



Étude du phénomène de remontée de nappe à Rueil-Malmaison

Rapport final

BRGM/RP-64319-FR

Février 2015

Étude du phénomène de remontée de nappe à Rueil-Malmaison

Rapport final

BRGM/RP-64319-FR
Février 2015

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM

A. Bel

Avec la collaboration de
Jean-François Vernoux, Jennifer Granja

Vérificateur :

Nom : Jean-François Vernoux
Fonction : expert hydrogéologue
Date : 24/04/2015
Signature :



Approbateur :

Nom : Luc Closset
Fonction : Directeur Ile-de-France
Date : 29/04/2015
Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : Remontée de nappe, Hydrogéologie, Piézométrie, Nappe de la Craie, Niveau eau, Rueil-Malmaison, Hauts-de-Seine, Île-de-France

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Bel A. (2015) – Étude du phénomène de remontée de nappe à Rueil-Malmaison. Rapport final, BRGM/RP-64319-FR, 171 p., 46 fig., 3 tabl., 5 ann (dont annexe 2 en vol. séparé), CD,

© BRGM, 2015, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Des problèmes de remontée de nappe ont été signalés à la Mairie de Rueil-Malmaison depuis janvier 2011. Les premières inondations sont apparues au niveau du parking souterrain du Patio de Rueil-Malmaison, situé près de la gare RER. Puis rapidement, d'autres parkings ont été inondés au centre-ville ainsi que deux résidences avec trois niveaux de sous-sol. La zone impactée par la remontée de la nappe de la Craie est située au nord de la commune.

Limitrophe à la Seine et s'étendant en partie dans la plaine alluviale, la commune de Rueil-Malmaison est exposée à des risques d'inondation, non seulement par débordement possible de la Seine mais aussi par remontée de la nappe superficielle.

La partie nord de la commune est considérée comme sensible au phénomène de remontée de nappe : les secteurs les plus vulnérables correspondent aux secteurs topographiquement plus bas ou, en milieu urbain, aux infrastructures souterraines les plus profondes. La **délimitation de la zone sensible aux remontées de nappe** a été définie dans le cadre de cette étude.

L'objectif de l'étude est de mieux appréhender les écoulements souterrains au niveau de la Ville pour déterminer l'origine de la hausse du niveau de la nappe de la Craie et par conséquent, expliquer l'origine des phénomènes de remontée de nappe observés localement dans certains ouvrages souterrains.

Dans un premier temps, une synthèse des informations sur le contexte hydrogéologique local a été réalisée. Ensuite, l'étude hydrogéologique a porté sur l'analyse de l'évolution comparée de la piézométrie de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison et des principaux facteurs la gouvernant, sur la période 1994 - 2014 : influence des précipitations efficaces et du niveau de la Seine pouvant alimenter/recharger la nappe, influence des aménagements souterrains pouvant constituer une barrière à l'écoulement et influence des prélèvements en nappe.

Hausse du niveau de la nappe de la Craie

À Rueil-Malmaison, une tendance à la remontée de la nappe de la Craie est observée depuis janvier 2010. Le suivi de la nappe est réalisé sur trois piézomètres par la Mairie de Rueil-Malmaison.

Le piézomètre des Martinets, situé rue de la Seine et suivi au pas de temps hebdomadaire par la Lyonnaise des Eaux est considéré comme représentatif du niveau de la nappe au nord de Rueil-Malmaison.

Ces vingt dernières années, le niveau de la nappe de la Craie au nord de Rueil-Malmaison a été variable :

- deux pics piézométriques ont été observés dans les années 2000 – 2001 liés aux conditions climatiques très humides et aux crues quinquennales de la Seine ;
- une période de niveaux bas de 2003 à 2006 s'explique par la mise en place d'une contrainte de rabattement de nappe ;
- une tendance à la hausse est marquée dès janvier 2010 puis s'accroît entre janvier 2012 et juillet 2013 (augmentation de 2 m du niveau entre janvier 2010 et juillet 2013) ;
- un creux piézométrique est observé entre juillet 2013 et septembre 2014.

La tendance à la hausse de la nappe de la Craie depuis 2010 à Rueil-Malmaison peut s'expliquer par la conjugaison de facteurs naturels et anthropiques. Avec les outils mis en œuvre dans le cadre de l'étude, il est toutefois impossible de quantifier précisément les influences respectives de ces différents facteurs :

- l'évolution des prélèvements en nappe : diminution de 20 % environ des prélèvements AEP du champ captant de Croissy/le Pecq depuis 2010. Dans le même temps, la réalimentation de la nappe par les bassins d'infiltration a diminué de 50 % environ dès 2005. Entre 2009 et 2011, la différence entre les volumes pompés et les volumes réinfiltrés a diminué, ce qui a pu provoquer une remontée de la nappe. A l'inverse, entre 2011 et 2013, alors que les volumes pompés sont assez stables, la réalimentation de la nappe a diminué, ce qui aurait dû engendrer une nouvelle baisse de la nappe ;
- l'augmentation de la recharge naturelle de la nappe :
 - par l'accroissement de la pluviométrie efficace, excédentaire depuis 2012,
 - par les faibles crues de la Seine : 4 crues biennales ont été enregistrées entre décembre 2010 et novembre 2013. La Seine intervient comme front d'alimentation par transmission de l'onde des crues de la Seine (recharge variable en fonction du colmatage du lit et des berges du fleuve),
 - dans une moindre mesure, par les apports de la nappe sus-jacente du Lutétien (débordement de faibles sources en pied de plateau et par drainance verticale), par drainance de la nappe des alluvions de la Seine (lorsque la nappe est captive), par les pertes des réseaux urbains et bassins d'infiltration ;
- l'impact de l'infrastructure souterraine (tranchée couverte de l'A86) pouvant constituer une barrière partielle et locale à l'écoulement de la nappe de la Craie.

L'état piézométrique actuel de la nappe est encore maintenu à un niveau artificiellement bas par les prélèvements AEP du champ captant de Croissy/Le Pecq.

Est-il possible de prévoir jusqu'où le niveau de la nappe peut remonter ?

Préalablement à la mise en place du suivi, des recherches bibliographiques ont montré que le niveau de la nappe était situé entre 21 et 22 m NGF en 1862, période antérieure à l'exploitation de la nappe à des fins industrielles. Le niveau a ensuite baissé entre 1985 et 1994 jusque 15 m NGF (niveau le plus bas atteint) suite à la mise en place de prélèvements AEP et industriels importants dans la zone d'étude. Il n'est toutefois pas possible de se baser sur le « niveau naturel ancien » de 1862 pour définir le niveau maximum que pourrait atteindre la nappe. En effet, même si la nappe était moins influencée par les interventions humaines (arrêt des prélèvements par exemple), la structure de l'aquifère et les conditions de circulation des eaux souterraines ont subi des transformations (aménagement souterrains).

Préconisations du BRGM

Le BRGM préconise de poursuivre l'acquisition de données sur le suivi de la nappe de la Craie et les facteurs gouvernant ses variations :

- nivellement par un géomètre des piézomètres suivis, notamment le piézomètre de référence des Martinets ;
- équiper en matériel de mesure le piézomètre des Martinets pour avoir une acquisition de mesure au pas de temps horaire ;

- renforcer le suivi piézométrique de la nappe de la Craie :
 - au centre-ville, dans le secteur où les parkings sont impactés,
 - au travers de projets de construction ou d'aménagement au nord de la ville ;
- poursuivre le recueil de données avant et pendant les travaux d'aménagement.

Il est aussi préconisé de poursuivre les échanges techniques avec la Lyonnaise des Eaux sur les prévisions de prélèvements à court et moyen terme.

Afin de pérenniser le suivi piézométrique réalisé à Rueil-Malmaison, le BRGM préconise de bancariser les données mesurées dans la base de données ADES.

À ce stade de l'étude, il n'est pas possible de déterminer précisément l'influence respective des différents facteurs à l'origine de la remontée de la nappe de la Craie. Seule une modélisation hydrodynamique maillée permettrait de :

- quantifier la part respective des facteurs naturels et anthropiques ;
- prévoir les remontées prévisibles maximales de la nappe par simulation de scénarios de prélèvements et de recharge.

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| 1. Introduction | 13 |
| 1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE..... | 13 |
| 1.2. OBJECTIFS ET CONTENU | 14 |
| 2. Contexte hydrogéologique | 15 |
| 2.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE..... | 15 |
| 2.1.1. Topographie..... | 16 |
| 2.1.2. Contexte hydrologique local..... | 16 |
| 2.1.3. Occupation du sol | 17 |
| 2.2. ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE..... | 18 |
| 2.2.1. Carte géologique au 1/50 000..... | 18 |
| 2.2.2. Contexte structural..... | 19 |
| 2.2.3. Série litho-stratigraphique locale et coupe géologique simplifiée..... | 19 |
| 2.3. ENVIRONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE | 20 |
| 2.3.1. Les nappes tertiaires..... | 20 |
| 2.3.2. La nappe Alluvions/Craie | 21 |
| 3. Piézométrie actuelle de la nappe de la Craie..... | 25 |
| 3.1. CAMPAGNE PIÉZOMÉTRIQUE DE JUILLET 2014..... | 25 |
| 3.1.1. Préparation de la campagne de terrain | 25 |
| 3.1.2. Campagnes de mesures | 26 |
| 3.1.3. Traitement et exploitation des données..... | 27 |
| 3.1.4. Nivellement des points d'eau | 27 |
| 3.2. CARTE PIÉZOMÉTRIQUE | 28 |
| 3.3. CARTE INDICATIVE DE LA PROFONDEUR DE LA NAPPE | 28 |
| 4. Collecte et analyse de données..... | 31 |
| 4.1. INFORMATIONS FOURNIES PAR LA VILLE DE RUEIL-MALMAISON..... | 31 |
| 4.2. RECUEIL DES ETUDES HYDROGÉOLOGIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE | 32 |
| 4.2.1. Modélisations de l'Ecole des Mines de Paris..... | 32 |
| 4.2.2. Cartographie des zones sensibles aux remontées de nappe du département des Hauts-de-Seine | 33 |
| 4.3. ENQUETE SUR L'ÉVOLUTION PIÉZOMÉTRIQUE DE LA NAPPE..... | 35 |
| 4.3.1. Cartes piézométriques | 35 |
| 4.3.2. Historique du niveau de la nappe..... | 40 |
| 4.3.3. Evolution récente du niveau de la nappe de la Craie | 41 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4. RECUEIL D'INFORMATION SUR INFRASTRUCTURES IMPACTÉES | 45 |
| 4.4.1. Parkings impactés | 46 |
| 4.4.2. Graphique des suivis piézométriques | 47 |
| 4.5. COLLECTE DE DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES | 49 |
| 4.6. COLLECTE DES MESURES DE NIVEAUX DE LA SEINE | 52 |
| 4.6.1. Mesures de hauteur d'eau | 52 |
| 4.6.2. Historique des crues de la Seine | 53 |
| 4.6.3. Colmatage du lit et des berges de la Seine | 54 |
| 4.7. INVENTAIRE DES AMÉNAGEMENTS SOUTERRAINS | 55 |
| 4.7.1. Tranchée couverte « Bellerive » de l'autoroute A86..... | 55 |
| 4.7.2. Travaux d'aménagement urbains | 58 |
| 4.8. HISTORIQUE DES PRÉLÈVEMENTS DANS LA ZONE D'ÉTUDE | 59 |
| 4.8.1. Usages industriels et irrigation..... | 59 |
| 4.8.2. Usages AEP | 60 |
| 5. Diagnostic sur la remontée de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison | 63 |
| 5.1. INFLUENCE DE LA PLUVIOMÉTRIE SUR LA PIÉZOMÉTRIE | 63 |
| 5.1.1. Pluviométrie efficace de 1994 à 2014..... | 63 |
| 5.1.2. Bilan | 64 |
| 5.2. INFLUENCE DES NIVEAUX DE SEINE SUR LA PIÉZOMÉTRIE | 65 |
| 5.2.1. Colmatage de la Seine | 65 |
| 5.2.2. Crues de la Seine | 66 |
| 5.2.3. Schéma conceptuel explicatif | 66 |
| 5.2.4. Modélisation Catherine | 68 |
| 5.2.5. Bilan | 70 |
| 5.3. INFLUENCE DES AMÉNAGEMENTS SOUTERRAINS | 71 |
| 5.4. INFLUENCE DES PRÉLÈVEMENTS EN NAPPE | 72 |
| 5.4.1. Modélisation Tigre | 74 |
| 5.4.2. Bilan | 78 |
| 5.5. AUTRES FACTEURS..... | 79 |
| 6. Conclusion | 81 |
| 6.1. REMONTÉE DE LA NAPPE DE LA CRAIE À RUEIL-MALMAISON | 81 |
| 6.2. ORIGINES PRÉSUMÉES DES REMONTÉES DE NAPPES | 82 |
| 6.3. CARTOGRAPHIE DE LA ZONE SENSIBLE AUX REMONTÉES DE NAPPE | 83 |
| 6.4. PRÉCONISATIONS | 84 |
| 6.4.1. Poursuivre l'acquisition de données complémentaires sur la nappe de la Craie ... | 84 |
| 6.4.2. Modélisation hydrodynamique | 85 |
| 7. Bibliographie..... | 87 |

Liste des illustrations

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Carte de synthèse des événements et données disponibles. Source : Mairie de Rueil-Malmaison..... | 13 |
| Figure 2 : Localisation de la commune de Rueil-Malmaison. Source : IGN..... | 15 |
| Figure 3 : Topographie du secteur de Rueil-Malmaison. Source : MNT (IGN)..... | 16 |
| Figure 4 : Localisation des stations hydrométriques et bras de la Seine au niveau de Rueil-Malmaison. Source : Banque Hydro II..... | 17 |
| Figure 5 : Carte géologique 1/50 000 de la zone d'étude. Source : BRGM..... | 18 |
| Figure 6 : Coupe géologique schématique de la Ville de Rueil-Malmaison (nord-sud). Source : Socatop-Cofiroute (Illustration de Christian Juts), adaptée par le BRGM..... | 19 |
| Figure 7 : Extension de la formation imperméable des argiles du Sparnacien à Rueil-Malmaison. Source: BDLISA version 0, 2014..... | 24 |
| Figure 8 : Photographies de mesures piézométriques réalisées au cours de la campagne de juillet 2014. Piézomètre des Martinets, Rueil-Malmaison (à gauche) et piézomètre de Croissy (à droite). Source: BRGM..... | 26 |
| Figure 9 : Carte piézométrique de la nappe de la Craie dans le secteur de Rueil-Malmaison en juillet 2014..... | 29 |
| Figure 10 : Carte de la profondeur de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison. Les sites impactés par des inondations ont été indiqués par une étoile..... | 30 |
| Figure 11 : Extrait de la carte des zones sensibles aux risques de remontée de nappes (Planche 5). La commune de Rueil-Malmaison est située en zone sensible..... | 34 |
| Figure 12 : Carte de Delesse, 1862 : carte piézométrique de référence de l'hydrogéologie parisienne. Source : gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France..... | 36 |
| Figure 13 : Extrait de la carte hydrogéologique de Paris. Source : BRGM Ph. Diffre, 1970..... | 37 |
| Figure 14 : Carte piézométrique (mesures entre août et novembre 1985). Source : André P., Rich X., 1986..... | 38 |
| Figures 15 et 16 : A gauche : simulation de niveaux piézométrique de la Craie, en absence de prélèvements. A droite : avec prélèvements. Source : Viennot P, 1994..... | 39 |
| Figure 17 : Localisation des piézomètres suivis. Source : Mairie de Rueil-Malmaison / Lyonnaise des Eaux..... | 41 |
| Figure 18 : Graphique du relevé piézométrique des Martinets en m NGF. Source : Lyonnaise des Eaux..... | 42 |
| Figure 19 : Relevés piézométriques aux piézomètre Bellerive depuis mai 2012. Source : Mairie de Rueil-Malmaison..... | 43 |
| Figure 20 : Graphique des niveaux moyens mensuels de l'ouvrage Asile en m NGF. Source : Lyonnaise des Eaux..... | 43 |
| Figure 21 : Localisation des infrastructures impactées par la remontée de la nappe. Source: Mairie de Rueil-Malmaison..... | 45 |
| Figure 22 : Photographies du parking de la médiathèque le 20/10/2014. Source : BRGM..... | 46 |
| Figure 23 : Photographies du parking Jean Jaurès le 26/03/2013 à gauche (Source : Vinci Park) et le 20/10/2014 à droite (Source : BRGM)..... | 47 |
| Figure 24 : Relevés des niveaux de la nappe de la Craie dans les parkings de Rueil-Malmaison et au piézomètre des Martinets. Source : Mairie de Rueil-Malmaison/Vinci..... | 48 |

| | |
|---|----|
| Figure 25: Localisation des stations météorologiques dans le secteur de Rueil-Malmaison. Source : Météo France. | 49 |
| Figure 26 : Graphique des écarts cumulés par rapport à la moyenne (valeur 0 en rouge) des pluies efficaces annuelles (sur l'année hydrologique septembre de l'année n à août de l'année n+1) à la station Météo-France Montsouris. Source : Météo France..... | 50 |
| Figure 27 : Graphique du cumul de précipitations efficaces sur la période de recharge hivernale (d'octobre de l'année n à mars de l'année n+1) à la station Météo-France Montsouris. Source : Météo France. | 50 |
| Figure 28 : Evolution du niveau de la Seine entre 1994 et 2014 en aval du barrage de Chatou et en amont de l'écluse de Bougival. Source : Banque Hydro II. | 52 |
| Figure 29 : Schéma conceptuel représentant la coupe de l'A86 au niveau de l'avenue des Acacias à Rueil-Malmaison ainsi que le niveau piézométrique actuel (issues des données de la campagne piézométrique de juillet 2014) et passé (au moment des travaux de construction)..... | 56 |
| Figure 30 : Evolution piézométrique au piézomètre des Martinets (bleu foncé) et au piézomètre de Bellerive (bleu clair) à Rueil-Malmaison. Source : Mairie de Rueil-Malmaison. | 57 |
| Figure 31 : Localisation des prélèvements dans le secteur de Rueil-Malmaison. Source : AESN. | 59 |
| Figure 32 : Graphique présentant les volumes prélevés et réinjectés d'eau de la nappe de la Craie au niveau du champ captant de Croissy-le-Pecq et la chronique piézométrique aux Martinets, Rueil-Malmaison. Source : Lyonnaise des Eaux. | 61 |
| Figure 33 : Graphique d'évolution comparée de la piézométrie (piézomètre des Martinets) et des précipitations efficaces annuelles à Paris 13. | 64 |
| Figure 34 : Schéma conceptuel représentant les échanges possibles entre la nappe de la Craie et la Seine en juillet 2014..... | 67 |
| Figure 35 : Résultat d'une modélisation Catherine issue des données du piézomètre des Martinets et Les données de la station hydrométrique en aval du barrage de Chatou entre 1994 et 2014. | 68 |
| Figure 36 : Résultat d'une modélisation Catherine issue des données du piézomètre des Martinets et de la station hydrométrique en aval du barrage de Chatou depuis le 1 ^{er} janvier 2010 | 69 |
| Figure 37 : Schéma conceptuel représentant le toit de la nappe de la Craie du Rueil-Malmaison jusqu'au champ captant de Croissy-LePecq. | 73 |
| Figure 38 : Schéma représentant le modèle TIGRE : localisation des points de prélèvements, des points de réalimentation et des piézomètres de la zone d'étude..... | 75 |
| Figure 39 : Graphique de comparaison de la modélisation TIGRE (variations piézométriques simulées au piézomètre des Martinets en m) avec les observations de terrain entre janvier 2000 et septembre 2014. | 76 |
| Figure 40 : Graphique de comparaison de la modélisation TIGRE (variations piézométriques simulées au piézomètre des Martinets en m) avec les observations de terrain entre janvier 2010 et septembre 2014. | 77 |
| Figure 41 : Graphique de comparaison de la modélisation TIGRE (variations piézométriques simulées au piézomètre des Closeaux en m) avec les observations de terrain entre janvier 2012 et septembre 2014. | 77 |
| Figure 42 : Délimitation de la zone sensible aux remontées de nappe à Rueil-Malmaison..... | 83 |
| Figure 43 : Carte indicative de la profondeur de la nappe en juillet 2014 au droit de la zone sensible. | 84 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Synthèse des références et objectifs des études Armines réalisées dans la zone d'étude. | 32 |
| Tableau 2 : Tableau récapitulatif de l'historique des niveaux piézométriques observés à Rueil-Malmaison jusqu'en 94 | 40 |
| Tableau 3 : Tableau récapitulatif des prélèvements industriels et d'irrigation dans la zone d'étude. | 60 |

Liste des annexes

| | |
|--|----|
| Annexe 1 - Série lithostratigraphique et hydrogéologique de la région Ile-de-France | 89 |
| Annexe 2 - Fiches de synthèse de la campagne de mesure piézométrique | 93 |
| Annexe 3 - Synthèse des études de modélisation de l'Ecole des Mines de Paris | 95 |
| Annexe 4 - Graphique du niveau de la Seine à la station hydrométrique « Pont d'Austerlitz » à Paris | 97 |
| Annexe 5 - Coupe schématique de l'A86 au niveau de Rueil-Malmaison | 99 |

1. Introduction

1.1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Des problèmes de remontée de nappe ont été signalés à la Mairie de Rueil-Malmaison depuis janvier 2011. Les premières inondations sont apparues au niveau du parking souterrain du Patio de Rueil-Malmaison, situé près de la gare RER. Puis rapidement, d'autres parkings ont été inondés au centre-ville ainsi que deux résidences avec trois niveaux de sous-sol.

La zone impactée par la remontée de la nappe de la Craie est située au nord de la commune (Figure 1).

La tendance à la hausse du niveau de la nappe superficielle a été identifiée depuis janvier 2011 dans les piézomètres de la commune.

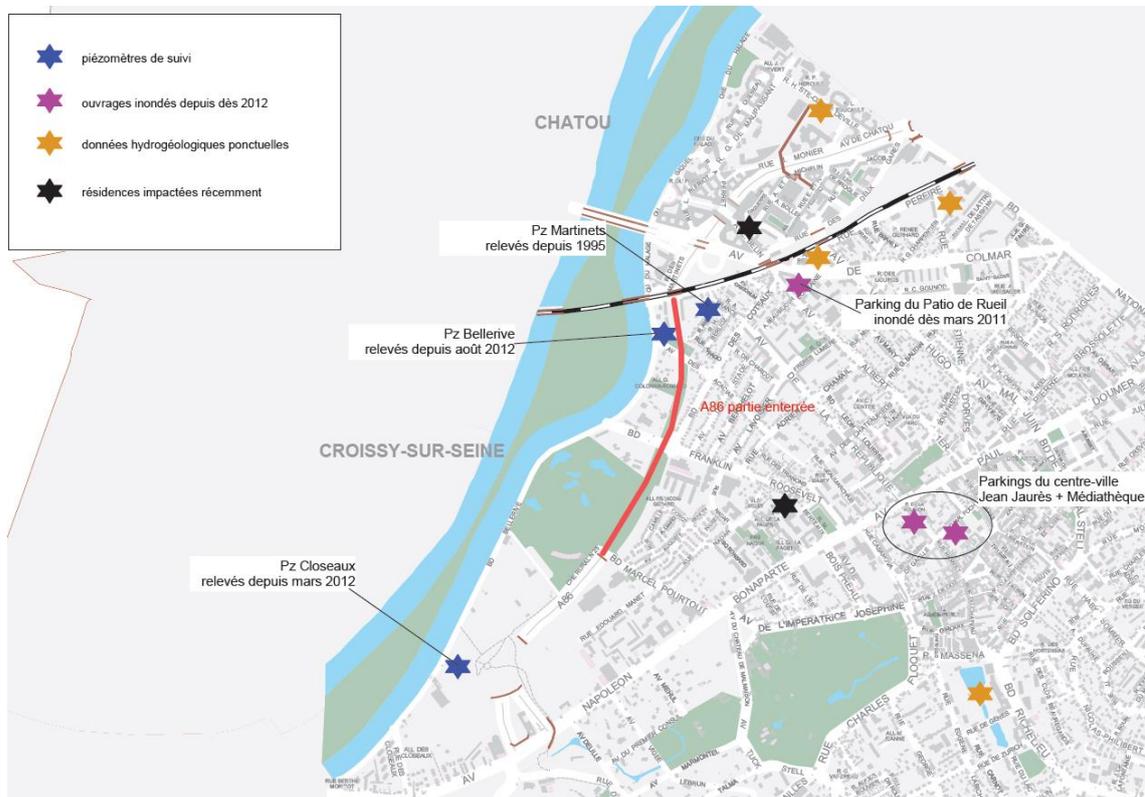


Figure 1 : Carte de synthèse des événements et données disponibles. Source : Mairie de Rueil-Malmaison.

1.2. OBJECTIFS ET CONTENU

Limitrophe à la Seine et s'étendant en partie dans la plaine alluviale, la commune de Rueil-Malmaison est exposée à des risques d'inondation, non seulement par débordement possible de la Seine mais aussi par remontée de la nappe superficielle.

Ce risque est complexe car il résulte de la combinaison de cet aléa hydraulique et d'une vulnérabilité forte générée par une zone urbaine dense.

C'est sur cette problématique de « remontée de nappes » que la Ville de Rueil-Malmaison a sollicité le BRGM pour une expertise hydrogéologique.

L'objectif de l'étude est de mieux appréhender les écoulements souterrains au niveau de la Ville pour déterminer l'origine de la hausse du niveau de la nappe de la Craie et par conséquent, expliquer l'origine des phénomènes de remontée de nappe observés localement dans certains ouvrages souterrains.

L'étude hydrogéologique porte sur l'analyse de l'évolution comparée de la piézométrie de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison et des principaux facteurs la gouvernant, sur la période 1994 - 2014 : influence des précipitations efficaces et du niveau de la Seine pouvant alimenter/recharger la nappe, influence des aménagements souterrains pouvant constituer une barrière à l'écoulement et influence des prélèvements en nappe.

Le présent rapport contient :

- une description du contexte hydrogéologique local ;
- un état de la piézométrie actuelle de la nappe superficielle ;
- une synthèse de la collecte et l'analyse des données recueillies ;
- le diagnostic sur la remontée de nappe observée à Rueil-Malmaison ;
- les préconisations du BRGM concernant les études et les travaux pouvant être menés.

2. Contexte hydrogéologique

La présence d'une nappe d'eau souterraine importante et située à faible profondeur au droit de la Ville de Rueil-Malmaison peut être à l'origine de phénomènes de remontée de nappes généralisés sous l'influence de différents facteurs naturels ou artificiels.

En milieu urbain dense, les écoulements souterrains sont complexes et difficiles à appréhender car ils sont influencés par les conditions naturelles (pluviométrie et niveau des cours d'eau) mais aussi fortement par les conséquences des activités humaines :

- compartimentage du sous-sol (fondations, parkings, ...) ;
- prélèvements et rejets dans les eaux souterraines (captages divers, pompes à chaleur, eaux pluviales, ...).

Les secteurs les plus vulnérables aux remontées de nappes correspondent aux secteurs topographiquement plus bas ou, en milieu urbain, aux infrastructures souterraines les plus profondes.

2.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La commune de Rueil-Malmaison s'étend sur une surface d'environ 15 km² et se situe dans la partie sud-ouest de la boucle de Gennevilliers.

La commune de Rueil-Malmaison est établie en rive gauche de la Seine.

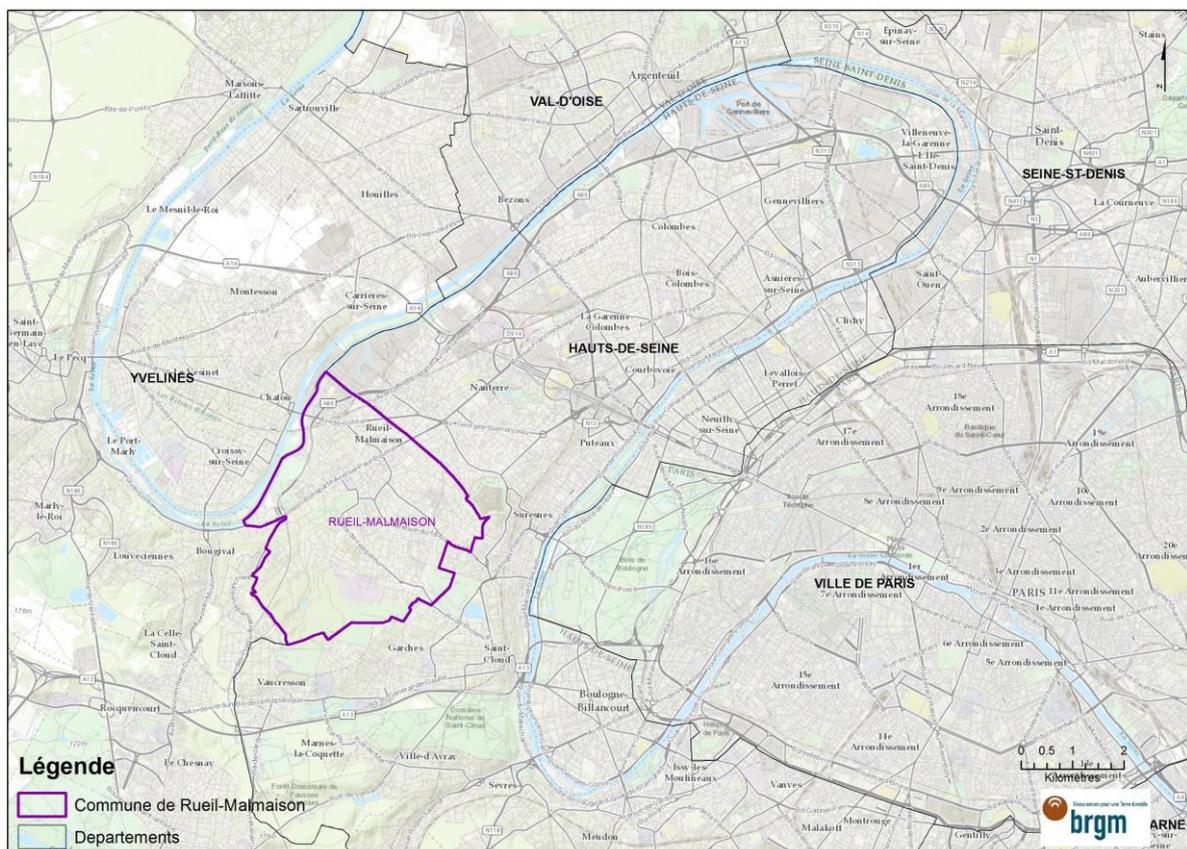


Figure 2 : Localisation de la commune de Rueil-Malmaison. Source : IGN.

2.1.1. Topographie

La topographie de la commune varie de 20 m NGF en bord de Seine à 160 m NGF en forêt domaniale de Malmaison au sud ou au Mont-Valérien au nord-est.

Le Mont Valérien domine au nord-est de la commune à 163 m NGF.

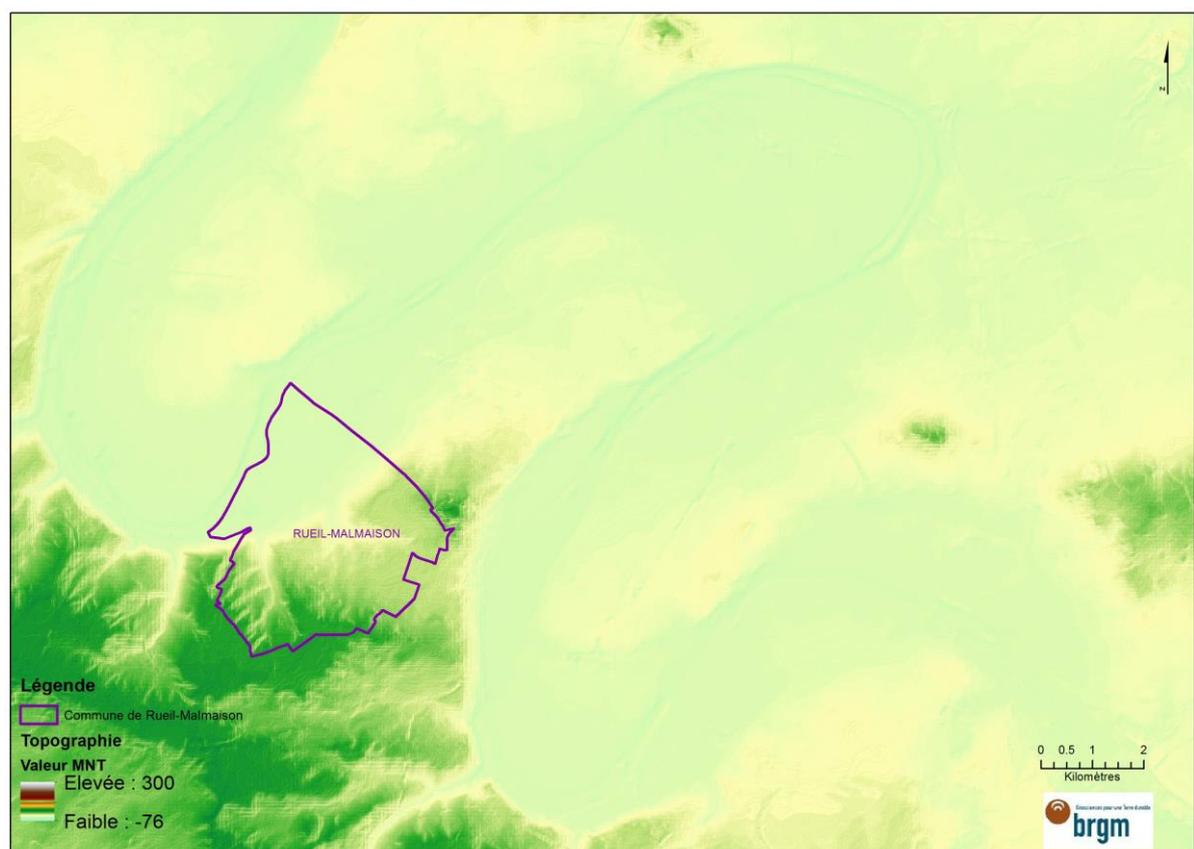


Figure 3 : Topographie du secteur de Rueil-Malmaison. Source : MNT (IGN).

2.1.2. Contexte hydrologique local

Au niveau de Rueil-Malmaison, les deux bras de la Seine ne sont pas à la même altitude du fait de l'influence du barrage de Chatou sur le bras droit de la rivière neuve et de l'écluse de Bougival sur le bras gauche de Marly, situé côté Rueil-Malmaison.

La différence de hauteur est de 3 m environ. Le niveau s'établit à 21.20 m NGF en moyenne en aval du barrage de Chatou contre 23.80 m NGF au niveau du bras de Marly (sur la période 1994/2014).

Le tronçonnement du fleuve par le système d'écluses permet de maintenir le niveau de la Seine à des côtes relativement stables en période normale. La ligne d'eau présente donc en général de faibles amplitudes de variations en dehors des périodes de Crue.

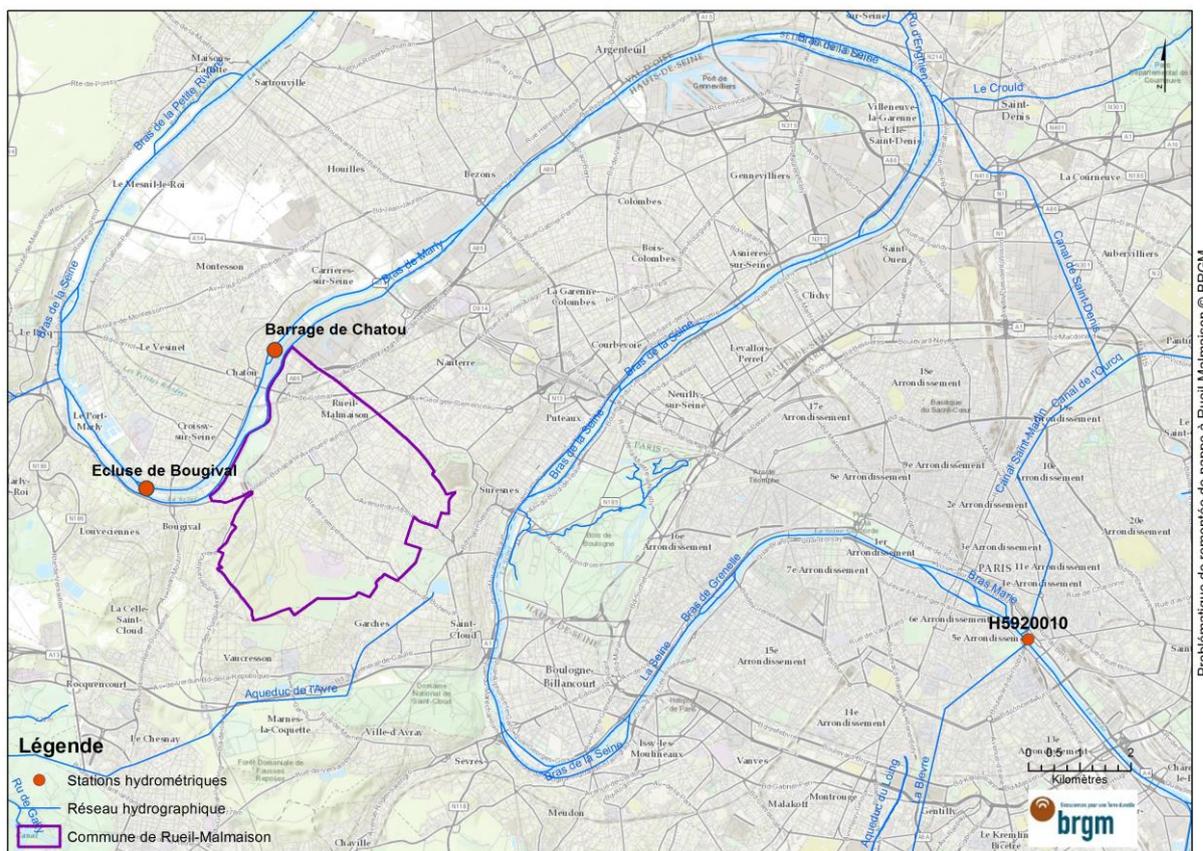


Figure 4 : Localisation des stations hydrométriques et bras de la Seine au niveau de Rueil-Malmaison.
Source : Banque Hydro II.

