu modéré à fort lié à la présence d'un espace vert et de la proximité des premiers riverains. Le niveau de bruit de fond reste cependant assez soutenu.

L15 SUD — Secteur d'aménagement de l'OA 0803P - rue du Ballon





Ouvrage — Ligne 15 Sud

Point de mesures

0 50 m

RESULTATS DES MESURES EN dBA

	Point	Début	LAeq	L90
Jour	0803P_1	22/10/2014 15:26	55,4	50,6
Nuit		22/10/2014 23:42	46,2	41,5

SITES SENSIBLES

Les premières habitations situées à environ 10m au Sud de l'ouvrage sont les plus sensibles.

ANALYSE DES MESURES

L'ambiance sonore autour de l'ouvrage annexe 0803P est assez calme et caractérisée par le bruit routier continu de l'autouroute A4 (à environ 200m au Nord de l'ouvrage), du trafic routier ponctuel de la rue du Ballon (à environ 10m au Nord de l'ouvrage), ainsi que par le survol très fréquent d'avions de tourisme en provenance de l'aérodrome de Lognes (à +/- 3km au Sud-Est de l'ouvrage).

En journée, le niveau sonore LAeq mesuré est de 55 dB(A). Cela représente une zone d'ambiance sonore calme.

La nuit l'environnement sonore est également calme avec un niveau de bruit ambiant LAeq de l'ordre de 46 dB(A) mais le bruit du trafic routier de l'autoroute A4 au loin reste significatif car le niveau de bruit de fond LA90 reste supérieur à 41 dB(A).

SYNTHESE DES ENJEUX

Enjeu fort lié à la proximité des riverains et à la présence d'un environnement sonore plutôt calme malgré le bruit routier soutenu en provenance de l'A4.

7 Annexe 7 : Charte environnement des chantiers

Société du Grand Paris

DIRECTION DE L'INGENIERIE ENVIRONNEMENTALE

RTPGP

DOCUMENT DE CADRAGE

Charte environnement des chantiers

CONFIDENTIALITE CO

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris. Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

Émetteur

DATE	INDICE	SUIVI DES MODIFICATIONS	REDAC.	VERIF.	VALID./APPROB.
11/03/2015	1	Première édition	ECE	ERT	RLM

Contact référent du document : Etienne CUNGE

Références

Code GED : PN1207_02_EXE_CDR_002602_1
Nom du fichier : PN1207_02_EXE_CDR_002602_1_1_charte_env_chantier

RTGP	00000	TTT	QLT	PN1207	02	EXE	CDR	002602	1	1
SECTEUR	OBJET	NIVEAU	SPECIALITE	EMETTEUR	DISCIPLINE	PHASE	TYPE DOC	N° INCREMENTATION GED	IND. GED	IND. INTERNE EMETTEUR

Nombre de pages : 18

SOMMAIRE

1. Objet de la charte 3

2. Engagements, exigences organisationnelles et contrôle 6
   - 2.1. Engagement de la direction des entreprises prestataires 6
   - 2.2. Ressources et moyens 6
   - 2.3. Notice de respect de l'environnement (NRE) 7
   - 2.4. Schéma organisationnel du Plan de Respect de l'Environnement(SOPRE) et Plan de respect de l'Environnement (PRE) 7
   - 2.5. Pilotage de la performance 8
   - 2.6. contrôles, amelioration et devoir d'alerte 9
   - 2.7. Réception 9
   - 2.8. Communication 9

3. Socle des mesures génériques 11
   - 3.1. Conformité réglementaire 11
   - 3.2. Cadre de vie 11
   - 3.2.1. Bruit 11
   - 3.2.2. Vibrations 12
   - 3.2.3. Poussières 12
   - 3.2.4. Propreté des voiries 12
   - 3.2.5. Nuisances visuelles et insertion des chantiers 12
   - 3.3. Gestion des Déblais 13
   - 3.4. Gestion des Déchets (hors déblais) 14
   - 3.4.1. Réduction à la source 14
   - 3.4.2. Tri et élimination des déchets 14
   - 3.4.3. Comptabilité et traçabilité des déchets 15
   - 3.5. Protection des milieux 15
   - 3.5.1. Sols, ressources en eaux et milieux aquatiques 15
   - 3.5.2. Air et Gaz à Effet de Serre (GES) 16
   - 3.5.3. Biodiversité 17
   - 3.6. Gestion et economie des ressources 17
   - 3.6.1. Matériaux 17
   - 3.6.2. Energie 18
   - 3.6.3. Eau 18

1. Objet de la charte

La présente charte « Environnement des chantiers » vient préciser l'organisation et les grands axes de management de l'environnement des travaux nécessaires à la réalisation du Grand Paris Express (GPE), en déclinaison de la politique Qualité – Sécurité – Environnement (QSE) de la Société du Grand Paris (SGP).
La maîtrise des nuisances et la protection de l'environnement pendant les travaux constituent des enjeux majeurs du programme.

La présente charte s'adresse plus particulièrement aux maîtres d'œuvre, aux entreprises de travaux et à leurs sous-traitants. Elle se positionne au sein d'un schéma global qui couvre l'ensemble des phases du projet, des premières étapes de conception à la réalisation des travaux sous maîtrise d'ouvrage de la SGP.

Durant les études, les démarches suivantes sont mises en œuvre :

- Une prise en compte des enjeux environnementaux dans la programmation initiale.
- Une **écoconception** portée par les maîtres d'œuvre pour approfondir les éléments de la programmation.
- L'établissement d'un **registre des nuisances comprenant une approche ouvrage par ouvrage** qui met en perspective l'impact prévisible des travaux et la sensibilité de l'environnement proche. Cette démarche permet de prioriser les thèmes à considérer localement pour la phase travaux.
- La réalisation concomitante **des dossiers réglementaires environnementaux** (études d'impact, dossiers loi sur l'Eau, dossiers Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), dossiers sites classés, dossiers espèces protégées,…) qui déboucheront sur des prescriptions complémentaires.

Ces démarches permettent de définir pour la phase travaux :

- Un **socle de mesures génériques applicables** à tous les sites de travaux et concernant les enjeux à considérer systématiquement : c'est **l'objet de la présente charte**.
- Des **mesures spécifiques** complémentaires en fonction de la sensibilité des sites, répertoriées dans **le registre des nuisances**. Ces mesures sont définies par les maîtres d'œuvre et précisées par les entreprises lorsque nécessaire.
- Des **mesures issues des procédures réglementaires** qui peuvent être génériques ou spécifiques.

Lors des appels d'offre puis de la réalisation des travaux, les étapes ou outils suivants sont mis en œuvre successivement :

- La rédaction par les maîtres d'œuvre de la **Notice de Respect de l'Environnement (NRE)**. Celle-ci est une pièce constitutive des dossiers de consultation des entreprises (DCE) pour les marchés de travaux.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

La réalisation par les entreprises de travaux, en réponse aux exigences de la NRE de leur marché, d'un **Schéma Organisationnel du Plan de Respect de l'Environnement (SOPRE).** Ce document est remis avec leur offre et contribue à l'évaluation des propositions des entreprises pour le volet environnement.

- La déclinaison opérationnelle, dès le démarrage de leurs missions, de ce SOPRE en **Plan de Respect de l'Environnement (PRE)**, lequel est une pièce particulière de leur Plan Assurance Qualité-Sécurité-Environnement (PAQSE). Le PRE comprend des éléments relatifs à des sujets ciblés (gestion des déchets, bruit, prévention des pollutions,…). Il est le support de leur système de management de l'environnement (SME) de chantier. Les entreprises de travaux mettent en œuvre ces actions sur les chantiers et assurent la traçabilité adéquate.
- Un suivi de la mise en œuvre des engagements du PRE par des entreprises est assuré par les maîtres d'œuvre, notamment par le **Plan de Management de l'Environnement (PME) cadre** qui recense l'ensemble des engagements pris, qu'ils soient génériques ou spécifiques, réglementaires ou volontaires. Les entreprises suivent leurs propres PME, site par site, qui est la déclinaison détaillée du PME cadre du maître d'œuvre.
- Le suivi de la performance environnementale des travaux par un **tableau de bord « environnement des chantiers »**. Il alimente la communication de la SGP dans toutes ses composantes, y compris les rapports de développement durable produits par la SGP.

Le schéma ci-après présente l'articulation de ces différents documents.

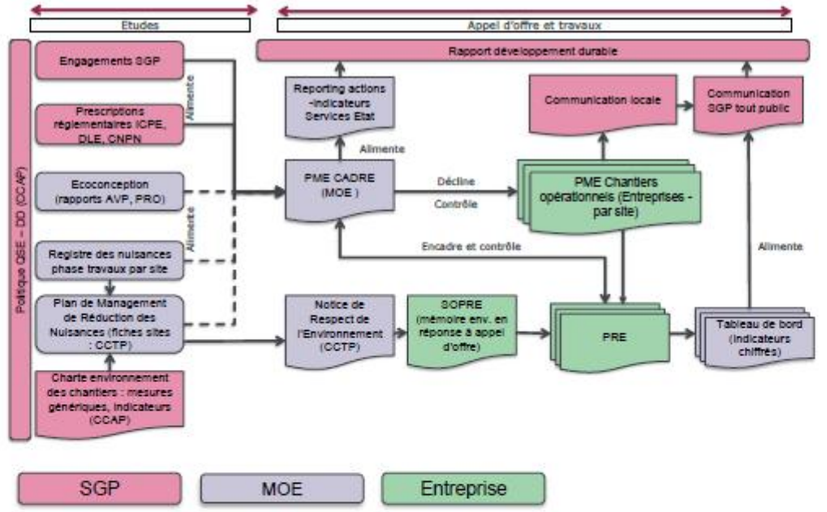


Figure 1 : organisation générale de la démarche environnement

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

La présente « **Charte environnement des chantier** » est donc une pièce clé du dispositif pour les travaux. Elle vient préciser le socle des actions génériques portées par la SGP, en plus des exigences spécifiques découlant des dossiers réglementaires (dossiers loi sur l'eau, dossiers ICPE, …).
Elle est complétée autant que nécessaire, dans le cadre d'une démarche plus globale de développement durable, par les différents documents cadres relatifs à la communication de chantier (concertation et communication) et aux volets social et sociétal des travaux (accès à l'emploi, …).
L'ensemble de ces exigences est intégré au système de management du programme qui encadre les enjeux de développement durable, de qualité, de sécurité et d'environnement, mis en place pour le Grand Paris Express.