Les barrages de Chatou et de Bougival sont situés sur l'axe fluvial stratégique à grand gabarit de la Seine-Aval. Ils servent à maintenir le niveau de la Seine (jusqu'à Suresnes) afin de garantir la navigation des bateaux aux gabarits européens desservant notamment le port de Gennevilliers (Hauts-de-Seine), hors périodes de crues.

La mise en service du barrage de Chatou en juin 1967 a induit une remontée de niveau de la ligne d'eau de l'ordre de 2 mètres (Armines, 1988).

Entre 2009 et 2013, le barrage de Chatou a fait l'objet d'une reconstruction pour remplacer l'ouvrage vétuste datant de 1933. A cours des travaux, le niveau du plan d'eau a été maintenu normalement pour sécuriser la navigation fluviale. Ces travaux n'ont donc pas eu d'influence notable sur les hauteurs d'eau d'origine.

2.1.3. Occupation du sol

La carte d'occupation du sol (CORINE Land Cover, 2006) montre que la commune de Rueil-Malmaison (1 460 ha) est marquée par une anthropisation forte, caractéristique de la proche couronne de Paris et du département des Hauts-de-Seine.

Le tissu urbain (continu ou discontinu) ainsi que les zones commerciales et industrielles représentent les 2/3 de la surface de la commune (1 000 ha), le reste étant couvert par des espaces verts artificialisés (espaces verts urbains, équipements sportifs) et forêts, soit environ 450 ha.

2.2. ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE

La géologie superficielle de la Ville de Rueil-Malmaison est constituée par les formations d'âge tertiaire (Éocène inférieur à Oligocène), profondément érodées par la Seine qui a ouvert deux boutonnières mettant à jour le substratum crayeux d'âge secondaire (Crétacé supérieur) : la boucle de Croissy à l'ouest et la boucle de Boulogne à l'est de la commune.

Au niveau des deux boucles, l'érosion fluviale a complètement dégagé les terrains tertiaires jusqu'à la Craie, qui reste cependant masquée par endroits par les dépôts alluvionnaires. Ces dépôts plus récents d'âge quaternaire recouvrent le quart nord-ouest de la commune sur une épaisseur de 12 à 14 m et sont constitués de sables fins et limons (alluvions modernes) surmontant des sables et graviers (alluvions anciennes).

La partie sud de la ville constitue la bordure nord d'une zone de plateau (Meudon, Chaville, Ville d'Avray) où le relief est assez élevé (160 m NGF au niveau de la forêt de la Malmaison). La série des formations d'âge tertiaire y est quasiment complète, de l'argile à meulière de Montmorency (d'âge Plio-quaternaire, produit d'altération par silicification du Calcaire d'Étampes, Oligocène) jusqu'à l'Argile plastique (Éocène inférieur). La butte témoin du Mont-Valérien, située à l'extrémité Est de la commune, peut être rattachée à cette description.

Les formations tertiaires constituant le soubassement du plateau sont entaillées au niveau des talwegs de cours d'eau actuels ou passés de faible importance (aval de l'étang de Saint-Cucufa).

2.2.1. Carte géologique au 1/50 000

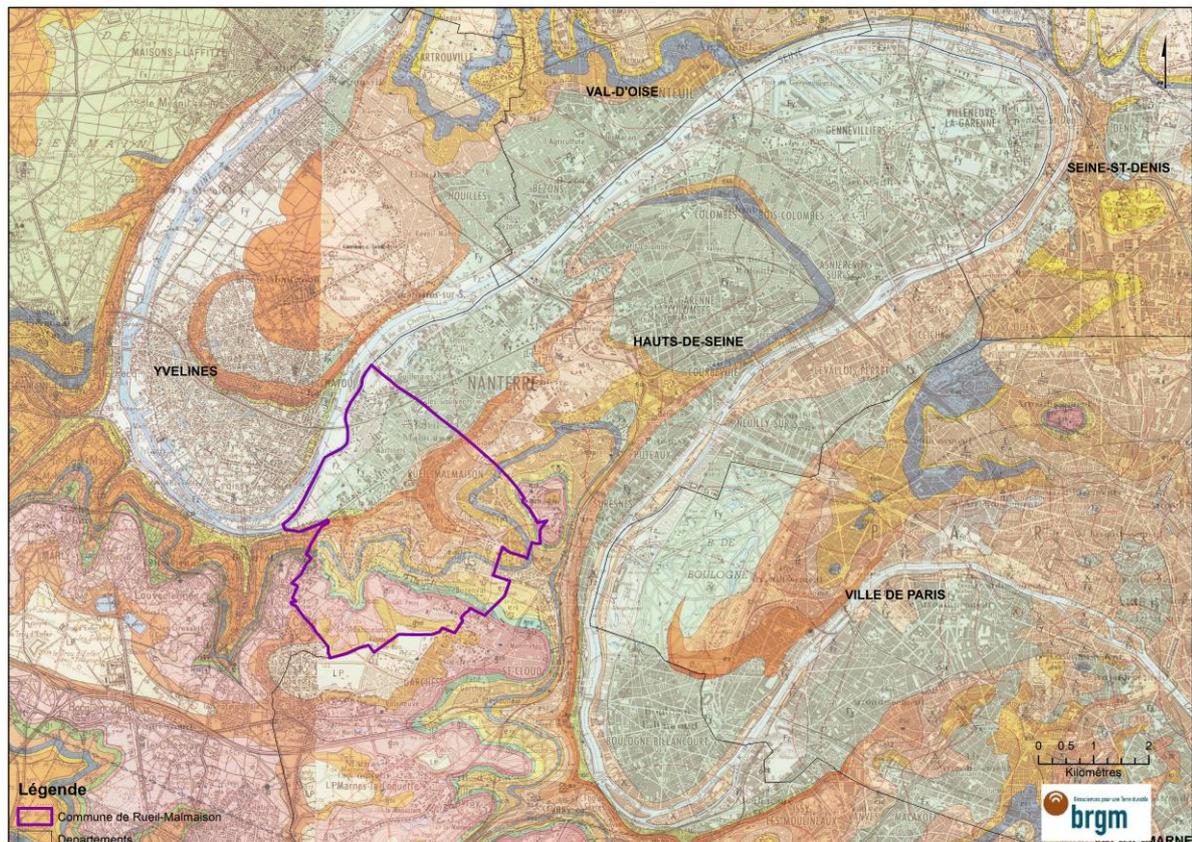


Figure 5 : Carte géologique 1/50 000 de la zone d'étude. Source : BRGM.

2.2.2. Contexte structural

Les couches géologiques ne constituent pas des entablements horizontaux en raison des phénomènes tectoniques qui les ont affectés au cours des âges géologiques. Deux axes tectoniques sont présents à proximité de la zone d'étude : au nord la fosse de Saint-Denis, au sud, l'anticlinal de Beynes-Meudon.

De ce fait, le toit de la Craie qui constitue le substratum général de la série tertiaire est affecté d'un plongement SO/NE avec un pendage de 8 à 9‰. Les formations tertiaires sont aussi affectées par ce plongement.

Au niveau de la ville de Rueil-Malmaison, les reconnaissances géologiques réalisées en 1987, ont mis en évidence une structure très régulière des couches de sols. [...] Le substratum est constitué par la Craie Campanienne, dont la surface d'érosion quasi-horizontale se situant entre +15 et +16 m NGF (LREP/Armines, 1997).

2.2.3. Série litho-stratigraphique locale et coupe géologique simplifiée

La série lithostratigraphique complète de la région Île-de-France est présentée en annexe 1.

Lithostratigraphie

| | |
|---|---|
|  | EBOULIS |
|  | ALLUVIONS MODERNES (Quaternaire) |
|  | ALLUVIONS ANCIENNES (Quaternaire) |
|  | MEULIERE DE MONTMORENCY (Mio-Pliocène) |
|  | SABLES DE FONTAINEBLEAU (Oligocène) |
|  | MARNES A HUITRES (Stampien) |
|  | CALCAIRE DE SANNOIS ET ARGILE VERT (Rupélien) |
|  | MARNES SUPRA-GYPSEUSES (Rupélien) |
|  | CALCAIRE DE CHAMPIGNY (Ludien) |
|  | SABLES DE BEAUCHAMP (Auversien) |
|  | MARNES ET CAILLASSES (Lutétien) |
|  | CALCAIRE GROSSIER (Lutétien) |
|  | FAUSSES GLAISES (Sparnacien) |
|  | SABLES D'AUTEUIL (Sparnacien) |
|  | ARGILES PLASTIQUES (Sparnacien) |
|  | MARNES DE MEUDON (Dano-Montien) |
|  | CRAIE (Sénonien) |

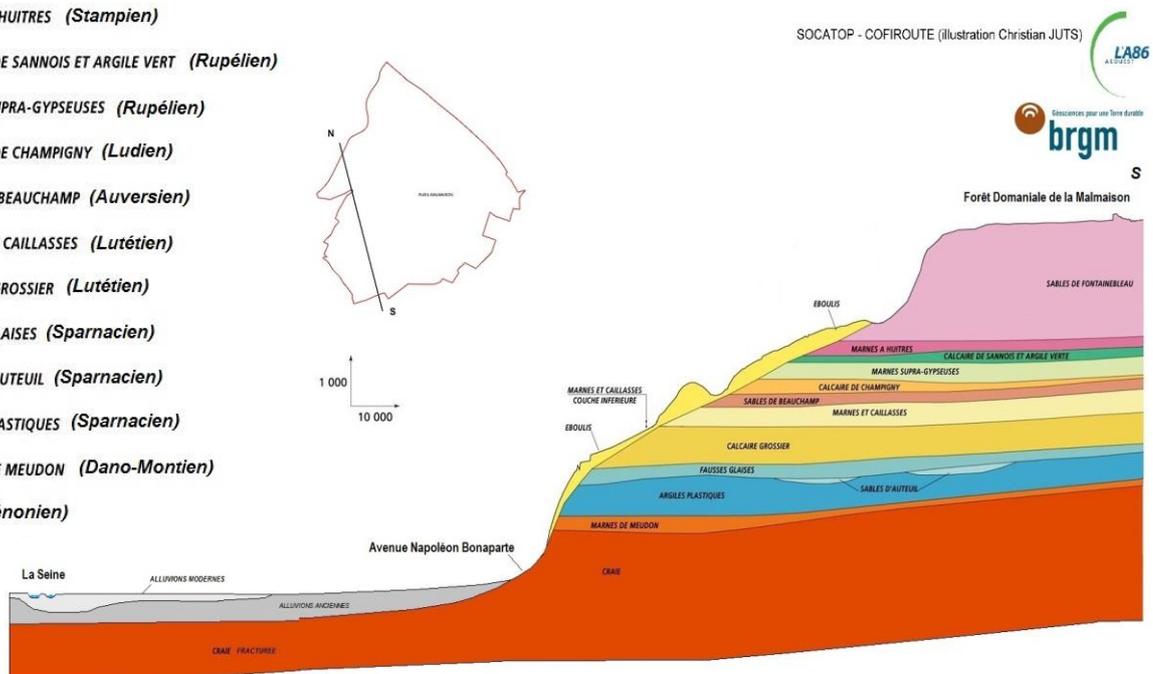


Figure 6 : Coupe géologique schématisée de la Ville de Rueil-Malmaison (nord-sud).
Source : Socatop-Cofiroute (Illustration de Christian Juts), adaptée par le BRGM.

2.3. ENVIRONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE

Parmi l'ensemble de la série stratigraphique tertiaire, seules les argiles plastiques du Sparnacien et l'Argile Verte (Éocène supérieur) sont nettement imperméables. Les autres roches constituent des réservoirs aquifères dont les caractéristiques varient au gré des changements de faciès.

Deux grands ensembles aquifères peuvent se distinguer localement :

- les alluvions de la Seine surmontant le réservoir de la Craie, dans la partie nord-ouest de la commune, au niveau de la vallée de la Seine ;
- les réservoirs tertiaires de l'Éocène et de l'Oligocène, uniquement présents au sud de la commune (plateau tertiaire) et au niveau du Mont-Valérien (butte témoin).

2.3.1. Les nappes tertiaires

Surmontant la formation imperméable des argiles sparnaciennes, les réservoirs tertiaires renferment les nappes « perchées » de l'Oligocène et de l'Éocène. Les Marnes et Caillasses jouent le rôle d'horizon semi-perméable et permettent de distinguer l'ensemble aquifère de l'éocène supérieur de celui de l'éocène moyen et inférieur, essentiellement contenue dans le calcaire du Lutétien au niveau de Rueil-Malmaison. Tous ces réservoirs sont séparés par des horizons moins perméables.

Nappes perchées de l'Oligocène et de l'Éocène supérieur

Les aquifères de l'Oligocène et de l'Éocène supérieur sont essentiellement présents au droit du plateau, situé au sud de la Ville, ainsi qu'au niveau de la butte témoin du Mont-Valérien. De faible épaisseur, les nappes qu'ils contiennent sont peu développées.

Le réservoir Oligocène est constitué des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Brie. Il contient deux nappes « perchées », d'extension limitée au niveau du plateau au sud ou au pourtour du mont Valérien. Ces nappes s'écoulent par de nombreuses sources, de faibles débits voire des suintements et écoulements diffus qui apparaissent au contact des formations moins perméables : les Marnes à Huîtres du Stampien inférieur et des Marnes vertes du Sannoisien.

Le réservoir de l'Éocène supérieur est constitué des Sables de Beauchamp et Calcaire de Saint-Ouen. La nappe de l'éocène supérieur est très peu développée et l'aquifère est en grande partie dénoyé. Le niveau marneux peu perméable des Marnes et Caillasses peut provoquer des émergences diffuses (ANTÉA, 1994).

Nappe de l'Éocène moyen et inférieur

Les réservoirs de l'Éocène moyen et inférieur contiennent une nappe localement libre et s'écoulant vers la Seine. Au niveau de Rueil-Malmaison, cette nappe concerne essentiellement le Calcaire du Lutétien, les sables de Cuise de (Yprésien) étant localement très peu développés voire absents.

Cette nappe a un niveau piézométrique supérieur de plusieurs mètres à celui de la Craie.

Il n'a pas été possible de réaliser des mesures piézométriques de la nappe du Lutétien (Éocène moyen et inférieur) lors de la campagne de mesure de juillet 2014, par manque de points d'accès à la nappe au niveau de la zone d'étude.

À Rueil-Malmaison, surtout dans la partie sud-ouest de la commune, les calcaires ne connaissent des circulations d'eaux qu'à leur base (ce qui a permis des exploitations de carrières souterraines) (ANTÉA, 1994).

Présentes dans la majeure partie de la boucle de Gennevilliers, les nappes du Calcaire du Lutétien et des Sables de l'Yprésien (Sable de Cuise) sont très sollicitées pour l'alimentation en eau potable (champ captant de Villeneuve la Garenne) ou l'industrie.

2.3.2. La nappe Alluvions/Craie

À Rueil-Malmaison, le réservoir le plus important est constitué par la formation de la Craie, surmontée par le Calcaire du Montien (localement peu développé) et les alluvions de la Seine. Ces aquifères superposés contiennent des nappes en communication directe du fait de l'absence des argiles sparnaciennes, localement érodées, et en relation hydraulique avec la Seine.

Le réservoir Alluvions/Craie est essentiellement présent dans la partie nord-ouest de la Ville, en bordure de Seine.

Les alluvions sont composées d'une alternance de limons argileux peu perméables (alluvions modernes au sommet) et de sables et graviers plus perméables (alluvions anciennes présentes à la base). Ce réservoir joue le rôle d'aquifère tampon entre la Seine et l'aquifère sous-jacent de la Craie.

L'aquifère crayeux est le seul réservoir continu à l'échelle de la Ville. Il est très perméable sous recouvrement alluvionnaire où la fissuration développée et peu colmatée permet des débits importants mais hétérogènes. Sur 30 m à 60 m d'épaisseur maximale utile, l'aquifère de la Craie est très productif. Il peut stocker de grands volumes d'eau grâce à sa double porosité : celle de la matrice qui peut atteindre 40 % et celle des diaclases (fractures). En revanche, le réservoir crayeux est considéré peu productif sous fort recouvrement tertiaire où il devient peu fracturé.

Dans la partie sud-est de la Ville, les argiles du Sparnacien constituent une barrière à l'écoulement et limitent fortement les circulations verticales entre les nappes de l'Éocène et du Montien/Craie.

Les alluvions de la Seine et la Craie fracturée sont particulièrement développées au cœur des boucles de Croissy et Boulogne : les deux boucles peuvent toutefois être considérées comme des systèmes hydrodynamiques indépendants.

Actuellement, l'aquifère de la Craie est largement exploité pour l'alimentation en eau potable (champ captant de Croissy-le-Pecq) et pour les usages industriels. Avant 1981, l'aquifère de la Craie était très sollicité à Rueil-Malmaison pour des usages industriels aujourd'hui arrêtés (champ captant de Rueil-Malmaison et anciennes blanchisseries).

Alimentation de la nappe de la Craie

L'alimentation de la nappe de la Craie est essentiellement constituée par les apports :

- des précipitations efficaces ;
- de la Seine lors de crues et à travers le fond de son lit, apport variable en fonction du colmatage des berges et du fond du fleuve ;
- latéraux par l'intermédiaire de la Craie compacte le long des flancs de la vallée ;
- de la nappe des alluvions anciennes par drainance verticale ;
- de la nappe du Calcaire du Lutétien par débordement de sources de faibles débits en pied de plateau.

Du fait de l'imperméabilisation des sols en milieu urbain dense, la recharge de la nappe par l'infiltration directe de la pluie est moindre qu'en milieu naturel. Toutefois, selon l'inventaire Corine Land Cover, la commune de Rueil-Malmaison possède environ 200 ha de forêt et 250 ha d'espaces verts urbains et équipements sportifs et de loisir, permettant l'infiltration d'une partie des eaux de pluie.

De plus, en milieu urbain, les pertes des réseaux de collecte des eaux usées ou drainage des eaux pluviales peuvent constituer un apport significatif d'eau à la nappe. À Rueil-Malmaison, les eaux de pluie sont déversées dans un bassin de stockage de 14 000 m³ environ, disposant d'un trop plein déversant les excédents d'eaux pluviales dans le réseau d'égouts.

Les bassins d'infiltration du champ captant de Croissy-Le Pecq constituent aussi une recharge de la nappe de la Craie, délocalisée par rapport à la commune de Rueil-Malmaison.

Dans une moindre mesure, l'alimentation de la nappe de la Craie peut aussi s'effectuer via les sources de débordement de la nappe sus-jacente du Calcaire du Lutétien (sources présentes en pied de plateau, au niveau des argiles du Sparnacien). Ces apports sont très difficiles à quantifier en milieu urbain où les écoulements sont généralement diffus et se perdent dans les éboulis de pente et les remblais. Leur cheminement est difficile à mettre en évidence et est susceptible d'être dévié par des aménagements (fondations d'immeubles, mais aussi canalisations enterrées, ...) (ANTÉA, 1994). La réinfiltration d'écoulements dans la nappe de la Craie est donc difficile à quantifier.

Les exutoires de la nappe sont essentiellement constitués par les divers prélèvements d'eau souterraine.

Piézométrie de la nappe de la Craie

La craie et sa couverture d'alluvions contiennent une nappe dont le niveau piézométrique se situe entre les cotes 23 m et 18 m NGF. Le toit de la nappe s'établit dans les alluvions anciennes dont la base se situe entre 12 et 15 m NGF, c'est-à-dire au-dessus du contact alluvions/craie.

L'écoulement s'effectue localement vers le sud-ouest en direction de la Boucle de Croissy-Le Pecq (voir le chapitre 3 sur la piézométrie de la nappe de la Craie).

Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe de la Craie

Les données relatives aux caractéristiques hydrodynamiques de la nappe de la Craie sont issues de la banque du sous-sol (BSS) du BRGM et des études de modélisation réalisées par l'École des Mines dans le secteur d'étude.

• Investigations hydrogéologiques

En 1987, des investigations hydrogéologiques ont été réalisées par la Lyonnaise des Eaux et le LREP (Laboratoire Régional de l'Est Parisien, ex-CEREMA) dans le secteur de Rueil-Malmaison (Armines, 1988) :

- essai de débit par paliers effectués par la Lyonnaise des Eaux en octobre 1987 (débits exploitables entre 295 et 395 m³/h) ;
- essai de production global du champ captant en novembre 1987 : 40 000 m³ en 24 heures (capacité maximale des installations). Les rabattements en fin d'essai, au bout de 26 heures, restent acceptables confirmant la capacité de pompage de l'ordre de 40 000 m³/j pendant un jour pour le champ captant de Rueil-Malmaison);
- répartition verticale de la perméabilité de la Craie : mesures de débits au micro-moulinet dans les 5 forages en pompage au cours de l'essai de production global ;
- essai de pompage mené par le LREP dans le forage P3-1 des Martinets en mars 1987 (débit de 49,5 m³/h pendant 28 heures).

Ces essais ont montré une bonne diffusivité de la nappe de la Craie dont les valeurs de transmissivité ont été calculées grâce à plusieurs essais de pompage :

- essai par paliers : Les transmissivités calculées sur la courbe de remontée à la fin du dernier palier s'élevaient de 3 à 6,7.10⁻¹ m²/s ;
- essai dans le forage P3-1 : Les observations dans quatre piézomètres on conduit à identifier une transmissivité variant de 9.10⁻² à 4.10⁻¹ m²/s ;
- essai dans le forage Martinets 2 : l'interprétation du rabattement au cours du temps et de la remontée a conduit à une transmissivité entre 1 et 2.10⁻¹ m²/s.

Les résultats conduisent à une transmissivité moyenne de l'aquifère de 1 à 2.10⁻¹ m²/s, ce qui correspond à une perméabilité moyenne de 0.5 à 1.10⁻² m/s en considérant une épaisseur de 20 m de Craie supérieure fortement fissurée, confirmée par des essais au micro-moulinet réalisés pendant le pompage (LREP/ARMINES, 1997).

Le coefficient d'emmagasinement, qui exprime la porosité globale utile, a été estimé localement entre 1 et 3 %. La capacité de stockage des eaux souterraines y est donc importante.

La distribution verticale des perméabilités de la Craie a été évaluée à partir de mesures au micro-moulinet. Ces données sont nécessaires à l'analyse de l'effet éventuel des aménagements souterrains, pénétrant partiellement dans l'aquifère crayeux, sur l'écoulement de la nappe.

La productivité de la Craie est assurée par une fissuration fine et régulière jusqu'à la cote 5 m NGF, l'aquifère fournissant en moyenne 35 % du débit total au-dessus de cette cote. Un barrage souterrain descendu jusqu'à la côte 5 m NGF ne devrait donc, en moyenne, avoir de répercussion que sur 35 % du débit produit (Armines, 1988).

- **Modélisations Armines**

Dans l'ensemble, les transmissivités dans la nappe de la Craie varient essentiellement entre 8.10^{-2} et 1.10^{-2} m²/s et la transmissivité de la nappe des alluvions anciennes a été fixée à 6.10^{-3} m²/s (Armines, 1995).

Calées par les études antérieures, les transmissivités de la nappe de la craie varient sur l'ensemble de la zone d'étude entre 8.10^{-2} et 1.10^{-2} m²/s. Au cours des travaux de modélisation de 1995, une valeur de transmissivité « régionale » (à l'échelle kilométrique) a été ajustée et fixée après calage à 2.10^{-2} m²/s au niveau de la commune de Rueil-Malmaison. Le coefficient d'emmagasinement utilisé avant calage était initialement de 8% puis une valeur de 14 % a été retenue après calage. Ces différences peuvent s'expliquer par le fait que la craie n'est pas homogène et que sa perméabilité est essentiellement une perméabilité de fissures.

Captivité de la nappe

À Rueil-Malmaison, la nappe de la Craie est libre dans la partie nord-ouest de la ville, du fait de l'absence des argiles imperméables du Sparnacien, localement érodées par la Seine.

Par ailleurs, sous recouvrement des formations tertiaires, la nappe de la Craie devient captive, c'est-à-dire qu'elle est mise en charge par le niveau imperméable sus-jacent des argiles du Sparnacien. Dans la Figure 7, l'extension de la formation des argiles du Sparnacien est représentée par l'entité BDLISA 117AC05.

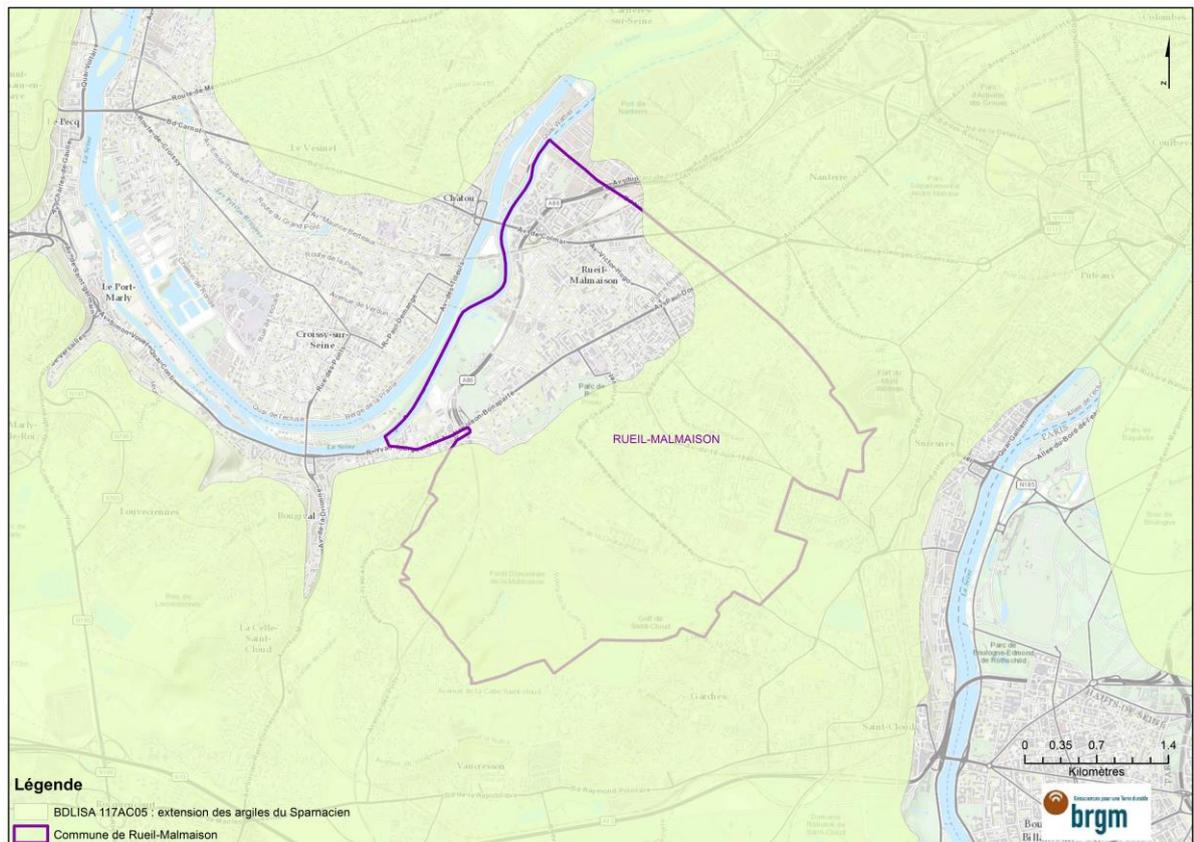


Figure 7 : Extension de la formation imperméable des argiles du Sparnacien à Rueil-Malmaison.
Source: BDLISA version 0, 2014.

3. Piézométrie actuelle de la nappe de la Craie

3.1. CAMPAGNE PIÉZOMÉTRIQUE DE JUILLET 2014

La réalisation de l'esquisse piézométrique repose sur trois étapes :

- la préparation de la campagne de mesures avec notamment la sélection des ouvrages à mesurer ;
- les mesures de terrain, notamment les mesures du niveau d'eau et le nivellement des repères de mesures ;
- la validation, la bancarisation, l'exploitation des données et la cartographie des résultats.

3.1.1. Préparation de la campagne de terrain

Le BRGM a rassemblé toutes les données et sources d'informations relatives à la piézométrie de la zone d'étude : informations présentes dans la base de données du sous-sol (BSS) du BRGM, cartes piézométriques existantes et études hydrogéologiques disponibles dans la zone d'étude.

Sélection des points de mesure

Une sélection des ouvrages à mesurer a été réalisée par le BRGM au sein d'une zone d'étude couvrant le sud des boucles de Boulogne et de Croissy.

Afin d'optimiser la recherche des points sur le terrain, une extraction des puits, piézomètres et forages de la Banque du Sous-Sol (BSS) a été réalisée au niveau de la zone d'étude (*1 107 points d'eau extraits*). Une présélection des points de mesure a été réalisée en se basant sur des critères définis : nappe captée, accessibilité du point d'eau, précision de la source de données (*Résultat : 130 points d'eau sélectionnés*) :

Afin d'identifier des points d'eau complémentaires, d'autres sources de données ont été consultées dans le cadre du projet (*Résultat : 107 points complémentaires soit 208 ouvrages sélectionnés au total*) :

- dossiers LEMA : déclaration au titre de la loi sur l'eau et contacts avec les bureaux d'étude ;
- dossiers ICPE : suivi des eaux souterraines des installations classées ;
- syndicats et producteurs d'eau ;
- Conseils généraux, mairies ;
- parcs, jardins et golfs ;
- RATP, SNCF, ONF.

Prise de contact

La majorité des ouvrages se situent sur des terrains privés (forages industriels, forages AEP, ouvrages agricoles, forages domestiques,...). Avant d'effectuer la campagne de mesures terrain, une investigation concernant les propriétaires ou exploitants des ouvrages a été menée afin de les contacter (*résultat : prise de contact avec 135 propriétaires*).

3.1.2. Campagnes de mesures

Réalisation

La campagne de mesure (en moyenne eaux) s'est déroulée du 1^{er} au 15 juillet 2014. Sur le terrain, les opérations suivantes ont été réalisées :

- mesurer précisément (au centimètre près) le niveau piézométrique de la nappe à partir d'un repère, la hauteur du repère par rapport au sol et, lorsque cela était possible, la profondeur totale de l'ouvrage ;
- photographier, niveler et géoréférencer le repère choisi (avec une précision de 5 cm au maximum lorsque cela était possible) ;
- renseigner les fiches de terrain.

La mesure du niveau piézométrique est effectuée à l'aide d'une sonde piézométrique manuelle métrée. Lorsque la sonde est en contact avec l'eau, elle émet un signal sonore. La lecture de la profondeur de la nappe se fait à partir du repère de mesure défini, pouvant être différent du sol (haut du tubage). La mesure de l'altitude a été réalisée à l'aide d'un GPS Trimble série 6000 GEO XH de précision centimétrique.



Figure 8 : Photographies de mesures piézométriques réalisées au cours de la campagne de juillet 2014. Piézomètre des Martinets, Rueil-Malmaison (à gauche) et piézomètre de Croissy (à droite). Source: BRGM.

Difficultés de terrain

Au cours de la campagne de mesures, plusieurs difficultés rencontrées sur le terrain ont parfois conduit à l'impossibilité de réaliser la mesure :

- existence d'anciens forages industriels maintenant inaccessibles ou rebouchés ;
- difficultés pour circuler du fait d'un trafic routier parfois dense et coordination difficile des disponibilités des propriétaires ;
- pompage en continu de certains forages : l'arrêt des prélèvements était impossible sur certains ouvrages (pas de mesure statique) ou la présence des pompes empêchait la prise de mesure à l'aide de la sonde manuelle.

Il est à noter qu'en milieu urbain dense ou à proximité d'arbres, il est difficile d'effectuer une mesure fiable de l'altitude du repère de mesure avec le GPS car le signal satellite est plus faible

et cela conduit à des mesures moins précises ponctuellement. La précision des mesures est fournie en annexe 2.

Lors de la campagne de terrain, il n'a pas été possible de réaliser des mesures piézométriques de la nappe sus-jacente du Lutétien, par manque de points d'accès à la nappe (aucun forage).

De plus, il n'a pas été possible de mesurer le niveau de la nappe de la Craie au droit des parkings impactés, ceux-ci n'étant pas inondés en juillet 2014.

Bilan

Sur 135 points sélectionnés, 72 points ont été visités et 27 mesures valides ont été effectuées. La densité de point reste relativement bonne pour un contexte urbain dense. Toutefois, elle ne permet pas d'avoir une information très fine sur l'altitude et l'écoulement de la nappe en tout point de la commune de Rueil-Malmaison.

3.1.3. Traitement et exploitation des données

Un tracé automatique des cartes piézométriques a été réalisé à partir du logiciel ArcGIS 10.0 (traitement automatique par la méthode d'interpolation « spline avec barrière »). Ce tracé a permis de donner l'allure générale des courbes isopièzes dans la zone d'étude. Ensuite, chaque courbe piézométrique a été reprise manuellement afin de tenir compte de la topographie, des aménagements souterrains et du contexte hydrogéologique local.

Les résultats des mesures piézométriques et GPS réalisées sur le terrain ont été compilés dans une fiche récapitulative éditée pour chaque ouvrage mesuré. Ces fiches de synthèse sont présentées en Annexe 2.

3.1.4. Nivellement des points d'eau

Une différence d'altitude non négligeable a été notée entre les mesures GPS de juillet 2014 et les mesures d'altitude fournies par la mairie sur les ouvrages de Bellerive et des Martinets :

- Piézomètre des Martinets
 - mesure GPS : le repère de mesure a une altitude de 25,63 m NGF, la nappe se situe à 19,47 m NGF ;
 - mesure Mairie : le repère de mesure a une altitude de 25,96 m NGF, la nappe a une côte de 19,13 m NGF.
- Piézomètre de Bellerive
 - mesure GPS : le repère de mesure a une altitude de 28,26 m NGF, la nappe se situe à 21,50 m NGF ;
 - mesure Mairie : le repère de mesure a une altitude de 26,25 m NGF, la nappe se situe à 19,49 m NGF.

La différence d'altitude entre les données fournies par la mairie et la mesure GPS de terrain est de 0,34 m aux Martinets et de 2,01 m à Bellerive. Toutefois, malgré ces différences d'altitude en absolu, la variation relative du niveau de la nappe de la Craie reste homogène : le niveau de la nappe est plus élevé dans le piézomètre de Bellerive que dans le piézomètre des Martinets.

Le nivellement des points d'eau suivis des piézomètres des Martinets, Bellerive et Closeaux devra être effectué par un géomètre afin d'assurer la précision de l'altitude du repère de mesure.

3.2. CARTE PIÉZOMÉTRIQUE

La carte piézométrique a été réalisée à partir des données enregistrées au cours de la campagne de mesure de juillet 2014.

La restitution cartographique au 1/50 000 s'appuie sur le fond IGN. Les courbes isopièzes sont exprimées en m NGF et l'équidistance retenue pour le tracé des courbes est de 1 m (Figure 8).

Les principales interprétations de la carte piézométrique sont les suivantes :

- en juillet 2014, le niveau de la nappe de la Craie s'établit autour de la cote 19,5 m NGF au piézomètre des Martinets, niveau représentatif de la zone impactée ;
- l'écoulement général de la nappe de la Craie s'effectue vers le sud-ouest, en direction du champ captant de Croissy-Le Pecq. La dépression engendrée par les prélèvements du champ captant est nettement visible au niveau de la boucle de Croissy ;
- la piézométrie n'est pas fortement marquée par le drainage de la Seine au niveau de Rueil-Malmaison. Toutefois, la Seine semble constituer un faible front de réalimentation car le niveau piézométrique remonte aux approches du fleuve ;
- une différence d'altitude est mesurée entre le piézomètre des Martinets, crépiné dans la Craie, et de Bellerive, crépiné dans les alluvions anciennes. Ces deux piézomètres sont situés de part et d'autre de l'autoroute A86. L'altitude de la nappe est supérieure du côté Seine, à Bellerive ;
- un creux piézométrique est observé à l'est de l'autoroute A86, côté Rueil-Malmaison. La nappe semble localement s'écouler le long du tracé ;
- à Rueil-Malmaison, la nappe de la Craie est captive sous recouvrement des formations tertiaires et devient libre sous recouvrement alluvionnaire ;
- les boucles de Boulogne et de Croissy semblent hydrauliquement déconnectées (présence d'une crête piézométrique dans l'axe de la boucle de Gennevilliers).

3.3. CARTE INDICATIVE DE LA PROFONDEUR DE LA NAPPE

À partir du MNT au 25 m de l'IGN indiquant la topographie du terrain, une carte indicative de la profondeur de la nappe de la Craie a été réalisée au niveau de la commune de Rueil-Malmaison (Figure 10).

La carte peut présenter des incertitudes liées à l'imprécision du MNT et des mesures GPS.

Les secteurs peuvent être considérés comme sensibles aux remontées de nappe lorsque la profondeur de la nappe de la Craie est inférieure à 10 mètres (voir chapitre 6.3 : Cartographie de la zone sensible aux remontées de nappe).

Les parkings et habitations impactés par les remontées de nappe ont été indiqués par une étoile et sont situés au droit de mailles où la nappe se situe à moins de 10 mètres de profondeur en juillet 2014.

Les données cartographiques (isopièzes de la nappe de la Craie et raster de la profondeur de la nappe de la Craie, en juillet 2014) ont été fournies à la mairie de Rueil-Malmaison.