Les principaux aspects considérés dans la présente charte sont les suivants :

- L'engagement des prestataires.
- Les exigences organisationnelles pour le management de l'environnement.
- Les exigences de contrôle et de pilotage de la démarche environnementale des travaux.
- Les enjeux et mesures thématiques relatives :
  - au cadre de vie :
    - > bruit,
    - > vibrations,
    - > poussières,
    - > propreté des voiries,
    - > nuisances visuelles et insertion des chantiers,
  - à la gestion des déblais,
  - à la gestion des déchets,
  - à la protection des milieux :
    - > sols, ressources en eaux et milieux aquatiques,
    - > air et Gaz à Effet de Serre (GES),
    - > biodiversité,
  - à la gestion des ressources :
    - > matériaux,
    - > énergie,
    - > eau.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

2. Engagements, exigences organisationnelles et contrôle

2.1. ENGAGEMENT DE LA DIRECTION DES ENTREPRISES PRESTATAIRES

Les maîtres d'œuvre et les entreprises de travaux, sous l'autorité de leur direction et y compris pour leur sous-traitants, s'engagent à :

- respecter et mettre en œuvre à leur niveau la politique QSE de la SGP et les documents afférents, dont la présente charte « environnement des chantiers » ;
- respecter la réglementation environnementale, qu'elle soit générale ou spécifique ;
- mettre en œuvre les moyens requis à cette fin dans une logique d'amélioration continue.

Cet engagement est intégré à leur politique et à leur système QSE.

Plus spécifiquement :

- Les maîtres d'œuvre ont pour mission :
  - D'identifier les sensibilités environnementales particulières pour préconiser des mesures spécifiques à chacun des chantier lorsque cela est nécessaire.
  - d'intégrer de manière claire, suffisante et pertinente, les enjeux environnementaux génériques et spécifiques concernant la phase de chantier dans les DCE, notamment par l'établissement de la NRE,
  - d'assurer le contrôle de la bonne mise en œuvre sur le terrain par les entreprises de travaux des mesures préventives et correctives, dans le cadre du pilotage qu'ils réalisent et par des audits de terrain.
- Les entreprises de travaux ont pour mission :
  - d'établir leur SOPRE, puis de le décliner en PRE,
  - de mettre en œuvre, en temps et en heure, les mesures prévues pour la préservation de l'environnement et la réduction des nuisances,
  - de former et sensibiliser leur personnel à ces sujets,
  - de réaliser leur autocontrôle dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue.

2.2. RESSOURCES ET MOYENS

Les maîtres d'œuvre et les entreprises de travaux s'engagent à:

- Désigner **un chargé de l'environnement.** Celui-ci doit être clairement identifié, compétent et disposer de l'autorité nécessaire à ses missions. Il assure notamment l'animation de la démarche et le suivi du respect des engagements environnementaux. Une ressource identifiée sera en charge du contrôle interne dans ce domaine, ce peut être la même personne. Selon le contexte et les besoins, d'autres personnes peuvent être

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

affectées à la protection de l'environnement ou, inversement, cette personne peut avoir d'autres fonctions.

- Doter leurs équipes de la **compétence environnementale** adéquate par une sensibilisation ou une formation systématique de leur personnel ainsi que de leurs sous-traitants et fournisseurs. La sensibilisation devra être adaptée aux différents postes et phases de travaux. De manière régulière et en tant que de besoin, les entreprises organisent des rappels de ces enjeux dans le cadre de moments dédiés intégrant les sous-traitants et fournisseurs concernés. Ces actions sont enregistrées et peuvent être contrôlées, comme l'ensemble des mesures environnementales.
- Mettre à disposition les **moyens nécessaires et suffisants** pour assurer la maîtrise des enjeux environnementaux relevant de leur responsabilité.

2.3. NOTICE DE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT (NRE)

Au moment de l'établissement des Dossiers de Consultation des Entreprises (DCE), la maîtrise d'œuvre établit une synthèse explicite des enjeux environnementaux et la liste des obligations et engagements.

Ces éléments sont réunis au sein d'une Notice de Respect de l'Environnement (NRE) qui est une pièce constitutive des marchés.

La NRE précise les exigences organisationnelles, réglementaires, techniques nécessaires à la bonne mise en œuvre de la présente charte « environnement des chantiers » ainsi que des engagements environnementaux pris par la SGP, qu'ils soient génériques ou spécifiques.

2.4. SCHEMA ORGANISATIONNEL DU PLAN DE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT(SOPRE) ET PLAN DE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT (PRE)

Les entreprises produisent dans le cadre de leur offre et en réponse à la NRE, un SOPRE. Celui-ci traduit les exigences de la NRE en mesures opérationnelles et présente l'organisation prévue pour la gestion de l'environnement sur le chantier.

Ce SOPRE comprend notamment un focus sur la gestion des déchets et des déblais sous forme de Schéma Organisationnel de la Gestion et d'Elimination des Déchets (SOGED), un focus sur les nuisances sonores préfigurant le dossier bruit, ainsi que des orientations en termes de prévention et maîtrise des pollutions.

A la notification des marchés, les entreprises retenues déclinent leur SOPRE en PRE, lequel détaille ces modalités de mise en œuvre et notamment :

- **l'organisation générale pour le respect de l'environnement, les moyens et responsabilités ;**
- le **rappel des enjeux et objectifs environnementaux** du chantier.
- **les éventuels jalons et points d'arrêts** conditionnés par les obligations et engagements environnementaux ;
- **les mesures à mettre en œuvre, leur localisation et leur temporalité ;**

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

- **les conditions limites induisant des mesures immédiates de protection de l'environnement**, le cas échéant. Celles-ci peuvent aller jusqu'à un arrêt de chantier pour les cas les plus critiques, en fonction des prescriptions réglementaires fixées ;
- les **procédures ou dossiers particuliers** attendus pour les thèmes clés :
  - gestion des déchets et plus particulièrement des déblais en cohérence avec les documents associés,
  - dossier « Bruit de chantiers »,
  - maîtrise des pollutions accidentelles,
  - plans de circulation,
  - tout autre dossier spécifique exigé dans la NRE,
- les modalités de **sensibilisation du personnel et des sous-traitants.**
- les modalités **d'organisation du contrôle et de l'amélioration continue.**
- **les données à suivre**, en particulier les indicateurs et leur modalité de collecte, de suivi et de transmission à la maîtrise d'œuvre (modalités, fréquence,...).
- les éléments de protection de l'environnement **à réceptionner** à l'issue des travaux.

Ce PRE est une pièce particulière de Plan Assurance Qualité-Sécurité-Environnement (PAQSE) du chantier.

2.5. PILOTAGE DE LA PERFORMANCE

Un **tableau de bord « environnement »** est défini pour l'ensemble du projet du GPE, identifiant un certain nombre d'indicateurs clef. De manière systématique :

- les entreprises collectent les données nécessaires au renseignement de ce tableau de bord et les transmettent à leur maître d'œuvre selon les fréquences et modalités prévues au marché.
- Les maîtres d'œuvre en assurent la vérification et la consolidation au niveau de leur périmètre et les transmettent à la SGP en vue de leur synthèse.
- Le suivi du tableau de bord est réalisé régulièrement, à un rythme adapté au besoin.
- L'analyse du tableau de bord à tous les niveaux permet d'identifier des actions d'amélioration en cas de dérives vis-à-vis des objectifs ou de dysfonctionnements. Les entreprises prennent les mesures correctives nécessaires en cas de dérive d'un indicateur.

Ce tableau de bord est suivi régulièrement à leur niveau par chacun des acteurs pour piloter la performance environnementale :

- les entreprises de travaux sur leur périmètre de marché,
- les maîtres d'œuvre pour l'ensemble des entreprises comprises dans leur périmètre,
- la SGP à l'échelle du Grand Paris Express.

L'environnement fait systématiquement l'objet d'un point en réunion de chantier.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

2.6. CONTROLES, AMELIORATION ET DEVOIR D'ALERTE

Un système de vérification du respect des engagements environnementaux est mis en place. Celui-ci repose notamment sur la réalisation d'un auto-contrôle par les entreprises travaux ainsi que sur la mise en œuvre d'audits internes et externes aux différents niveaux d'organisation.

Des audits environnementaux sont réalisés régulièrement sur les chantiers. Ils sont inopinés ou planifiés. La réalisation de ces audits s'appuie notamment sur le Plan de Management de l'Environnement (PME) qui recense l'ensemble des engagements environnementaux. Tout écart significatif à ces engagements fait l'objet de l'ouverture d'une fiche qui est suivie jusqu'à résolution de cet écart dans le cadre du système d'amélioration continue du prestataire concerné.

Au-delà de ces audits formels, l'équipe de maîtrise d'œuvre assure une vigilance permanente sur le respect des engagements environnementaux pris par les entreprises et peut, à tout moment, constater des non-conformités.

Les entreprises prestataires ont un devoir d'alerte vis-à-vis de leur maître d'œuvre et de la SGP s'ils identifient un risque environnemental significatif non maîtrisé.

De plus, toute situation de pollution accidentelle significative fait l'objet d'une fiche d'incident et des procédures de déclaration et d'intervention sont mises en œuvre. De tels incidents, s'ils surviennent, font l'objet :

- de mesures correctives d'urgence ne mettant pas en danger la santé ou la sécurité des intervenants,
- d'une information immédiate du maître d'œuvre et de la SGP,
- d'une information de l'administration concernée le cas échéant,
- d'un retour d'expérience, de manière à faire évoluer les procédures en place pour assurer une protection plus efficace de l'environnement sur l'ensemble du programme par des mesures préventives.

2.7. RECEPTION

Certains engagements environnementaux font l'objet d'une réception en fin des travaux ou postérieurement aux travaux. Ils sont identifiés dans la NRE et le PRE. A titre d'exemple, c'est le cas pour la mise en place de systèmes de suivi de la qualité environnementale des milieux (piézomètres, bilan faune et flore post travaux,...) ou de la mise en œuvre de mesures compensatoires en phase travaux sur l'emprise du chantier.