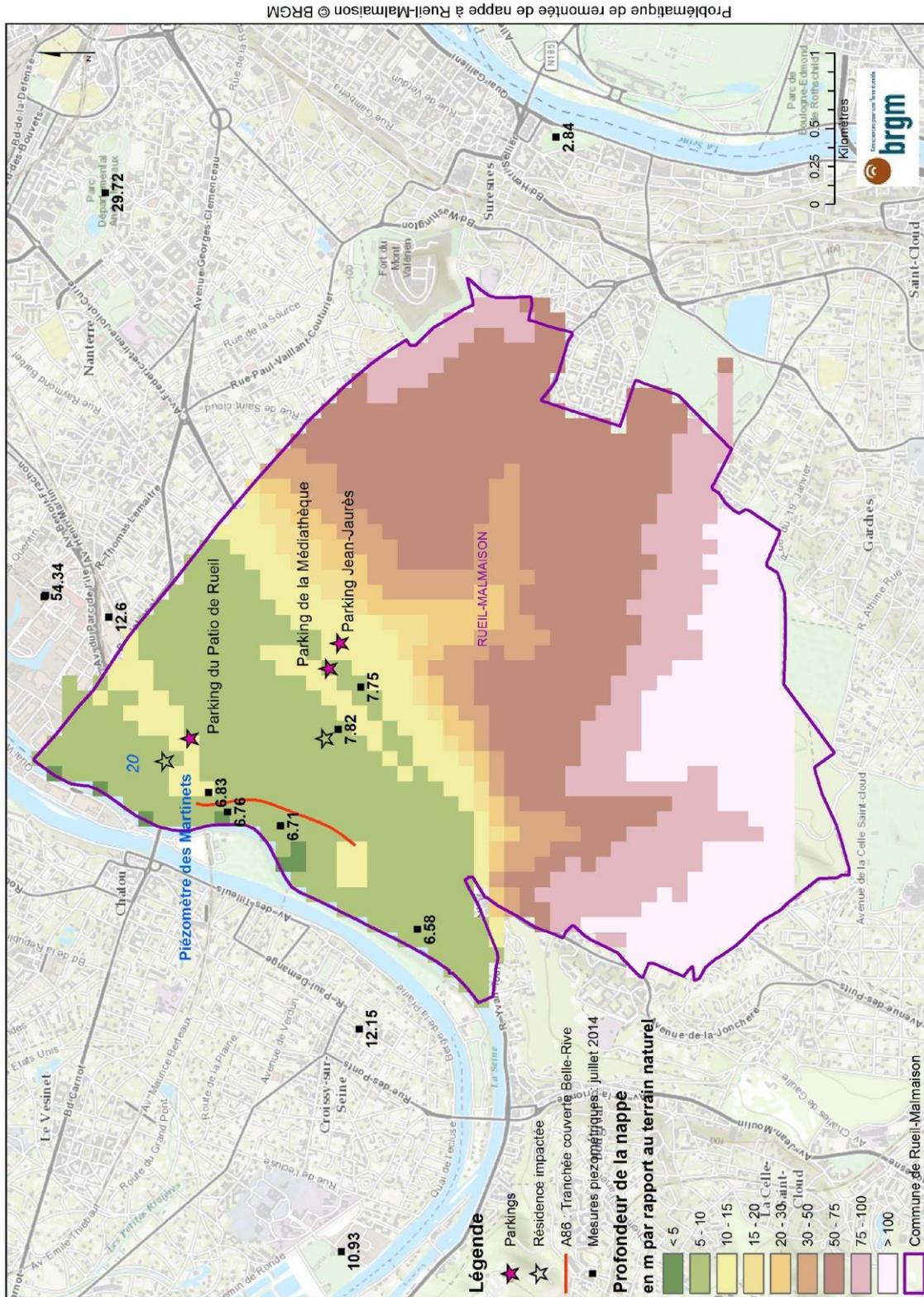


Figure 10 : Carte de la profondeur de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison. Les sites impactés par des inondations ont été indiqués par une étoile.

4. Collecte et analyse de données

La collecte des données relatives à l'hydrogéologie du secteur de Rueil-Malmaison, consolidée par une visite de terrain et une campagne de mesures piézométriques, a permis de disposer d'un état des connaissances actualisé nécessaire au diagnostic du phénomène de remontée de nappe.

L'analyse des données recueillies s'est appuyée sur des échanges techniques avec les services Police de l'Eau (DRIEE-IF et DDT 78), la Direction Régionale des Routes d'Île-de-France (DiRIF) – PCTT Ouest-Nanterre (DRIEA-IF), Vinci Park, la Lyonnaise des Eaux et Voies Navigables de France.

4.1. INFORMATIONS FOURNIES PAR LA VILLE DE RUEIL-MALMAISON

Au cours de la réunion technique du 28 juin 2013, la mairie de Rueil-Malmaison a présenté les informations recueillies relatives à la problématique de remontée de nappe.

Les villes de Nanterre, Suresnes, Chatou et Croissy, questionnées par la Ville de Rueil, ont indiqué ne pas avoir eu de problèmes d'inondation par remontée de nappe similaires.

Lors de la mise en place de chantiers importants, la ville tente d'avoir des échanges réguliers avec les maîtres d'ouvrage et peut donc avoir accès aux données relatives au sous-sol. Le service Environnement parvient quelquefois à récupérer des études géotechniques, effectuées par exemple dans le cadre de grands projets d'aménagement. Ces informations hydrogéologiques, certes ponctuelles, permettent d'alimenter l'état des lieux actuel.

La mairie a des difficultés pour obtenir des informations relatives aux prélèvements industriels de la Ville mais possède une série de données hydrogéologiques à l'échelle de la commune. Des travaux avec ANTEA ont eu lieu et des outils d'observation ont été mis en place (3 piézomètres sont situés sur la commune).

Un inventaire des données fournies par la Ville de Rueil-Malmaison est listé ci-dessous.

- une carte de localisation des différents phénomènes de remontée de nappe observés dans la Ville de Rueil-Malmaison ;
- présentation Vinci sur le puits RD10 du tunnel A86 ouest ;
- un extrait de l'étude géotechnique réalisée au niveau du golf de Rueil-Malmaison ;
- un extrait de l'étude géotechnique du parking Jean-Jaurès ;
- un extrait de la revue « Tunnels et ouvrages souterrains » – n° 202 de juillet/août 2007 sur le bouclage de l'autoroute A86 à l'ouest : réalisation des niches du tunnel EST 1 et la réalisation des puits de secours.

4.2. RECUEIL DES ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE

4.2.1. Modélisations de l'École des Mines de Paris

Les études de modélisation menées par l'École des Mines de Paris, Centre d'Informatique Géologique, Laboratoire d'Hydrogéologie Mathématique de Fontainebleau, ont été recueillies et analysées. Les objectifs des différentes modélisations réalisées sont présentés dans le tableau suivant et plus précisément décrites en annexe 3 :

| Référence | Titre de l'étude | Objectif de l'étude |
|--------------|---|--|
| LHM/RD/88/21 | Déviations de Rueil-Malmaison entre le carrefour de la jonchère (RN13) et la tête rive gauche du pont de Chatou (RN190 et 186) : étude d'impact sur la nappe phréatique. | Évaluation de l'impact prévisible du franchissement en tranchée de la RN13 de la ligne du RER à Rueil-Malmaison sur les performances du champ captant en eau potable de Rueil de la SLEE situé en bordure de Seine. |
| LHM/RD/90/4 | Société des pétroles SHELL : mission d'étude hydrogéologique sur le site de Rueil-Malmaison, lieu-dit les Closeaux. | Étude prévisionnelle de l'impact des forages du champ captant de Rueil sur la nappe au niveau du chantier Shell afin d'apprécier l'opportunité de mettre en œuvre le dispositif. |
| LHM/RD/90/51 | Autoroute A86 : évaluation de l'effet de barrage, entre le pont de Rouen et l'avenue Jules Quentin, sur le niveau de la nappe phréatique. | Déterminer l'impact des travaux autoroutiers sur la nappe phréatique sur la commune de Nanterre, entre le pont de Rouen et l'avenue Jules Quentin. |
| LHM/RD/94/37 | Étude d'impact des travaux autoroutiers de l'A86 sur la nappe phréatique : évaluation de l'effet de barrage de l'ensemble des ouvrages de Rueil-Malmaison et Nanterre. | Évaluation prévisible de l'effet de barrage sur la nappe phréatique des différents passages en tranchée de l'autoroute A 86 dans le secteur de Rueil-Malmaison et de Nanterre : portion d'autoroute comprise entre la tranchée couverte de Belle-Rive à Rueil-Malmaison et le Pont Becquet dans le secteur centre de Nanterre. |
| LHM/RD/95/05 | Déviations de la RN13 à Rueil-Malmaison : Évaluation de l'impact des crues de Seine et efficacité d'un pompage sur le champ captant des Martinets ou à proximité de la zone de travaux. | <ul style="list-style-type: none"> • Estimation de l'influence du niveau de la Seine sur le niveau moyen de l'aquifère pendant la période de réalisation des travaux de contournement de la commune de Rueil-Malmaison par le RN13. • Réutilisation et actualisation du modèle construit en 1988 avec extension du modèle vers l'est et ajustement du modèle sur la période 1990-1994. • Simulations de différents scénarios de crues de Seine, calculs de profils d'onde de crue en fonction du temps, simulation de l'effet du pompage du champ captant de Rueil-Malmaison ou à proximité de la zone des travaux. |

Tableau 1 : synthèse des références et objectifs des études Armines réalisées dans la zone d'étude.

La mise en place de modèles d'écoulement dans la zone d'étude permet de montrer que :

- en régime naturel, la Seine intervient très peu dans l'écoulement de la nappe entre Rueil-Malmaison et Croissy ;
- les prélèvements du champ captant de Croissy/Le Pecq influencent la piézométrie de la nappe à Rueil-Malmaison de façon non négligeable ;
- en régime naturel, une onde de crue de la Seine est sensible à moins de 1km de la Seine. Après 60 jours de décrue, la piézométrie revient sensiblement à la normale (profils piézométriques réalisés le long de l'A86 pendant et après une crue fictive de la Seine, avec ou sans exploitation du champ captant de Croissy) ;

- les échanges nappe/rivière sont difficiles à quantifier et sont caractérisés par le coefficient de transfert Nappe-Seine. Au niveau de Rueil-Malmaison, le coefficient est variable en fonction du niveau de la Seine en aval de Chatou (les échanges sont plus importants lorsque le niveau de la Seine augmente) ;
- l'ouvrage de « Belle-Rive » (tronçon couvert de l'A86 à Rueil-Malmaison) ne constitue qu'un barrage partiel à l'écoulement puisque les parois moulées d'ancrage ne pénètrent que d'une dizaine de mètres dans la formation crayeuse. Le moindre espace laissé à l'écoulement permet de diminuer fortement l'effet de barrage. Les simulations montrent que les variations piézométriques ne sont sensibles que si l'écoulement est stoppé à plus de 90 %.

4.2.2. Cartographie des zones sensibles aux remontées de nappe du département des Hauts-de-Seine

Référence BRGM : 86-SGN-006-IDF

L'étude avait pour objectif de réaliser une synthèse sur les phénomènes de remontée des nappes dans le département des Hauts-de-Seine. Elle a été limitée à la zone nord du département, correspondant à la vallée de la Seine.

L'étude met en évidence une remontée générale des niveaux des nappes superficielles du Val de Seine entre 1970 et 1986, y compris de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison. Cette remontée s'est effectuée sous l'influence d'un accroissement de l'alimentation pluviométrique et d'une baisse sensible des volumes prélevés par forage.

La partie nord-ouest de la commune de Rueil-Malmaison apparaît comme étant sensible aux risques de remontée de nappe. Les principaux critères déterminant la sensibilité sont la dépression de la nappe par rapport à la Seine et les prélèvements localement importants.

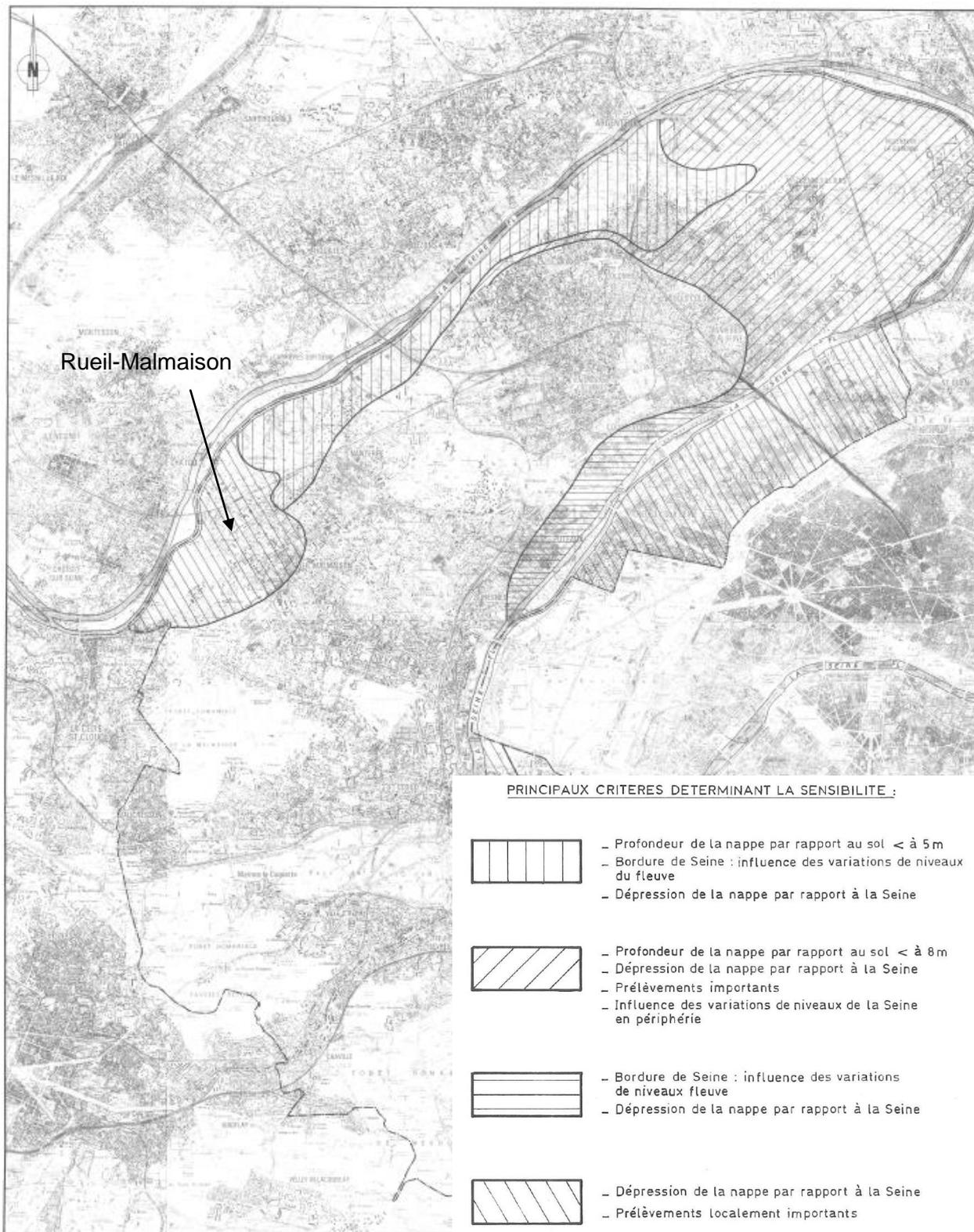


Figure 11 : Extrait de la carte des zones sensibles aux risques de remontée de nappes (Planche 5). La commune de Rueil-Malmaison est située en zone sensible.

4.3. ENQUÊTE SUR L'ÉVOLUTION PIÉZOMÉTRIQUE DE LA NAPPE

L'objectif du recueil de données est de recenser les informations relatives aux niveaux historiques de la nappe de la Craie observés à Rueil-Malmaison pour retracer son évolution.

4.3.1. Cartes piézométriques

1. État de référence : la carte piézométrique de Delesse de 1862, représente le niveau piézométrique des nappes phréatiques (première nappe rencontrée sous la surface topographique) de l'agglomération parisienne. À cette date, aucune nappe souterraine n'est exploitée à des fins industrielles (Zinou Zéglil, 2011).

Les niveaux piézométriques renseignés correspondent aux cotes maximales des nappes superficielles. La nappe superficielle dans la partie nord de la Ville de Rueil-Malmaison s'établit alors entre 22 et 24 m NGF.

La carte piézométrique de 1862 a été fournie à la Mairie de Rueil-Malmaison en version numérique.



Figure 12 : Carte de Delesse, 1862 : carte piézométrique de référence de l'hydrogéologie parisienne.
Source : gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France.

2. Carte hydrogéologique de Paris réalisée en 1970 par Ph. Diffre. La carte présente le niveau piézométrique des principales nappes de la région de Paris et proche banlieue. En 1970, la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison se trouve à une altitude proche de 20 m NGF.

Cette carte de 1970 est accessible sur le SIGES Seine-Normandie, dans l'espace cartographique : <http://sigessn.brgm.fr/>

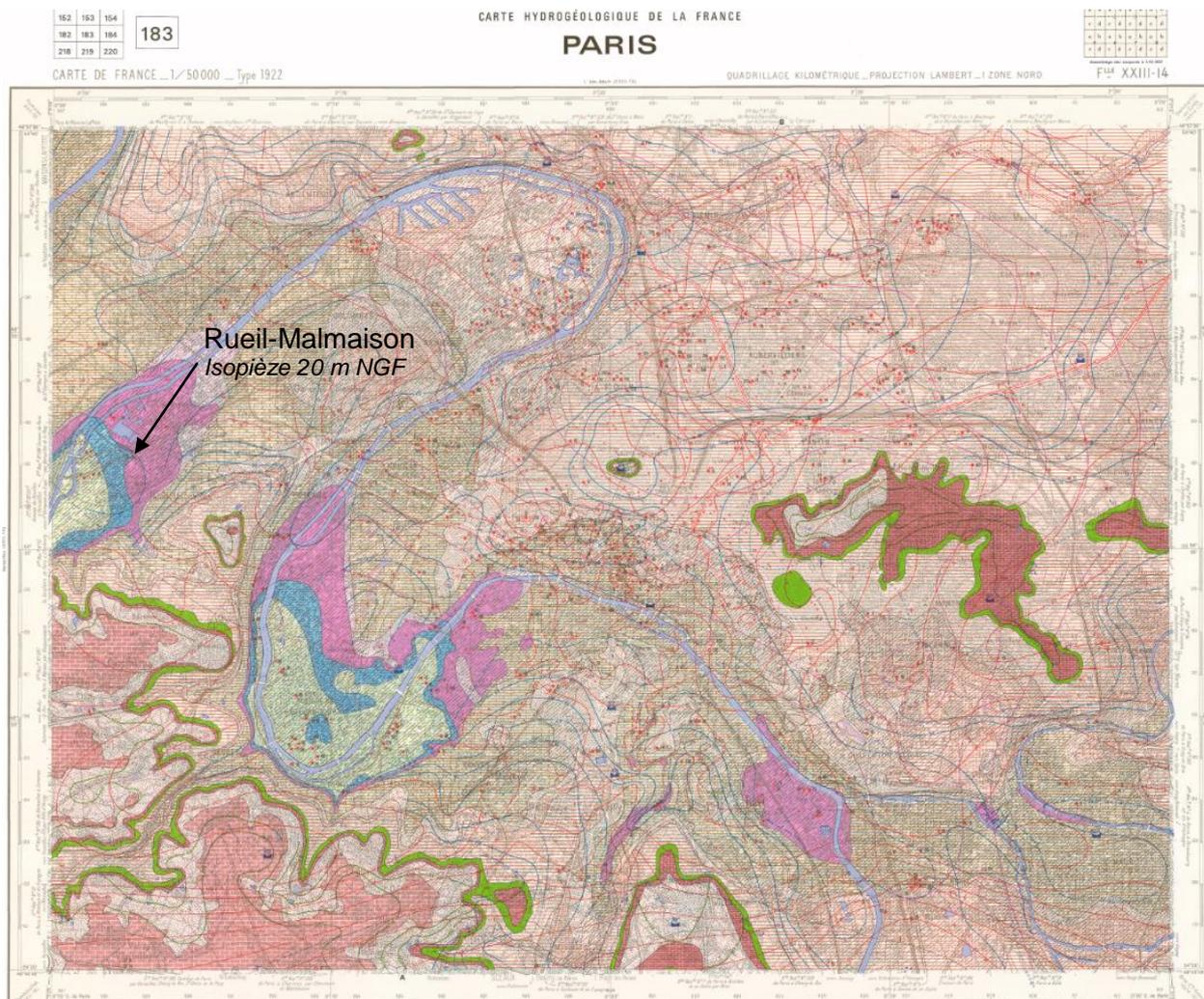


Figure 13 : Extrait de la carte hydrogéologique de Paris. Source : BRGM Ph. Diffre, 1970.

3. Courbes isopièzes établies par J.P. Gigan en 1973 sur la nappe des alluvions anciennes dans la boucle de Gennevilliers. La carte piézométrique montre une divergence des directions d'écoulement à partir de l'axe médian de la boucle. Cette divergence traduit l'existence d'une alimentation permanente de la nappe par la surface (Armines, 1994).
4. État intermédiaire, 1985 : carte piézométrique réalisée dans le cadre de l'étude de sensibilité de remontée de nappe du département des Hauts-de-Seine. Le niveau de la nappe de la Craie s'établit entre 16 et 17 m NGF à Rueil-Malmaison (Figure 14).

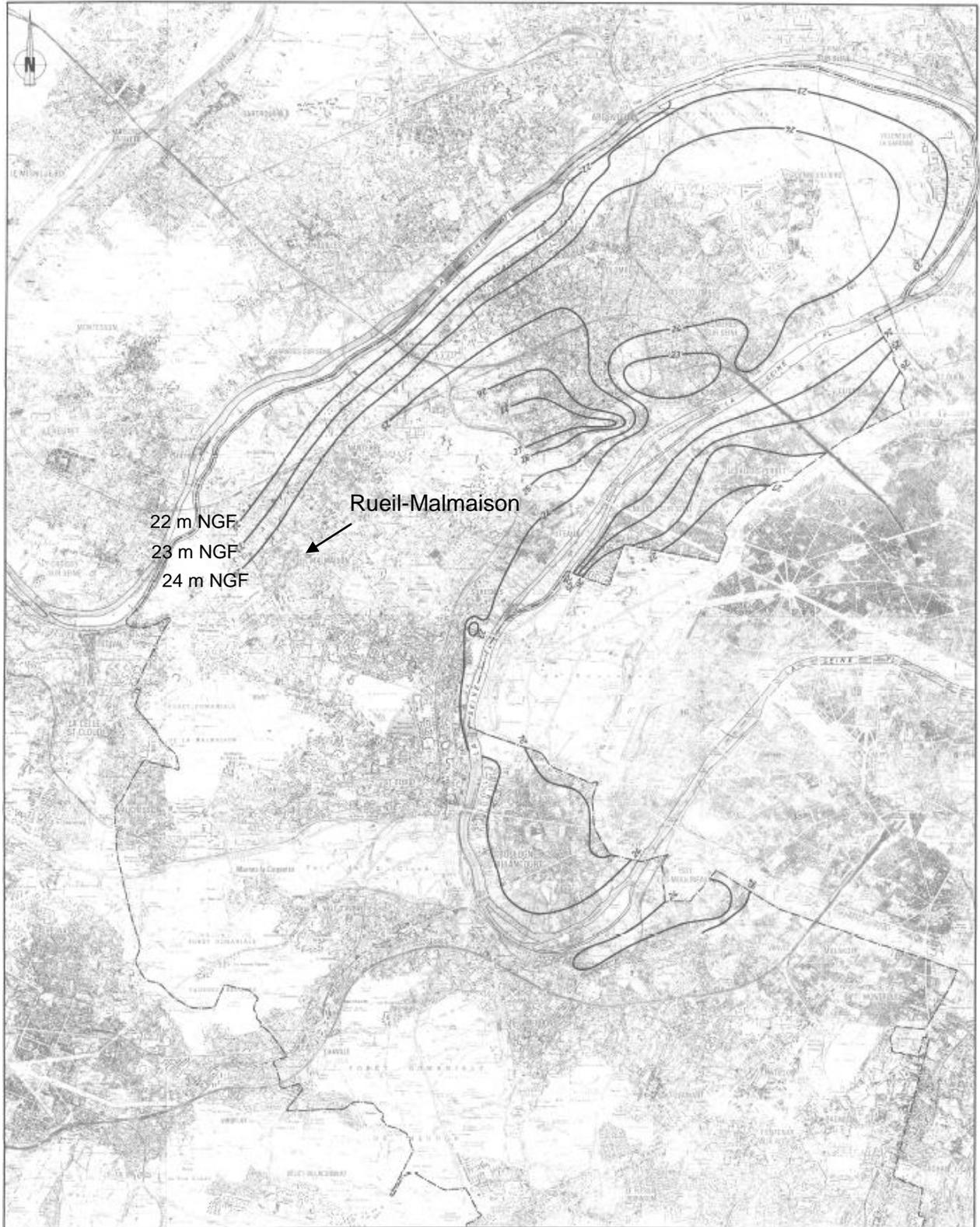
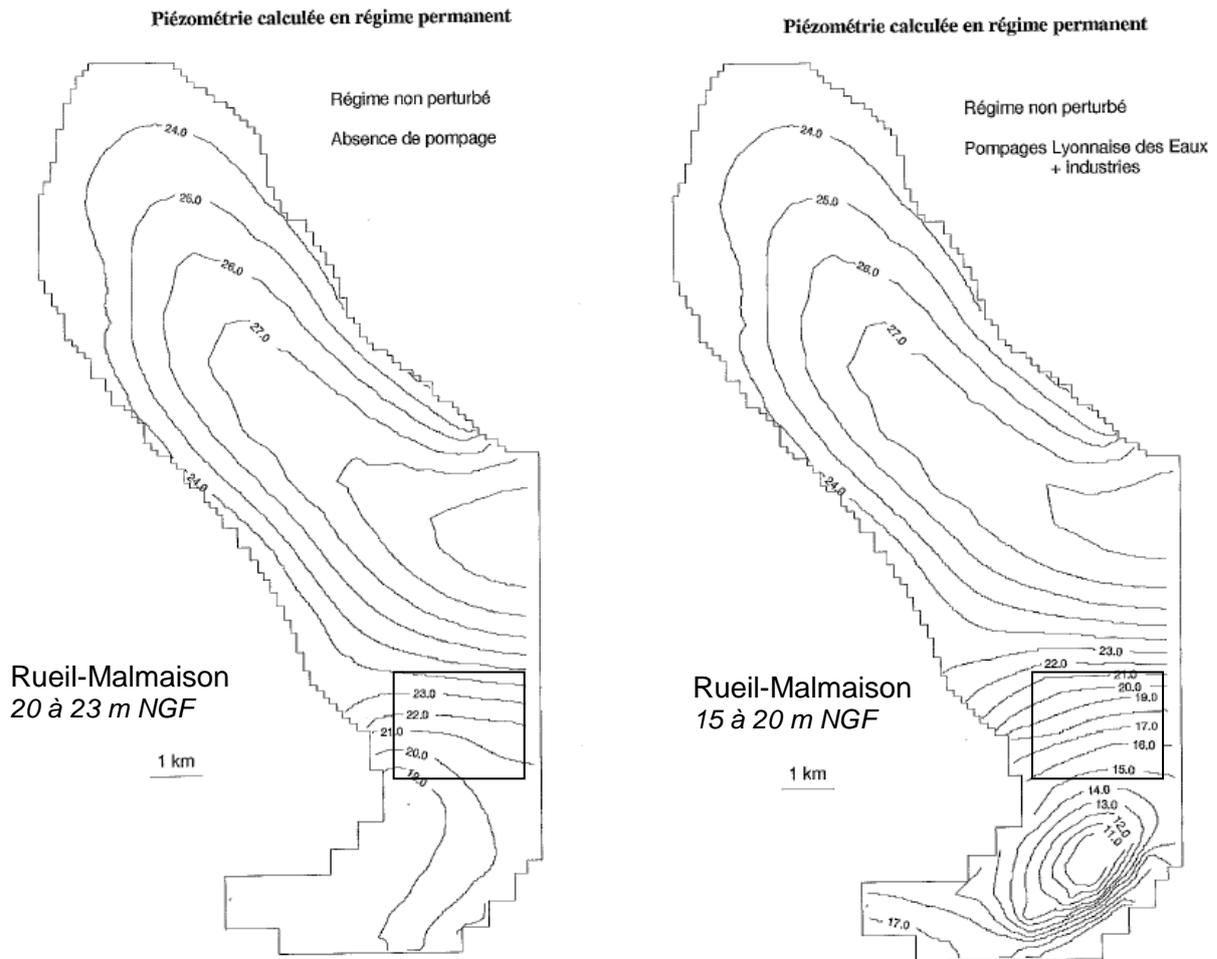


Figure 14 : Carte piézométrique (mesures entre août et novembre 1985). Source : André P., Rich X., 1986.

5. États calculés dans le cadre des modélisations Armines (Viennot P., 1994) :

- piézométrie calculée en régime permanent, sans aménagements souterrains (régime non perturbé), sans prélèvements (absence de pompages) représentative d'un écoulement naturel : niveau piézométrique situé entre 20 et 23 m NGF à Rueil-Malmaison (Figures 15) ;
- piézométrie calculée en régime transitoire en 1994, sans aménagements souterrains (régime non perturbé), avec prélèvements (avec pompages). Le niveau piézométrique de la nappe baisse rapidement à Rueil-Malmaison (entre 15 et 20 m NGF) et atteint 11 m NGF au droit des captages de Croissy-Le Pecq (Figures 15).



Figures 15 et 16 : À gauche : simulation de niveaux piézométrique de la Craie, en absence de prélèvements. À droite : avec prélèvements. Source : Viennot P, 1994.

4.3.2. Historique du niveau de la nappe

En 1862, la carte piézométrique établie par Delesse montre qu'à Rueil-Malmaison, la nappe de la Craie s'établit entre 21 et 22 m NGF, avant l'exploitation de la nappe à des fins industrielles.

D'une manière générale, au niveau de la proche banlieue de Paris, alors que les activités humaines ont entraîné depuis les années 1870 l'abaissement progressif du niveau piézométrique des nappes exploitées, l'évolution de l'industrie et de l'urbanisme à partir des années 1970 s'est traduite par une remontée des eaux souterraines.

En 1948, lors du creusement des forages de Rueil-Malmaison, le niveau piézométrique de la nappe s'établissait aux alentours de 21 m NGF, en rapport avec les niveaux de la Seine. [...] l'abaissement piézométrique important observé [en 1988], bien que les pompages de Rueil-Malmaison soient arrêtés depuis plusieurs années, est vraisemblablement la conséquence de l'exploitation de l'AEP à Croissy, ainsi que celle des prélèvements industriels (Armines, 1988).

En 1988, alors que la cote de retenue de la Seine est de 20,60 m NGF (bief de Bougival, à l'aval de Chatou), le niveau piézométrique de la nappe se situait vers la cote 15 m NGF hors période de Crue. Cette forte dépression s'explique par les importants pompages d'eau potable effectués depuis 1948 par la SLEE [Lyonnaise des Eaux] dans ses champs captants de la Boucle de Croissy, à une distance comprise entre 2,5 et 4 km du projet [réalisation de la déviation de la RN13 à Rueil-Malmaison] (LREP/Armines 1997).

L'amplitude des variations annuelles [de la nappe de la Craie] est d'environ 2 m en rapport avec les crues de la Seine et les évolutions des débits d'exploitation industrielle. [...] la nappe est vraisemblablement alimentée par la Seine divisée en deux bras dans le secteur. Le bras gauche de la Seine est maintenu à une cote voisine de 23,5 m NGF par le barrage de Chatou tandis que le bras droit fluctue entre 20,8 m à l'étiage et 23 m pendant les crues (écluse de Bougival) (Armines, 1988).

Le niveau actuel [1995] se situe à la cote 15-15,5 m NGF en période d'étiage (Armines, 1995).

| Date | Niveau observé au nord de Rueil-Malmaison (en m NGF) | Source |
|-------------|--|--|
| 1862 | 22 à 24 | Carte Delesse, 1862 |
| 1948 | 20 à 21 | Bibliographie Armines et BSS |
| 1970 | 20 | Carte hydrogéologique de Paris, Diffre, 1970 |
| 1985 | 16 à 17 | Carte André P., Rich X., 1986 |
| 1988 à 1994 | 15 à 15,5 | Bibliographie Armines et BSS |

Tableau 2 : Tableau récapitulatif de l'historique des niveaux piézométriques à Rueil-Malmaison jusqu'en 1994.

4.3.3. Évolution récente du niveau de la nappe de la Craie

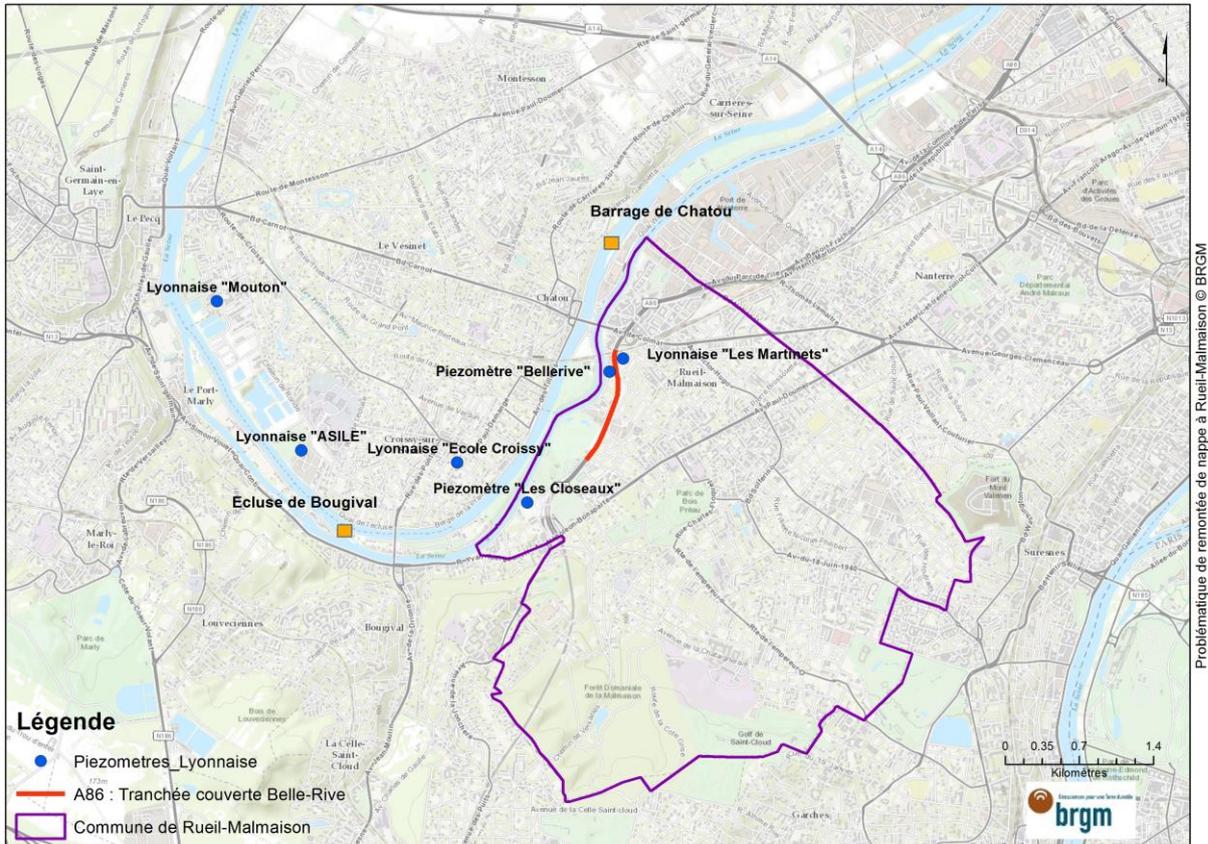


Figure 17 : Localisation des piézomètres suivis. Source : Mairie de Rueil-Malmaison / Lyonnaise des Eaux.

Piézomètre des Martinets

Le piézomètre des Martinets, situé rue de la Seine à Rueil-Malmaison, est suivi depuis 1994 par la Lyonnaise des Eaux. L'ouvrage est crépiné dans la formation de la Craie.

Un relevé manuel est réalisé à une fréquence hebdomadaire, quelques mesures peuvent être ponctuellement lacunaires. Les mesures constituent le plus long suivi de l'évolution du niveau de la nappe de la Craie dans la zone d'étude.

Les fluctuations piézométriques mesurées sont considérées comme représentatives des variations de niveau de la nappe de la Craie au nord de Rueil-Malmaison, du fait de l'absence de pompages importants à proximité du piézomètre pouvant influencer le niveau de la nappe.

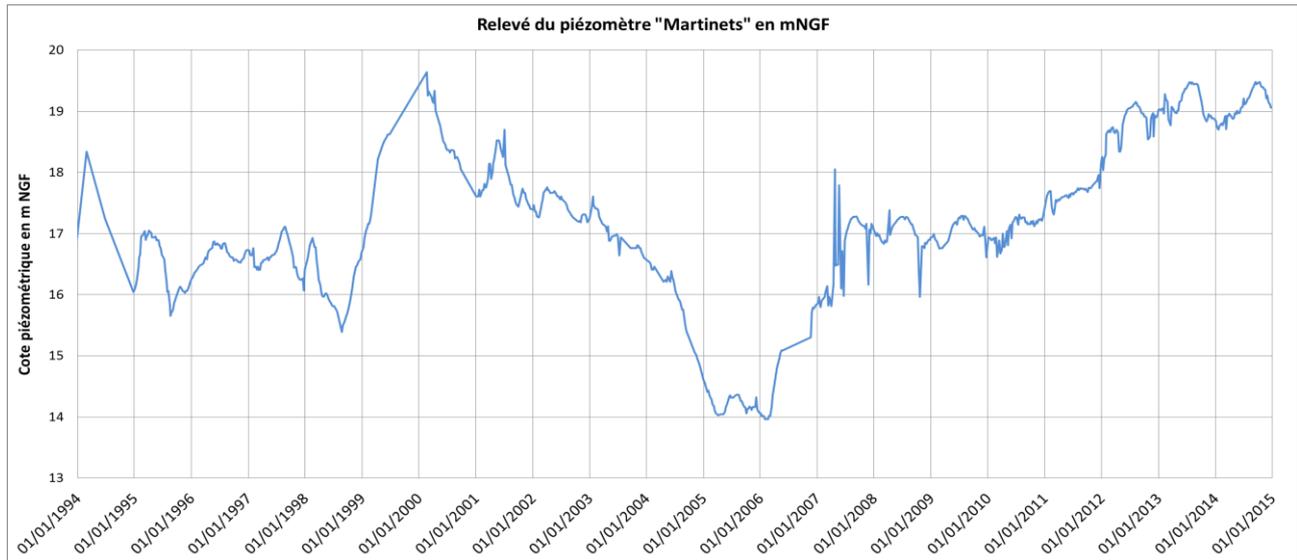


Figure 18 : Graphique du relevé piézométrique des Martinets en m NGF. Source : Lyonnaise des Eaux.

La chronique piézométrique de l'ouvrage des Martinets, caractérisant le niveau de la nappe de la Craie au nord de Rueil-Malmaison de janvier 1994 à décembre 2014, montre les évolutions suivantes :

- deux pics piézométriques dans les années 2000 - 2001 ;
- une période de basses eaux de 2003 à 2006 : une importante pollution aux hydrocarbures a eu lieu sur le site de l'IRSN en 2003 (cuve de rétention a cédé) et la Préfecture des Yvelines a donc ordonné une contrainte de rabattement de nappe à la Lyonnaise des Eaux (contrainte sur la réalimentation de la nappe). L'objectif était de maintenir la nappe à un niveau relativement bas pour éviter la migration des polluants ;
- une accentuation de la tendance à la hausse marquée dès janvier 2010 : une hausse de 2 m des niveaux est observée dans l'ouvrage entre début 2010 et 2013, de 17,30 m en janvier 2010 à 19,43 m NGF en juillet 2013 ;
- une accentuation de la remontée de la nappe à partir de janvier 2012 ;
- une baisse de 70 cm du niveau piézométrique enregistrée entre juillet 2013 et janvier 2014, suivie d'une nouvelle hausse des niveaux à partir de janvier 2014.

Piézomètres de Bellerive et des Closeaux

Un suivi piézométrique complémentaire, effectué avec deux nouveaux piézomètres suivis depuis janvier et août 2012 (piézomètre Bellerive et des Closeaux respectivement), enregistre des variations similaires au piézomètre de l'avenue de Seine, à des altitudes différentes :

- le piézomètre de Bellerive est situé boulevard de Bellerive, à 180 m du piézomètre des Martinets. Il est crépiné dans les alluvions anciennes et présente un niveau moyen supérieur de 50 cm au piézomètre des Martinets (basé sur les mesures altimétriques de la mairie de Rueil-Malmaison). L'ouvrage est suivi ponctuellement par la mairie ;
- le piézomètre des Closeaux, situé au niveau de la plaine des Closeaux au sud de Rueil-Malmaison, capte la Craie. Il est situé en aval hydraulique du centre-ville à une distance d'environ 1,6 km. Il présente un niveau moyen inférieur d'environ 90 cm à celui des Martinets et d'environ 3,2 m du niveau de la Seine. Cet ouvrage est équipé en matériel de mesure piézométrique enregistrant les variations de niveau de la nappe au pas de temps journalier.

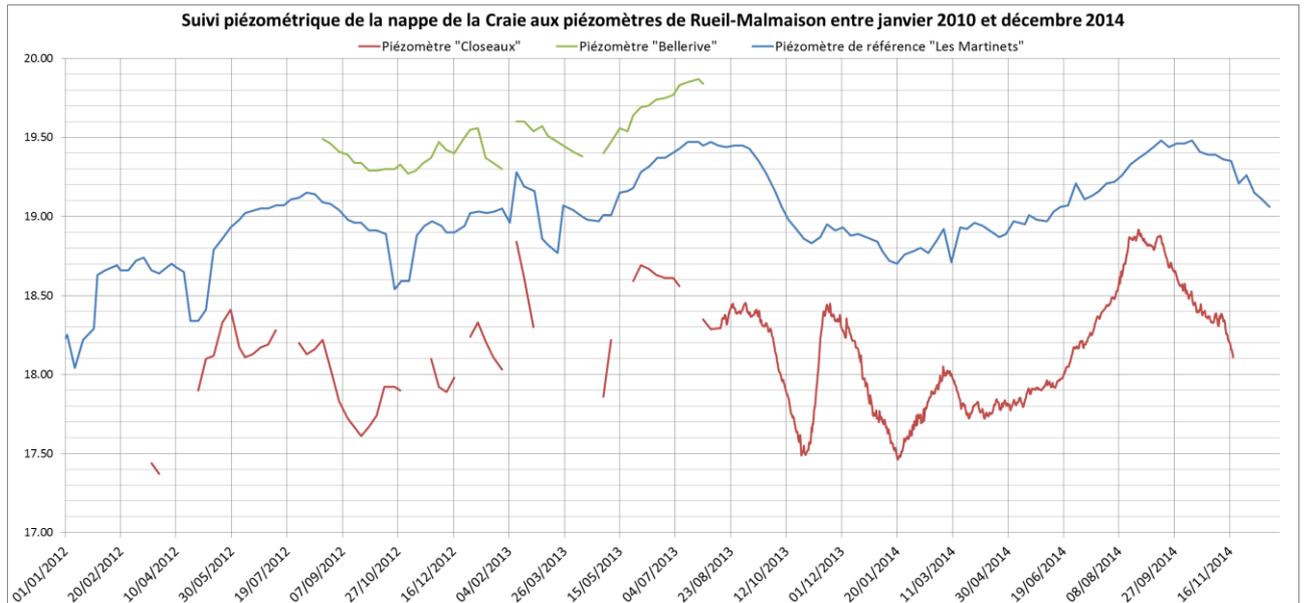


Figure 19 : Relevés piézométriques aux piézomètre Bellerive depuis mai 2012. Source : Mairie de Rueil-Malmaison.

Les relevés piézométriques réalisés à Rueil-Malmaison entre janvier 2012 et fin 2014 montrent une évolution cohérente des niveaux de la nappe de la Craie :

- les niveaux sont en hausse de janvier 2012 à juillet 2013 où ils atteignent un maximum ;
- la nappe est en baisse entre juillet 2013 et janvier 2014 ;
- une nouvelle hausse de la nappe est observée entre janvier 2014 et septembre 2014.

Suivi piézométrique du champ captant de Croissy / Le Pecq

L'évolution piézométrique de la nappe de la Craie, au niveau du champ captant de Croissy Le Pecq, est observée depuis 2008 au piézomètre « Asile », situé allée de Giverny à Croissy-sur-Seine. Le suivi est réalisé par la Lyonnaise des Eaux au pas de temps journalier grâce à un capteur de pression.

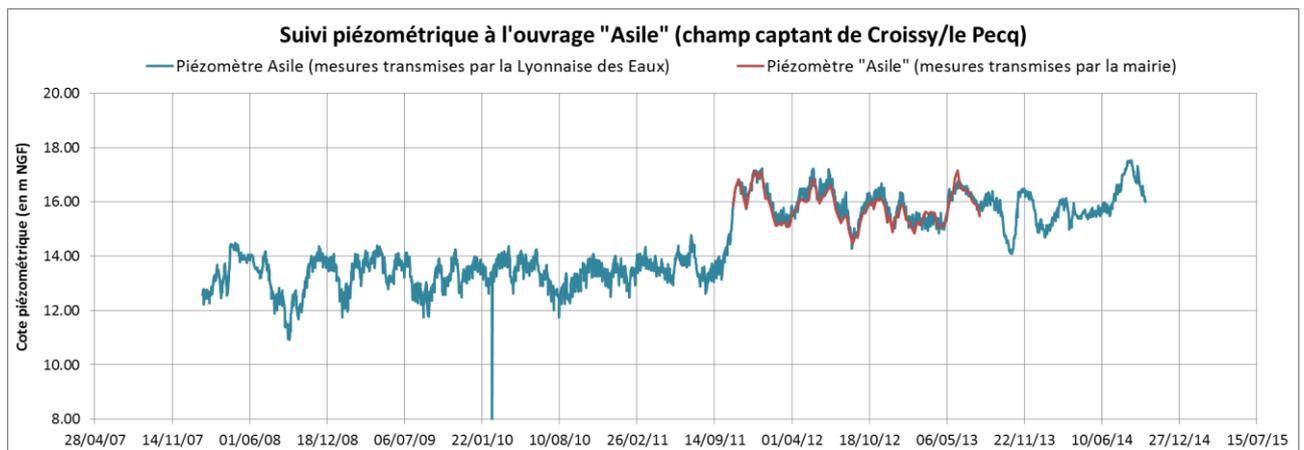


Figure 20 : Graphique des niveaux moyens mensuels de l'ouvrage Asile en m NGF. Source : Lyonnaise des Eaux.

Les variations piézométriques enregistrées depuis 2008 montrent une rupture entre août et novembre 2011 où une remontée rapide du niveau est observée (de 12,7 m NGF le 22 août 2011 à 16.8 m NGF le 14 novembre 2011). Puis, les niveaux moyens se sont stabilisés autour de 16 m NGF jusqu'en 2014.

L'évolution piézométrique de la nappe de la Craie à Croissy n'est pas directement corrélée aux niveaux observés au piézomètre des Martinets à Rueil-Malmaison.

La différence d'altitude de la nappe entre le piézomètre des Martinets et le piézomètre « Asile » est de 3 m en moyenne. La cote minimale observée à Croissy était de 11 m NGF en 1976.

Résumé

- Le piézomètre des Martinets peut être considéré comme représentatif du niveau de la nappe de la Craie au nord de Rueil-Malmaison, secteur impacté par la remontée de nappe.
- La tendance à la hausse du niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison, notable sur l'ensemble des piézomètres suivis, est observée depuis janvier 2010 et s'accroît à partir de janvier 2012.
- Le niveau de la nappe est en baisse entre juillet 2013 et janvier 2014 puis une nouvelle hausse de la nappe est observée entre janvier 2014 et septembre 2014.

4.4. RECUEIL D'INFORMATION SUR INFRASTRUCTURES IMPACTÉES

Au nord de Rueil-Malmaison, trois parking ont été impactés pas la remontée de la nappe de la Craie ainsi que deux résidences possédant trois niveaux de sous-sol.

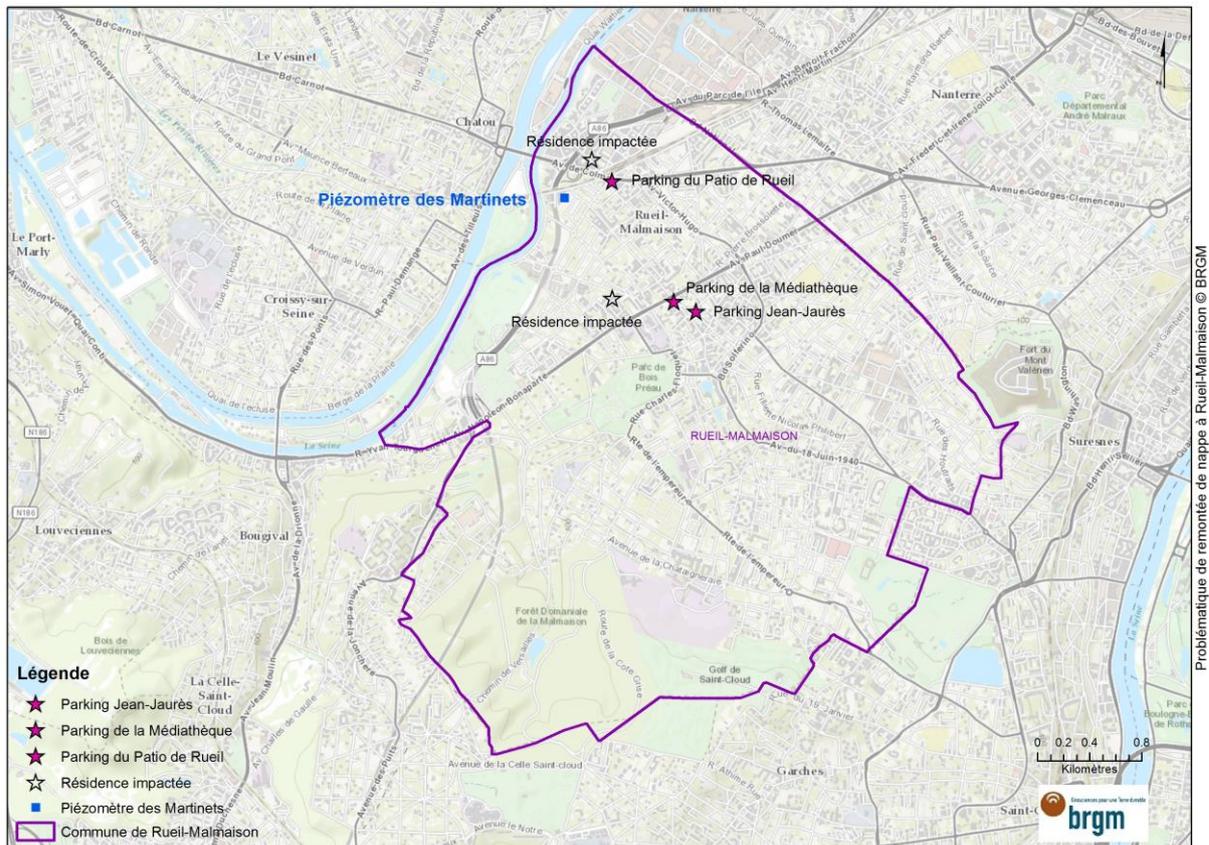


Figure 21 : Localisation des infrastructures impactées par la remontée de la nappe.
Source: Mairie de Rueil-Malmaison.

La Figure 21 montre que le secteur impacté par le phénomène de remontée de nappe se situe au nord de la commune, au niveau de la plaine alluviale de la Seine.

La mairie de Rueil-Malmaison a effectué des mesures de niveau de nappe dans les parkings impactés entre novembre 2011 et février 2013, déduite de l'altitude connue des radiers. Ces mesures confirment la tendance à la hausse de la nappe pendant cette période.

- parking de la Médiathèque et parking Jean-Jaurès, gérés par Vinci et situés à proximité de la mairie de Rueil-Malmaison ;
- parking du Patio, parking communal situé au nord de la commune.

4.4.1. Parkings impactés

Une visite des parkings impactés de la médiathèque et Jean Jaurès a été organisée le 20 octobre 2014 par la mairie de Rueil-Malmaison. Ces deux ouvrages, situés respectivement sous la Place Jean Jaurès et la médiathèque Jacques Baumel, sont séparés de 100 m environ. Le niveau de la surface est à environ 30 NGF dans les deux cas.

Les parkings sont équipés de pompes de relevage, d'une capacité maximale de 5 m³/h qui ont pour fonction de remonter les eaux de ruissellement et non de rabattre la nappe.

La capacité de ces deux ouvrages est diminuée depuis début 2013 du fait d'une remontée de la nappe. Aucune infiltration n'avait jusqu'à maintenant été constatée dans le parking Médiathèque, pourtant construit en 1996-97. La nappe a été relevée avant la construction du parking Jaurès à 17,24 NGF (juillet 2009), puis à 17,30 NGF durant les travaux soit jusqu'en mars 2012 (un sondage de 2006 trouvait un niveau d'eau à 15,9 NGF [...]). On sait donc que la nappe s'est constamment située en dessous de 19 NGF entre 2007 et fin 2012 et on peut préciser qu'elle était à 17,30 NGF environ entre 2009 et fin 2012 (source : Vinci Park).

Parking de la médiathèque

- altitude du radier du parking de la médiathèque : 19.13 m NGF (nivellement par un géomètre par Vinci) ;
- la cuvette ascenseur est probablement 50 cm plus bas ;
- compte tenu de l'absence de barbacanes, on peut penser que cet ouvrage n'est pas cuvelé, si bien que toute remontée de la nappe au-dessus de ce niveau entraîne automatiquement une inondation du dernier niveau (source : Vinci Park).

Une hauteur d'eau de 30 cm est observée dans le quatrième demi-niveau bas du parking le 20 octobre 2014 (point le plus bas du parking). Le radier étant situé à une altitude de 19,13 m NGF, la nappe se situait à environ 19,40 m NGF le 20 octobre 2014, ce qui est cohérent avec les mesures réalisées au piézomètre des Martinets. Les plus hautes eaux ont été observées d'octobre à décembre 2014, la nappe était haute de 50 cm dans le quatrième demi-niveau bas, soit à une altitude de 19,70 m NGF environ.

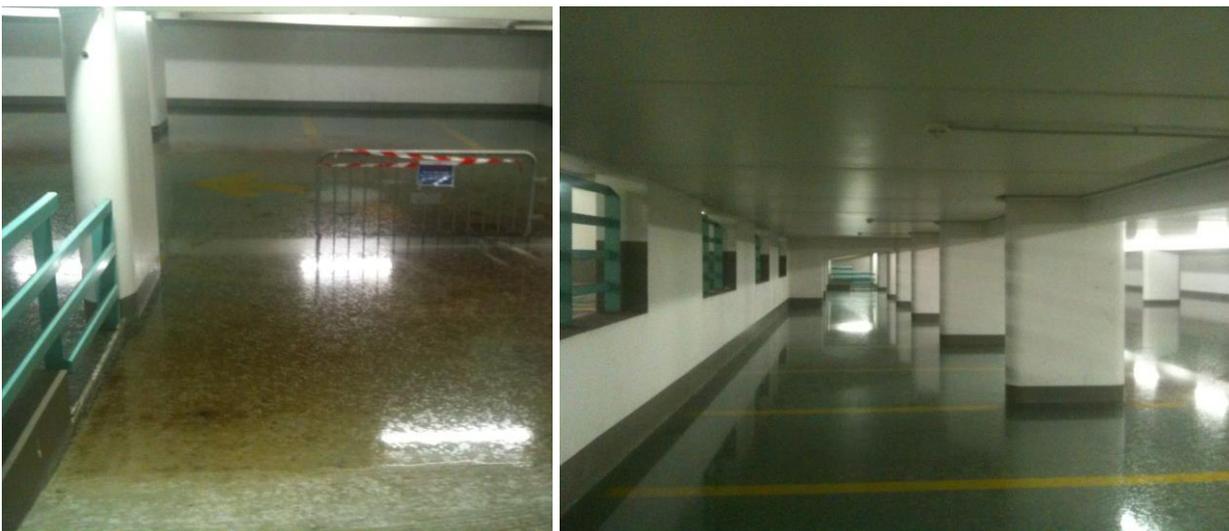


Figure 22 : Photographies du parking de la médiathèque le 20 octobre 2014. Source : BRGM.

Parking Jean Jaurès

- le radier du dernier demi-niveau du parking est situé à une altitude de 17,88 m NGF. Le niveau bas a été cuvelé jusqu'à la côte 19,24 NGF ;
- des mesures du niveau de la nappe ont été effectuées depuis un évent du parking dont l'altitude est située à 19.25 m NGF. Lorsque la nappe atteint cette côte, des barbacanes laissent entrer l'eau dans l'ouvrage pour compenser les sous-pressions.

Dans le parking Jean Jaurès, une trace sur le mur de l'étage inférieur du parking indique que le niveau de la nappe le plus haut était d'environ 1,80 m à partir du radier. Ce niveau a été observé début 2013, la nappe était alors à une altitude environ 19,70 m NGF.

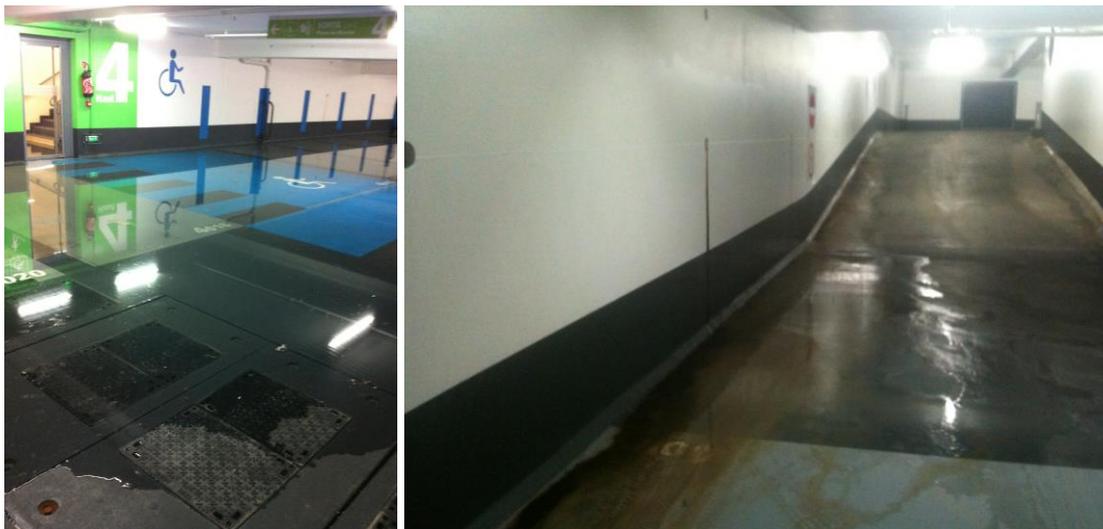


Figure 23 : Photographies du parking Jean Jaurès le 26 mars 2013 à gauche (Source : Vinci Park) et le 20 octobre 2014 à droite (Source : BRGM).

Parking du Patio de Rueil

Mesures de la nappe dans le parking du Patio de Rueil-Malmaison dont le radier est situé à l'altitude est de 18,1 m NGF. Celui-ci est équipé d'un système de protection contre le phénomène de remontée de nappe (présence de cheminées de décompression).

4.4.2. Graphique des suivis piézométriques

L'altitude de la nappe et du radier des parkings impactés sont présentés en Figure 24. On remarque que le niveau de la nappe de la Craie est supérieur à l'altitude du radier des parkings impactés pendant les périodes de hautes eaux. Ce graphique montre l'importance du suivi de la nappe de la Craie au niveau des parkings impactés à Rueil-Malmaison.

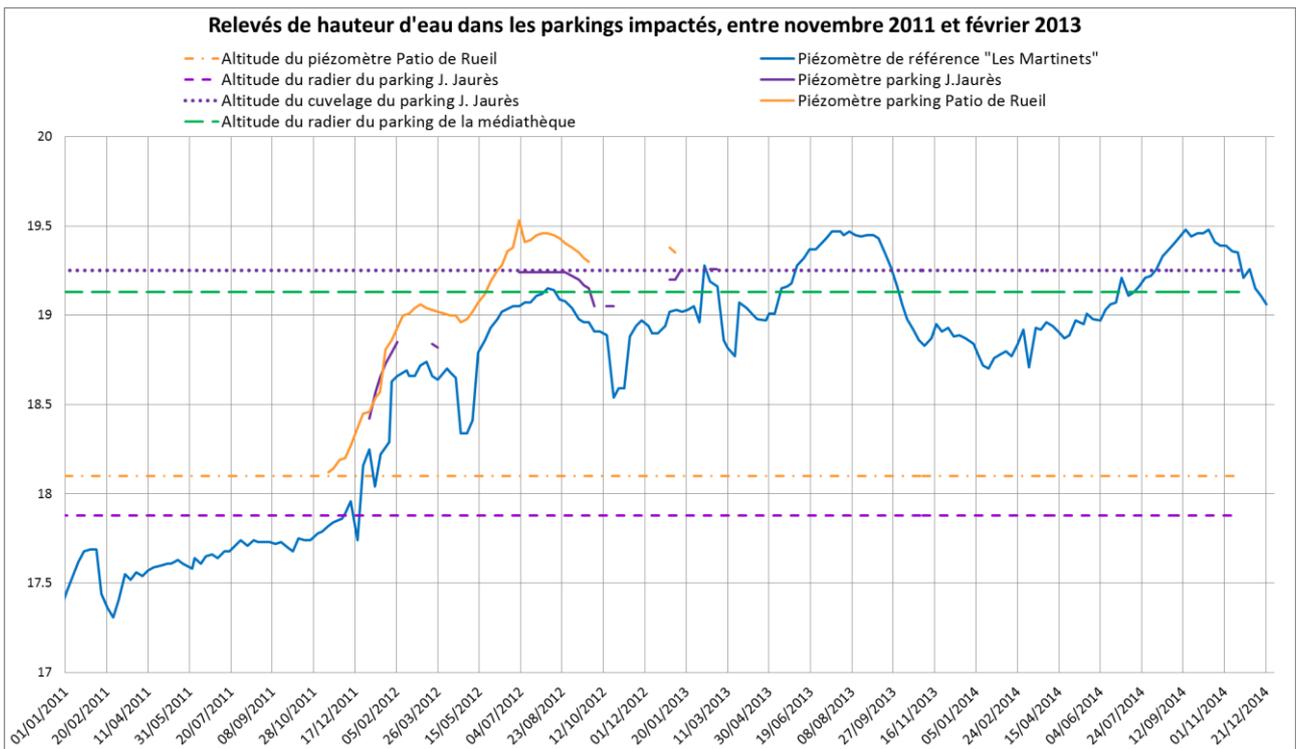


Figure 24 : Relevés des niveaux de la nappe de la Craie dans les parkings de Rueil-Malmaison et au piézomètre des Martinets. Source : Mairie de Rueil-Malmaison/Vinci.

4.5. COLLECTE DE DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES

La recharge de la nappe superficielle par les précipitations a été évaluée par un calcul de la pluie efficace¹.

Ce calcul a été réalisé à partir des données mensuelles de précipitations et d'ETP (évapotranspiration potentielle) depuis 1960 à la station de Montsouris, située dans le 14^{ème} arrondissement de Paris (station Hydro 75114001).

Cette station est de type 0 (classement Météo-France²). Du fait de sa configuration (localisation en zone urbaine, altitude), la station de Montsouris est considérée comme la référence.

Les stations météorologiques de Meudon (92048001) et Suresnes (92073001) sont de type 4. Leurs données n'ont pas été utilisées dans le cadre de l'étude.

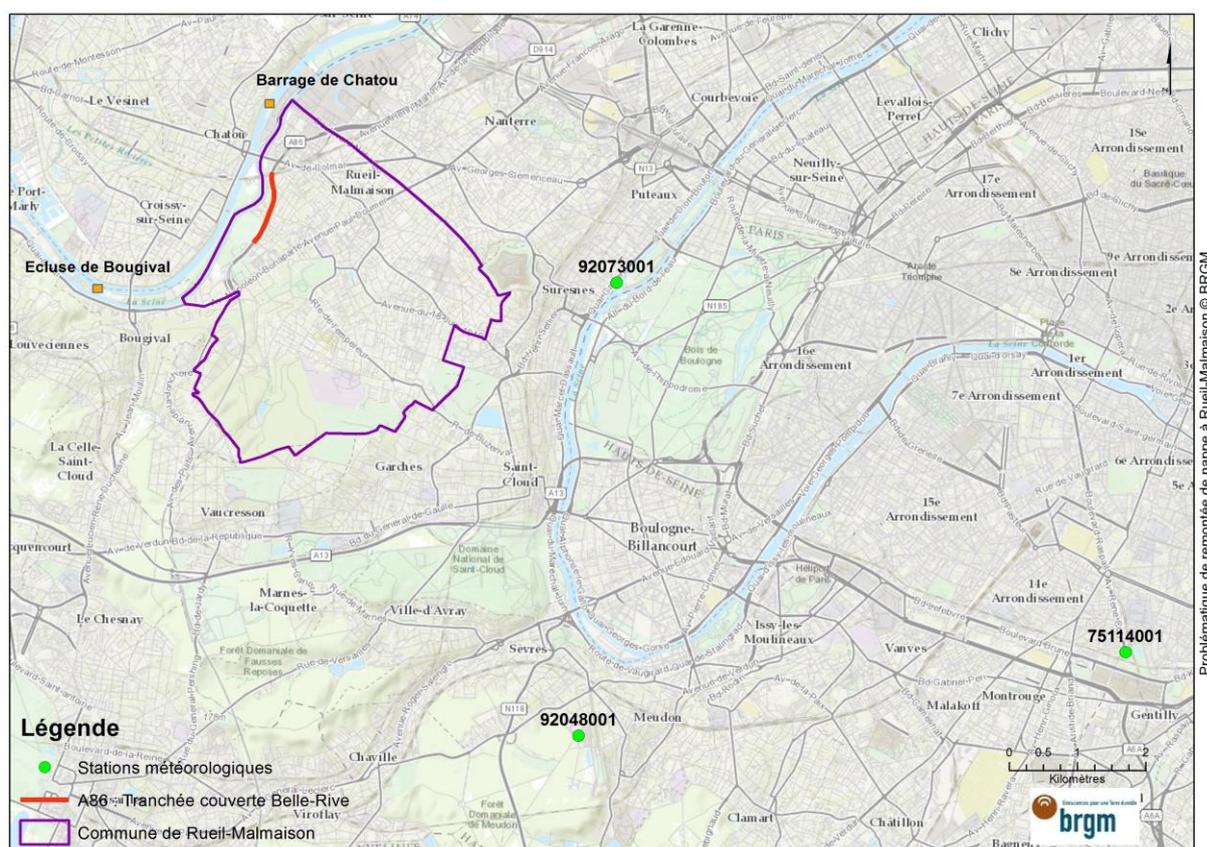


Figure 25 : Localisation des stations météorologiques dans le secteur de Rueil-Malmaison. Source : Météo France.

¹ La pluviométrie efficace est la proportion des précipitations pénétrant dans le sous-sol pour réalimenter les nappes d'eau souterraine.

² Une station de type 0 ou 1 est une station qui effectue des observations quotidiennes et régulières par du personnel formé à cet effet contrairement aux stations automatiques de type 2, 3 ou 5 qui effectuent des mesures issues de capteurs et non des observations du temps comme le temps présent, les nuages.

L'évolution de la pluviométrie efficace a été retracée sous forme d'un graphique des écarts cumulés par rapport à la moyenne des précipitations efficaces annuelles, sur la période hydrologique du mois de septembre de l'année n au mois d'août de l'année n+1 (Figure 26).

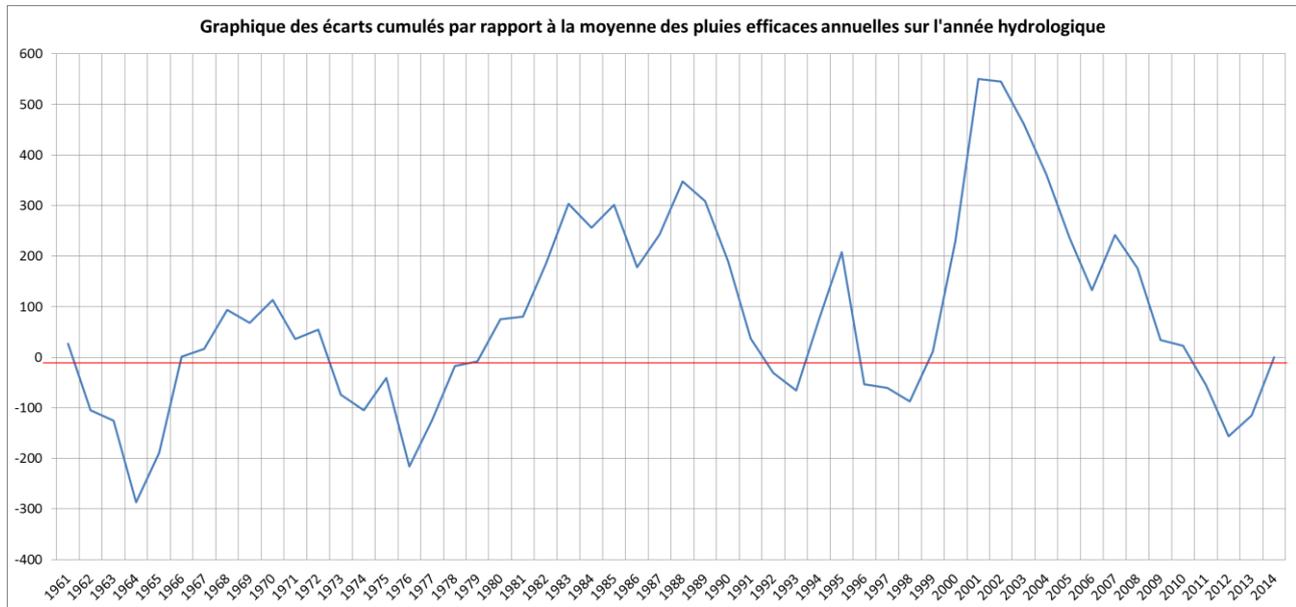


Figure 26 : Graphique des écarts cumulés par rapport à la moyenne (valeur 0 en rouge) des pluies efficaces annuelles (sur l'année hydrologique septembre de l'année n à août de l'année n+1) à la station Météo-France Montsouris. Source : Météo France.

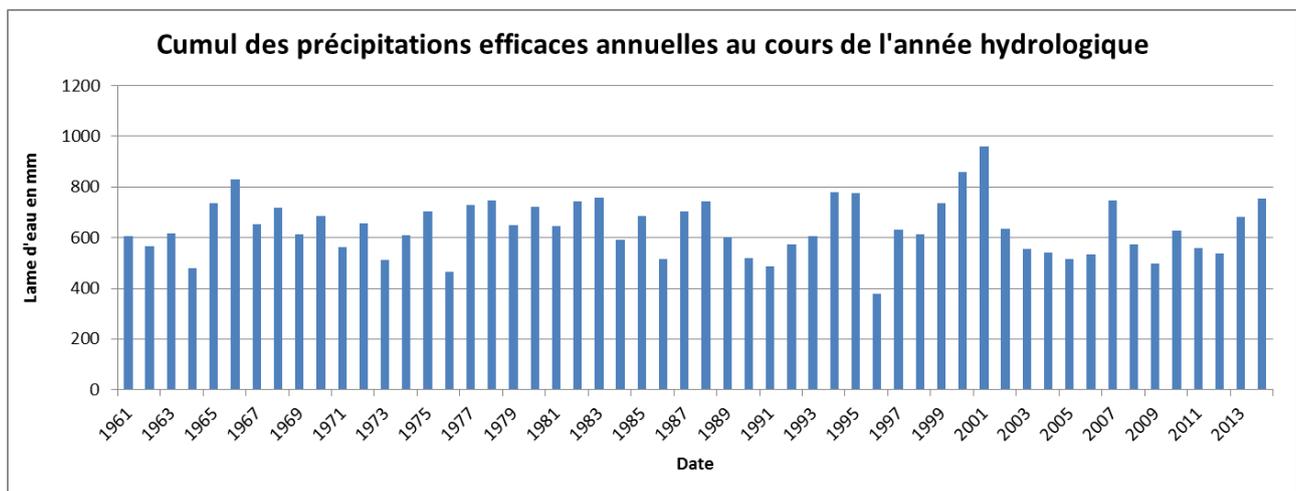


Figure 27 : Graphique du cumul de précipitations efficaces sur la période de recharge hivernale (d'octobre de l'année n à mars de l'année n+1) à la station Météo-France Montsouris. Source : Météo France.

Les écarts cumulés par rapport à la moyenne des pluies efficaces de l'année hydrologique sont positifs entre 1998 et 2001, période pendant laquelle les précipitations efficaces sont très excédentaires.

La pluviométrie efficace décroît ensuite progressivement jusqu'en 2012 et passe sous la normale entre 2010 et 2011.

À partir de 2012, les précipitations efficaces redeviennent excédentaires pour atteindre la normale en 2014. Le graphique du cumul des précipitations efficaces annuelles, sur l'année hydrologique de septembre à août, montre une augmentation du cumul de 2012 à 2014.

Résumé

- Les précipitations efficaces annuelles (sur l'année hydrologique : septembre de l'année n à août de l'année n+1) sont en augmentation depuis 2012.
- Le graphique des cumuls montre un changement de tendance entre une période sèche (2001 – 2009) et une période plus humide à partir de 2009.
- La situation climatique récente reste toutefois proche de la normale.
- Les graphiques montrent que les années 2001 – 2002 étaient très humides. Les précipitations efficaces annuelles étaient excédentaires depuis 1998.

4.6. COLLECTE DES MESURES DE NIVEAUX DE LA SEINE

Afin d'évaluer l'influence de la Seine sur le niveau piézométrique de la nappe de la Craie, le contexte hydrologique du secteur de Rueil-Malmaison a été étudié à partir des données de hauteur d'eau des stations hydrométriques environnantes et des études hydrologiques existantes.

4.6.1. Mesures de hauteur d'eau

Les mesures périodiques du niveau de la Seine sont effectuées par le service prévision des crues de la DRIEE-IF (Direction Régionale et Interdépartementale de l'Énergie et de l'Environnement d'Île-de-France) et sont accessibles via la Banque Hydro II.

Les mesures de hauteurs d'eau ont été collectées sur 3 stations hydrométriques (Figure 4) :

- pont d'Austerlitz (station H5920010) pour avoir un historique important du niveau de la Seine, en amont hydraulique de Rueil-Malmaison ;
- aval du barrage de Chatou (H5940010) pour suivre l'évolution des hauteurs d'eau du bras rive droite de la Seine (bras de la rivière neuve), au droit de Rueil-Malmaison ;
- amont de l'écluse de Bougival pour suivre l'évolution des hauteurs d'eau du bras rive gauche de la Seine (bras de Marly), au droit de Rueil-Malmaison.

Les hauteurs d'eau connues dans les deux bras de la Seine ont été renseignées par les éclusiers des barrages et écluses de Voies Navigables de France (VNF) :

- 3,50 m de hauteur d'eau dans le bras de la Rivière Neuve ;
- 3,20 m de hauteur d'eau dans le bras de Marly.