2.8. COMMUNICATION

La SGP a impliqué les parties prenantes dès l'amont de l'opération dans le cadre de la concertation sur le projet. Sa volonté est de poursuivre cette démarche de concertation et de communication durant tout le déroulement des travaux.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

L'organisation et la démarche présentées ci-dessus permettent le suivi des engagements de la SGP et leur traçabilité afin de permettre une communication locale et globale adaptée sur la gestion environnementale du projet. Les entreprises et les maîtres d'œuvre fournissent les données nécessaires à cette fin. Les documents relatifs aux exigences de communication précisent ces exigences.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

3. Socle des mesures génériques

Les principes et actions suivants sont mis en œuvre de manière générique sur l'ensemble des chantiers sous maîtrise d'ouvrage SGP et sont complétés par des mesures particulières lorsque la sensibilité est forte autour du site de travaux, conformément au registre des nuisances du site considéré.

3.1. CONFORMITE REGLEMENTAIRE

Le respect de la présente charte « environnement des chantiers » inclut la conformité à la réglementation, qu'il s'agisse de la réglementation environnementale générale (Code de l'Environnement,...) ou de réglementations spécifiques (arrêtés prescriptifs).

3.2. CADRE DE VIE

3.2.1. Bruit

De manière générale, l'objectif est de limiter les nuisances sonores à la source autant que possible puis de réduire leurs impacts lorsqu'elles ne peuvent être évitées.

Les mesures suivantes sont à mettre en œuvre systématiquement :

- **La circulation** se fait selon un plan de circulation préétabli qui définit les axes d'approvisionnement et d'évacuation générant le moins de nuisances possible tout en intégrant les contraintes techniques inhérentes au chantier.
- **Les horaires** de travaux réalisés en surface sont déterminés de manière fixe et impérative en prenant en compte les contextes locaux. Les travaux particulièrement bruyants sont, lorsque cela est possible, planifiés en dehors des plages horaires les plus sensibles en fonction des autres enjeux et contraintes.
- **Les études d'exécution** intègrent une réflexion sur la limitation des activités bruyantes (percements, carottages, sciages, etc.). Lorsque cela est possible et économiquement pertinent, le choix de techniques constructives moins bruyantes est privilégié (parois moulées / palplanches, banches équipées d'écrous serrés à la clé dynamométrique au lieu d'écrous à ailettes, mortier sec pour joints de maçonnerie, etc.).
- Lorsque cela est envisageable des matériels insonorisés sont utilisés (marteaux-piqueurs électriques ou hydrauliques plutôt que pneumatiques).
- **Le positionnement des installations les plus bruyantes** est réfléchi en fonction de la localisation des zones les plus sensibles à proximité, de manière à éloigner les sources de bruit de ces secteurs lorsque cela est possible dans l'espace imparti. Le cas échéant, l'environnement et l'organisation du chantier sont mis à profit pour limiter l'impact de ces activités en utilisant les éléments susceptibles de faire écran au bruit (relief, merlons).
- **Les engins de chantier** sont conformes à la législation s'y rapportant en termes d'émissions sonores.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

3.2.2. Vibrations

Pour les sites les plus sensibles, des mesures spécifiques pourront être prises, comme par exemple:

- Le déploiement d'**appareils de mesures** – sismographes – pour contrôler les niveaux de vibrations *in situ*. Leur implantation dépend des objectifs suivis : protection de la structure physique ou surveillance de la gêne induite.
- La mise en œuvre d'**adaptations techniques** pour réduire la gêne ou les risques liés aux vibrations, lorsque cela est possible et pertinent.

3.2.3. Poussières

L'objectif est de limiter à la source les émissions de poussières. Les mesures suivantes sont systématiquement mises en œuvre :

- Le transport des matériaux pulvérulents est réalisé par des **camions bâchés**.
- Les stockages de matériaux fins et pulvérulents ont lieu à l'abri du vent. Ils sont bâchés le cas échéant en fonction des besoins.
- Lorsque des activités susceptibles d'émettre des poussières de manière importante sont réalisées, des mesures spécifiques sont mises en œuvre pour réduire autant que possible ces émissions (arrosage, brumisation des zones de travaux, équipements particuliers d'aspiration, ...).
- Les convoyeurs sont capotés de manière à éviter la production de poussière lors du transit des matériaux dans la galerie du tunnel et en sortie, le cas échéant.

3.2.4. Propreté des voiries

Afin de de maintenir en permanence des voiries propres et sûres aux abords immédiats du chantier, les mesures suivantes sont systématiquement mises en œuvre :

- Des **dispositifs de nettoyage des roues sont mis en place en sortie de chantier.**
- Le cas échéant, en fonction des besoins, ces dispositifs sont complétés par un **nettoyage de voirie** afin que celle-ci reste en permanence propre et sûre pour les usagers.

3.2.5. Nuisances visuelles et insertion des chantiers

L'objectif est d'assurer la meilleure intégration possible des chantiers dans leur environnement. L'organisation du chantier est un critère essentiel de sa perception par les riverains, une grande attention doit y être portée tout au long de la durée des travaux. De plus, une bonne organisation du chantier réduit les risques d'accidents pour les personnes.

Les mesures suivantes sont systématiquement mises en œuvre :

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

- Les engagements et prescriptions liés **aux sites et monuments classés** sont mis en œuvre.
- **Le plan des installations** de chantier matérialise clairement les différentes zones : circulation des engins, parkings, bungalows, stockages des matériaux, stockage des déchets, traitement des eaux par décantation, etc.).
- **Le chantier est maintenu dans un état propre et ordonné**.
- Les zones de **stockages de déchets susceptibles de faire l'objet d'envols** (papiers, cartons, plastiques, polystyrène, etc.) sont fermées ou dotées de dispositifs de protection. De même, les camions chargés d'enlever ces déchets sont dotés, lorsque nécessaire, de **dispositifs de protection contre les envols** (bâchage, filet etc.).
- **Les barriérages** entourant le chantier sont homogènes, conformes aux chartes graphiques définies et d'une hauteur suffisante pour limiter les nuisances visuelles. Ils font l'objet d'un nettoyage régulier afin de rester dans un état de propreté satisfaisant.
- Un **balisage de sécurité** est mis en place autour du chantier afin de prévenir tout risque d'accident.
- **le maintien de la circulation routière, des itinéraires piéton et des modes doux** est réalisé selon les règles de l'art et dans le respect de la réglementation.
- Le maintien de l'**accès aux commerces potentiellement concernés est systématiquement considéré et pris en compte** en fonction de l'ensemble des contraintes existantes en cohérence avec les exigences des documents relatifs à la concertation.

3.3. GESTION DES DEBLAIS

L'objectif est à la fois de favoriser la valorisation des déblais inertes mais également d'encourager leur transport par des modes alternatifs à la route, par voies fluviales ou ferroviaires. Il s'agit également de garantir leur qualité et d'en assurer la traçabilité.

Les principes suivants sont systématiquement mis en œuvre en cohérence avec le Schéma Directeur d'Evacuation des Déblais (SDED) élaboré par la SGP :

- **Les déblais font l'objet de caractérisations systématiques** selon les prescriptions définies pour valider leur qualité, notamment en termes de caractéristiques physico-chimique et d'absence de pollution. En fonction de la nature de ces matériaux, un tri est réalisé afin de distinguer :
  - les déblais inertes au sens de la réglementation,
  - les déblais non inertes mais non pollués au sens de la réglementation (notamment déblais gypsifères),
  - les déblais pollués qui font l'objet d'un plan de gestion dédié.
- Pour les déblais inertes, en fonction de leurs caractéristiques géotechniques et des possibilités techniques, il est privilégié :

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

  - une réutilisation sur site,
  - une valorisation par réutilisation ou recyclage, y compris en remblaiement de carrières ou dans le cadre d'autres projets d'aménagement,
  - en ultime recours, un enfouissement en installations agréées.
- Les déblais non inertes et non pollués sont gérés selon la même logique en fonction des autorisations réglementaires relatives aux possibilités de valorisation de ces matériaux.
- Les déblais pollués sont traités et éliminés dans des filières agréées dédiées.
- Pour le transport des déblais non pollués, les modes de transport alternatifs à la route (voies fluviales et ferroviaires) sont recherchés prioritairement, dans le respect de l'équilibre économique et des objectifs de délai du projet.
- La traçabilité du devenir des déblais est assurée quelle que soit la catégorie à laquelle ils appartiennent.

3.4. GESTION DES DECHETS (HORS DEBLAIS)

Les objectifs sont de limiter à la source les quantités et la toxicité des déchets produits, puis, pour ceux inévitablement générés, de privilégier leur valorisation au détriment des solutions d'élimination par incinération ou enfouissement.

L'organisation et les mesures envisagées pour atteindre ces objectifs sont détaillés dans le Schéma Organisationnel de Gestion et d'Elimination des Déchets (SOGED) produit par l'entreprise de travaux.

3.4.1. Réduction à la source

La recherche d'une réduction à la source suppose une réflexion en l'amont des travaux. A titre d'exemple, les pistes de solutions suivantes sont étudiées :

- **Réduction des déchets d'emballages** en favorisant la livraison de produits en « vrac », en volume adapté et la reprise des emballages par le fournisseur.
- Choix **de méthodes constructives** limitant le volume ou la toxicité des déchets produits (par exemple par l'utilisation d'éléments préfabriqués).
- **Optimisation des études d'exécution** (limitations des chutes, plan de calepinage évitant les reprises, etc.).

3.4.2. Tri et élimination des déchets

Les mesures suivantes sont systématiquement mises en œuvre :

- Les catégories suivantes de déchets non dangereux (DND) sont triées en vue de leur valorisation matière ou énergétique, en fonction des filières locales :
  - déchets d'emballages, qui sont valorisés conformément à la loi,

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

- métaux (ferreux et non ferreux),
- papiers-cartons,
- plastiques et déchets non dangereux en mélange.

- Les déchets dangereux (DD) sont collectés de manière séparée conformément à la réglementation. En particulier, les déchets faisant l'objet de filières réglementaires spécifiques sont triés individuellement. Les autres déchets dangereux sont collectés et traités en fonction des filières agréées existantes localement.
- Les points de collecte des différents types de déchets sont **matérialisés sur le plan des installations de chantier.** Si nécessaire, en fonction de l'étendue et de la durée du chantier, des **points de collectes secondaires sont mis à disposition** au plus près des zones de productions de déchets afin de faciliter le tri et sa qualité.
- Un **affichage** clair et adapté est mis en place au niveau des points de collecte de déchets pour faciliter le tri. **Le personnel est sensibilisé** à la gestion des déchets mise en place.