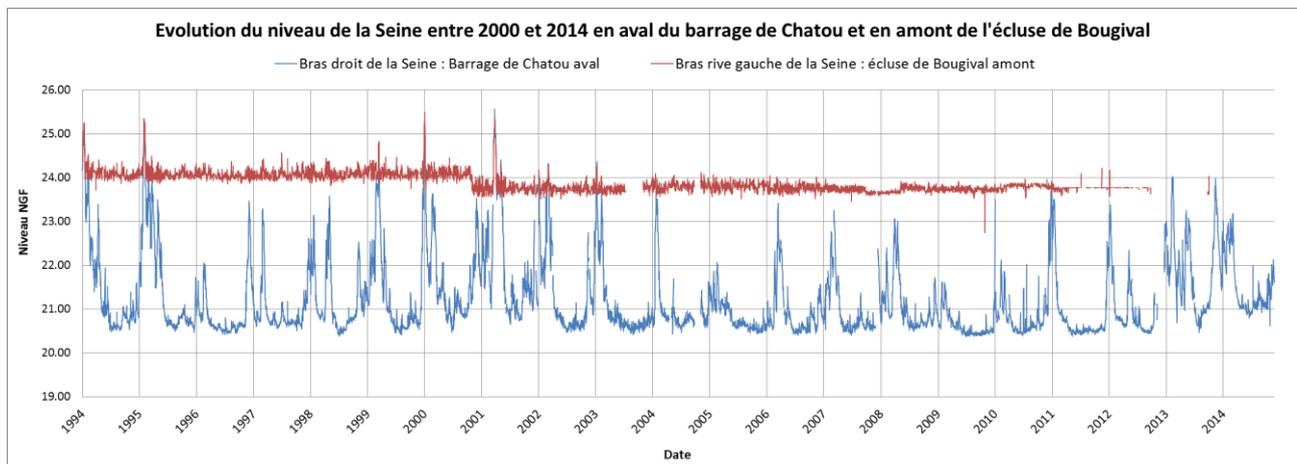


Figure 28 : Évolution du niveau de la Seine entre 1994 et 2014 en aval du barrage de Chatou et en amont de l'écluse de Bougival. Source : Banque Hydro II.

Le niveau de la Seine en amont de l'écluse de Bougival, dans le bras rive gauche le plus proche de Rueil-Malmaison, n'évolue pratiquement pas en cours d'année, excepté en pendant les périodes de fortes crues au cours desquelles le niveau monte au-dessus de la cote normale de 23,4 m NGF. Le niveau moyen de la Seine à l'aval du barrage de Chatou s'établit autour de 21,2 m NGF environ depuis 1994.

À l'inverse, le niveau du bras droit, en aval du barrage de Chatou, peut fluctuer de plusieurs mètres en cours d'année. Le niveau moyen est de 23,85 m NGF environ depuis 1994. Le niveau de base du fleuve est relativement élevé depuis le début d'année 2013, comparativement à la période 2003 – 2012.

4.6.2. Historique des crues de la Seine

Les recherches bibliographiques et l'analyse des niveaux de Seine à la Station « Pont d'Austerlitz » et au barrage de Chatou ont permis de réaliser un inventaire et une analyse des crues quinquennales de la Seine depuis 1994.

Le graphique du niveau de la Seine à la station hydrométrique « Pont d'Austerlitz » à Paris est reporté en annexe 4.

Les crues de janvier 1994 et 1995

La crue de janvier 1994, nettement plus importante que celle des années précédentes, peut être qualifiée de crue quinquennale. Vingt jours après le pic de crue, le niveau de la nappe a atteint la cote maximale de 18m NGF et le niveau d'étiage n'a été rejoint qu'en octobre. L'abaissement moyen n'a été que de 0.30 m/mois (LREP/Armines, 1997).

La crue de début 1995 s'est avérée d'amplitude équivalente mais de durée plus longue que celle de 1994. Démarrant plus lentement que l'année précédente, elle a atteint une cote maximale de 25.20 m NGF. Le niveau de la Seine n'est redescendu en-dessous de 22m NGF qu'au mois de mai (LREP/Armines, 1997).

Crues successives de 2000 et 2001

Début 2000 et 2001, deux crues importantes sont observées au niveau du barrage de Chatou. La Seine a alors atteint une cote de 25,52 m NGF le 16 mars 2001. À nouveau, le niveau du fleuve n'est redescendu sous les 22 m NGF qu'au mois de mai.

Après 2001

Aucune crue quinquennale de la Seine n'a été observée depuis 2001 à Paris. Toutefois, suite à une période de niveau bas depuis 2004, trois crues biennales du fleuve ont été observées :

- en décembre 2010, la Seine a atteint une cote de 23,50 m NGF le 28 décembre 2010 ;
- en janvier 2012, le niveau de la Seine était de 23,02 m NGF le 10 janvier 2012 ;
- en février 2013, le niveau était de 23,68 m NGF le 11 février 2013 ;
- en novembre 2013, la cote de la Seine atteignait 23,65 m NGF le 12 novembre 2013.

4.6.3. Colmatage du lit et des berges de la Seine

Il existe peu de données sur le colmatage des berges et du lit de la Seine dans la zone d'étude. L'alimentation de la nappe par la Seine et les relations nappe/rivière, variable en fonction du colmatage des berges et du fond du fleuve, sont donc difficiles à quantifier localement.

Les données hydrométriques obtenues en 1994 et 1995, lors de la réalisation des travaux de l'A86, montrent que les faibles crues de la Seine, inférieures aux crues quinquennales, soit environ 24,5 m NGF au niveau du barrage de Chatou, n'entraînent qu'une remontée de quelques décimètres de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison, probablement en raison d'un colmatage des berges au droit de Rueil-Malmaison. Les crues plus importantes, correspondant aux crues décennales, ont un impact plus marqué sur le niveau de la nappe. En janvier 1982, la Seine a atteint le niveau de 25,70 m NGF entraînant une remontée de la nappe, avec un décalage d'un mois, jusqu'à 20,10 m NGF. La nappe est restée au-dessus de la côte de 18 m NGF jusqu'en septembre, soit pendant 8 mois (LREP/Armines 1997).

Dans l'étude de modélisation Armines de 1994, les relations hydrauliques entre la Seine et la nappe de la Craie sont caractérisées par le coefficient de transfert nappe-seine. Ce coefficient est peu connu, excepté très localement (zone du Pecq ou de Croissy) où il a pu être précisé par calage à partir d'essais de pompage. Les coefficients de transfert nappe-seine ont été ajustés au niveau des deux bras de la Seine. Pour ce faire, il a été nécessaire de fixer les coefficients de transfert nappe-Seine du bras amont de l'écluse de Bougival à $2,10^{-5}$ m²/s et d'imposer les coefficients de transfert variables avec la hauteur d'eau dans le bras situé en aval de Chatou [...] entre $2,10^{-4}$ et $8,10^{-3}$ m²/s. Une tentative d'explication de ces différences pourrait être le fait que le bras de Marly en amont de Bougival (bras navigable) à un débit relativement constant et que donc les variations de mouvements de fluide au fond du lit de la Seine sont plus faibles que celles observées au niveau du bras droit de la rivière Neuve, en aval de Chatou, dont le niveau et le débit fluctuent à longueur d'année, entraînant un brassage et un lessivage plus important des dépôts dans le lit du fleuve (Armines, 1994).

Résumé

- Le niveau de la Seine varie très peu dans le bras gauche de Marly (amont de l'écluse de Bougival), excepté en pendant les périodes de fortes crues.
- Le niveau de la Seine peut fluctuer de plusieurs mètres dans le bras droit de la rivière neuve, en aval du barrage de Chatou.
- La Seine a connu des crues importantes ces 20 dernières années, crues de 1994 et 1995 et crues successives entre 2000 et 2001.
- Dans le bras droit, le niveau de base du fleuve est relativement élevé depuis le début d'année 2013, comparativement à la période 2003 – 2012.
- Après une période de niveaux de base assez bas, quatre crues biennales se sont produites depuis 2010.
- L'alimentation de la nappe par la Seine est difficile à quantifier du fait du manque de données sur le degré de colmatage des berges et du lit de la Seine au niveau de Rueil-Malmaison. Il est difficile d'évaluer les relations entre la Seine et la nappe de la Craie. Toutefois, il a été observé que les crues de la Seine ont un impact sur le niveau de la nappe de la Craie.

4.7. INVENTAIRE DES AMÉNAGEMENTS SOUTERRAINS

Les aménagements urbains souterrains (parkings souterrains, immeubles, ...) peuvent avoir un impact sur les eaux souterraines en jouant le rôle de barrière à l'écoulement. Ce chapitre porte sur une analyse des aménagements souterrains pouvant avoir un impact sur l'écoulement des eaux souterraines dans le secteur de Rueil-Malmaison.

4.7.1. Tranchée couverte « Bellerive » de l'autoroute A86

La principale infrastructure souterraine pouvant impacter l'évolution du niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison est le tronçon, réalisé en parois moulées, de la tranchée couverte « Belle-Rive » de l'autoroute A86 (Figure 29). La tranchée s'étend parallèlement à la Seine sur une longueur de 1 km environ à une distance entre 150 et 450 m du bras gauche de la Seine. L'ouvrage est donc quasiment perpendiculaire à l'écoulement général de la nappe de la Craie.

L'ouvrage franchit en souterrain la ligne du réseau express régional (RER) au nord puis longe les immeubles de la résidence Bellerive, où il atteint la profondeur maximale de 8 m et se poursuit ensuite en tranchée jusqu'au boulevard Marcel Pourtout. La coupe schématique de l'autoroute A86 est fournie en annexe 5.

En coupe transversale, l'ouvrage comporte deux chaussées de trois voies de circulation, ce qui représente une largeur totale de 30 m environ.

Les travaux de la tranchée couverte ont démarré fin 1993 avec la perforation des parois moulées de janvier 1994 à juin 1994. En décembre 1994, les terrassements généraux de la tranchée étaient terminés, le fond de forme étant protégé par un béton de propreté et la réalisation de micropieux d'ancrage du radier démarrait. La réalisation de la dalle de couverture a pris fin en juin 1995. Les crues des hivers 1994 et 1995 ont ralenti les travaux et des postes de pompage ont dû être installés. Ces pompages ont permis de maintenir le niveau de la nappe sous la cote 16,80 m NGF ce qui a évité l'immobilisation du chantier. Ils ont ensuite été arrêtés après l'ouverture de l'A86 en 1995.

- Fondations (radier) jusqu'à 16,5 à 17 m NGF dans les alluvions modernes
- Micropieux (ancrage) jusqu'à 5 m NGF dans la Craie

D'après les éléments bibliographiques recueillis, lors de la construction de l'A86 et de la réalisation des modélisations Armines, le niveau piézométrique de la nappe s'établissait à environ 15,5 m NGF au nord de Rueil-Malmaison en 1994.

La Figure 29 est un schéma conceptuel représentant le niveau piézométrique actuel et passé de la nappe de la Craie et la tranchée couverte de l'autoroute A86 (coupe réalisée au niveau de la rue des Acacias).

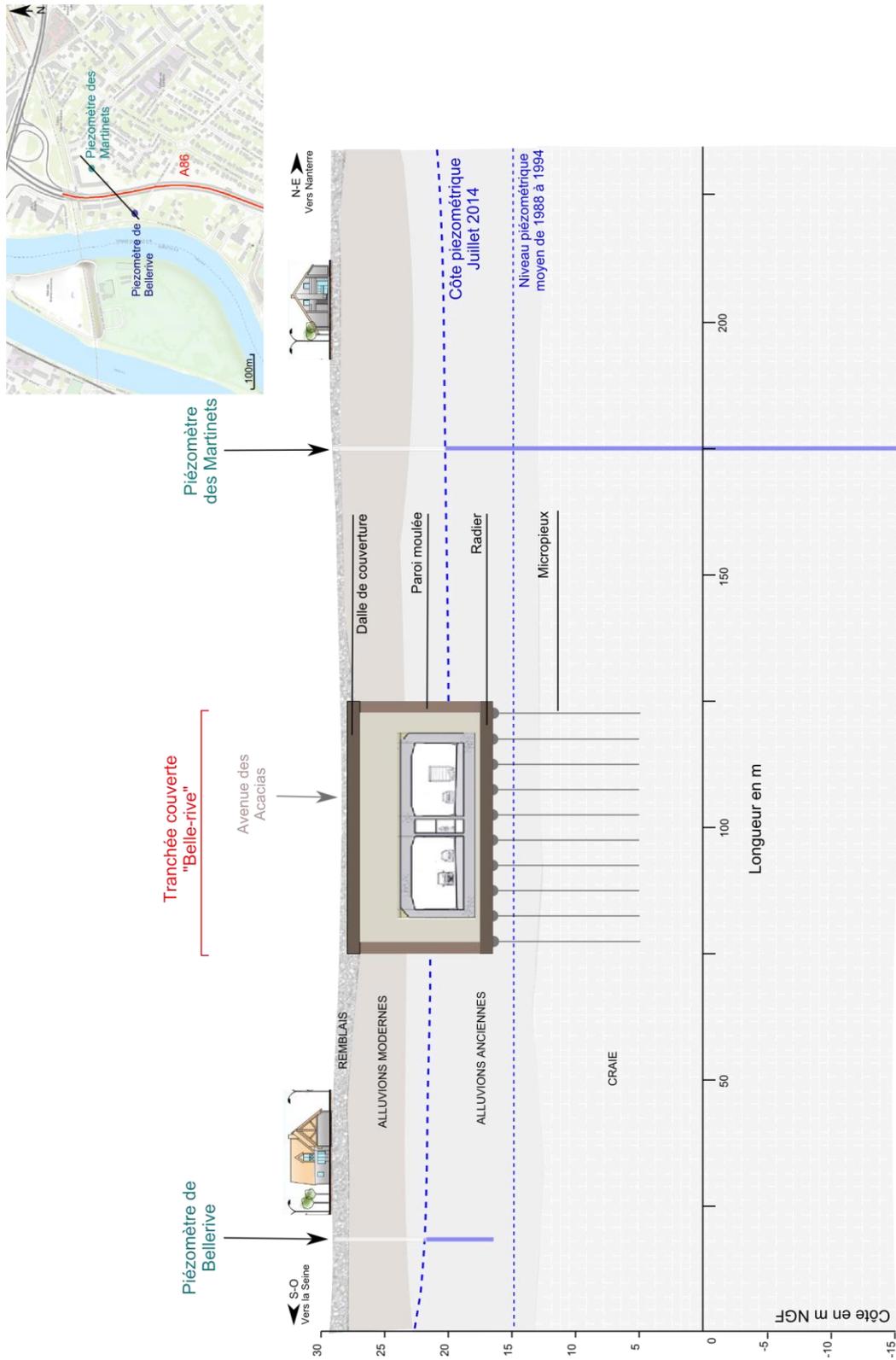


Figure 29 : Schéma conceptuel représentant la coupe de l'A86 au niveau de l'avenue des Acacias à Rueil-Malmaison ainsi que le niveau piézométrique actuel (issues des données de la campagne piézométrique de juillet 2014) et passé (au moment des travaux de construction).

Pompages liés à l'A86

Contrairement aux échangeurs A86/A14 et A86/A15 situés à Nanterre qui disposent de systèmes de pompage permanents, le tunnel de Bellerive n'est équipé que de 3 pompes de relevage utilisées pour évacuer les eaux de ruissellement de pluie. Leur faible capacité ne permet pas de réaliser des rabattements de nappe et, du fait de l'étanchéité du radier de la structure, aucun problème lié à la remontée de la nappe de la Craie n'a été observé dans le tunnel.

Suivi piézométrique de l'A86

Le niveau de la nappe actuel se trouve entre 19 et 19,5 m NGF au piézomètre des Martinets, soit 4 m plus haut qu'au moment des travaux en 1994, et s'établit maintenant à hauteur de la tranchée couverte, dont le radier se situe entre 17 et 18 m NGF.

Le niveau piézométrique de la nappe de la Craie est mesuré de part et d'autre de l'autoroute A86 aux piézomètres des Martinets et de Bellerive.

Entre septembre 2012 et juillet 2013, les deux ouvrages ont été simultanément suivis par la mairie de Rueil-Malmaison. Le suivi montre que les deux ouvrages présentent des tendances homogènes avec un décalage d'environ 50 cm en moyenne. Le niveau piézométrique est plus élevé au piézomètre de Bellerive, côté Seine.

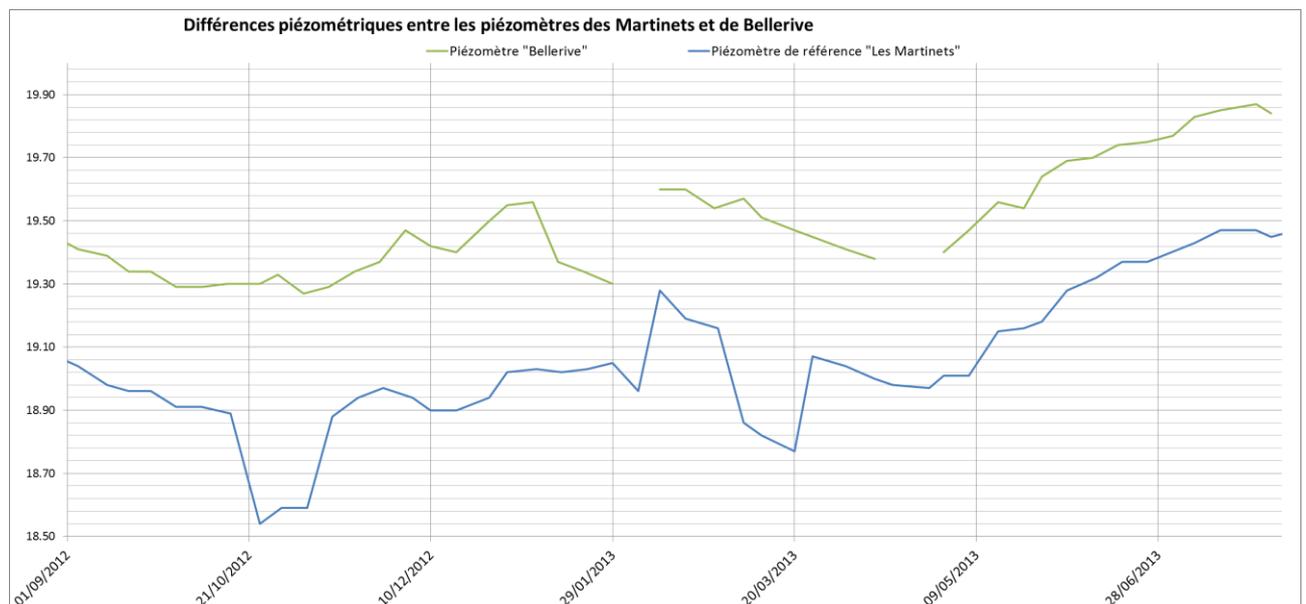


Figure 30 : Évolution piézométrique au piézomètre des Martinets (bleu foncé) et au piézomètre de Bellerive (bleu clair) à Rueil-Malmaison. Source : Mairie de Rueil-Malmaison.

4.7.2. Travaux d'aménagement urbains

Il n'existe pas d'autre aménagement important recensé depuis ces dernières années à Rueil-Malmaison et dans la zone d'étude pouvant avoir un impact notable et durable sur l'écoulement des eaux souterraines dans la ville.

Des projets d'aménagement urbains ont été réalisés au nord de la commune dont les plus récents ont eu recours à des rabattements en nappe en phase de travaux. Ces prélèvements ont pour objectif d'abaisser localement la nappe de la Craie pour permettre le bon déroulement des travaux de réalisation des niveaux de sous-sol et sont par conséquent effectués sur des périodes courtes, inférieures à 6 mois (Projet « Green Office » en 2012, projet « Opération SCI Rueil Deville-Monier » de décembre 2012 à avril 2013, projet « Mobipole » de septembre 2013 à janvier 2014). Aucun pompage en nappe n'est généralement prévu pendant les phases d'exploitation des bâtiments (Figure 31).

Du fait de la transmissivité élevée de l'aquifère de la Craie, il est généralement noté que les valeurs de rabattement engendrés sont relativement faibles (source : Dossiers Loi sur l'Eau)

En dehors de l'influence ponctuelle et locale des prélèvements d'eau souterraine au cours de la phase initiale de travaux (baisse du niveau de la nappe), ces aménagements n'ont pas d'impact durable sur l'écoulement de la nappe de la Craie.

Enfin, les projets de géothermie sur aquifère existants à Rueil-Malmaison n'ont pas d'impact quantitatif significatif sur la nappe de la Craie du fait de la réinjection des volumes prélevés lors du fonctionnement de la pompe à chaleur.

Résumé

- La principale infrastructure souterraine pouvant impacter l'évolution du niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison est la tranchée couverte « Belle-Rive » de l'autoroute A86 qui s'étend parallèlement à la Seine sur une longueur de 1 km.
- La carte piézométrique de juillet 2014 montre que l'ouvrage souterrain est quasiment perpendiculaire à l'écoulement régional de la nappe de la Craie, vers le sud-ouest en direction de la boucle de Coissy.
- Le niveau piézométrique de la nappe de la Craie est mesuré de part et d'autre de la structure souterraine. Les piézomètres des Martinets et de Bellerive présentent une tendance piézométrique homogène, avec un décalage d'environ 50 cm en moyenne : la nappe de la Craie est plus haute côté Seine, au piézomètre de Bellerive.
- Contrairement à la situation 1995, la nappe s'établit en 2014 au niveau de la barrière étanche de l'A86 (le toit de la nappe est plus haut que le radier de la tranchée couverte de l'A86).

4.8. HISTORIQUE DES PRÉLÈVEMENTS DANS LA ZONE D'ÉTUDE

Un inventaire des prélèvements dans la nappe de la Craie a été réalisé à l'échelle de la zone d'étude sur la période 1997 - 2014, à partir de la base de données de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) et d'une enquête de terrain. La base de données fournit les volumes prélevés par an, déclarés par l'utilisateur de 1996 à 2012. La localisation des prélèvements est présentée en Figure 31.

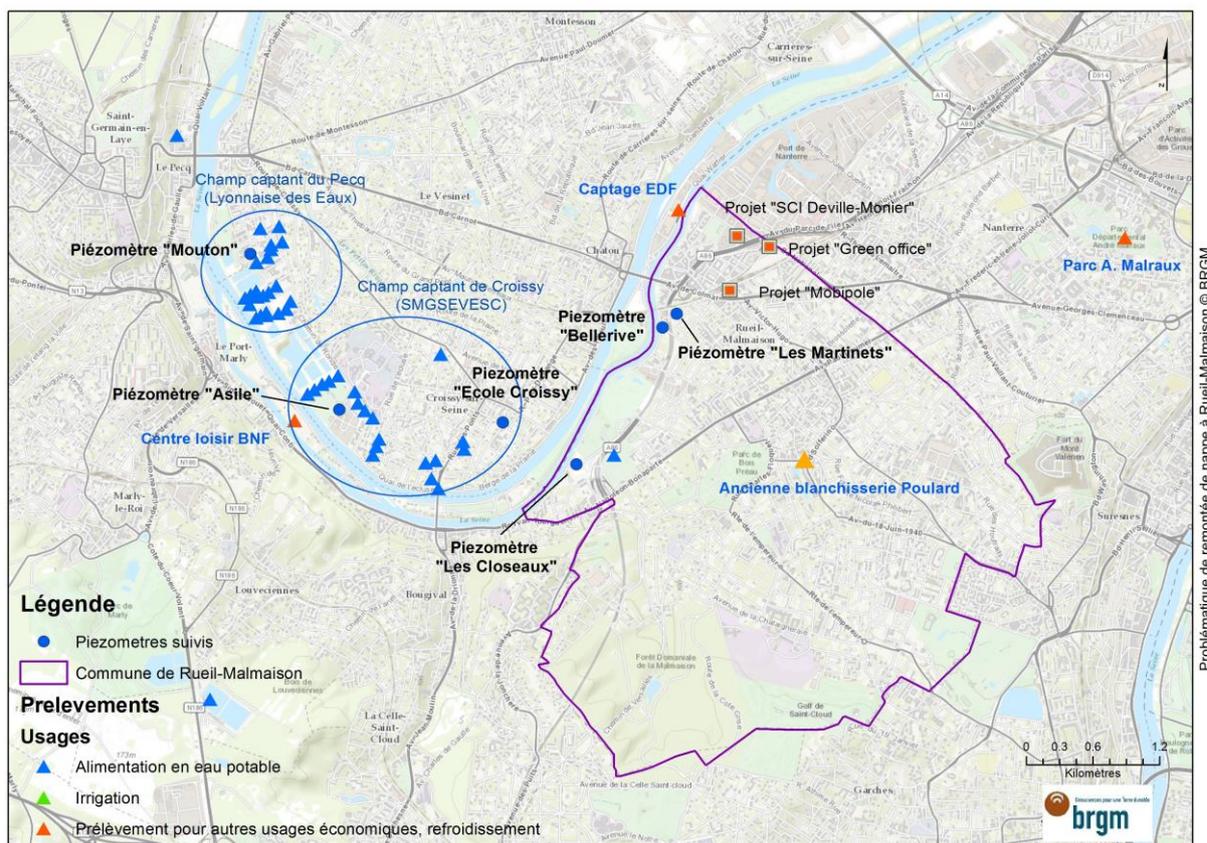


Figure 31 : Localisation des prélèvements dans le secteur de Rueil-Malmaison. Source : AESN.

4.8.1. Usages industriels et irrigation

Sur la période 1997 – 2014, cinq préleveurs pour des usages industriels ou d'irrigation captant la nappe de la Craie ont été recensés dans la zone d'étude :

- prélèvements industriels d'Électricité de France (EDF) à Chatou situé à 1 km environ au nord du piézomètre des Martinets (environ 80 000 m³/an en moyenne depuis 1997). L'alimentation en eau du centre de recherche R&D de EDF s'effectuait en partie, certainement jusqu'en 2012, par un captage dans la nappe de la Craie, fonctionnant en continu à un débit maximum de 33 m³/h, notamment pour des besoins de refroidissement. Le forage a été démantelé et rebouché en 2014 ;
- prélèvements d'irrigation du parc André Malraux à Nanterre situé à environ 4 km au nord-est du piézomètre des Martinets (environ 30 000 m³/an depuis 1997) ;

- le centre de sports et loisirs de la banque de France à Croissy-sur-Seine situé à environ 3,5 km du piézomètre des Martinets (environ 22 000 m³/an depuis 1997). Le forage capterait les alluvions de la Seine, en lien direct avec la nappe de la Craie ;
- prélèvements industriels arrêtés de l'usine Poulard. La blanchisserie Poulard, maintenant fermée, captait la nappe de la Craie à hauteur de 45 000 et 50 000 m³/an jusqu'en 2001. L'usine était située aux abords de la place de Richelieu, délimitée par les rues du Château et Masséna ;
- rabattements ponctuels de nappe de la Craie liés à la réalisation de grands projets urbains (Mobipôle, Green Office...).

| Prélèvements | Période | Nature | Distance au piézomètre des Martinets à Rueil | Volumes moyens (m ³ /an) |
|--|--------------------------------------|------------|--|-------------------------------------|
| EDF | Inactif (certainement jusqu'en 2012) | Industriel | 950 m | 80 000 |
| Parc André Malraux | Actif | Irrigation | 4 km | 30 000 |
| Centre de sports et loisirs de la banque de France | Actif | Industriel | 3.5 km | 22 000 |
| Blanchisserie Poulard | Inactif (jusqu'en 2001) | Industriel | 1.7 km | 50 000 |

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des prélèvements industriels et d'irrigation dans la zone d'étude.

Les références bibliographiques mentionnent une baisse importante des prélèvements industriels dans la zone d'étude depuis 1981. L'usine Kleber, située à Colombes, qui prélevait plus d'un million de m³/an est en arrêt depuis 1983.

4.8.2. Usages AEP

Anciens captages des Martinets et Cantorum

Deux champs captant étaient exploités à Rueil-Malmaison jusqu'en 1982 : les champs captants de Cantorum et des Martinets exploitant la nappe de la Craie et situés dans la partie nord de la Ville. De 1974 à 1980, les prélèvements étaient en moyenne de 21 000 000 m³/an. L'arrêt de ces prélèvements a engendré une hausse du niveau de la nappe à partir de 1982 (Armines, 1988). Cette hausse du niveau a certainement été observée grâce suivi ponctuel de la nappe de la Craie dans les forages devenus inactifs (avant le suivi permanent du piézomètre des Martinets).

Champ captant de Croissy/Le Pecq

Le champ captant de Croissy/Le Pecq est situé à moins de 3 km au sud-ouest de la commune de Rueil-Malmaison. Il représente l'alimentation en eau potable d'environ 1 million de personnes par jour, soit environ 45 millions de m³/an en moyenne depuis 1998.

Le champ captant est composé des forages de la Lyonnaise des Eaux et des forages du SMGSEVESV (Société des eaux de Versailles et Saint-Cloud), exploités par la Lyonnaise des Eaux.

Depuis 1971, les prélèvements sont compensés par la réinjection d'eau de Seine dans la Craie à partir de bassins d'infiltration. Ces réinjections ont permis de stabiliser le niveau de la nappe et d'améliorer la qualité des eaux pompées. En moyenne depuis 1998, les volumes réinjectés en nappe, ajustés en fonction des débits pompés, sont de l'ordre de 22 millions de m³/an.

D'après les éléments bibliographiques rassemblés, les prélèvements d'eau souterraine du champ captant de Croissy Le Pecq engendrent une influence sur les niveaux d'eau de la nappe de la Craie au droit de Rueil-Malmaison. Les données relatives aux volumes prélevés par la Lyonnaise-des-Eaux et les niveaux d'eau mesurés au niveau du champ captant ont été transmises au BRGM après l'établissement d'une convention d'utilisation.

La nappe de la Craie présente dans ce secteur une forte transmissivité ce qui explique les excellentes performances des champs captant de la Lyonnaise des Eaux (ancien champ captant de Rueil-Malmaison et champ captant de Croissy/Le Pecq).

Depuis 2010, une baisse notable de l'ordre de 20 % des prélèvements est observée sur le champ captant de Croissy/LePecq. Dans le même temps, la réalimentation de la nappe par les bassins d'infiltration, directement liée aux volumes prélevés, a diminué de 50 % environ dès 2005.

Entre 2005 et 2009, la différence entre les volumes pompés et les volumes réinfiltrés a fortement augmenté (de 19,9 à 27,7 Mm³ par an) ce qui a vraisemblablement conduit à une baisse du niveau de la nappe. Inversement entre 2009 et 2011, cette différence est plus faible (de 27,7 à 20,8 Mm³ par an), ce qui a pu provoquer une remontée de la nappe. Enfin, entre 2011 et 2013, alors que les volumes pompés sont assez stables, la réalimentation de la nappe a diminué. La différence augmente donc à nouveau jusqu'à 27,7 M m³/an.

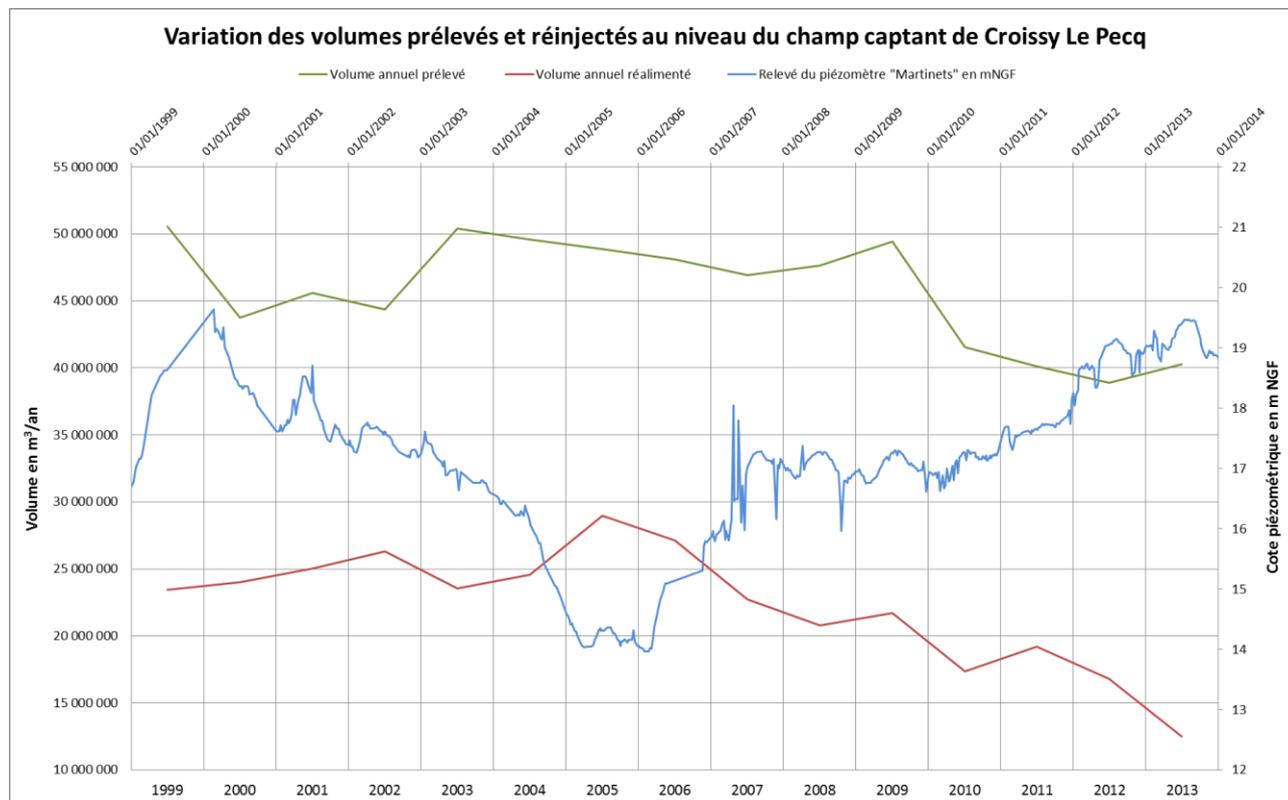


Figure 32 : Graphique présentant les volumes prélevés et réinjectés d'eau de la nappe de la Craie au niveau du champ captant de Croissy-le-Pecq et la chronologie piézométrique aux Martinets, Rueil-Malmaison.
Source : Lyonnaise des Eaux.

Résumé

- Les prélèvements industriels sont faibles dans la zone d'étude comparativement aux prélèvements AEP du champ captant de Croissy/LePecq. Sur la période 1997 - 2014, les prélèvements AEP sont très largement majoritaires puisqu'ils représentent plus de 99,5 % des volumes prélevés.
- Les volumes prélevés à usage industriel étaient beaucoup plus importants avant les années 1980.
- Les prélèvements AEP du champ captant de Croissy/LePecq, situé à moins de 3 km du piézomètre des Martinets, ont une influence significative sur le niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison.
- Les prélèvements AEP du champ captant de Croissy/LePecq sont compensés en partie depuis 1971 par la réinjection d'eau de Seine dans la Craie à partir de bassins d'infiltration. Les volumes prélevés sont en baisse d'environ 20 % depuis 2009 et parallèlement, les volumes réinjectés sont en baisse d'environ 50 % depuis 2005.
- La différence entre volumes prélevés et volume infiltrés a augmenté entre 2005 et 2009, ce qui a pu provoquer une baisse du niveau de la nappe. Inversement, cette différence est plus faible entre 2009 et 2011, ce qui a pu provoquer une remontée de nappe. Enfin, entre 2011 et 2013, alors que les volumes pompés sont assez stables, la réalimentation de la nappe a diminué. La différence augmente donc à nouveau jusqu'à 27.7 M m³/an.
- Les prélèvements industriels recensés dans la zone d'étude sont liés au refroidissement de l'usine EDF (certainement jusqu'en 2012), à l'irrigation du parc André Malraux, au fonctionnement du centre de sports et loisirs de la banque de France à Croissy-sur-Seine et jusqu'en 2001, au fonctionnement de l'ancienne usine Poulard à Rueil-Malmaison (jusqu'en 2001).

5. Diagnostic sur la remontée de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison

Le diagnostic s'appuie sur une analyse de l'évolution comparée de la piézométrie et des principaux paramètres qui la commandent sur la période 1994 - 2014. En milieu urbain, les fluctuations des niveaux des nappes d'eau souterraines sont influencées par les conditions naturelles (essentiellement la pluviométrie et les niveaux des cours d'eau), mais aussi par les conséquences des activités anthropiques (BRGM, 1993).

Les principaux facteurs étudiés dans cette étude gouvernant l'évolution du niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison sont les suivants :

- la pluviométrie efficace, caractérisant la recharge de la nappe par les précipitations ;
- le niveau et les variations de la Seine pouvant alimenter la nappe ;
- les aménagements souterrains, pouvant créer un obstacle à l'écoulement ;
- les prélèvements en nappe par pompage, pour l'alimentation en eau potable ou industrielle ;
- les autres sources potentielles d'alimentation : l'alimentation par débordement ou drainance verticale à travers les argiles du Sparnacien de la nappe du Lutétien sus-jacente et les pertes des réseaux urbains.

La tendance à la remontée de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison depuis janvier 2010 est nettement mise en évidence par les relevés hebdomadaires effectués sur le piézomètre des Martinets depuis 1995 et les suivis piézométriques en continus réalisés aux ouvrages de Bellerive et des Closeaux réalisés depuis 2011.

Cette hausse de la nappe est confirmée par l'historique des niveaux piézométriques mesurés dans le secteur, disponibles dans diverses études hydrogéologiques et en BSS.

5.1. INFLUENCE DE LA PLUVIOMÉTRIE SUR LA PIÉZOMÉTRIE

5.1.1. Pluviométrie efficace de 1994 à 2014

La pluviométrie efficace est la part d'eau qui s'infiltré en profondeur jusqu'à la zone saturée, déduction faite des ruissellements, de l'évaporation et de l'évapotranspiration. Cette recharge directe de la nappe peut avoir un effet différé sur le niveau piézométrique en un point donné si la zone de recharge est éloignée de la zone d'observation piézométrique.

À Rueil-Malmaison, la recharge de la nappe peut s'effectuer à partir des espaces verts artificialisés (espaces verts urbains, équipements sportifs) et de la forêt de la Malmaison qui représentent 1/3 du territoire, soit environ 450 ha.

La comparaison depuis 1994 des niveaux piézométriques observés à Rueil-Malmaison au niveau de l'ouvrage des Martinets et des précipitations efficaces calculées à la station de Paris-Montsouris, permet de montrer :

- sur la période 1998 – 2002 : Une bonne corrélation entre l'augmentation des précipitations efficaces à partir de l'année hydrologique 1998 et la hausse des niveaux piézométriques à partir du mois de septembre 1998. Les précipitations efficaces sont excédentaires pendant cette période et les apports naturels ont donc été plus abondants rechargeant davantage la nappe de la Craie. Les années consécutives humides de 1998 à 2002, sont synchrones avec la hausse importantes des niveaux piézométriques pendant cette même période, niveaux qui atteignent 19,64 m NFG en février 2000 ;
- entre 2001 et 2005 : Une relation notable entre un déficit du cumul des pluies efficaces et la baisse des niveaux piézométriques (période plus sèche) ;
- le creux piézométrique enregistré entre 2005 et 2006 étant lié à une contrainte de rabattement de nappe pour éviter la migration d'une pollution en hydrocarbures, le niveau est déconnecté de l'influence de conditions naturelles ;
- les tendances s'inversent entre 2006 et 2012 : les précipitations efficaces restent déficitaires alors que le niveau de la nappe remonte de 14 m NGF environ en janvier 2006 à 19 m NGF environ à la fin de l'année hydrologique 2012 ;
- à partir de l'année hydrologique 2013, les précipitations efficaces sont en augmentation et atteignent la normale en 2014. Alors que les niveaux piézométriques sont très hauts, (supérieurs à 19 m NGF) et proches des niveaux observés en 2000, la situation climatique est quant à elle proche de la normale, contrairement à la période humide de 2000.

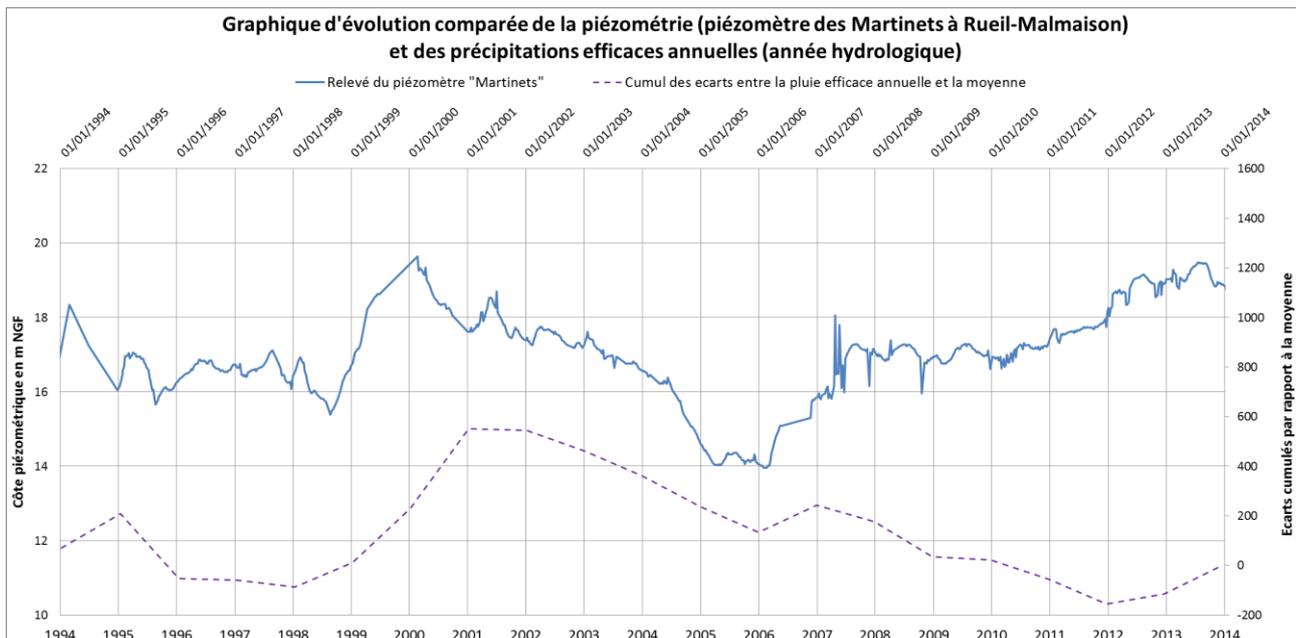


Figure 33 : Graphique d'évolution comparée de la piézométrie (piézomètre des Martinets) et des précipitations efficaces annuelles à Paris 13.

5.1.2. Bilan

Les conditions climatiques des dernières années ne peuvent être à l'origine de la forte hausse des niveaux piézométriques observée à Rueil-Malmaison depuis 2010. Elles ont toutefois pu contribuer au phénomène et notamment, à l'accentuation de la remontée de la nappe enregistrée depuis 2012.

5.2. INFLUENCE DES NIVEAUX DE SEINE SUR LA PIÉZOMÉTRIE

Dans le cas de systèmes alluvionnaires accompagnant les cours d'eau et reposant sur un substratum perméable, les remontées de nappe présentent un lien fort avec les phénomènes de débordement du cours d'eau.

La nappe alluviale peut alors constituer un aquifère relais entre la nappe du substratum (nappe de la Craie) et le cours d'eau (la Seine) : l'ensemble sera donc susceptible de déborder. En effet, l'onde de crue de la Seine peut se transmettre, à travers les alluvions, à la nappe de la Craie, hydrauliquement liée à la Seine de façon variable en fonction du colmatage du cours d'eau.

Une crue de la Seine peut donc engendrer une remontée de la nappe et provoquer une inondation au niveau des points topographiques les plus bas ou des infrastructures souterraines les plus profondes. La remontée de nappe est alors temporaire puisque l'abaissement piézométrique suit la décrue du cours d'eau, de façon amortie dans le temps. Dans ce cas, la zone inondée par la nappe est plus importante que la zone impactée par le débordement.

Les relations entre le cours d'eau et la nappe peuvent être de 2 types :

- si le lit du cours d'eau est imperméable (colmatage par des particules fines), le cours d'eau et la nappe alluviale sont relativement indépendants, proportionnellement au degré de colmatage ;
- si le lit du cours d'eau n'est pas imperméable, le cours d'eau et la nappe alluviale sont en relation hydraulique : les fleuves et cours d'eau peuvent être soit en position de drainage, alimentés par la nappe, soit en position de vidange, alimentant au contraire la nappe ; la situation pouvant s'inverser temporellement. Les pluviométries et régimes fluviaux sont étroitement liés.

À Rueil-Malmaison, le niveau de la Seine est en position haute par rapport à la nappe. En juillet 2014, le niveau de la Seine en aval de Chatou est de 20,7 m NGF, en amont de Bougival de 23,42 m NGF et le niveau de la nappe de la Craie au piézomètre des Martinets se situe entre 19,10 et 19,20 m NGF.

5.2.1. Colmatage de la Seine

Le colmatage naturel du fond des deux bras de la Seine (dépôt de vase, d'argile) et l'imperméabilisation anthropique du fleuve (berges, parois étanches, ...) conditionnent les transferts d'eau et de pression entre le cours d'eau et la nappe, en particulier lors des crues. Le degré de colmatage des berges et du fond des deux bras de la Seine est peu connu, ce qui rend difficile la quantification des échanges entre la nappe et la rivière localement.

Le service navigation de la Seine ainsi que la mairie indiquent ne pas avoir eu connaissance d'opérations de curage de la Seine depuis les 20 dernières années. Bien que faibles et difficiles à quantifier, les échanges entre les bras de la Seine et la nappe de la Craie sont perceptibles, en particulier en période crue de la Seine.

Au niveau de la tranchée couverte de Bellerive, aucun pompage n'a été recensé pouvant localement abaisser le niveau de la nappe de la Craie en amont hydraulique du tronçon de l'A86 (pompages ponctuels des projets d'aménagement arrêtés début 2014, prélèvements EDF arrêtés en 2012). De ce fait, la différence de hauteur d'eau observée entre le piézomètre des Martinets (niveau plus bas) et de Bellerive (niveau plus haut, situé côté Seine) de l'infrastructure souterraine montre que la nappe est partiellement réalimentée par la Seine.

5.2.2. Crues de la Seine

Depuis 1994, la Seine a connu plusieurs crues au droit de Rueil-Malmaison. Une nette relation peut être établie entre les deux crues quinquennales de 2000 et 2001, les conditions climatiques humides de ces mêmes années et l'altitude élevée du toit de la nappe à Rueil-Malmaison.

Entre 2003 et 2010, aucune crue notable de la Seine n'est observée en aval de Chatou et à la station Austerlitz. Cette période correspond aux années successives déficitaires en précipitations où les pointes de crue hivernales ne dépassent pas la côte biennale.

Depuis 2010, en lien avec la reprise de précipitations annuelles excédentaires, quatre crues de la Seine, que l'on pourrait qualifier de biennales, ont été observées en décembre 2010, janvier 2012, février et novembre 2013.

5.2.3. Schéma conceptuel explicatif

Le schéma (figure 35) montre le lien possible entre le niveau de la Seine et le niveau de la nappe de la Craie, actuellement en position de drainage puisque son altitude est inférieure.

Les incertitudes relatives aux échanges entre la nappe et la Seine sont représentées par des « points d'interrogations » sur le schéma.

L'hypothèse est prise que le lit de la Seine n'est pas complètement imperméable et un équilibre hydrostatique s'établit entre la nappe et le cours d'eau, en position d'alimentation de la nappe. Les échanges sont donc faibles, sauf en cas de Crue où les apports de la Seine sont plus conséquents.

L'autre hypothèse, plus improbable, consisterait à supposer que le degré de colmatage est suffisant pour empêcher tout échange entre la Seine et la nappe de la Craie, les niveaux fluctueraient alors indépendamment et la Seine n'alimenterait la nappe exclusivement qu'en cas de crue.

Le niveau moyen de la nappe entre 1988 et 1994 est indiqué sur le schéma conceptuel.

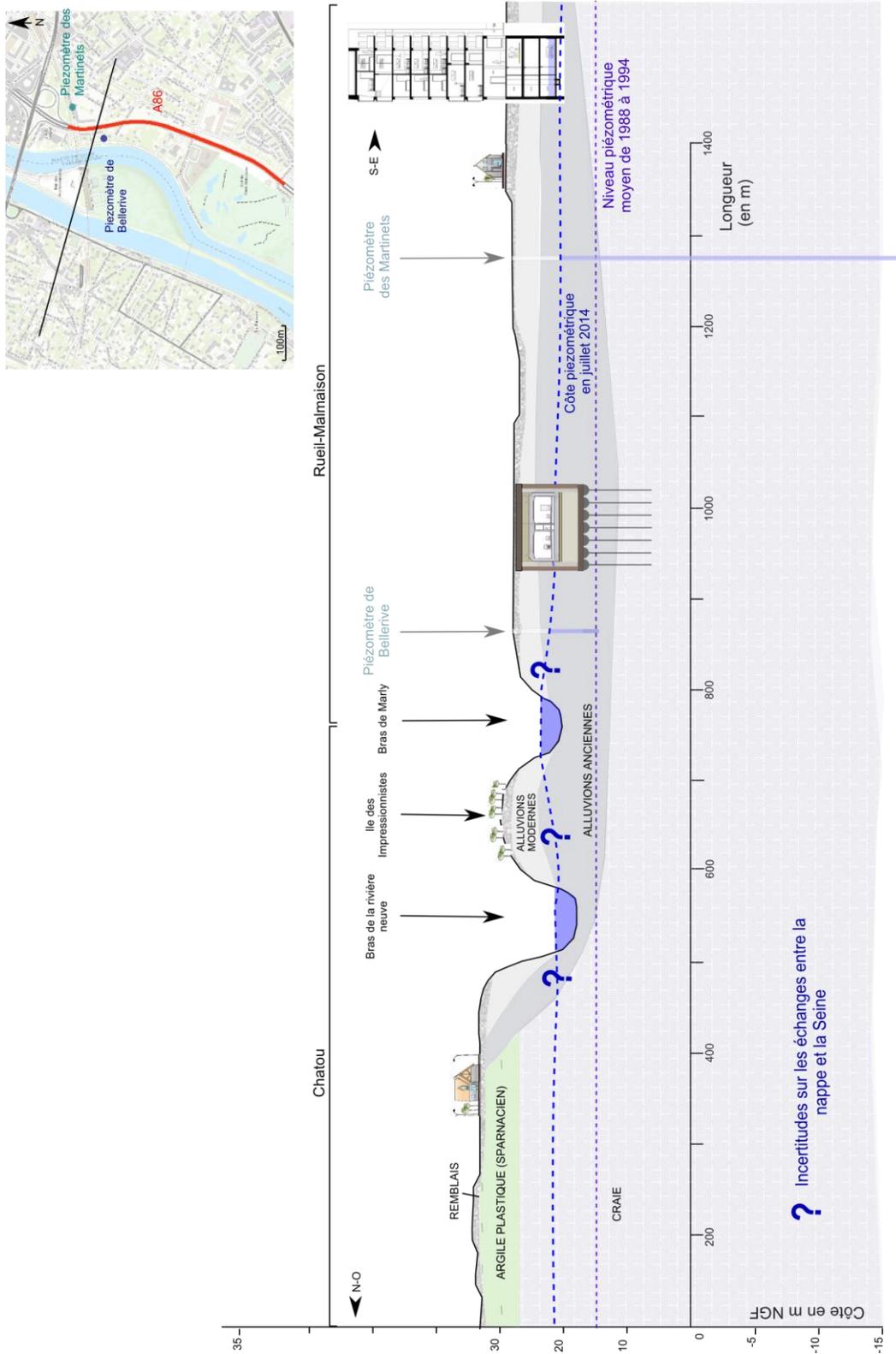


Figure 34 : Schéma conceptuel représentant les échanges possibles entre la nappe de la Craie et la Seine en juillet 2014.

5.2.4. Modélisation Catherine

Afin de mieux caractériser les échanges entre la nappe de la Craie et la Seine, une modélisation a été réalisée à partir des données enregistrées au piézomètre des Martinets et les niveaux de la Seine, en aval de Chatou. Le logiciel utilisé est le logiciel Catherine ©BRGM (Calcul Théorique de l'Effet d'une Rivière sur une NappE, Thiery, 2012). Catherine permet de simuler les transferts de pression entre un plan d'eau libre et une nappe d'accompagnement. Il se base sur l'équation fondamentale (1) suivante :

$$\Delta h(d,t) = \Delta h_a \operatorname{erfc}\left(d \sqrt{\frac{S}{4Tt}}\right)$$

où :

- d (m) : distance entre le plan d'eau et le point d'observation de la nappe ;
- $\operatorname{erfc}(u)$: fonction d'erreur complémentaire $\operatorname{erfc}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u)$;
- t (s) : temps écoulé depuis la variation de niveau du plan d'eau.

Les paramètres d'entrée de la modélisation Catherine sont :

- le niveau de la nappe de la Craie : chronique du piézomètre des Martinets (situé à une distance de 882 m avec la Seine) (en bleu) ;
- les données de hauteurs d'eau de la Seine issues de la station hydrométrique de l'aval du barrage de Chatou (en jaune) ;
- La distance du point d'eau à la Seine est de 882 mètres ;
- Transmissivité de la nappe : 0,08 m²/s

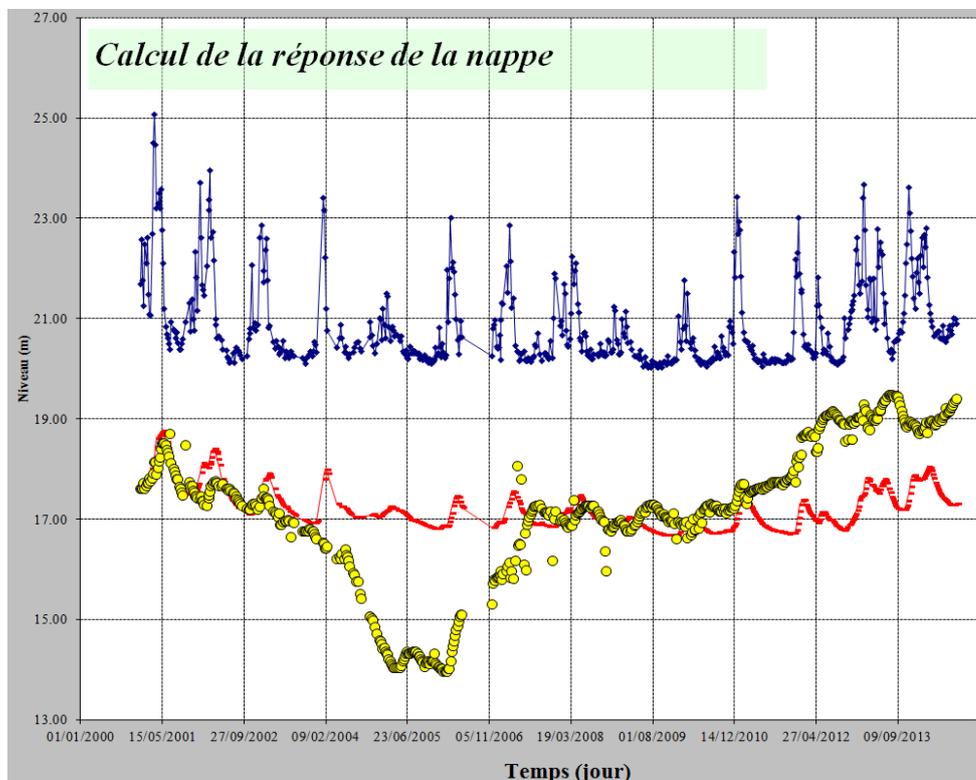


Figure 35 : Résultat d'une modélisation Catherine issue des données du piézomètre des Martinets et les données de la station hydrométrique en aval du barrage de Chatou entre 1994 et 2014.

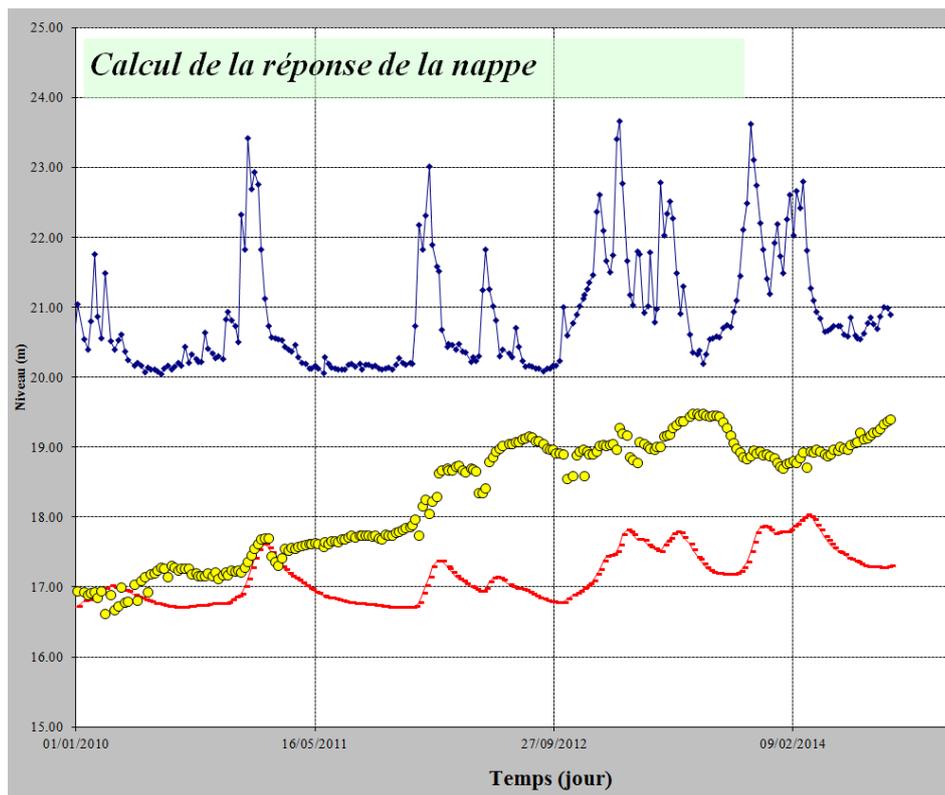


Figure 36 : Résultat d'une modélisation Catherine issue des données du piézomètre des Martinets et de la station hydrométrique en aval du barrage de Chatou depuis le 1^{er} janvier 2010.

La modélisation permet de montrer que le niveau de la nappe de la Craie (au piézomètre des Martinets) et les niveaux de la Seine (en aval de Chatou) ne sont pas directement corrélés.

En effet, il est évident que la baisse des niveaux piézométriques observée entre 2004 et 2005, liée à la contrainte de rabattement du fait de la présence d'une pollution locale en hydrocarbures, ne peut être représentée par le logiciel Catherine puisqu'elle s'explique par une augmentation des prélèvements.

À partir de 2010, l'écart entre les niveaux observés à Rueil-Malmaison et le niveau calculé par le logiciel s'accroît fortement. Le logiciel ne parvient pas à modéliser la forte amplitude de la remontée de la nappe à partir des niveaux de la Seine ce qui indique que la hausse ne s'explique pas uniquement par l'augmentation d'apports de la Seine.

Toutefois, une légère hausse de la courbe calculée du niveau de la nappe (en rouge) est observée à partir de l'automne 2010, liée à l'augmentation du niveau de base de la Seine et des niveaux de crue de la Seine à partir de cette date.

Les incertitudes liées à cette modélisation les suivantes :

- le pas de temps d'acquisition des données au piézomètre des Martinets est hebdomadaire et ne permet pas d'appréhender finement le lien entre la nappe et le cours d'eau ;
- la chronique piézométrique des Martinets présente quelques lacunes de données qui peuvent limiter la fiabilité de la modélisation ;
- la station hydrométrique de Chatou se situe en aval du barrage, sortie de l'écluse pouvant induire des erreurs de mesures de hauteur d'eau (régime perturbé) ;

- il n'est pas possible avec cet outil de modélisation simple de prendre en compte les précipitations efficaces, les prélèvements d'eau souterraine ou de modéliser les infrastructures souterraines pouvant modifier le comportement de la nappe et sa relation hydraulique avec la Seine.

5.2.5. Bilan

L'analyse montre que les relations hydrauliques entre nappe de la Craie et la Seine sont mal connues du fait du manque de connaissance sur le colmatage des berges et du lit de la Seine.

Les niveaux piézométriques de la nappe de la Craie, mesurés en juillet en bordure de la Seine, tendent à montrer que la nappe est partiellement réalimentée par la Seine. Il semble donc probable que les échanges nappe/rivière soient assez limités, mais pas complètement inexistant.

La modélisation Catherine montre que le niveau piézométrique de la nappe de la Craie n'est pas corrélé au niveau de la Seine.

La légère hausse du niveau de base de la Seine, ainsi que les crues biennales enregistrées depuis 2010 ont pu contribuer à la hausse du niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison mais la remontée de la nappe ne peut uniquement s'expliquer par l'évolution du niveau de la Seine.

5.3. INFLUENCE DES AMÉNAGEMENTS SOUTERRAINS

Les divers aménagements souterrains peuvent constituer de potentielles barrières hydrauliques à l'écoulement des nappes, modifiant localement la circulation des eaux souterraines. La réalisation de barrière à l'écoulement, placée perpendiculairement à celui-ci, induit normalement un relèvement du niveau piézométrique en amont hydraulique de l'écran, dont l'importance et l'extension peut varier considérablement selon le contexte hydrogéologique.

La tranchée couverte « Belle-Rive » de l'autoroute A86, dont les parois étanches et le radier descendent dans les alluvions modernes jusqu'à 16,5 / 17 m NGF, est la seule infrastructure souterraine présente à Rueil-Malmaison pouvant avoir un impact sur l'écoulement de la nappe de la Craie.

Le niveau de la nappe de la Craie est suivi de part et d'autre de l'autoroute, aux piézomètres des Martinets et de Bellerive qui présentent des tendances piézométriques homogènes, avec un décalage de 50 cm en moyenne. La nappe de la Craie est plus élevée au piézomètre de Bellerive, côté Seine, correspondant à l'amont hydraulique local de la barrière.

Depuis juillet 2007, la nappe de la Craie a atteint la cote de 17 m NGF au piézomètre des Martinets, le toit de la nappe est donc supérieur au radier de l'autoroute.

L'évaluation de l'effet de barrage de l'A86 sur la nappe phréatique à Rueil-Malmaison en 1994 montre que, malgré sa position, l'ouvrage « Belle-Rive » ne constitue qu'un barrage partiel à l'écoulement puisque les parois moulées d'ancrage ne pénètrent que d'une dizaine de mètres dans la formation crayeuse. Le moindre espace laissé à l'écoulement permet de diminuer fortement l'effet de barrage. Les variations relatives de piézométrie ont été modélisées en fonction du taux de coupure à l'écoulement, en régime permanent. [...] les calculs montrent que les variations de piézométries ne sont sensibles que si l'écoulement est stoppé à plus de 90 % (Armines, 1994). Un barrage souterrain descendu jusqu'à la cote 5 m NGF ne devrait avoir de répercussion que sur 35 % du débit produit (Armines, 1988).

D'après la carte piézométrique établie en juillet 2014 et dans l'hypothèse d'une réalimentation partielle de la nappe par la Seine, l'impact de la tranchée couverte « Belle-rive » sur l'écoulement des eaux souterraines reste très local.

Il est difficile de quantifier sur l'écoulement de la nappe au nord de Rueil-Malmaison.

La barrière tend à limiter les apports d'eau de Seine dans le secteur nord de Rueil-Malmaison mais peut constituer une barrière partielle à l'écoulement régional de la nappe qui s'écoule vers le sud-ouest, en direction de la boucle de Coissy.

5.4. INFLUENCE DES PRÉLÈVEMENTS EN NAPPE

Tout captage d'eau souterraine fait baisser le niveau de la nappe localement, avec une amplitude et une extension, une rapidité et une durée, qui varie selon les terrains et les volumes prélevés.

L'influence des pompages sur le niveau général de la nappe dépend de leur nombre et densité, des débits prélevés et du niveau de prélèvement, de leur distance aux zones d'infiltration et des caractéristiques hydrodynamiques des sols et roches dans lesquels circule la nappe (perméabilité, porosité, fracturation et épaisseur des différentes formations, ...). Si le débit de pompage est relativement constant et continu, la valeur de cet abaissement, appelé rabattement, se stabilise, sans effacer les fluctuations naturelles de la nappe, dont le niveau évolue seulement plus bas.

Les influences de tous les captages qui exploitent une même nappe s'additionnent : lorsqu'ils sont assez rapprochés et importants, ils déterminent une véritable « dépression régionale ». Cependant, cette influence des prélèvements est réversible : toute réduction des débits pompés ou exhaurés détermine un nouvel équilibre dynamique, en provoquant cette fois une hausse du niveau des eaux souterraine. Cette hausse peut être ample et rapide au début et au voisinage des ouvrages de prélèvement, et plus lente, faible et différée lorsqu' l'on s'éloigne de points de prélèvement.

Il s'agit d'un retour à un niveau antérieur naturel, moins influencé par les interventions humaines. Cette remontée n'est toutefois pas « symétrique » au rabattement antérieur car la structure et les conditions aux limites de l'aquifère ont pu subir des transformations (notamment, la réalisation d'infrastructures souterraines) (Debuisson *et al.*, 1993).

Le schéma conceptuel suivant illustre l'écoulement de la nappe entre le nord de Rueil-Malmaison et le champ captant de Croissy/Le Pecq (Figure 37).

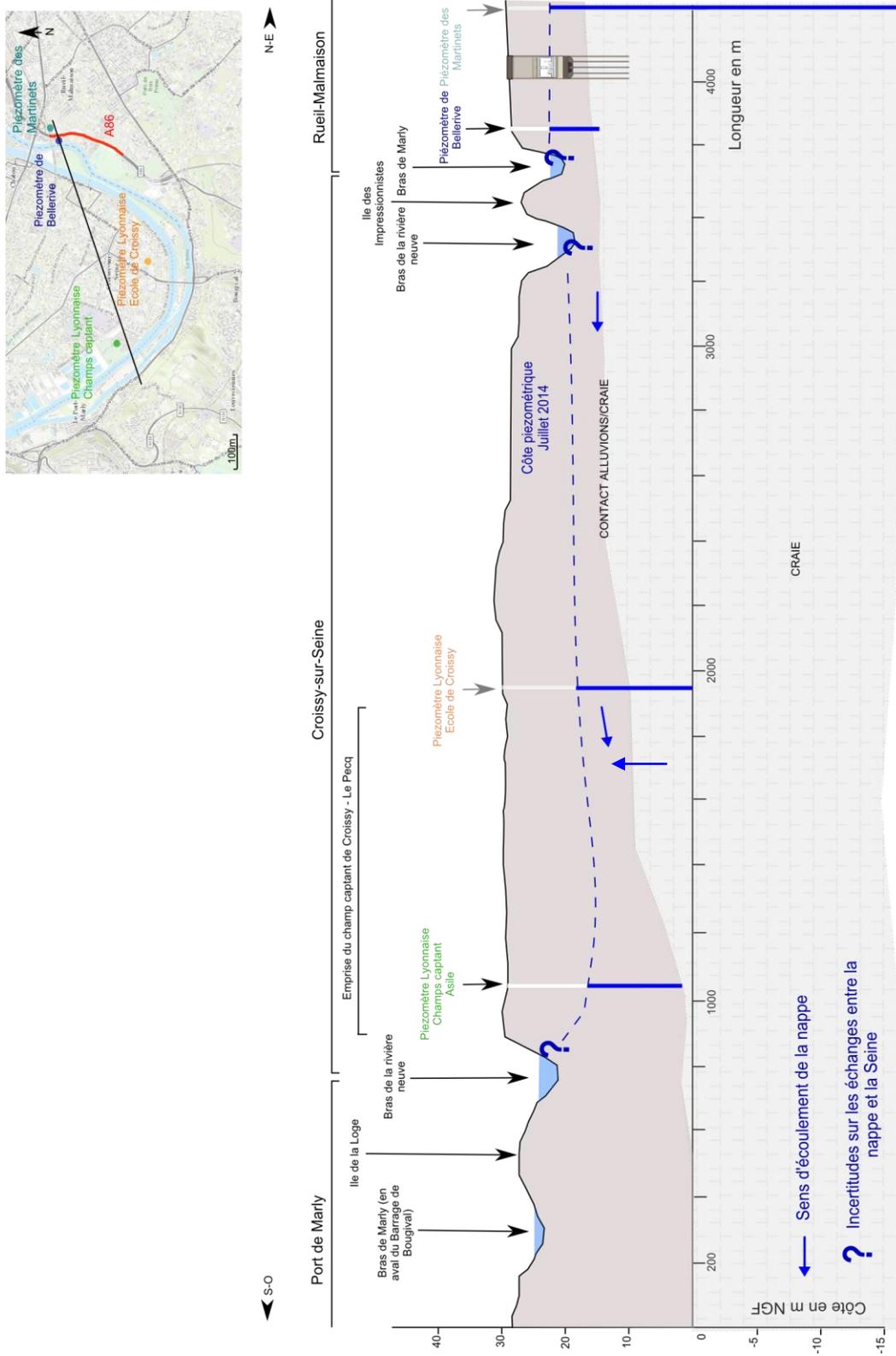


Figure 37 : Schéma conceptuel représentant le toit de la nappe de la Craie du Rueil-Malmaison jusqu'au champ captant de Croissy-LePecq.

5.4.1. Modélisation Tigre

Afin d'évaluer l'influence potentielle des prélèvements industriels et AEP sur le niveau piézométrique de la nappe de la Craie au nord de Rueil-Malmaison, le logiciel TIGRE ©BRGM (Thiéry, 2011) a été utilisé.

Le logiciel TIGRE (Théorie des Images dans une **G**éométrie **R**ectangulaire) permet de calculer l'évolution au cours du temps des rabattements, ou des remontées de niveau piézométrique, résultant d'un ensemble de puits de pompage et/ou d'injection situés dans une nappe souterraine homogène.

La nappe peut être d'extension infinie ou limitée par 1 à 4 limites. Chacune de ces limites peut être au choix :

- une limite étanche ;
- une limite de réalimentation, c'est-à-dire une limite à charge imposée.

La nappe doit pouvoir être considérée comme homogène. Elle est caractérisée par :

- une transmissivité constante, elle doit donc être captive ou présenter de faibles variations de niveau par rapport à son épaisseur ;
- un coefficient d'emmagasinement (libre ou captif).

Hypothèses de calcul

- période de calcul : septembre 1998 – septembre 2014 ;
- période d'analyse : à partir de 2007 ;
- pas de temps : mensuel ;
- paramètres hydrodynamiques (investigations de terrain de 1987, Armines 1988) :
 - Transmissivité $T = 1.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$,
 - Coefficient d'emmagasinement : 3 % ;
- modélisation d'un aquifère d'extension infinie (pas de limite). Dans cette modélisation simple, la Seine n'est pas considérée comme une limite à potentiel imposé (limite de réalimentation) du fait du colmatage supposé du fond de son lit et de ses berges ;
- points de prélèvements et piézomètres :
 - champ captant du Pecq et de Croissy (rond bleu) caractérisés par un point de prélèvement unique, positionné au centre des champs captants. Les volumes prélevés mensuels, fournis par la Lyonnaise des Eaux, sont intégrés dans le modèle par un débit négatif,
 - bassins d'infiltration (rond jaune) : réalimentation de la nappe mesurée par un débit positif. La localisation du point d'injection est positionnée au centre des bassins d'infiltration. Les volumes injectés mensuels ont été fournis par la Lyonnaise des Eaux,
 - prélèvements EDF : prélèvements situés à Chatou, ventilation uniforme des volumes prélevés annuels par mois (source : AESN, EDF),
 - prélèvements de la blanchisserie Poulard, arrêtés en 2001 : ventilation uniforme des volumes prélevés annuels par mois (Source : AESN),
 - piézomètres de contrôle : croix bleu.

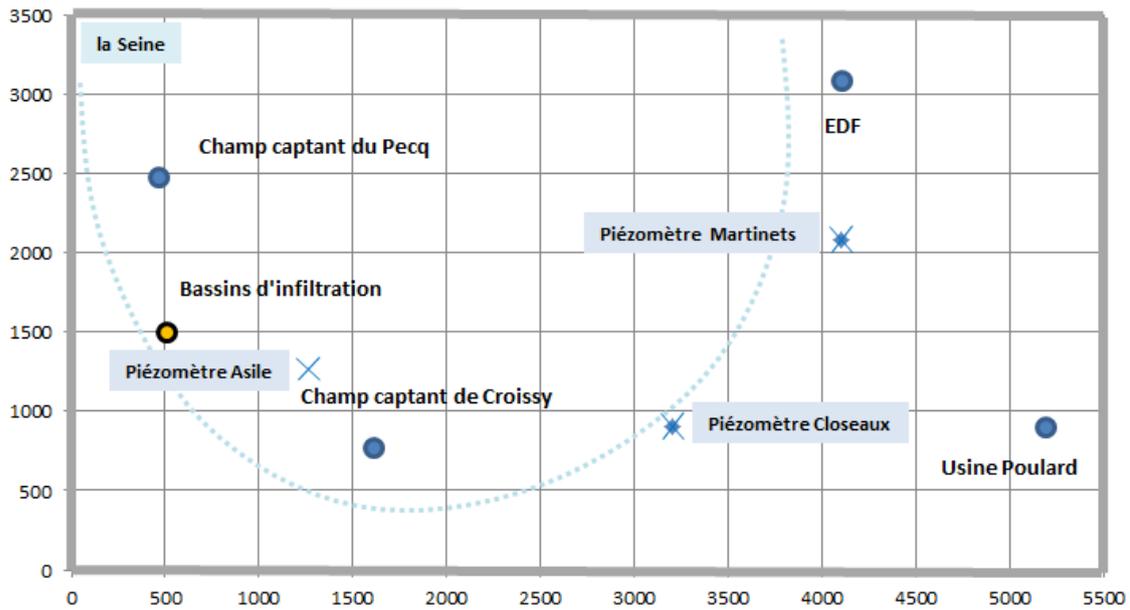


Figure 38 : Schéma représentant le modèle TIGRE : localisation des points de prélèvements, des points de réalimentation et des piézomètres de la zone d'étude.

Limite des calculs

Le logiciel TIGRE permet de reproduire les variations piézométriques résultant de prélèvements dans une nappe homogène, caractérisée par des limites (rectangulaires), sa transmissivité et son coefficient d'emmagasinement.

Cette modélisation très simple du système hydrogéologique permet de donner une idée de l'impact des prélèvements en un point du modèle. Elle présente donc beaucoup de limites dont les plus importantes sont :

- la variabilité de la géométrie et de la perméabilité de l'aquifère n'est pas prise en compte ;
- tous les points de prélèvements ne sont pas modélisés (mais regroupés en un point unique central) ;
- toute réalimentation de la nappe, naturelle ou anthropique, n'est pas intégrée au modèle ;
- toute barrière à l'écoulement n'est pas modélisée.

Résultats

Le résultat de la modélisation TIGRE est une simulation des variations piézométriques (en m) aux piézomètres des Martinets et des Closeaux, engendrées par les prélèvements. La simulation TIGRE a été comparée aux mesures réalisées au piézomètre des Martinets sur la période octobre 2007 – septembre 2014 (Figure 39) et aux enregistrements effectués au piézomètre des Closeaux entre janvier 2012 et septembre 2014 (figure 40).