Pour les sites et activités amenés à produire de nombreuses catégories distinctes de déchets, notamment pour les travaux Tous Corps d'Etat (TCE) des bâtiments, le niveau de tri doit être adapté et approfondi.
Pour les travaux de démolition, lorsqu'un diagnostic déchet a été produit par la maîtrise d'ouvrage, celui-ci est utilisé pour optimiser le tri et la valorisation par une réflexion amont.
Dans ces deux cas en particulier et en fonction des volumes attendus et des filières existantes, les déchets non dangereux sont triés de manière plus fine pour optimiser leur valorisation (bois, verre, plastiques, etc.).

3.4.3. Comptabilité et traçabilité des déchets

La conformité des filières et la traçabilité des déchets sont assurées pour répondre aussi bien à la réglementation qu'aux objectifs environnementaux des travaux. Ainsi, les actions suivantes sont mises en place de manière systématique :

- Les filières de transports, de tri, de valorisation ou d'élimination des déchets font l'objet d'un **contrôle de leur conformité administrative** (autorisation valide pour l'activité).
- **La traçabilité des déchets est assurée** conformément à la législation en vigueur et aux prescriptions du marché (**registre des déchets, bordereaux de suivi).**

3.5. PROTECTION DES MILIEUX

3.5.1. Sols, ressources en eaux et milieux aquatiques

Les objectifs sont d'assurer la protection des sols et des eaux contre les pollutions de toutes natures, y compris accidentelles. Les mesures systématiques à prévoir sont les suivantes :

- **Les produits dangereux** nécessaires au chantier (gasoil, huiles, peintures, etc.) sont placés sur des rétentions dont la capacité et la nature sont adaptées aux produits considérés et à leur volume.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

- Toutes **les activités** de **manipulation de produits dangereux** et en particulier le **dépotage, le ravitaillement des engins** ou le déchargement des contenants sont réalisés en dehors des zones sensibles, sur une aire étanche et dans des conditions de sécurité adaptées. L'aire étanche est connectée à un système de traitement ou à un réseau autorisé. Lorsque cela n'est pas possible, par exemple dans le tunnel lui-même, des mesures préventives sont mises en place pour éviter toute pollution accidentelle.
- **Une procédure de gestion des pollutions accidentelles** adaptée aux différents contextes de risques (produits présents, proximité de points d'eau, risque d'inondation de la zone de stockage,…) est mise en place pour anticiper tout incident environnemental susceptible de générer une atteinte du sol et des eaux. Les moyens de maîtrise des pollutions accidentelles potentielles sont disponibles sur le chantier ou mobilisables dans un délai compatible avec le risque (produits absorbants, boudins absorbants, barrages flottants, …). Des exercices de mise en situation sont réalisés régulièrement lorsque cela est possible et font l'objet de retours d'expérience au niveau adapté selon l'importance de l'enjeu (chantier, tronçon, ensemble du programme). Ils sont donc organisés d'abord par l'entreprise et transmis à la maîtrise d'œuvre et à la SGP, qui peuvent étendre à l'ensemble de leur périmètre respectif ce retour d'expérience.
- **Le lavage des engins** ou du matériel sur le chantier est réalisé sur une aire étanche reliée à un séparateur d'hydrocarbures et décanteur, ou à tout autre système de traitement adapté, lequel est régulièrement entretenu. Des contrôles sont effectués au point de rejet pour en vérifier la conformité aux éventuels arrêtés prescriptifs.
- **Les eaux de ruissellement** susceptibles d'être chargées en matières en suspension ou en hydrocarbures font l'objet d'une collecte et d'un traitement adapté avant leur rejet au milieu naturel ou dans les réseaux selon les autorisations accordées. Des contrôles sont effectués aux points de rejet pour en vérifier leur conformité selon les arrêtés prescriptif s'y rapportant. **Les eaux de process chargées en matières en suspension susceptibles d'impacter le milieu récepteur** (eaux de forages, bentonite, etc.) font l'objet d'un traitement adapté avant tout rejet au milieu naturel ou au réseau autorisé. Les eaux de process contaminées par des produits présentant un danger pour l'homme ou l'environnement sont traitées de manière spécifique le cas échéant.
- **Les terres végétales** sont triées en vue de leur réutilisation pour des aménagements paysagers, lorsque leur volume le justifie et que les espaces de stockage le permettent.
- **Les installations sanitaires** sont conçues et entretenues afin d'éviter tout risque d'atteinte à l'environnement, et sont adaptées aux conditions de travail du personnels.

3.5.2. Air et Gaz à Effet de Serre (GES)

L'objectif est de limiter autant que possible les émissions de polluants et de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Ces émissions sont issues principalement du transport des matériaux et des déblais, ainsi que du fonctionnement des engins sur le chantier.

L'ensemble des engins à moteur présent sur le chantier est conforme aux normes de rejets atmosphériques en vigueur.

En outre, des mesures complémentaires sont à privilégier telles que:

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

- le recours à des modes de transports alternatifs à la route (fluvial, ferroviaire), notamment pour l'évacuation des déblais vers les sites de valorisation ou d'élimination ;
- l'utilisation de matériaux, produits ou procédés économes en énergie et générant moins d'émissions de GES (matériaux recyclés, enrobés tièdes, bétons présentant des avantage environnementaux démontrés, ...),
- l'optimisation des modes de déplacement des personnels de chantier,...

Le suivi des émissions de GES tout au long du déroulement du chantier est réalisé par l'utilisation de l'outil **carboptimum**, spécialement conçu par la SGP pour réaliser et optimiser le bilan carbone du projet.

Ces mesures contribuant à la réduction des émissions de GES présentent également le plus souvent un intérêt en termes d'économie d'énergie.

3.5.3. Biodiversité

Les mesures suivantes sont mises en œuvre de manière systématique pour les sites concernés afin d'éviter les impacts sur les milieux et espèces protégées :

- L'organisation et le déroulement des chantiers intègrent les enjeux et les prescriptions relatifs aux espèces animales et végétales protégées selon les arrêtés afférents.
- Les espaces présentant des enjeux écologiques à protéger sont clairement balisés ou clôturés et identifiés à l'aide une signalétique claire visant à empêcher toute dégradation, notamment par passage accidentel d'engins.
- En cas de **travaux à proximité immédiate d'arbres**, notamment en zone urbaine, ceux-ci font l'objet d'une protection physique adéquate (mousse, protection métallique).

Dans les secteurs éventuellement concernés, des actions préventives et curatives contre les plantes invasives sont mises en œuvre afin d'éviter leur dissémination et leur prolifération.

3.6. GESTION ET ECONOMIE DES RESSOURCES

3.6.1. Matériaux

Les produits et matériaux utilisés sur le chantier sont choisis dans la mesure du possible en fonction de leurs impacts environnementaux et sanitaires.
Notamment, l'utilisation de matériaux recyclés sera recherchée et privilégiée en cohérence avec une démarche d'économie circulaire.
Le recours à des matières premières issues de filières certifiées sera également favorisé.

Les matériaux privilégiés pourront être notamment les suivants :

- Granulats issus du recyclage.
- Enrobés recyclés ou tièdes.
- Bois et papier issus de filière PEFC ou FSC.
- Autres matériaux bénéficiant d'un label national ou international reconnu (NF Environnement, Ecolabel européen,...).

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

Les Fiches de Données Sécurité (FDS) et les Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires (FDES) sont utilisées pour justifier de la qualité environnementale des matériaux proposés.

3.6.2. Energie

Les mesures suivantes sont systématiquement mises en œuvre afin de réduire les consommations énergétiques des travaux :

- Les mesures relatives aux transports et au fonctionnement des engins de chantiers visant à réduire les émissions de GES contribuent également et de manière importante aux économies d'énergie et de ressources. Elles présentent en ce sens un double intérêt et doivent être favorisées.
- **Les installations de chantiers** sont équipées de dispositifs favorisant les économies d'énergie. En particulier, les éclairages économes sont privilégiés. Lorsque cela est pertinent, l'éclairage est maîtrisé par le biais de capteurs de présence ou de minuterie.
- **L'éclairage** est un enjeu fort de sécurité qui doit être prioritaire, il sera toutefois adapté aux besoins des zones d'activités du chantier en tenant compte des objectifs d'économie d'énergie. En dehors des horaires de travaux, il est recherché un éclairage minimal mais suffisant pour satisfaire les enjeux de sécurité.

3.6.3. Eau

L'objectif est de limiter les consommations d'eau, notamment en favorisant le recyclage. Les mesures suivantes sont mises en œuvre :

- **Les eaux industrielles sont recyclées** autant que possible en fonction des possibilités techniques et des emprises disponibles. Ces eaux sont, selon leur qualité et les opportunités techniques, réutilisées pour le process industriel ou encore pour l'aspersion des pistes et stockages.
- Lorsque les **eaux de ruissellements** sont collectées, elles font **l'objet d'un recyclage** après décantation si les activités et l'espace le permettent.
- Les installations de chantiers sont équipées de dispositifs favorisant les économies d'eau pour l'usage quotidien (douches, réfectoire).

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

8 Annexe 8 : Politique Qualité Sécurité Environnement

Société du Grand Paris

ARTEMIS ARTELIA ARCADIS BG

DIRECTOIRE

RESEAU DE TRANSPORT PUBLIC DU GRAND PARIS

DOCUMENT DE CADRAGE

Politique Qualité – Sécurité – Environnement de la Société du Grand Paris

CONFIDENTIALITE C1 Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris. Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

Émetteur

DATE	INDICE	SUIVI DES MODIFICATIONS	REDAC.	VERIF.	VALID./APPROB.
05/08/2014			RLM	MD	DB

Contact référent du document : Etienne ROUSSELET

Références

Code GED : USI_02_HPH_CDR_000070_1
Nom du fichier : USI_02_HPH_CDR_000070_1_Politiqu QSE

RTGP	00000	TTT	MQP	USI	02	HPH	NOT	000070	02	01
SECTEUR	OBJET	NIVEAU	SPECIALITE	EMETTEUR	DISCIPLINE	PHASE	TYPE DOC	N° INCREMENTATION GED	IND. GED	IND. INTERNE EMETTEUR

Nombre de pages : 13

SOMMAIRE

1. Objectifs du programme 3

2. Responsabilité sociétale : un état d'esprit pour agir positivement dans tous les domaines 4

3. Qualité : garantir une performance technique et économique durable 5

4. Sécurité : optimiser la fiabilité du service et des installations 7

5. Environnement : contribuer à un service de mobilité collective porté par une démarche d'écoconception 9

5.1. Des impacts environnementaux à optimiser (préservation des ressources et minimisation des pollutions potentielles) 9

5.2. Une insertion dans les territoires à favoriser 11

6. Mise en œuvre 13

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

1. Objectifs du programme

Le Réseau de Transport Public du Grand Paris (RTPGP), partie du Grand Paris Express sous Maîtrise d'Ouvrage de la Société du Grand Paris, est un élément clé du développement durable de Paris, de la métropole du Grand Paris et de la Région Ile-de-France qui s'inscrit dans le réseau de transport francilien, sous l'autorité du STIF, autorité organisatrice des transports. A ce titre, les enjeux techniques, économiques, environnementaux et sociaux sont essentiels dans sa stratégie de programmation et de conception comme dans sa réalisation et son fonctionnement.