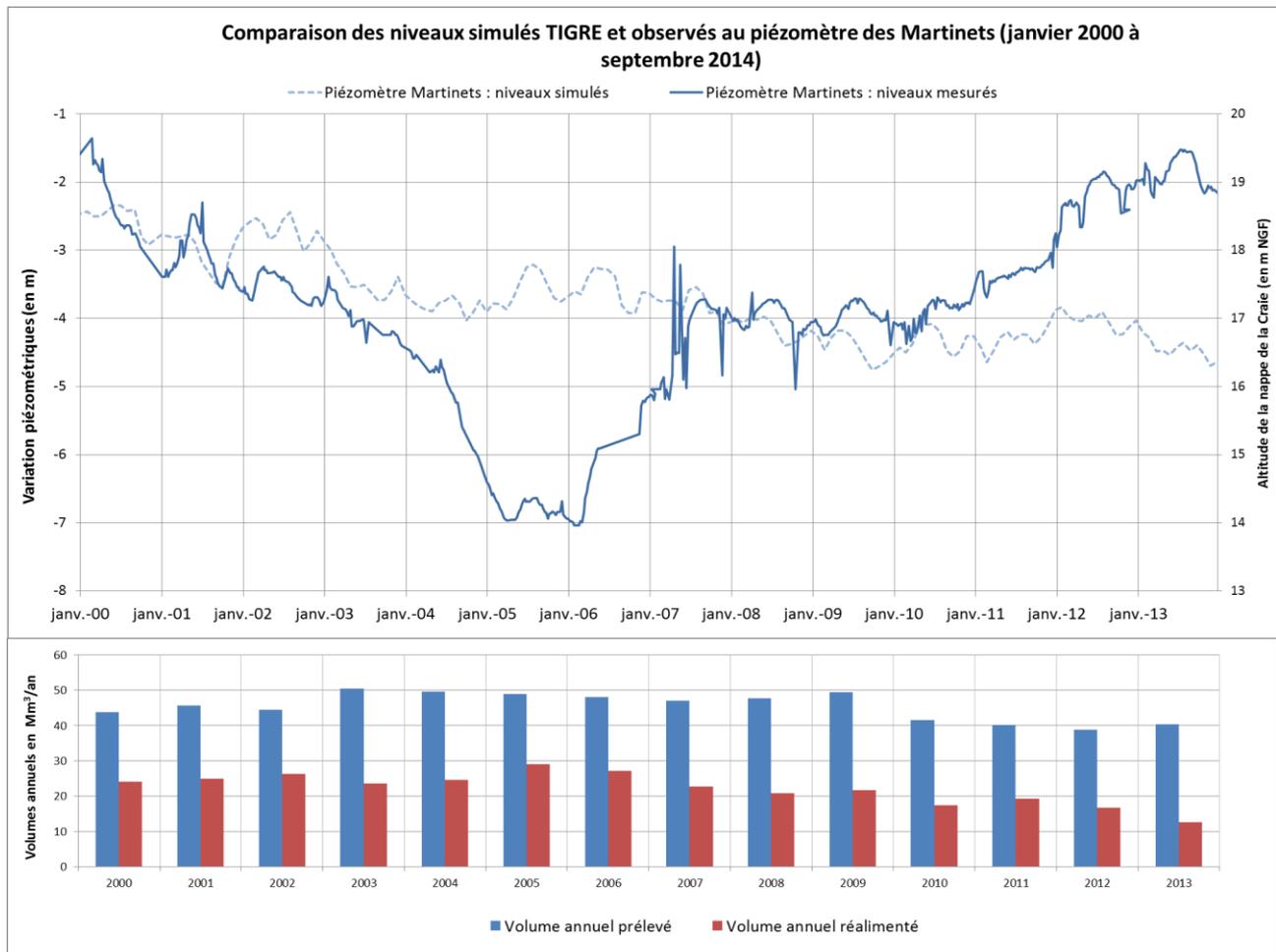


Figure 39 : Graphique de comparaison de la modélisation TIGRE (variations piézométriques simulées au piézomètre des Martinets en m) avec les observations de terrain entre janvier 2000 et septembre 2014.

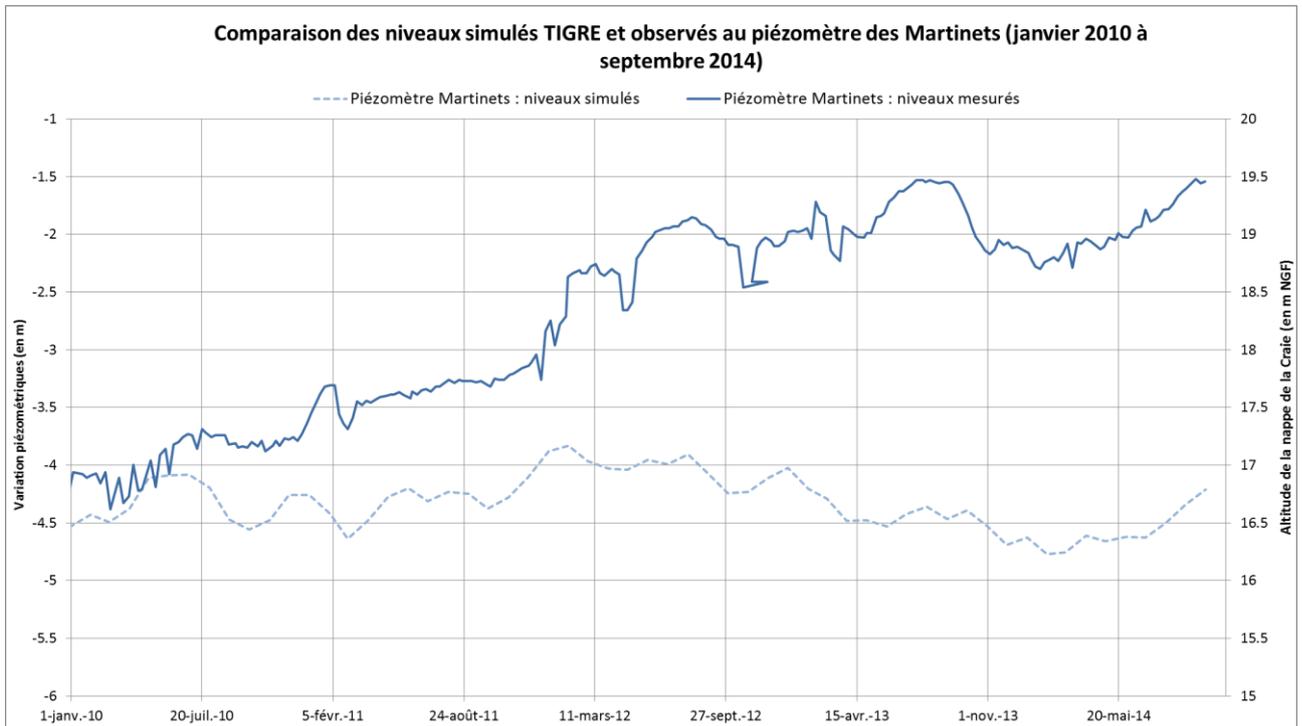


Figure 40 : Graphique de comparaison de la modélisation TIGRE (variations piézométriques simulées au piézomètre des Martinets en m) avec les observations de terrain entre janvier 2010 et septembre 2014.

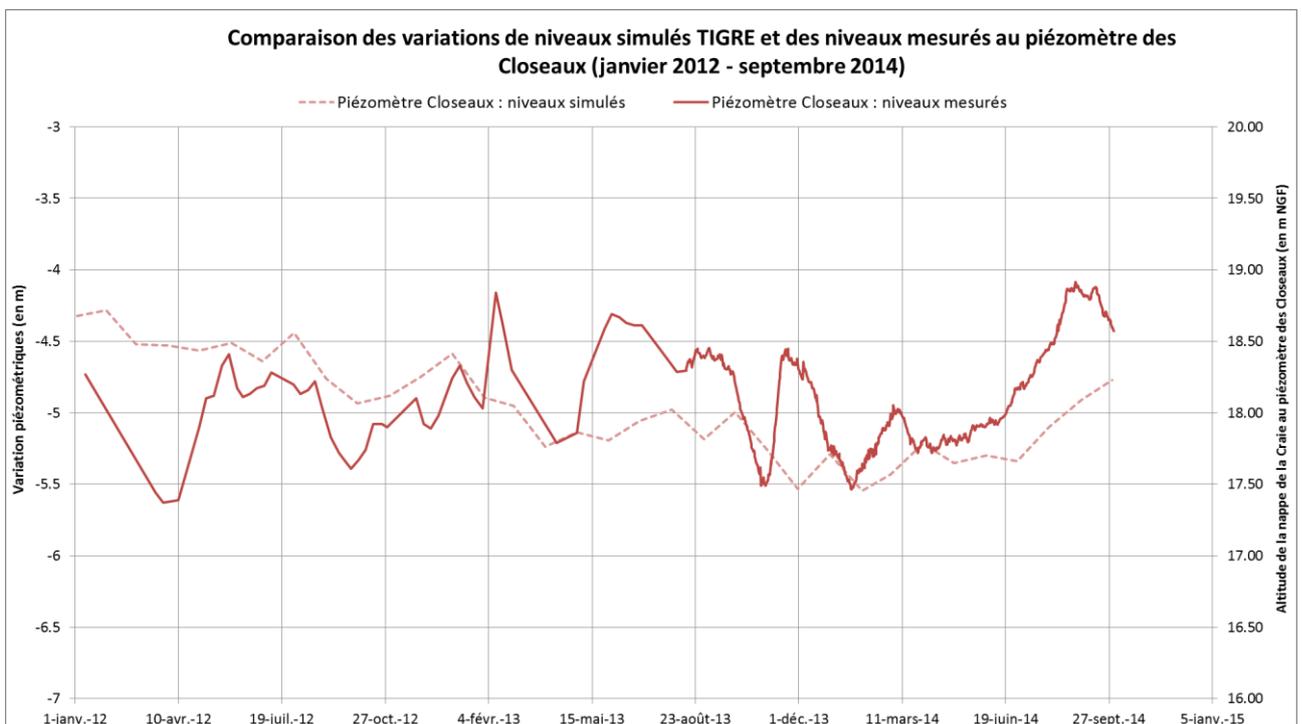


Figure 41 : Graphique de comparaison de la modélisation TIGRE (variations piézométriques simulées au piézomètre des Closeaux en m) avec les observations de terrain entre janvier 2012 et septembre 2014.

Les principales conclusions de la modélisation TIGRE sont :

- le niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison semble influencé par les prélèvements du champ captant de Croissy/Le Pecq ;
- la modélisation simplifiée TIGRE ne permet pas de reconstituer l'allure des variations du niveau de la nappe de la Craie observées au piézomètre des Martinets, notamment le creux piézométrique de juin 2004 à mars 2007 et l'accentuation de la remontée des niveaux entre janvier 2012 et juillet 2013 ;
- le modèle simplifié reproduit, avec une moindre amplitude, le creux piézométrique observé entre juillet 2013 et janvier 2014, puis la remontée de la nappe entre janvier 2014 et septembre 2014 ;
- les niveaux simulés et observés au piézomètre des Closeaux présentent des variations avec une amplitude du même ordre de grandeur ;
- les volumes prélevés sont en partie compensés par les volumes réinjectés dans les bassins d'infiltration ;
- les prélèvements industriels ne semblent pas avoir d'impact notable sur le niveau de la nappe de la Craie au piézomètre des Martinets (aucune variation dans l'évolution des niveaux avec ou sans les prélèvements industriels), les volumes prélevés étant largement moins important que ceux du champ captant de Croissy / Le Pecq.

La modélisation simplifiée ne prend pas en compte la Seine, située entre le champ captant de Croissy/Le Pecq et Rueil-Malmaison, qui pourrait limiter l'extension et l'amplitude du cône de rabattement induit par les prélèvements.

5.4.2. Bilan

Un inventaire des prélèvements pouvant avoir une influence sur le niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison a été réalisé dans la zone d'étude sur la période 1997 – 2014. Sur cette période, les prélèvements AEP sont très largement majoritaires puisqu'ils représentent plus de 99,5 % des volumes prélevés.

D'après les études hydrogéologiques locales, les modélisations Armines et la modélisation TIGRE, l'influence des prélèvements du champ captant de Croissy/le Pecq est significative sur le niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison.

La Seine ne constituant pas un front de réalimentation de la nappe très marqué au niveau de Rueil-Malmaison, l'impact des prélèvements est d'autant plus important.

Une baisse d'environ 20 % du volume global des prélèvements est observée depuis 2010, liée à la baisse des besoins en eau potable. Parallèlement, depuis 2005, la réalimentation de la nappe au niveau des bassins d'infiltration a diminué de plus de 50 %. La baisse des prélèvements AEP ne peut expliquer à elle seule l'accentuation de la remontée du niveau de la nappe à Rueil-Malmaison mais semble toutefois y contribuer.

La modélisation simple TIGRE ne permet pas de reproduire la hausse importante des niveaux observée au piézomètre des Martinets depuis janvier 2010.

La remontée de la nappe de la Craie semble donc être attribuée à la conjugaison de facteurs naturels et anthropiques, ne pouvant pas tous être pris en compte dans le modèle simplifié.

Enfin, la modélisation montre que la baisse ou l'arrêt des prélèvements industriels dans la zone d'étude ne semble pas avoir d'impact important sur le niveau de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison.

5.5. AUTRES FACTEURS

Les terrains tertiaires surmontant la nappe de la Craie et comprenant des aquifères perchés peuvent amplifier ou allonger le phénomène de remontée de nappe. En effet, les petites nappes perchées se ré-infiltrant dans la Craie, par drainance verticale ou par les sources qui coulent sur les parties imperméables argileuses : les sources de débordement présentes en pied de plateau.

Les apports de la nappe du Lutétien ou autres apports anthropiques pouvant alimenter localement la nappe de la Craie restent difficiles à quantifier. Leur influence sur le niveau de la nappe de la Craie au nord de Rueil-Malmaison doit toutefois être certainement limitée.

6. Conclusion

De par sa situation dans la plaine alluviale de la Seine, la partie nord de Rueil-Malmaison est un secteur sensible au phénomène de remontée de nappe. Les secteurs les plus vulnérables correspondent aux secteurs topographiquement plus bas ou, en milieu urbain, aux infrastructures souterraines les plus profondes.

Les fluctuations du niveau des nappes d'eau sont influencées non seulement par les conditions naturelles (essentiellement par la pluviométrie efficace et le niveau des cours d'eau) mais aussi par les conséquences des activités humaines (exploitation des eaux souterraines, fuites de réseaux, infiltration d'eau pluviale, présence d'infrastructures souterraines (BRGM, 1993).

En milieu urbain dense, les écoulements souterrains sont donc complexes et restent difficiles à appréhender.

6.1. REMONTÉE DE LA NAPPE DE LA CRAIE À RUEIL-MALMAISON

À Rueil-Malmaison, une tendance à la remontée de la nappe de la Craie est observée depuis janvier 2010.

Le suivi de la nappe est réalisé sur trois piézomètres par la Mairie de Rueil-Malmaison.

Le piézomètre des Martinets, situé rue de la Seine et suivi au pas de temps hebdomadaire par la Lyonnaise des Eaux est considéré comme représentatif du niveau de la nappe au nord de Rueil-Malmaison.

Ces vingt dernières années, le niveau de la nappe de la Craie au nord de Rueil-Malmaison a été variable :

- deux pics piézométriques ont été observés dans les années 2000 – 2001 liés aux conditions climatiques très humides et aux crues quinquennales de la Seine ;
- une période de niveaux bas de 2003 à 2006 s'explique par la mise en place d'une contrainte de rabattement de nappe ;
- une tendance à la hausse est marquée dès janvier 2010 puis s'accroît entre janvier 2012 et juillet 2013 (augmentation de 2 m du niveau entre janvier 2010 et juillet 2013) ;
- un creux piézométrique est observé entre juillet 2013 et septembre 2014.

Préalablement à la mise en place du suivi, des recherches bibliographiques ont montré que le niveau de la nappe était situé entre 21 et 22 m NGF en 1862, période antérieure à l'exploitation de la nappe à des fins industrielles. Le niveau a ensuite baissé entre 1985 et 1994 jusque 15 m NGF (niveau le plus bas atteint) suite à la mise en place de prélèvements AEP et industriels importants dans la zone d'étude. Depuis 2010, le niveau de la nappe montre une tendance à la hausse.

Est-il possible de prévoir jusqu'où le niveau de la nappe peut remonter ?

Il n'est pas possible de se baser sur le « niveau naturel ancien » de 1862 (antérieur à l'exploitation de la nappe de la Craie) pour définir le niveau maximum que pourrait atteindre la nappe. En effet, même si celle-ci était moins influencée par les interventions humaines (arrêt des prélèvements), la structure de l'aquifère et les conditions de circulation des eaux souterraines ont subi des transformations (aménagement souterrains).

6.2. ORIGINES PRÉSUMÉES DES REMONTÉES DE NAPPES

L'étude hydrogéologique a porté sur l'analyse de l'évolution comparée de la piézométrie de la nappe de la Craie à Rueil-Malmaison et des principaux facteurs la régissant sur la période 1994 et 2014.

La tendance à la hausse de la nappe de la Craie depuis 2010 à Rueil-Malmaison peut s'expliquer par la conjugaison de facteurs naturels et anthropiques. A ce stade de l'étude, il est toutefois impossible de quantifier précisément les influences respectives de ces différents facteurs :

- l'évolution des prélèvements en nappe : diminution de 20 % environ des prélèvements AEP du champ captant de Croissy/le Pecq depuis 2010. Dans le même temps, la réalimentation de la nappe par les bassins d'infiltration a diminué de 50 % environ dès 2005. Entre 2009 et 2011, la différence entre les volumes pompés et les volumes réinfiltrés a diminué, ce qui a pu provoquer une remontée de la nappe. A l'inverse, entre 2011 et 2013, alors que les volumes pompés sont assez stables, la réalimentation de la nappe a diminué, ce qui aurait dû engendrer une nouvelle baisse de la nappe ;
- l'augmentation de la recharge naturelle de la nappe :
 - par l'accroissement de la pluviométrie efficace depuis 2012 (la pluie est excédentaire mais reste inférieure à la normale),
 - par les faibles crues de la Seine : 4 crues biennales ont été enregistrées entre décembre 2010 et novembre 2013. La Seine intervient comme front d'alimentation par transmission de l'onde des crues de la Seine (recharge variable en fonction du colmatage du lit et des berges du fleuve),
 - dans une moindre mesure, par les apports de la nappe sus-jacente du Lutétien (débordement de faibles sources en pied de plateau et par drainance verticale), par drainance de la nappe des alluvions de la Seine (lorsque la nappe est captive), par les pertes des réseaux urbains et bassins d'infiltration ;
- l'impact de l'infrastructure souterraine (tranchée couverte de l'A86) pouvant constituer une barrière partielle et locale à l'écoulement de la nappe de la Craie.

L'état piézométrique actuel de la nappe est encore maintenu à un niveau artificiellement « bas » par les prélèvements AEP actifs du champ captant de Croissy/Le Pecq.

6.3. CARTOGRAPHIE DE LA ZONE SENSIBLE AUX REMONTÉES DE NAPPE

La zone sensible aux remontées de nappe a été définie dans le cadre de l'étude. Cette extension correspond à la partie libre de la nappe de la Craie, dans la commune de Rueil-Malmaison. Elle a été définie à partir des critères suivants :

- partie libre de la nappe de la Craie correspondant au secteur où la formation imperméable sus-jacente des argiles du Sparnacien est érodée :
 - cette extension a été délimitée à partir de l'entité 117AC05 du référentiel BDLISA version 1 (argiles plastiques de l'Yprésien inférieur),
 - le contour s'est appuyé sur le modèle géologique tridimensionnel des formations tertiaires du centre du bassin de Paris (version 2010),
 - cette extension est limitée au contour de la commune de Rueil-Malmaison ;
- la délimitation a été comparée avec la profondeur de la nappe de la craie en Juillet 2014 (Figure 10) ;
- la délimitation a été confrontée à la carte de la zone sensible aux remontées de nappes éditée en 1982, les contours sont conformes.

Le contour cartographique a été fourni à la Mairie de Rueil-Malmaison.

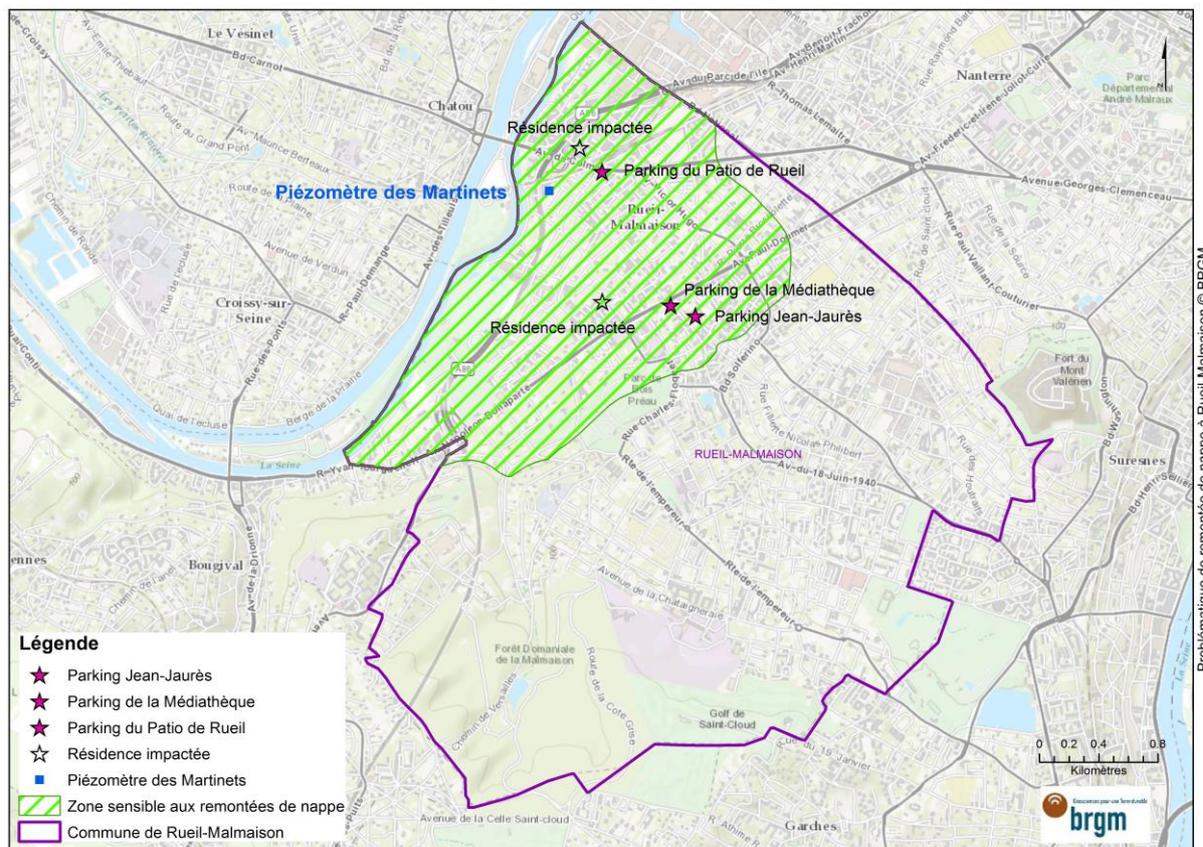


Figure 42 : Délimitation de la zone sensible aux remontées de nappe à Rueil-Malmaison.

Au droit de la zone sensible, la profondeur indicative de la nappe de la Craie, en juillet 2014, est globalement située à moins de 10 mètres de profondeur dans la partie nord de Rueil-Malmaison (voir chapitre 3.3 Carte indicative de la profondeur de la nappe).

Seuls les secteurs limitrophes à la Seine montrent un niveau inférieur à 5 mètres de profondeur.

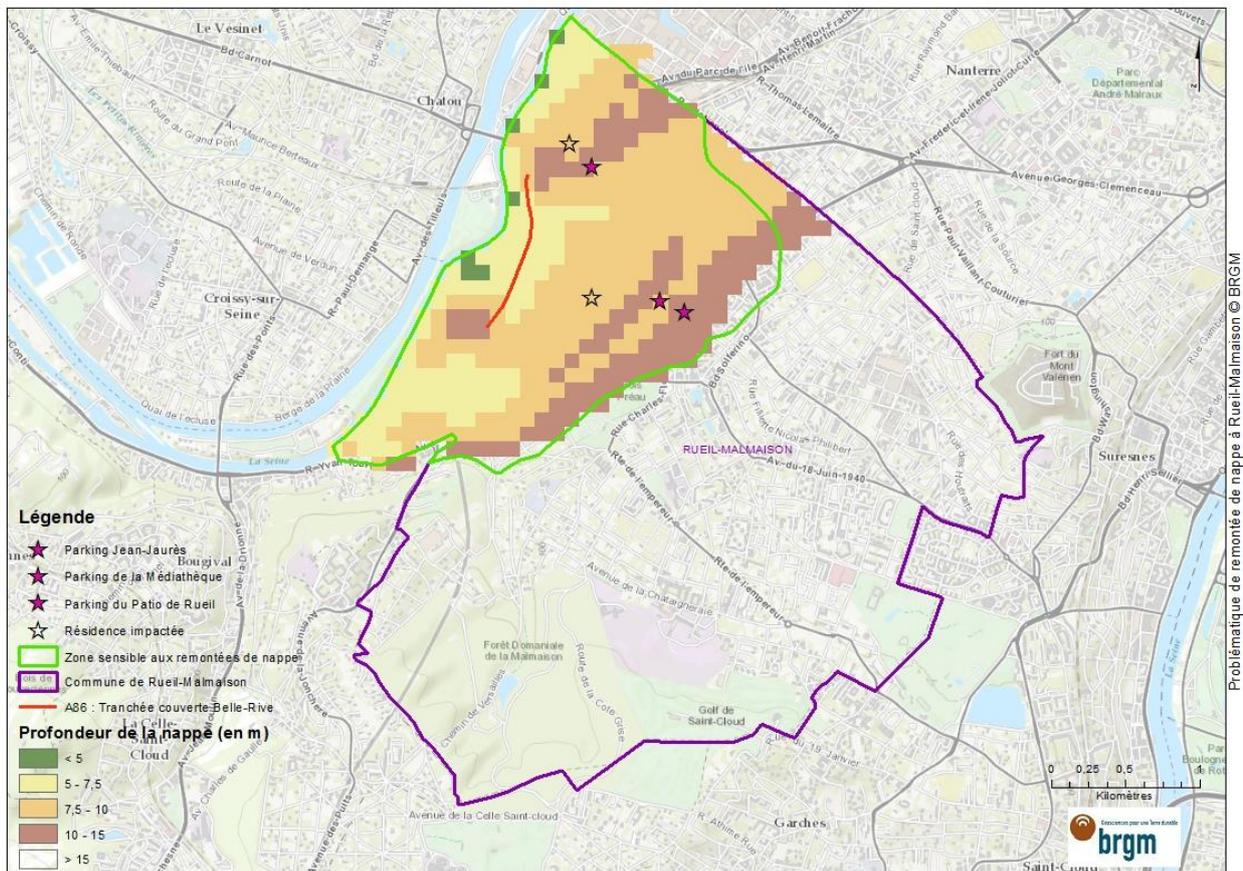


Figure 43 : Carte indicative de la profondeur de la nappe en juillet 2014 au droit de la zone sensible.

6.4. PRÉCONISATIONS

6.4.1. Poursuivre l'acquisition de données complémentaires sur la nappe de la Craie

Le BRGM préconise de poursuivre l'acquisition de données sur le suivi de la nappe de la Craie et les facteurs gouvernant ses variations :

- nivellement par un géomètre des piézomètres suivis, notamment le piézomètre de référence des Martinets ;
- équiper en matériel de mesure le piézomètre des Martinets pour avoir une acquisition de mesure au pas de temps horaire ;
- renforcer le suivi piézométrique de la nappe de la Craie :
 - au centre-ville, dans le secteur où les parkings sont impactés,
 - au travers de projets de construction ou d'aménagement au nord de la ville ;
- poursuivre le recueil de données avant et pendant les travaux d'aménagement.

Il est aussi préconisé de poursuivre les échanges techniques avec la Lyonnaise des Eaux sur les prévisions de prélèvements à court et moyen terme.

Afin de pérenniser le suivi piézométrique réalisé à Rueil-Malmaison, le BRGM préconise de bancariser les données mesurées dans la base de données ADES.

ADES est la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines qui rassemble sur un site internet public www.ades.eaufrance.fr des données quantitatives et qualitatives relatives aux eaux souterraines, dont les objectifs sont :

- de constituer un outil de collecte et de conservation des données sur les eaux souterraines ;
- d'être mobilisable par un large ensemble de partenaires et d'utilisateurs ;
- de permettre les traitements graphiques et cartographiques.

6.4.2. Modélisation hydrodynamique

À ce stade de l'étude, il n'est pas possible de déterminer précisément l'influence respective des différents facteurs à l'origine de la remontée de la nappe de la Craie. Seule une modélisation hydrodynamique maillée permettrait de :

- quantifier les apports respectifs des facteurs naturels et anthropiques ;
- prévoir les remontées prévisibles maximales de la nappe par simulation de scénarios de prélèvements et de recharge.

Sur la base des données et connaissances acquises au cours de l'étude et à partir du modèle géologique multicouche disponible dans le secteur de l'étude (modèle géologique tridimensionnel des formations tertiaires du centre du bassin de Paris) ou d'un modèle bicouche (alluvions et Craie), un modèle numérique des écoulements souterrains pourra être élaboré. Ce modèle sera strictement hydrodynamique avec l'objectif de représenter au mieux le contexte d'écoulement dans le système aquifère multicouche.

L'extension du modèle sera définie de sorte à couvrir largement la zone d'étude. Dans la mesure du possible, on choisira pour limites latérales des limites hydrogéologiques naturelles de façon à ne pas biaiser les résultats de modélisation par des conditions aux limites artificielles plus ou moins hypothétiques. Les données d'entrée du modèle (recharge, volumes d'eau prélevés etc.) collectées devront être intégrés dans le modèle

Une amélioration des connaissances serait toutefois nécessaire avant de réaliser un modèle fiable :

- améliorer le suivi du niveau de la nappe par automatisation des mesures, au pas de temps horaire, des piézomètres ;
- améliorer la connaissance sur le colmatage de la Seine.

Le modèle fera l'objet d'un calage hydrodynamique en régime permanent, pour une recharge pluviale moyenne, en ajustant la distribution spatiale des perméabilités jusqu'à obtenir une adéquation satisfaisante entre piézométries mesurée et simulée, puis d'un calage en régime transitoire en prenant en compte les champs captant de la Lyonnaise des Eaux.

7. Bibliographie

André P., Rich X., 1986 – *Remontées des nappes dans la vallée de la Seine. Département des Hauts-de-Seine*. BRGM-86 SGN 006 IDF.

Debuisson J., Michalski E., Rampon G., 1993 - *La remontée des nappes d'eau souterraine en site urbain – Aspects techniques, socio-économiques, réglementaires et juridiques*. Rapport de synthèse. BRGM/RR-30288-FR.

Bergeron C., Dehays H., Pointet T., 1983 - *Remontées des nappes d'eau souterraines causes et effets* – 83-SGN-353-EAU. BRGM, 56 p.

Zeglil Z., 2011 - Étude des nappes sous Paris et sa proche banlieue : évaluation de l'activité humaine (Travail de Master 2 Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie - Parcours Hydrologie-Hydrogéologie de l'Université Pierre et Marie Curie).

Gigan J.P., 1973 -Essai de cartographie géotechnique – Région de la Défense et Boucle de Gennevilliers (Hauts-de-Seine, France) – Thèse Université Paris VI.

Bibliographie Armines :

- **Ledoux E.**, 1989 - Mission d'étude hydrogéologique sur le site de Rueil-Malmaison, lieu-dit les closeaux, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Centre d'Informatique Géologique, rapport LHM/RD/90/4.
- **Ledoux E., Tillie B.**, 1988 - Déviation de la RN13 à Rueil-Malmaison, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Centre d'Informatique Géologique, rapport LHM/RD/88/21.
- **Levassor A.**, 1990 - Autoroute A86, Évaluation de l'effet de barrage entre le pont de Rouen et l'avenue Jules Quentin sur le niveau de la nappe phréatique, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Centre d'Informatique Géologique, rapport LHM/RD/90/51.
- **Viennot P.**, 1994 - Étude de l'impact des travaux autoroutiers de l'A86 sur la nappe phréatique – Évaluation de l'effet de barrage de l'ensemble des ouvrages de Rueil-Malmaison et Nanterre, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Centre d'Informatique Géologique, rapport LHM/RD/94/37.
- **Viennot P.**, 1995 -Rapport Technique Déviation de la RN13 à Rueil Malmaison – Évaluation de l'impact des crues de Seine – Efficacité d'un pompage sur le champ captant des Martinets ou à proximité de la zone de travaux, rapport LHM/RD/95/05.