La Société du Grand Paris place ces enjeux au cœur de sa politique d'entreprise et les exprime au travers des quatre dimensions structurantes de son système de management :

- **La responsabilité sociétale** vis-à-vis de ses salariés, de ses prestataires, de ses partenaires et des habitants d'Ile-de-France ;
- **La qualité** des ouvrages que la Société du Grand Paris réalise, dans leur conception, leur réalisation et leur intégration, en vue d'atteindre des performances optimales au meilleur coût ;
- **La sécurité** pour les voyageurs, pour les travailleurs des chantiers, de l'exploitation ou de la maintenance du métro, pour les riverains ;
- **L'environnement** en alliant aux objectifs de mobilité durable pour les franciliens des objectifs d'éco-conception et d'intégration optimale des ouvrages et des chantiers et d'aménagement urbain des quartiers de gare.

Ces enjeux se retrouvent dans les objectifs du RTPGP, projet urbain, social et économique basé sur la construction d'un nouveau réseau de transport public :

- **Pour le voyageur** : concevoir et réaliser un système de transport attractif et sûr, régulier, moderne, confortable, rapide, souple d'utilisation, améliorant la complémentarité entre les différents réseaux de transport, facilitant les connexions avec ceux-ci, accessible à tous et respectueux de l'environnement.
- **Pour l'aménagement et le développement durable des territoires :** lutter contre l'étalement urbain en favorisant la construction de logements et les projets urbains portés par les collectivités et en mettant en valeur les espaces publics traversés par une architecture de qualité.
- **Pour les futurs exploitants et gestionnaire des infrastructures** : concevoir et réaliser un système de transport performant dans son exploitation et sa maintenance.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

2. Responsabilité sociétale : un état d'esprit pour agir positivement dans tous les domaines

La Société du Grand Paris est porteuse d'un projet structurant pour l'Ile-de-France, pour la qualité de vie de ses habitants, pour son activité et son développement économique
Elle met en place une gouvernance dont la priorité est la recherche du consensus en associant les élus des territoires au processus de décision sur les fonctionnalités du projet au service des habitants et sur son intégration au service de l'aménagement urbain.

Elle sait combien l'excellence du projet qu'elle porte dépend des femmes et des hommes qui œuvrent à sa réalisation. Elle sait l'enjeu que représente ce projet exceptionnel à tout point de vue dans leur vie professionnelle. Elle met en place des conditions de travail et des services pour les accompagner dans leurs parcours professionnels.

Elle met en place une démarche d'éco-conception exemplaire afin de rendre compte de ses efforts, non seulement pour limiter ou compenser les impacts du projet, mais aussi pour porter des initiatives positives et innovantes de contribution du projet à la qualité de l'environnement.

Elle met en place une organisation de pilotage des contrats et un code de déontologie dans un objectif de respect rigoureux des bonnes pratiques dans les affaires.

Elle sait que l'activité économique que représente le projet est attendue et elle agit pour que les autorités décisionnelles en tiennent compte dans la diligence de leurs prises de décision. Elle fait en sorte que cette activité économique ait des retombées positives pour les entreprises locales et pour l'accès à l'emploi.

Elle met en place des outils de communication et de concertation pour associer le public et tenir compte de ses observations et propositions dans la conception du projet ou dans le déroulement des travaux et pour l'informer sur l'avancement et l'actualité des opérations.

Elle agit dans un esprit partenarial pour élargir le consensus qu'elle recherche avec les élus des territoires aux associations représentants les populations concernées par les travaux ou les futurs voyageurs, notamment en matière d'accessibilité pour tous.

Ces engagements responsables guident la politique de la Société du Grand Paris en matière de qualité, de sécurité et d'environnement

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

3. Qualité : garantir une performance technique et économique durable

La Société du Grand Paris **se donne comme ambition d'être exemplaire en termes de performance technique et économique de ses ouvrages et aménagements** pour répondre aux besoins de transports régionaux tels que définis notamment suite aux étapes de concertation avec les parties prenantes.

La mise en œuvre du RTPGP doit prendre en compte sa complexité particulière, découlant de l'importance, des chantiers à conduire, des dimensions du périmètre concerné du nombre d'acteurs concernés et de la densité urbaine des zones traversées. Ainsi, l'un des objectifs fondamentaux du système qualité est d'assurer **la bonne gouvernance du programme** et **les règles de fonctionnement communes et partagées** pour une bonne coordination. Cet enjeu de gouvernance concerne **l'organisation et le fonctionnement de la SGP et de ses prestataires** mais **également les relations avec les partenaires et parties prenantes** du projet et en particulier avec les collectivités, les concessionnaires et les futurs exploitants et gestionnaires d'infrastructures.

Le RTPGP doit également s'inscrire dans un **objectif de maîtrise des coûts**. Cette notion de coût doit être approchée **sous l'angle du coût global, incluant à la fois** le coût d'investissement, et les coûts d'exploitation et maintenance. La recherche permanente de l'optimisation des coûts se fait dans le respect des exigences de performance technique, environnementale et sociétale.

Le programme porte également **un objectif essentiel de respect des délais** dans un contexte organisationnel pluri-acteurs et réglementaire complexe, associé à des enjeux techniques majeurs. L'organisation opérationnelle pour respecter les délais fait donc partie des fondamentaux à respecter tout en assurant les nécessaires échanges avec les parties prenantes et les partenaires.

Le programme inclut la notion **d'accessibilité**, enjeu fort de développement durable. Le RTPGP se doit d'être **accessible à toutes les personnes**, y compris en situation de handicap. Une réflexion approfondie doit être menée pour **faciliter et fluidifier la circulation des voyageurs, depuis l'extérieur comme à l'intérieur** des espaces bâtis et des systèmes de transport. L'enjeu d'information et d'orientation du voyageur est en ce sens un objectif important qui lui aussi contribue à l'usage optimal des transports en commun.

La technicité et le contexte d'intervention induisent des risques de toute nature liés à l'économie du projet, susceptibles d'impacter les objectifs techniques, de coûts, de délais, voire de sécurité. **La maîtrise transversale des risques impactant la gestion de projet est donc également un objectif fondamental du RTPGP** notamment pour les phases de conception et de travaux. Il est donc essentiel de porter une démarche de gestion des risques anticipée, coordonnée et maîtrisée dont l'objet est d'éviter les risques ou, lorsqu'ils ne peuvent être évités, de réduire au maximum leur probabilité d'occurrence et d'anticiper leurs conséquences pour s'en prémunir au cas où ils viendraient à se produire ; le traitement des risques « accidentels » est intégré de manière plus spécifique dans la politique Sécurité et celui des risques « environnementaux » dans la politique Environnement.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

Enfin, il est important **également que les ouvrages et aménagements conçus intègrent la dimension de leur devenir et notamment de leur évolutivité**. Cette caractéristique est particulièrement clé dans une perspective de développement durable impactant pour le dimensionnement et la souplesse d'aménagement des espaces dans un contexte d'évolution permanente des modes d'exploitations, des technologies employées, des besoins d'utilisation...

Afin de mettre en œuvre ces engagements, **la** Société du Grand Paris **se dote des compétences les plus expertes, aussi bien en son sein que dans le choix de ses prestataires**.

L'atteinte de ces objectifs a déterminé la programmation, la conception et la réalisation du projet. A l'échelle des équipes de conception et de travaux, ces objectifs qualité sont, *a minima*, les suivants :

- Respecter la réglementation et les normes applicables,
- Capitaliser les retours d'expériences dans une logique d'amélioration,
- Mettre à disposition les ressources humaines et matérielles adaptées,
- Susciter et prendre en compte les attentes et expressions de besoin de l'Autorité organisatrice et du futur gestionnaire des infrastructures,
- Maîtriser et respecter les spécifications de performance technique,
- Optimiser la maintenance et l'exploitation des installations, ouvrages et infrastructures,
- Maîtriser et respecter les coûts,
- Maîtriser et respecter le planning,
- Maîtriser les risques de toute nature susceptibles de limiter l'atteinte des objectifs.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

4. Sécurité : optimiser la fiabilité du service et des installations

La sécurité est entendue ici sous trois aspects complémentaires :

- La sécurité des systèmes ferroviaires et des bâtiments, et les préconisations d'exploitation-maintenance en vue de la transmission aux exploitants et mainteneurs
- La sûreté des personnes et des biens face aux actes de malveillance,
- La santé – sécurité des personnes en phase travaux (travailleurs des entreprises, riverains des chantiers), la sécurité des biens à proximité des chantiers, la sécurité des travailleurs lors des opérations de maintenance et d'exploitation.

Toute activité induit un certain nombre de risques potentiels d'accidents. Les transports ferroviaires ne font pas exception à cette règle et **le premier objectif de sécurité pour le RTPGP consiste en un** réseau de transport automatique **sûr pour les personnes transportées et les utilisateurs des espaces publics que sont notamment les gares**. Ainsi concevoir et mettre en œuvre un système de transport sûr pour les voyageurs est un objectif essentiel du RTPGP. De même, les gares comme tout bâtiment, peuvent être exposées à des risques notamment d'incendie. Anticiper les risques pour les éviter et les réduire mais également prévoir les systèmes adéquats pour les contenir et les maîtriser tout en assurant la sécurité des personnes et des biens est prioritaire.

La question **de l'adaptation au changement climatique** est intégrée dans cette perspective, notamment dans l'anticipation des périodes de crues et périodes de forte chaleur.

Assurer la sûreté optimale des personnes et des biens contre la malveillance est également un objectif du RTPGP. La conception des espaces et l'adaptation des mesures de sécurité selon leur agencement et leur fonctionnement fait partie des priorités pour le RTPGP.

La sécurité des personnes au sens de l'hygiène, de la santé et de la sécurité des travailleurs fait partie intégrante des engagements et des objectifs portés par la Société du Grand Paris. Il s'agit d'assurer des conditions de travail sûres et saines pour les personnes intervenant dans le cadre des travaux, mais également des personnes qui interviendront sur les installations du RTPGP en fonctionnement, que ce soit dans les gares, les sites de maintenance ou encore dans les trains. Cela suppose une anticipation des risques accidentels auxquels ces travailleurs peuvent être exposés et la mise en œuvre de mesure d'évitement, de réduction ou de maîtrise de ces risques, y compris leur signalisation réglementaire (ex. risque électrique, de chute, de matériel tournant, etc).

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

Durant les travaux, il convient notamment de prendre toutes les mesures nécessaires pour **assurer la sécurité du personnel intervenant sur les chantiers et des tiers**. Cela recouvre la maîtrise des techniques de chantier utilisées et les interfaces du chantier avec les riverains et les usagers des espaces publics concernés par les travaux. Les travaux souterrains induisent en effet des risques spécifiques qui doivent être parfaitement analysés de façon à être anticipés et maîtrisés.

L'atteinte de ces objectifs repose sur une programmation, une conception et une réalisation du projet orientées en conséquence. A l'échelle des équipes de conception et de travaux, ces objectifs de sécurité sont a minima les suivants :

- Adopter une chaîne organisationnelle (maître d'ouvrage et assistants à maître d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises réalisatrices) garantissant à tous les stades du projet, la maîtrise technique des méthodes constructives employées, notamment en faisant adopter par chaque acteur une démarche systématique de maîtrise des risques techniques,
- Intégrer l'ensemble des exigences réglementaires relatives à la sécurité des personnes, des ouvrages, des infrastructures et des systèmes,
- Avoir une approche dès la conception intégrant systématiquement les enjeux de sécurité des personnes et des biens face aux accidents potentiels,
- Avoir une approche dès la conception intégrant systématiquement les enjeux de sûreté des personnes et des biens face à la malveillance,
- Assurer la sécurité des personnes, travailleurs comme des riverains et usagers, pendant les travaux et les essais,
- Transmettre aux exploitants et aux mainteneurs les recommandations de sécurité et de sûreté préconisées.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

5. Environnement : contribuer à un service de mobilité collective porté par une démarche d'écoconception

Le RTPGP intègre une dimension environnementale forte : il doit favoriser l'usage des transports en commun et participer ainsi **à la limitation des émissions globales de gaz à effet de serre**.

La limitation des émissions de gaz à effet de serre est ainsi un objectif prioritaire du programme du RTPGP, qui intègre et consolide un certain nombre d'actions citées ci-après, notamment : la réduction des consommations d'énergie du programme en phases travaux et exploitation, la mise en œuvre d'une logistique durable en phase travaux et le choix de matériaux peu émissifs lorsque cela est techniquement et économiquement réaliste. A ces éléments s'ajoute la fonction première du RTPGP en termes de transport en commun et l'importance de l'offre multimodale des gares pour la construction d'une chaîne de mobilité durable.

Le RTPGP a également un impact majeur sur le désengorgement des axes majeurs de transport en commun existants en offrant des déplacements transversaux de banlieue à banlieue.

Le RTPGP, par son ampleur, induit des impacts sur l'environnement en phase travaux comme en phase d'exploitation. L'ambition de la Société du Grand Paris dans ce domaine est de s'inscrire dans la logique de la démarche « éviter-réduire-compenser » en prenant en compte dès l'amont les enjeux environnementaux. A ce titre et pour la première fois, une évaluation environnementale stratégique a été conduite très en amont du projet et a servi de support au débat public, dont les conclusions sont prises en compte dans les objectifs stratégiques définis ci-dessous.

5.1. DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX A OPTIMISER (PRESERVATION DES RESSOURCES ET MINIMISATION DES POLLUTIONS POTENTIELLES)

La question des impacts environnementaux potentiels concerne d'une part la phase travaux et d'autre part la phase exploitation - les impacts en phase d'exploitation dépendant de la manière dont ont été conçues les infrastructures et dont ont été définies les modalités de fonctionnement du service.

De manière générale, **la maîtrise des nuisances** induites sur les riverains et les usagers doit être intégrée systématiquement, en particulier en maîtrisant les **déformations du terrain naturel et du bâti** lors des travaux, les **nuisances sonores**, le niveau d'**empoussièrement**, la **propreté** des espaces publics, les **vibrations**, mais aussi en maintenant **les circulations pour tous** afin de ne pénaliser ni les riverains ni les activités économiques voisines.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

La **gestion de l'énergie** est un objectif environnemental fondamental du programme. Elle recouvre deux réalités complémentaires. D'une part, **la performance énergétique** des installations et en particulier du système de transport, des sites de maintenances et des équipements des gares et, d'autre part, le recours à **des énergies renouvelables** et à la récupération d'énergie lorsque cela est pertinent.

La gestion des déchets est également un objectif de protection de l'environnement du programme. En période de travaux, il s'agit de rechercher la **réduction des volumes de déchets** induits, en optimisant le programme lorsque c'est possible, mais aussi en anticipant les besoins **pour réduire les emballages** et **favoriser le tri et le recyclage** notamment pour le second œuvre ; les méthodes constructives peuvent notamment y contribuer ainsi que le choix des matériaux.

Un enjeu majeur de la phase de travaux est **ainsi d'assurer une logistique durable d'approvisionnement en matériaux et d'évacuation des déblais,** aussi optimisée que possible, en recherchant des **solutions modales alternatives** à la route et des cheminements routiers optimisés. En fonctionnement, l'objectif est d'anticiper les besoins des usagers et acteurs économiques des gares et des sites de maintenance pour **concevoir des espaces ayant intégré le besoin de gestion des déchets** et visant à favoriser un tri sélectif et une part de recyclage améliorée.

Les matériaux représentent un enjeu à part entière. Le choix des matériaux a des conséquences environnementales notables dans de nombreux domaines : émissions de gaz à effet de serre, consommation d'énergie, qualité de l'air intérieur, facilité d'entretien, sécurité, insertion paysagère et cadre de vie. A ce titre, le choix des matériaux, leur origine géographique et leur méthode de mise en œuvre sont très importants pour l'impact global du programme. On recherchera donc une économie de matériaux là où elle est possible, puis le choix de matériaux répondra aux exigences techniques, esthétiques, financiers en privilégiant des matériaux de moindre impact (certifiés, à base de produits recyclés, recyclables, de proximité).

Concernant **la qualité de l'air**, les enjeux concernent aussi bien la phase travaux notamment au travers des émissions atmosphériques liées aux flux de véhicules et autres activités de chantiers, que la qualité de l'air intérieur dans les installations en phase d'exploitation, à savoir : la qualité de l'air des espaces intérieurs (gares, matériel roulant, sites de maintenance, etc.) avec des enjeux de renouvellement et d'éventuels traitements de l'air avant rejet et la question des points de rejets si la qualité de l'air rejeté est mauvaise.

L'eau, comme souvent est un enjeu important à considérer. Il s'agit principalement de limiter les impacts sur les eaux souterraines et superficielles. Cela repose sur une recherche **de minimisation des impacts sur les nappes et les eaux de surface** et, lorsque l'évitement n'est pas possible, sur **un traitement adapté** des eaux et lorsque cela est réaliste au plan technique et économique, sur un recyclage des eaux collectées, traitées ou des eaux d'exhaure. Pour la période d'activité du RTPGP, **les économies d'eau** sont également un objectif notamment pour les activités d'entretien des espaces et de maintenance. De même, on cherchera à **favoriser l'infiltration** des eaux pluviales lorsque cela est possible et **la réutilisation** des eaux collectées lorsque cela est pertinent.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

La biodiversité est localement concernée avec des mesures de protection des espaces et des milieux si nécessaires en phase travaux et des mesures de compensation éventuelles liées aux impacts des infrastructures. Pendant les travaux, il s'agit de limiter au maximum les emprises des chantiers et ouvrages sur des espaces verts et des espaces naturels pour éviter les impacts sur les espèces, milieux et continuités, lorsque cela est possible, mais aussi de protéger ces intérêts dans le respect des engagements pris, lorsque l'évitement n'était pas possible, en gérant les périodes et les emprises des travaux. Les aménagements des gares et des sites de maintenance peuvent **se prêter de manière intelligente à une intégration de la biodiversité**, par exemple en concevant à cette fin, entre autre, les espaces verts, qu'il s'agisse de toitures végétalisées, d'aménagements paysagers ou encore de systèmes de gestion des eaux (noues paysagères). La SGP souhaite soutenir les propositions contribuant à améliorer la biodiversité dans les aménagements.

5.2. UNE INSERTION DANS LES TERRITOIRES A FAVORISER

Un moyen de transport en commun comme **le RTPGP est un maillon majeur dans une chaîne de mobilité durable** qui inclut les autres systèmes de transports en commun et les autres modes de transport. **L'enjeu d'intermodalité des gares du RTPGP** avec les systèmes de transports en commun existants et planifiés, mais également avec les modes de transport doux (vélos, piétons), les offres de transport connexes comme les voitures en auto partage mais aussi la gestion des véhicules individuels est un enjeu majeur pour optimiser la performance globale du RTPGP. Le RTPGP doit contribuer à réduire la part de personnes en situation d'exclusion de la mobilité. Cette intermodalité sur le territoire est à optimiser en collaboration avec les acteurs de la mobilité et sera gage d'un usage optimal du RTPGP.

Contribuer à densifier et organiser l'espace urbain, en collaboration avec les acteurs du territoire au premier plan desquels se trouvent les collectivités, par des aménagements urbains pertinents avec les usages attendus au droit des gares et par les offres de services au sein des gares est un objectif important pour la Société du Grand Paris afin de contribuer au besoin de développement durable des territoires d'accueil de ces espaces. En l'occurrence, le RTPGP permettra également d'offrir des services d'accès aux réseaux de télécommunication ; ce qui contribuera à offrir des opportunités de réduction du préjudice numérique entre les territoires traversés. **L'intégration paysagère et urbaine exemplaire des ouvrages de surface** dans un contexte urbain souvent dense et de qualité est également un objectif du programme. Cet aspect du projet interagit avec le cadre de vie de nombreuses populations et se doit d'être du meilleur niveau, tout en intégrant les dimensions de coûts et de facilité de maintenance et d'exploitation.