Annexe 1

Série lithostratigraphique et hydrogéologique de la région Île-de-France

| Eres | Unités chronostratigraphiques | | | Unités lithostratigraphiques | Unités hydrogéologiques | | |
|-------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------------------|--|---|---|---|
| | Systèmes | Etages | Sous-étage | Formation | Grands aquifères | | |
| Quaternaire | Holocène Pléistocène | | | Alluvions : graviers et sables. Formations superficielles | Aquifères alluviaux / Aquifères locaux | | |
| Tertiaire | Miocène | Burdigalien | Burdigalien | Sables de Lozère, Sables de Sologne | Aquifère multicouche de l'Oligocène | | |
| | | Aquitaniens | Aquitaniens | Calcaire de Beauce sup. (calcaire de Pithiviers, calcaire de l'Orléanais) Molasse du Gâtinais | | | |
| | Oligocène | Stampien ou Rupélien | Chattien | Calcaire d'Etampes (Calcaire de Beauce inférieur, Calcaire du Gâtinais) | | | |
| | | | Stampien | Sables et grès de Fontainebleau Marnes à Huîtres (Molasse d'Etrecy) | | | |
| | | | Sannoisien | Calcaire de Brie Marnes vertes de Romainville et Glaises à Cyrènes | | | |
| | Eocène | Eocène supérieur | Bartonien supérieur (Priabonien) | Ludien | Marnes supragypseuses : marnes blanches de Pantin Marnes supragypseuses: Marnes bleues d'argenteuil Calcaire de Champigny Marnes infragypseuses | Aquifère multicouche du Calcaire de Champigny | |
| | | | | Bartonien inférieur | Marinésien | | Sables de Monceau Calcaire de Saint-Ouen |
| | | | | | Auversien | | Sables de Beauchamp, sables d'Auvers |
| | | | Eocène moyen | Lutétien | Lutétien | | Marnes et Caillasses Calcaire grossier |
| | | | | | Cuisien | | Argiles de Laon Sables de Cuise |
| | | Eocène inférieur | Yprésien | Sparnacien | Sables supérieurs : Sables et argiles à lignites du Soissonnais; Sables et grès de Breuillet (Arkose de Breuillet) Fausses glaises du Vexin Sables d'Auteuil Argile plastique bariolée du Vexin Conglomérat de Meudon | Aquifère multicouche de l'Eocène moyen et inférieur (ou aquifère multicouche du Calcaire grossier et des Sables du Soissonnais) | |
| | | | | | Tanétien | | Sables et conglomérats de Bracheux |
| | | | | | Dano-Montien | | Calcaire pisolithique et marnes de Meudon (marnes paléocènes) |
| | | Paléocène | | | | Aquifère des sables de Bracheux | |
| | | Secondaire | Crétacé | Crétacé supérieur | Sénonien | Craie blanche à silex | Aquifère de la Craie |
| | Santonien | | | | | | |
| | Coniacien | | | | | | |
| | Turonien | | | Craie marneuse | | | |
| | Cénomaniens | | | Craie sableuse / Craie glauconieuse | | | |
| Crétacé inférieur | Albien | | Néocomien | Argiles de Gault | Argiles, grès, sables | | |
| | | | | Sables verts | | | |
| | | | | Argile, sables | | | |
| | | | | Argiles, grès, sables | | | |
| | | | | Argiles, grès, sables | | | |
| Jurassique | Jurassique supérieur ou Malm | | Néocomien | Portlandien (Tithonien) | Calcaire | Aquifère supérieur du Jurassique | |
| | | | | Kimmeridgien | Marne | | |
| | | | | Oxfordien | Calcaire | Aquifère moyen du Jurassique | |
| | Jurassique moyen ou Dogger | | Néocomien | Néocomien | Callovien | Calcaire et marnes | Aquifère du Dogger |
| | | | | | Bathonien | Calcaires feuilletés et marno-calcaire | |
| | | Bajocien | | | Calcaires de base; calcaire à Entroques | | |
| | | Aalénien | | | Grès calcaires | | |
| | Jurassique inférieur ou Lias | Néocomien | Néocomien | Toarcien | Argiles, marnes et schistes | | |
| | | | | Domérien | Calcaires gréseux compacts | Aquifère du Domérien | |
| | | | | Pliensbachien | Marnes micacées | | |
| Sinémurien | | | | Calcaires gris bleus compacts | Aquifère du Sinémurien | | |
| Trias | | | Hettangien | Calcaires marneux et marnes | | | |
| | | | | Sables et grès | Aquifère locaux salés | | |
| | | | Socle | | | | |

Annexe 2

Fiches de synthèse de la campagne de mesure piézométrique

(Volume séparé confidentiel)

Annexe 3

Synthèse des études de modélisation de l'École des Mines de Paris

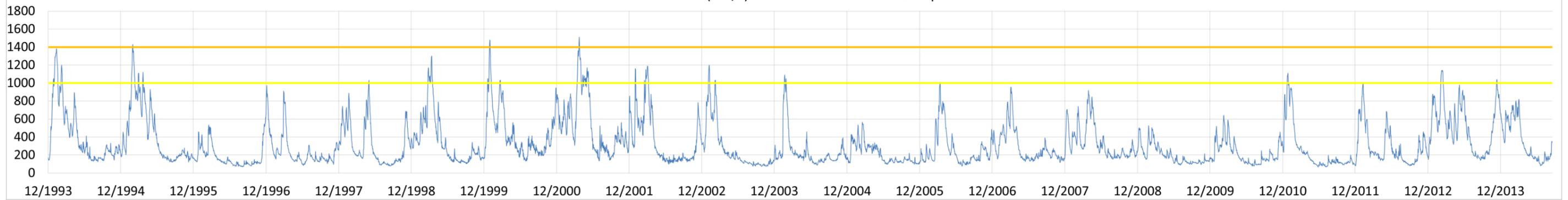
| Date | Ref. rapport | Nom | Objectif de l'étude | Contexte de l'étude/travaux | Contexte hydrogéologique | Exploitation champ captant | Investigations | Modélisation | Résultats | Conclusion de l'étude |
|------|--|--|--|---|---|--|---|--|---|---|
| 1988 | LHM/RD/88/21 | Déviations de Rueil-Malmaison entre le carrefour de la jonchère (RN13) et la tête rive gauche du pont de Chatou (RN190 et 186) : étude d'impact sur la nappe phréatique. | Évaluation de l'impact prévisible du franchissement en tranchée de la RN13 de la ligne du RER à Rueil-Malmaison sur les performances du champ captant en eau potable de Rueil de la SLEE situé en bordure de Seine. | Réalisation d'une tranchée et trémies d'accès disposées parallèlement à la Seine sur une longueur de 1000m. Le point bas du radier est prévu à la cote 17 mNGF soit 6 m sous le niveau des crues de la Seine (23mNGF) et des ancrages seront descendus jusqu'à 5 mNGF. Le risque est de créer un obstacle hydraulique gênant la réalimentation de la nappe à partir de la Seine et mettant ainsi en cause les performances du champ captant de Rueil. | Tranchées réalisées dans les alluvions anciennes dont la base est située entre 12 et 15 mNGF. Les parois moulées d'ancrage pénétreront au maximum d'une dizaine de m dans la craie sous-jacente. En 1988, le niveau de la nappe est situé en moyenne à 16 mNGF, à proximité du contact Alluvions/Craie. Les variations annuelles de niveau sont de l'ordre de 2 m. En 1948, le niveau piézométrique était situé à environ 21 mNGF. L'abaissement piézométrique observé depuis plusieurs années semble être la conséquence de l'exploitation AEP à Croissy et des prélèvements industriels. La nappe de la Craie présente à Rueil une forte transmissivité de l'ordre de $1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, ce qui explique les excellentes performances du champ captant de la SLEE. Les pompages d'essai (courte durée) réalisés par la SLEE et le LREP ont montré un coefficient d'emmagasinement de 1 à 3%. La productivité de la Craie est assurée par une fissuration fine et régulière jusqu'à la cote 5 mNGF, l'aquifère fournissant en moyenne 35% du débit total au-dessous de cette cote. | De 1975 à 1982, valeurs des volumes prélevés annuellement à Rueil (250, 1230, 200, 700, 900, 40, 870). En 1988, des prélèvements de l'ordre de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ sont maintenus aux Martinets. Le champ captant est gardé en état de fonctionnement pour une remise en service possible en cas de nécessité. | Essais de débit par pailliers en 1987 sur Cantorum et Martinets : bonne diffusivité de la nappe. $T = 3 \text{ à } 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, $9 \cdot 10^{-2} \text{ à } 4 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ et $1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$. Un essai de production global du champ captant de Rueil : $40 \text{ } 000 \text{ m}^3/\text{j}$. | Logiciel NEWSAM : différences finies. La relation nappe Seine est caractérisée par une condition de drainage. La condition de drainage est la plus faible au niveau de Rueil (sur le bras droit de la Seine). Le coefficient d'échange a été obtenu par calage. La modélisation a été actualisée à partir des résultats d'investigations : transmissivité au niveau de Rueil-Malmaison ajustée pour coter les rabattements piézométriques. Le calage est peu sensible à la valeur de transmissivité à distance (modélisation garde une valeur plus faible pour rester dans des hypothèses pessimistes quant à l'impact de la tranchée). | Régime permanent : une carte piézométrique est calculée pour un état moyen de la nappe en 1978 (hypothèses de l'étude ARLAB). Le régime transitoire donne le bilan calculé à la fin de l'essai -> pompage : 460l/s, apport de la Seine : 10 l/s, destockage de la nappe : 450 l/s. Ce résultat montre le faible rôle joué par la Seine pendant la durée de l'essai. L'analyse de sensibilité sur le coefficient nappe/Seine : peu d'influence sur les résultats du calage. Évaluation de l'impact de la tranchée : simulations effectuées au maximum de capacité du champ captant de Rueil (460 l/s soit $40 \text{ } 000 \text{ m}^3/\text{s}$) et avec 3 hypothèses sur le coefficient nappe-Seine (analyse de sensibilité). Simulation d'une coupure hydraulique totale et d'une coupure de 50% : peu de différence, l'impact de la coupure est minime. | Doutes sur le coefficient nappe/seine : analyse de sensibilité sur ce facteur sur la base de 3 hypothèses. Les performances du champ captant à sa capacité maximale de pompage ($40 \text{ } 000 \text{ m}^3/\text{j}$) ne devraient pas être significativement altérées, le supplément de rabattement calculé n'excédant pas 0,8 m au bout d'un mois dans l'hypothèse la plus pessimiste considérée. |
| 1981 | ARLAB 156/81 | | Étude des conséquences d'un projet d'accroissement des prélèvements du SEVESC sur les performances du champ captant de la SLEE à Croissy, compte tenu de la recharge artificielle de la nappe à partir des bassins d'infiltration. | | L'alimentation de la nappe est constituée des apports : de la Seine à travers son lit, latéraux par l'intermédiaire de la Craie compacte, le long des flancs de la vallée | | | Modèle mathématique avec les hypothèses suivantes : craie compacte à partir de 40 à 60 m de profondeur, sous recouvrement tertiaire. La transmissivité $T = 0,5$ et $8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et le coefficient d'emmagasinement E est compris entre 6 et 8%. Le coefficient de transfert Seine/Nappe est variable en fonction du débit de la Seine : $1,6 \cdot 10^{-5}$ à $3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. | | |
| 1990 | LHM/RD/90/4 | Société des pétroles SHELL : Mission d'étude hydrogéologique sur le site de Rueil-Malmaison, lieu-dit les Closeaux | Étude prévisionnelle de l'impact des forages du champ captant de Rueil sur la nappe au niveau du chantier Shell afin d'apprécier l'opportunité de mettre en œuvre le dispositif. | Réalisation d'un parking souterrain nécessitant le creusement d'une fouille de 10000 m ³ . Afin de protéger les aménagements souterrains d'une éventuelle remontée de la nappe consécutive à une crue de la Seine, il a été tout d'abord envisagé de créer un radier injecté dans la Craie entre parois moulées descendues à la cote +3 mNGF (la grande perméabilité de la Craie a entraîné un échec des injections) puis de réaliser un radier bétonné étanche "clouté" dans la Craie. La poursuite des travaux en hiver pose problème du fait de la hausse du niveau piézométrique, se maintenant naturellement 1 m sous le radier en construction. En conséquence d'une crue possible de la Seine, les capacités de pompage du champ captant de Rueil pourraient être sollicitées. | Transmissivité = $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ dans le secteur (pompages d'essais de 1987) | | | Modélisation de l'effet d'une crue de la Seine (Crue de la Seine d'amplitude unitaire : les résultats doivent être multipliés par l'amplitude réelle) | Impact d'une crue de la Seine : variable en fonction du coefficient nappe-seine. Par prudence : 50 % de l'amplitude de la Crue se transmet en 1 semaine au niveau du chantier. | La mise en œuvre de pompages est une solution pour la protection du chantier. Les pompages devraient être mis en œuvre à titre préventif : il serait imprudent d'attendre l'annonce d'une crue avant de commencer à pomper (15 jours de délai). 4 mois de pompage au débit maximum n'aurait pas d'impact sur le champ captant de Croissy. |
| 1990 | LHM/RD/90/51 | Autoroute A86 : évaluation de l'effet de barrage, entre le pont de Rouen et l'avenue Jules Quentin, sur le niveau de la nappe phréatique | Déterminer l'impact des travaux autoroutiers sur la nappe phréatique au niveau de la commune de Nanterre, entre le pont de Rouen et l'avenue Jules Quentin. | Mise en place d'écrans étanches, susceptibles de modifier les conditions actuelles d'écoulement des eaux souterraines dans le secteur. Les effets indésirables seraient des remontées de la surface libre de la nappe dans des zones fortement urbanisées. Construction d'un modèle mathématique sur toute la boucle de Gennevilliers : nappe phréatique en relation hydraulique avec la Seine. | Les isopiezés établies par Gigan en 1973 montrent une divergence des directions d'écoulement à partir de l'axe médian de la boucle de Gennevilliers. Ref. J.P Gigan : essai de cartographie géotechnique. Région de la Défense et boucle de Gennevilliers. Bulletin du BRGM, deuxième série, section III, n°3, pp. 147-177, 1973. | | | Modélisation d'une forte crue comparable à celle de 1955 (cote à 25,70 m pendant 15 jours au droit de Rueil-Malmaison). | | Possibilité de limiter les impacts des barrières par la mise en place d'un système de drainage léger. |
| 1994 | LHM/RD/94/37 | Étude d'impact des travaux autoroutiers de l'A86 sur la nappe phréatique : évaluation de l'effet de barrage de l'ensemble des ouvrages de Rueil-Malmaison et Nanterre. | Évaluation prévisible de l'effet de barrage sur la nappe phréatique des différents passages en tranchée de l'autoroute A 86 dans le secteur de Rueil-Malmaison et de Nanterre : portion d'autoroute comprise entre la tranchée couverte de Belle-Rive à Rueil-Malmaison et le Pont Becquet dans le secteur centre de Nanterre. | La mise en place de parois étanches susceptibles de modifier voire supprimer localement l'écoulement des eaux souterraines superficielles : problème de remontée même faible et localisée du niveau piézométrique de la surface libre de la nappe dans une zone fortement urbanisée. 4 ouvrages souterrains vont être réalisés, dont la tranchée couverte dite Belle-Rive à Rueil-Malmaison (entre la rue Marcel Pourtout et l'avenue de Colmar sur 1000 m de long). Un modèle mathématique d'écoulement a été construit. Calcul d'un état de référence (sans barrière) et d'un état futur (présence d'écrans étanches) : la différence représente l'impact hydrodynamique du projet. Calcul de l'influence des prélèvements industriels dans la nappe de la Craie sur la piézométrie locale, en présence ou non de barrières étanches. | Dans la partie sud de la boucle de Gennevilliers, la nappe phréatique est constituée par la nappe du Montien et de la Craie, surmontée par les alluvions. Dans cette zone, l'argile plastique du Sparnacien a été érodée. Le pendage général des différents horizons géologiques étant orienté vers le NE, suivant l'axe longitudinal de la boucle, la nappe de la Craie devient captive sous les argiles plastiques du Sparnacien au niveau de la comue de Nanterre. | | Carte de distribution des transmissivités. Coefficient de transfert nappe/Seine, caractérisant la liaison hydraulique entre la nappe et la Seine, représente le moteur des variations piézométriques engendrées dans la nappe par les crues de la Seine notamment. Ce coefficient est peu connu sauf au niveau de la zone du Pecq et de Croissy (calage à partir d'essais de pompage). Dans les calculs, la valeur élevée de $3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (hypothèse 2 de l'étude de 1988) a été retenue. Les mailles de la Seine sont en cote de drain imposées. Piézométrie de Gigan (1973) montre une réalimentation de la nappe par la surface. Hypothèse de l'étude 1990 (Levassor) : alimentation de la nappe par précipitations et fuite du réseau d'eau et d'assainissement. | Piézométrie calculée en régime permanent : piézométrie naturelle, non perturbée par les pompages. Au niveau de Rueil, le niveau calculé est de l'ordre de 21,5 m (cote moyenne entre les niveaux des deux bras de Seine dans ce secteur) et de 20 m plus en aval. Après injection des prélèvements de Croissy, le niveau de la nappe baisse rapidement à Rueil pour atteindre 11 mNGF au droit des captages de Croissy. Figure des niveaux piézométriques calculés le long du tracé de l'autoroute : impact des prélèvements de Croissy sur le profil de l'A86 -> influence jusqu'à plus de 3,5 km en amont. Au niveau de Belle-Rive : différence de 3,7 m entre état naturel et influencé. Représentation des écrans : écrans imperméables sur toute la hauteur de l'aquifère (hypothèse maximaliste). Mailles à transmissivité très faible. En régime naturel, la cote remonte en amont de l'écoulement et baisse à l'aval. Simulation d'une crue fictive de la Seine : seul événement susceptible de faire varier de manière significative le niveau de la nappe, en dehors d'une modification significative des prélèvements. Impact d'une onde de crue qui se propage dans la nappe. Hypothèse : le flux de recharge de la nappe par sa surface est constant donc indépendant des précipitations et l'effet de débordement du lit majeur du fleuve a été négligé. Simulation de la réduction de l'effet de barrage par des drains : mise en place d'un système de drainage discontinu le long des ouvrages souterrains. Identification de certaines mailles à des drains, avec coefficient de drain élevé et évacuation des eaux prélevées dans le réseau de drainage de l'autoroute. | En régime permanent, la Seine intervient très peu dans l'écoulement de la nappe entre Rueil et Croissy. Les prélèvements de Croissy influencent la piézométrie de la ville de Rueil de façon non négligeable. L'ouvrage de Belle-Rive à Rueil ne constitue qu'un barrage partiel à l'écoulement puisque les parois moulées d'ancrage ne devraient pénétrer que d'une dizaine de m dans la formation crayeuse. Le moindre espace laissé à l'écoulement permet de diminuer fortement l'effet de barrage. L'influence à Belle-Rive serait alors inférieure à 50 cm. En régime naturel : onde de crue sensible à moins de 1km de la Seine et après 60 jours de décrue, la piézométrie est sensiblement revenue à la normale. Profil piézométrique le long de l'A86 pendant et après la crue, avec ou sans exploitation du champ captant de Croissy. Le réseau de drainage permet aisément de récupérer le niveau piézométrique initial. Les débits mis en jeu restent faibles et sont de l'ordre de 15 l/s au niveau de Rueil. | |
| 1995 | LHM/RD/95/05 | Déviations de la RN13 à Rueil-Malmaison : évaluation de l'impact des crues de Seine et efficacité d'un pompage sur le champ captant des Martinets ou à proximité de la zone de travaux | Estimer l'influence du niveau de la Seine sur le niveau moyen de l'aquifère pendant la période de réalisation des travaux de contournement de la commune de Rueil-Malmaison par le RN13. Réutilisation et actualisation du modèle construit en 1988 avec extension vers l'est, ajustement du modèle sur la période 1990-1994. Simulations de différents scénarios de crues de Seine, calculs de profils d'onde de crue en fonction du temps, simulation de l'effet du pompage du champ captant de Rueil ou à proximité de la zone des travaux. | Réalisation d'une tranchée étanche et de trémies d'accès disposées parallèlement à la Seine (de 150 à 450 m) sur une longueur de 1000 m. Le point bas des terrassements est situé vers 16,5 mNGF, soit 7 m sous la cote moyenne du bras de la Seine le plus proche (23,5 mNGF). Durant l'hiver 1994, le niveau de la nappe est monté à près de 18 mNGF pour ne réatteindre sa cote normale (entre 15,5 et 15,8 m) plus de 6 mois plus tard. | Le projet s'inscrit dans la plaine alluviale de la Seine à une distance comprise entre 150 et 450 m du bras gauche de la Seine. Cette plaine est relativement plane dans ce secteur (de 20,5 à 29 mNGF). Dans ce secteur, les dépôts alluvionnaires d'une épaisseur de 12 à 14 m sont composés de sables fins et limons (alluvions modernes) surmontant des sables et graviers (alluvions anciennes) et reposent sur la Craie. Le niveau piézométrique de la nappe Craie + alluvions se situe en 1994 vers 15 - 15,5 mNGF en période d'étiage. L'amplitude des fluctuations annuelles est de l'ordre de 2 m, en rapport avec les crues de la Seine et les débits d'exploitation industrielle. | | Réutilisation du modèle de 1988 avec même param (T, D, porosité etc...). Ces éléments seront ensuite affinés lors des calculs en régime transitoire calés sur la période 1990 - 1994. $T = 8 \cdot 10^{-2} \text{ à } 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (Craie) et $6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Alluvions anciennes). Coefficient d'emmagasinement : 8 % (Craie) 10 % (Alluvions anciennes). Coefficient de transfert nappe/Seine : $3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Simulation de crue de Seine : prévoir l'évolution dans le temps du niveau piézométrique de la nappe au droit de la zone de travaux en simulant différents scénarios d'évolution du niveau de Seine. Prospectives sur 150 jours (to étant le 25 novembre 1994). Deux profils de crues de Seine ont été introduits dans les modélisations prospectives. Simulation de pompages implantés à proximité de la zone de travaux. Simulation des pompages au niveau du champ captant des Martinets. | Calage du modèle en transitoire : 1990-1994. Coefficient de transfert fixé pour le bras gauche (amont de Bougival) à $2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et imposé comme étant variable au niveau du bras droit de $2 \cdot 10^{-4} \text{ à } 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Le bras situé en amont de l'écluse de Bougival (bras gauche navigable) à un débit relativement constant et que de ce fait, les variations de mouvements de fluide au fond du lit de la Seine sont plus faibles que celles observées au niveau du bras droit (aval du barrage de Chatou) dont le niveau et le débit fluctuent à longueur d'année entraînant un brassage/lessivage plus important des dépôts dans le lit du fleuve. Résultats du calage : $T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $D = 14\%$ (transmissivité régionale issue du calage du piézomètre des Martinets). Evolution du niveau piézométrique calculé à proximité de la zone de travaux selon les 2 hypothèses de crue : pour les crues de faibles amplitudes (< à 22,7 m), le niveau dépasse de peu la cote 16,5 m - pour des crues dites "intermédiaires" (niveau maximal < à 23,5 m), le niveau peut atteindre 17,3 m - pour des crues supérieures (> 24,7 m), le niveau de la nappe peut atteindre 18 m. Utilisation des 2 forages à un débit de 525 m3/h permet de rabattre la nappe sous la cote de 16,5 m. | Il est techniquement possible d'abaisser le niveau de la nappe sous la cote 16,5 m à partir des deux hypothèses de pompage, dans le cas d'une crue importante de la Seine (24m) : 3 fois 100 m3/h répartis le long de la tranchée ou 300 et 225 m3/h au niveau des forages des Martinets (75% de leur débit nominal). Pour une crue > 24 m, les débits augmentent (3 fois 150 m3/h). La différence entre la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement obtenus après calage en comparaison des valeurs mesurées en 1988 : diffusivité régionale représentant une moyenne des hétérogénéités de la Craie (réseaux de fissuration) et zone particulièrement fissurée localement avec développement des puits utilisés. Prévoir une marge de sécurité (capacité de 200 m ³ /h par puits) | |
| 1997 | Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°207 | L'incidence d'une crue sur un ouvrage enterré. La modélisation numérique : outil d'aide à la décision pendant les travaux | Le profil de la tranchée a été calé le plus haut possible, de manière à permettre une réalisation des terrassements à sec. Le niveau naturel de la nappe s'établirait à 20 mNGF environ sans les prélèvements industriels, il rejoindrait le niveau de base de la Seine en aval de Chatou et il en suivrait les fluctuations. Afin de mettre l'ouvrage hors d'eau et pour compenser les sous-pressions, la tranchée comporte un radier ancré par micropieux (calculés pour une hypothèse de crue centennale, soit un niveau de nappe à plus de 26,5 mNGF). Par référence aux relevés effectués sur les crues des dernières années, la valeur de calcul du niveau de la nappe en phase des travaux a été fixée à 16,5 mNGF. Les travaux de la tranchée couverte ont démarré fin 1993 : perforation des parois moulées de janvier 1994 à juin 1994, réalisation de la dalle de couverture jusqu'en juin 1995. Les terrassements en taupe étaient prévus, précédant la réalisation des micro-pieux puis le coulage du radier. En décembre 1994, les terrassements généraux de la tranchée étaient terminés, le fond de forme étant protégé par un béton de propreté et la réalisation de micropieux d'ancrage du radier démarrait. La mise en place de pompages pendant la crue de 1995, d'amplitude équivalente à 1994 mais plus longue, a permis de maintenir le niveau de la nappe sous la cote 16,80 mNGF, le chantier n'a pas été immobilisé (terrassement en taupe) | Bien que non exploité actuellement, le champ captant des Martinets constitue un dispositif de secours ou d'appoint éventuel. La réalisation des parois moulées de la tranchée jusqu'à 5 mNGF pouvait laisser craindre une diminution des performances du champ captant. | Les prélèvements dans la Craie ont atteint 45 M m3/an entre 1982 et 1997, en partie compensés par la réinjection depuis 1971. La cote minimale observée à Croissy était de 11 mNGF en 1976. | | | | | |

Annexe 4

Graphique du niveau de la Seine à la station hydrométrique « Pont d'Austerlitz » à Paris

Evolution du niveau de la Seine à la Station hydrométrique "Pont d'Austerlitz"

- Débit (m3/s) - Biennale - Quinquennale



Annexe 5

Coupe schématique de l'A86 au niveau de Rueil-Malmaison



MINISTERE DE L'EQUIPEMENT,
DU LOGEMENT,
DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE,
ET DES TRANSPORTS

DIRECTION
DEPARTEMENTALE
DE L'EQUIPEMENT
DES HAUTS DE SEINE



Opération 83 C 92 A
Commune de RUEIL-MALMAISON

DEVIATION de RUEIL-MALMAISON
entre la RN 13 et la RN 190

AVANT PROJET MODIFICATIF

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

PROFIL EN LONG GEOLOGIQUE

Echelles 1/2000 1/200

Classement 384
Date du plan

SUBDIVISION D'ETUDES
ET DE TRAVAUX NEUFS

Y. LEICHTNAM
Ingénieur des T.P.E

Colombes le
9 JUIN 1988

ARRONDISSEMENT
OPERATIONNEL

J.P. NEGRE
Ingénieur des P & C

Nanterre le
9 JUIN 1988

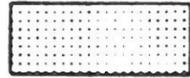
DIRECTION
DEPARTEMENTALE
DE L'EQUIPEMENT
J.M. PERRIN
Ingénieur en Chef
des P&C

Nanterre le

3.2

AXE RN 13

REMBLAIS



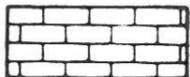
ALLUVIONS MODERNES



ALLUVIONS ANCIENNES



CRAIE



ORIGINE DU PROJET

25 NGF

20 NGF

15 NGF

10 NGF

5 NGF

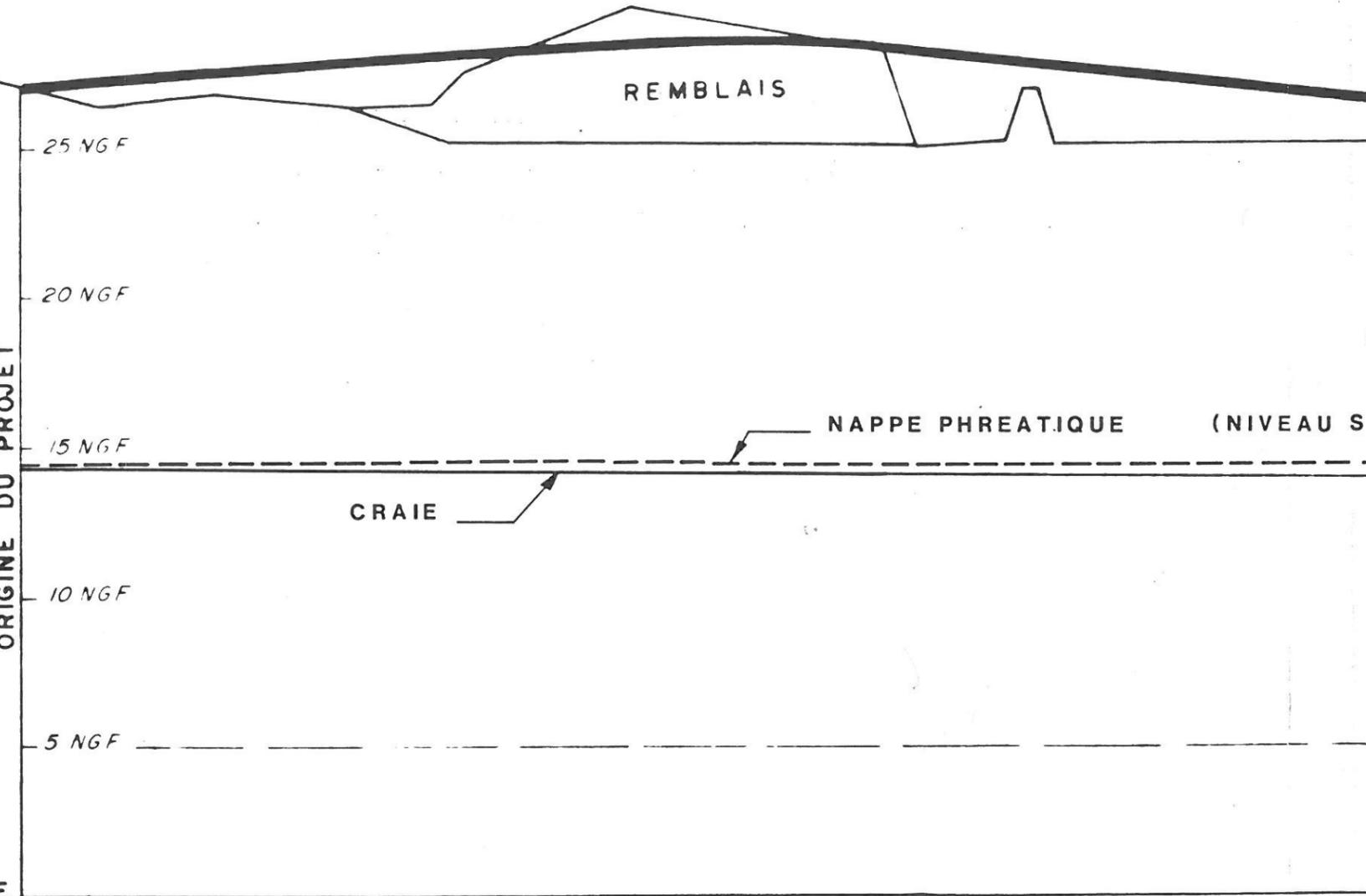
REMBLAIS

NAPPE PHREATIQUE (NIVEAU S)

CRAIE

ECHELLES Hauteurs 1/200
Longueurs 1/2000

Plan de comparaison : 0,0 NGF.



RUE M. POURTOUT
Axe actuel



REMBLAIS

25.80

25.80

22.70

21.00

11.20

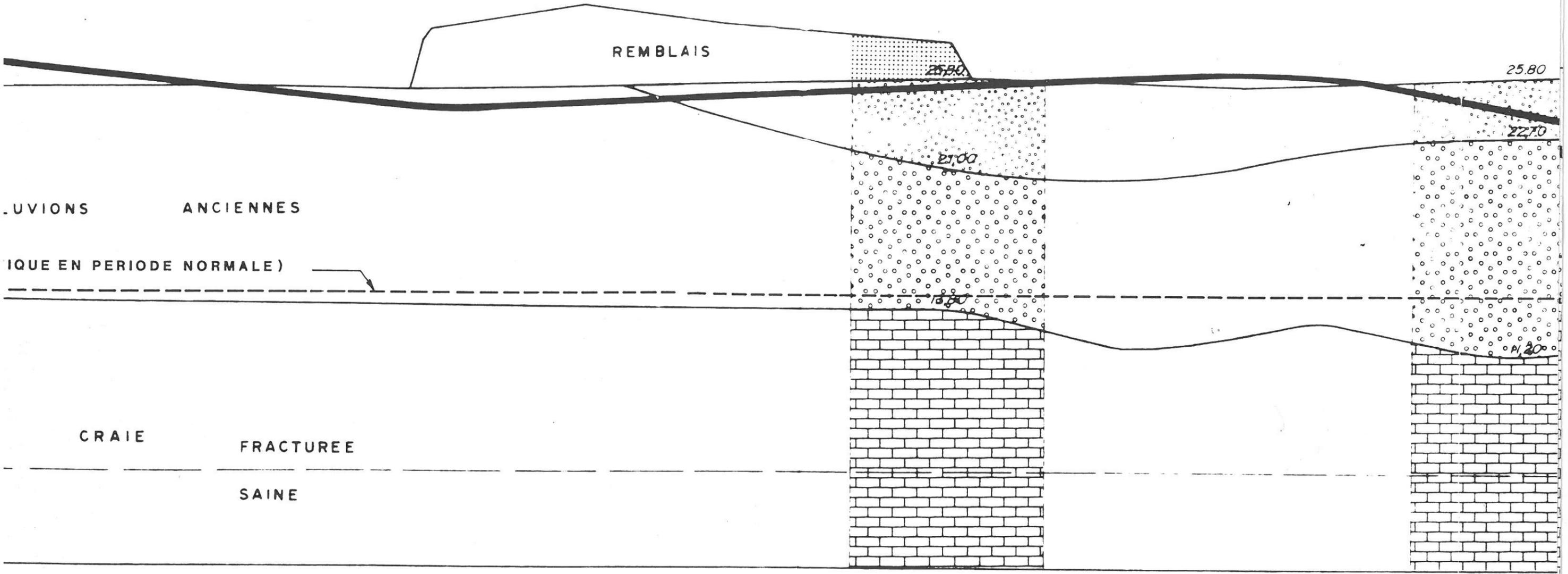
UVIONS ANCIENNES

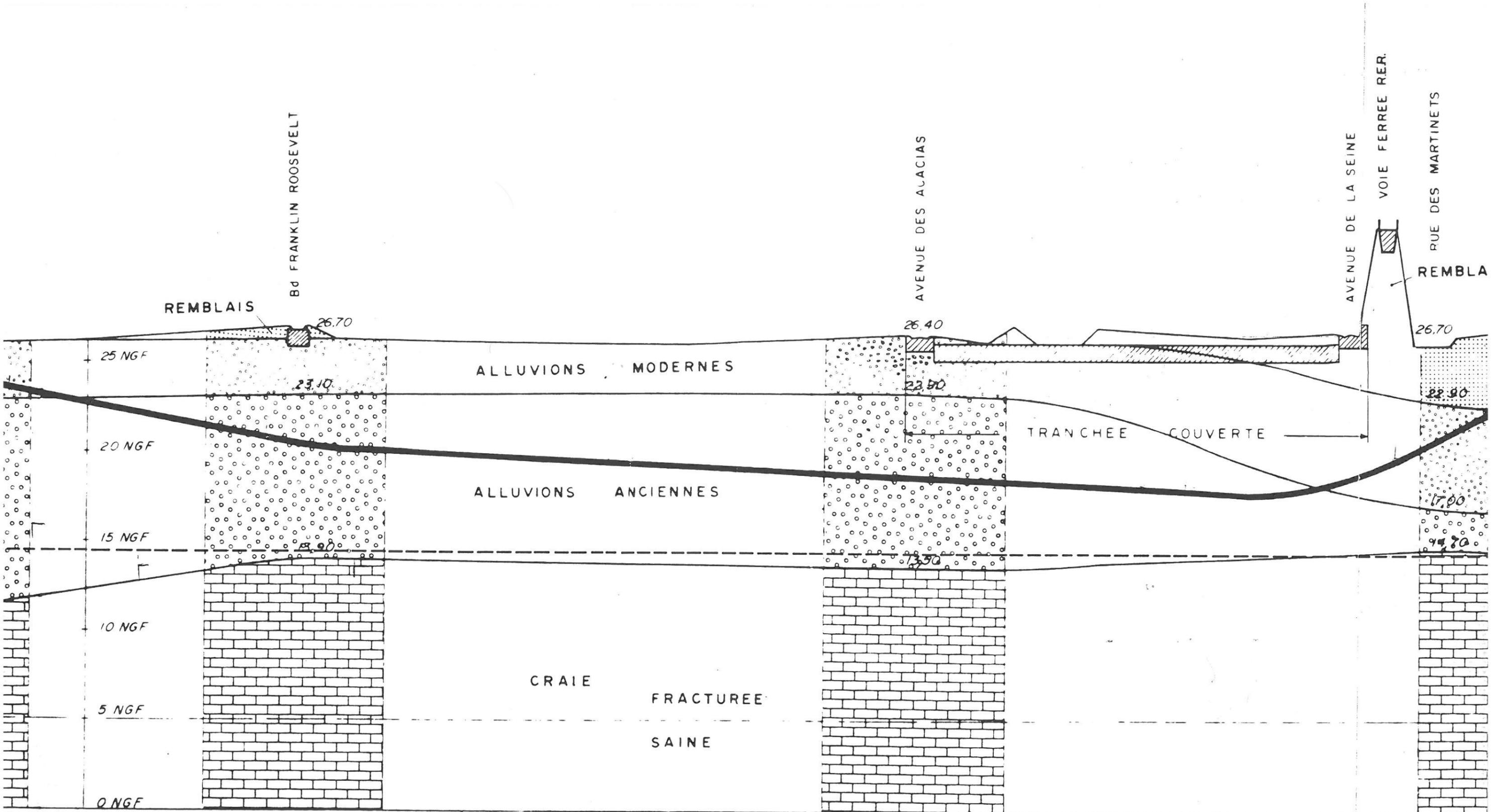
(IQUE EN PERIODE NORMALE)

CRAIE

FRACTUREE

SAIN





REMBLAIS

Bd FRANKLIN ROOSEVELT

AVENUE DES ALACIAS

AVENUE DE LA SEINE

VOIE FERREE RER.

RUE DES MARTINETS

REMBLA

ALLUVIONS MODERNES

ALLUVIONS ANCIENNES

CRAIE
FRACTUREE
SAIN

TRANCHEE COUVERTE

25 NGF

20 NGF

15 NGF

10 NGF

5 NGF

0 NGF

26.70

23.10

26.40

22.90

26.70

22.90

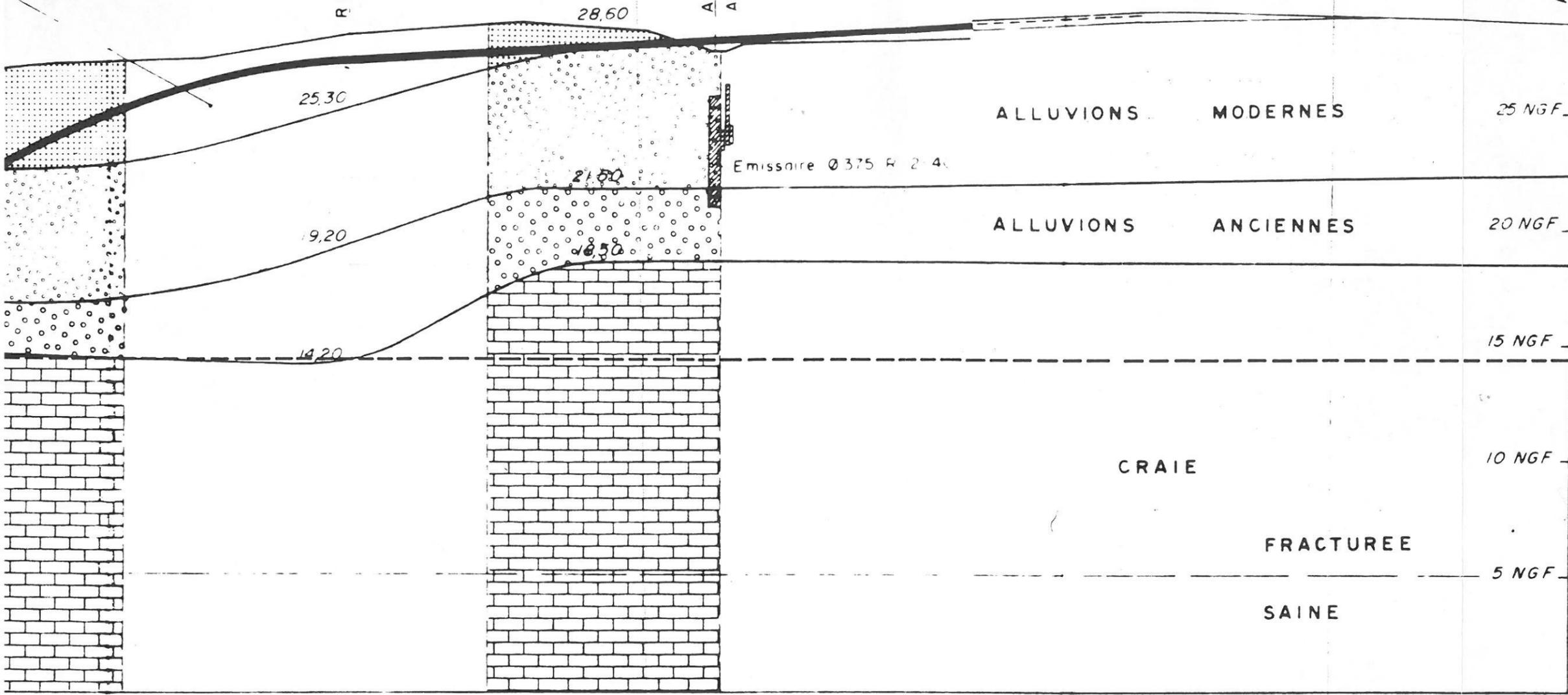
17.00

14.80

R N 190 AVENUE DE COLMAR

Axe future voie AVENUE ALBERT 1^{er}

AXE AVENUE DE CHATOU R. N. 186



ALLUVIONS MODERNES

25 NGF

ALLUVIONS ANCIENNES

20 NGF

CRAIE

10 NGF

FRACTUREE

5 NGF

SAINE

0 NGF

FIN DU PROJET



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Ile-de-France

7 rue du Théâtre
91300 Massy – France

Tél. : 01 69 75 10 25