L'atteinte de ces objectifs repose sur une programmation, une conception et une réalisation du projet orientées selon eux. A l'échelle des équipes de conception et de travaux, ces objectifs environnementaux sont a minima les suivants :

- Intégrer les engagements environnementaux issus des procédures réglementaires et respecter la réglementation,
- Eco-concevoir les différents projets selon les priorités définies en privilégiant une approche en coût global et une logique de cycle de vie,
- Réaliser une gestion environnementale des travaux qui assure la mise en œuvre des engagements environnementaux,

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

- Traiter systématiquement l'intégration paysagère et architecturale des aménagements et des espaces avoisinants,
- Assurer l'intermodalité garante d'une chaîne de mobilité durable,
- Contribuer à la densification des espaces urbanisés et à l'offre de logements et de services au droit des implantations des gares,
- Assurer la communication avec les parties prenantes, notamment les institutionnels et les riverains.

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

6. Mise en œuvre

Placés dans le cadre des engagements de la Société du Grand Paris en matière de responsabilité sociétale, ces objectifs de qualité, de sécurité et d'environnement doivent être systématiquement repris et déclinés par les intervenants du RTPGP intervenant sous l'autorité de la Société du Grand Paris et adaptés à leurs missions particulières pour contribuer à l'atteinte des objectifs globaux.

La présente politique constitue ainsi la clé de voûte du système de management de la Société du Grand Paris. Elle est reprise dans le Schéma Directeur Qualité – Sécurité – Environnement (SDQSE) du RTPGP qui définit le cadre commun et les exigences partagées pour tous les intervenants du projet. Le SDQSE est décliné par les différents intervenants dans leurs Plans Assurance Qualité-Sécurité-Environnement qui précisent les modalités propres à leurs activités. L'ensemble de ces documents s'appuie sur les exigences des référentiels ISO 26000 pour la responsabilité sociétale, ISO9001 pour la qualité, ISO14001 pour l'environnement et OHSAS 18001 pour la sécurité.

Philippe YVIN
Président du Directoire
Le Président du Directoire
de la Société du Grand Paris

Ce document est la propriété de la Société du Grand Paris.
Toute diffusion ou reproduction intégrale ou partielle faite sans l'autorisation préalable et écrite de la Société du Grand Paris est interdite.

9 Annexe 9 : Fiches sondages zones humides

Opérateur : Paul LABRUSSE

Site	Sondage	Coordonnées GPS – WGS84		Coordonnées Lambert 93 CC49	
		Longitude	Latitude	X	Y
Avenue Mederic	S1	E002°33,734'	N48°49,789'	1667861,616	8181168,488
Rue Mozart	S1	E002°33,264'	N48°49,629'	1667284,803	8180875,313
Sentiers Marins	S1	E002°32,799'	N48°49,504'	1666714,434	8180647,024
Entrée Tunnelier	S1	E002°31,755'	N48°49,009'	1665431,23	8179737,44
Avenue Maurice Thorez	S1	E002°32,217'	N48°48,801'	1665994,982	8179348,481
SMR Champigny	S1	E002°31,862'	N48°49,036'	1665562,494	8179786,667
SMR Champigny	S2	E002°31,853'	N48°49,047'	1665551,605	8179807,121
SMR Champigny	S3	E002°31,880'	N48°49,046'	1665584,638	8179805,063
SMR Champigny	S4	E002°31,872'	N48°49,034'	1665574,709	8179782,885
SMR Champigny	S5	E002°31,759'	N48°49,190'	1665438,205	8180072,848
Bry-Villiers-Champigny	S1	E002°31,628'	N48°49,418'	1665280,519	8180496,386

Les fiches descriptives des sondages sont présentés dans l'ordre du tableau ci-dessus.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S1 Avenue Mederic

Couvert végétal : Friche herbacée 2*5m en bord de route

Aspect de surface : Frais/Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol limono-argileux brun N48°49,789' E002°33,734'
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Sable argileux	Frais	Brun	0	aucun
20 - 40	Argilo-sableux	Frais	Brun	0	aucun
40 - 60	Argileux	Frais	marron	0	aucun
60 - 80	Refus				
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S1 Rue Mozart

Couvert végétal : Pelouse de résidence

Aspect de surface : Frais/Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol argileux brun N48°49,629' E002°33,264'
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Sable argileux	Frais-humide	Brun	0	aucun
20 - 40	Argilo-sableux	Frais-humide	Brun->Marron Gris	?	aucun
40 - 60	Refus				
60 - 80					
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n°** S1 Sentier des Marins

Couvert végétal : Non (Bord de route/Trottoir le long de l'emprise ferrée)

Aspect de surface : Frais/Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol limono-argileux brun N48°49,504' E002°32,799'
Sol légèrement hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Sable argileux et graviers	Frais/Humide	Marron	0	aucun
20 - 40	Argileux	Frais/Humide	Gris Marron	1	Red
40 - 60	Argileux	Frais/Humide	Marron Gris	1	Red
60 - 80	Vide				
80 - 100	Refus				
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S1 Puits entrée tunnelier

Couvert végétal : Pelouse de parc

Aspect de surface : Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol limono-argileux brun N48°49,009' E002°31,755'
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argileux	Humide	Brun	0	aucun
20 - 40	Argileux	Humide	Brun	0	aucun
40 - 60	Argileux	Humide	Brun	0	aucun
60 - 80	Refus				
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S1 Avenue Maurie Thorez

Couvert végétal : Herbe sous alignement d'arbres

Aspect de surface : Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol argileux brun N48°48,801' E002°32,217'
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argileux	Humide	Brun	0	aucun
20 - 40	Argilo-sableux	Humide/Frais	Marron foncé	0	aucun
40 - 60	Refus				
60 - 80					
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S1 SMR Champigny

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol argileux brun N48°49,036' E002°31,862'
Sol hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argileux	Frais/Humide	Brun	0	aucun
20 - 40	Argileux	Frais/Humide	Gris blanc	4	RED/OXY
40 - 60	Argileux	Frais/Humide	Gris blanc	4	RED/OXY
60 - 80	Argileux	Frais/Humide	Gris blanc/Gris	4	RED/OXY
80 - 100	Argileux	Frais/Humide	Gris	4	RED/OXY
100 - 120	Refus				

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S2 SMR Champigny

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol limono-argileux brun N48°49,047' E002°31,853'
Sol hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argilo-sableux	Humide	Brun/Gris	2-3	RED (OXY)
20 - 40	Argileux	Humide	Brun/Gris	1-2	RED (OXY)
40 - 60	Argileux	Humide	Brun/Gris	1-2	RED (OXY)
60 - 80	Sablo-argileux	Humide	Gris/Rouille	4	(RED)OXY
80 - 100	Refus				
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S3 SMR Champigny

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol limono-argileux brun N48°49,046' E002°31,880'
Sol hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argileux	Humide	Brun	0	RED (OXY)
20 - 40	Argileux	Humide	Brun/Gris	1-2	RED
40 - 60	Argileux	Humide	Gris/Brun	3-4	RED (OXY)
60 - 80	Argileux	Humide	Gris	4	RED (OXY)
80 - 100	Argileux	Humide	Gris/Brun	3-4	RED (OXY)
100 - 120	Refus				

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S5 SMR Champigny

Couvert végétal : Non (Talus de bord de route)

Aspect de surface : Humide à très humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Remblai argilosableux N48°49,190' E002°31,759'
Sol hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argileux	Humide	Brun	0	aucun
20 - 40	Argilo-sableux	Humide	Marron->Gris	1-2 (de 40 à 50cm)	RED
40 - 60	Refus				
60 - 80					
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S4 SMR Champigny

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Humide Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol limono-argileux brun N48°49,034' E002°31,872'
Sol hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argileux	Frais/Humide	Brun	1	RED
20 - 40	Argileux	Frais/Humide	Gris/Brun	2-3	RED
40 - 60	Argileux	Frais/Humide	Brun/Gris	2-3	RED
60 - 80	Refus				
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : PLB **Date :** 12/12/2014 **Sondage n° :** S1 - Bry-Villiers-Champigny

Couvert végétal : Humus

Aspect de surface : Terre limoneuse Coordonnées en WGS84

Description générale : Sol limono-argileux brun N48°49,418' E002°31,628'
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Sable argileux	Humide	Brun clair	0	aucun
20 - 40	Argilo-sableux	Humide	Brun	0	aucun
40 - 60	Argilo-sableux	Humide	Brun	0	aucun
60 - 80	Argilo-sableux	Humide	Brun	0	aucun
80 - 100	Argileux	Humide	Brun	1	RED
100 - 120	Argileux	Humide	Brun clair	1	RED

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

Opérateur : Ludovic ARMAND

Site	Sondage	Coordonnées GPS		Coordonnées Lambert 93 CC49	
		Longitude	Latitude	X	Y
Ile de Monsieur	S1	E002°13'30"	N48°49'50"	1643105,34	8181448,401
Ile de Monsieur	S2	E002°13'31"	N48°49'49"	1643125,416	8181417,306
Ile de Monsieur	S3	E002°13'31"	N48°49'48"	1643125,101	8181386,42
Ile de Monsieur	S4	E002°13'30"	N48°49'48"	1643104,709	8181386,628
Ile de Monsieur	S5	E002°13'30,5"	N48°49'48"	1643114,905	8181386,524
Ile de Monsieur	S6	E002°13'29"	N48°49'48"	1643084,317	8181386,836
Ile de Monsieur	S7	E002°13'30,3"	N48°49'48"	1643110,827	8181386,565
Pont de Sèvres	S1	E002°13'48"	N48°49'42"	1643469,883	8181197,573
Villejuif IGR	S1	E002°20'55"	N48°47'35"	1652143,913	8177193,407
Villejuif IGR	S2	E002°20'54"	N48°47'35"	1652123,506	8177193,582
Villejuif IGR	S3	E002°20'56"	N48°47'35"	1652164,32	8177193,232
Villejuif IGR	S4	E002°20'55"	N48°47'34"	1652143,648	8177162,52
Villejuif IGR	S5	E002°20'57"	N48°47'35"	1652184,728	8177193,057
Villejuif IGR	S6	E002°20'56"	N48°47'34"	1652164,056	8177162,345
Noisy Champs Nord	S1	E002°34'49"	N48°50'42"	1669213,367	8182869,431
Noisy Champs Nord	S2	E002°34'49"	N48°50'44"	1669197,209	8182937,827
Noisy Champs Nord	S3	E002°34'48"	N48°50'47"	1669178,737	8183014,871
Noisy Champs Nord	S4	E002°34'47"	N48°50'49"	1669161,767	8183078,559
Noisy Champs Sud	S1	E002°34'57"	N48°50'22"	1669366,568	8182233,377
Noisy Champs Sud	S2	E002°34'56"	N48°50'24"	1669352,067	8182317,475
Noisy Champs Sud	S3	E002°34'56"	N48°50'27"	1669341,431	8182388,202
Noisy Champs Sud	S4	E002°34'55"	N48°50'29"	1669331,557	8182454,213
Vert de Maisons	S1	E002°25'58"	N48°47'22"	1658324,326	8176742,244
Vert de Maisons	S2	E002°25'57"	N48°47'23"	1658304,148	8176773,284
Rue du Port Créteil	S1	E002°28'4"	N48°48'9"	1660906,025	8178175,325
Rue du Port Créteil	S2	E002°28'4"	N48°48'10"	1660906,242	8178206,213

Les fiches descriptives des sondages sont présentés dans l'ordre du tableau ci-dessus.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S1 (ile de monsieur)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argilo-sableux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile sableuse compacte	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile sableuse compacte	sec	marron clair	0	aucun
40 - 60	Argile très sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun
60 - 80	Argile très sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun
80 - 100	Argile très sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun
100 - 120	Argile très sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S2 (ile de monsieur)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argileuse
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile compacte	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun
40 - 60	Argile sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun
60 - 80	Argile sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun
80 - 100	Argile sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun
100 - 120	Argile sableuse friable	sec	marron clair	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S3 (ile de monsieur)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argilo-sableux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile sableuse	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile sableuse	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Argile sableuse	sec	marron	0	aucun
60 - 80	Argile sableuse	frais	marron	0	aucun
80 - 100	Argile sableuse	frais	marron	0	aucun
100 - 120	Argile sableuse	frais	marron	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S4 (ile de monsieur)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argilo-sableux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile sableuse	frais	marron	0	aucun
20 - 40	Argile sableuse	frais	marron	0	aucun
40 - 60	Argile sableuse	frais	marron clair	0	aucun
60 - 80	Argile sableuse	frais	marron clair	0	aucun
80 - 100	Argile sableuse + inclusions calcaire	frais	marron clair	0	aucun
100 - 120	Argile sableuse + inclusions calcaire	frais	marron clair	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S5 (ile de monsieur)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argilo-sableux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile sableuse	frais	marron	0	aucun
20 - 40	Sablo-argileux	sec	marron clair	0	aucun
40 - 60	Sablo-argileux	sec	marron clair	0	aucun
60 - 80	Sablo-argileux	sec	marron clair	0	aucun
80 - 100	Sablo-argileux	sec	marron clair	0	aucun
100 - 120	Sablo-argileux	sec	marron clair	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S6 (ile de monsieur)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argilo-sablo-calcaire
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Sablo-argileux	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Sablo-argileux	sec	marron clair	0	aucun
40 - 60	Sablo-argileux	sec	marron clair	0	aucun
60 - 80	Sablo-argileux + inclusions calcaire	sec	marron clair	0	aucun
80 - 100	Refus				
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S7 (ile de monsieur)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Argile	sec	marron	0	aucun
60 - 80	Argile	sec	marron	0	aucun
80 - 100	Argile	frais	marron	0	aucun
100 - 120	Argile	frais	marron	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S1 (pont de sévres)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile	sec	marron	0	aucun
20 - 30	Argile	sec	marron clair	0	aucun
30 - 60	Refus				
60 - 80					
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S1 (villejuif)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre limoneuse

Description générale : Sol limono-argileuse brun
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Limon argileux	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Limon argileux	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Limon argileux	sec	marron	0	aucun
60 - 80	Refus				
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S2 (villejuif)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol argilo-calcaire brun clai
Sol non hydromorphe

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argilo calcaire	sec	marron clair	0	aucun
20 - 40	Argilo calcaire	sec	marron clair	0	aucun
40 - 60	Argilo calcaire	sec	marron clair	0	aucun
60 - 80					
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S3 (villejuif)

Couvert végétal : Ancien verger en friche

Aspect de surface : Terre limoneuse

Description générale : Sol argileux brun
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale + argileuse	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Argile	sec	marron	0	aucun
60 - 80	Refus				
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S4 (villejuif)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre limoneuse

Description générale : Sol argileux brun
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale + argileuse	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron clair	0	aucun
40 - 60	Argile	sec	marron clair	0	aucun
60 - 80	Refus				
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S5 (villejuif)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argilo-calcaire
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Bloc calcaire	sec	blanc	0	aucun
60 - 80	Refus				
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S6 (villejuif)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argilo-calcaire
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile	sec	vert	0	aucun
20 - 40	Argilo -limoneux	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Argilo -limoneux	sec	marron	0	aucun
60 - 80	Argilo-calcaire	sec	blanc	0	aucun
80 - 100	Refus				
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S1 (Noisy nord)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale + argile	sec	marron foncé	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron foncé	0	aucun
40 - 60	Argile	sec	blanc	0	aucun
60 - 80	Argile	sec	blanc	0	aucun
80 - 100	Argile	sec	blanc	0	aucun
100 - 120	Argile	sec	blanc	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S2 (Noisy nord)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale + argile	sec	marron foncé	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron foncé	0	aucun
40 - 60	Argile	sec	marron foncé	0	aucun
60 - 80	Matrice fraible légèrement argileuse	sec	blanc	0	aucun
80 - 100	Matrice fraible légèrement argileuse	sec	blanc	0	aucun
100 - 120	Matrice fraible légèrement argileuse	sec	blanc	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S3 (Noisy nord)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol limono-argilo-marneux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile limoneuse	sec	noir	0	aucun
20 - 40	Argile limoneuse	sec	noir	0	aucun
40 - 60	Argile limoneuse	sec	noir	0	aucun
60 - 80	Argile limoneuse	sec	noir	0	aucun
80 - 100	Marnes argileuse	sec	blanc	0	aucun
100 - 120	Marnes argileuse	sec	blanc	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S4 (Noisy nord)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol limono-argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale + argile	sec	marron noir	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron noir	0	aucun
40 - 60	Argile	sec	marron noir	0	aucun
60 - 80	Argile	sec	marron noir	0	aucun
80 - 100	Argile limoneux	sec	beige	0	aucun
100 - 120	Argile limoneux	sec	beige	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S1 (Noisy sud)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol limono-argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Refus				
60 - 80					
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S3 (Noisy sud)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol limono-argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale + argile	sec	marron foncè	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron clair	0	aucun
40 - 60	Argile	sec	marron clair	0	aucun
60 - 80	Refus				
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S2 (Noisy sud)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol limono-argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Refus				
60 - 80					
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 07/11/2014 **Sondage n° :** S4 (Noisy sud)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol limono-argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile	sec	marron	0	aucun
20 - 40	Argile	sec	marron	0	aucun
40 - 60	Refus				
60 - 80					
80 - 100					
100 - 120					

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S1 (le vert d emaison)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol argilo-limoneuse
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale + argile	frais	marron	0	aucun
20 - 40	Argile limoneuse	frais	marron clair	0	aucun
40 - 60	Argile limoneuse	frais	marron clair	0	aucun
60 - 80	Argile limoneuse	frais	marron clair	0	aucun
80 - 100	Argile limoneuse plus granuleuse	frais	marron clair	0	aucun
100 - 120	Refus				

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S1 (rue du port de Créteil)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol argilo- limoneuse
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile	frais	marron foncé	0	aucun
20 - 40	Argile trés limoneuse	frais	marron clair / beige	0	aucun
40 - 60	Argile trés limoneuse	frais	marron clair / beige	0	aucun
60 - 80	Argile trés limoneuse	frais	marron clair / beige	0	aucun
80 - 100	Argile trés limoneuse	frais	marron clair / beige	0	aucun
100 - 120	Argile trés limoneuse	frais	marron clair / beige	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S2 (le vert d emaison)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre argileuse

Description générale : Sol argilo-limoneuse
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Terre végétale + argile	sec	marron foncé	0	aucun
20 - 40	Argile limoneuse	sec	marron foncé	0	aucun
40 - 60	Argile limoneuse	sec	marron foncé	0	aucun
60 - 80	Argile limoneuse	sec	marron clair	0	aucun
80 - 100	Argile limoneuse plus granuleuse	sec	marron clair	0	aucun
100 - 120	Refus				

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

FICHE D'OBSERVATIONS PEDOLOGIQUES

Opérateur : LAR **Date :** 06/11/2014 **Sondage n° :** S2 (rue du port de Créteil)

Couvert végétal : Friche herbacée

Aspect de surface : Terre sableuse

Description générale : Sol argileux
Sol non hydromorphe.

Description par horizon :

Prof. cm	Texture	Humidité*	Couleur	Hydromorphie**	Type d'hydromorphie***
0 - 20	Argile + inclusions calcaire	frais	marron foncé	0	aucun
20 - 40	Argilo-limoneux	frais	marron clair	0	aucun
40 - 60	Argilo-limoneux	frais	marron clair	0	aucun
60 - 80	Argilo-limoneux	frais	marron clair	0	aucun
80 - 100	Argilo-limoneux	frais	marron clair	0	aucun
100 - 120	Argilo-limoneux	frais	marron clair	0	aucun

* : Sec, frais, humide, très humide, noyé.
** : 0 = nulle, 1 = faible, 2 = modérée, 3 = forte et étendue, 4 = dominante.
*** : OXY = traces d'oxydation, RED = traces de réduction.

Société du Grand Paris
Immeuble « Le Cézanne »
30, avenue des Fruitiers
93200 Saint-Denis

www.societedugrandparis.fr