

Projet Sevrans Terre d'Avenir

Etude hydrogéologique sur la faisabilité d'un lac artificiel alimenté par la nappe phréatique



Projet Sevrans Terre d'Avenir - Etude hydrogéologique sur la faisabilité d'un lac artificiel alimenté par la nappe phréatique

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V0	04/10/16	Cette version du rapport est une version provisoire.
V1	10/11/16	

Affaire suivie par

Emmanuel DUMONT - Département Géosciences Risques – Unité Risques, Sols Urbains, Eaux Souterraines
Tél. : 01 48 38 81 04
Courriel : emmanuel.dumont@cerema.fr
Site du Bourget : Cerema / Dter IdF – BP 134 - Rue de l'égalité prolongée - 93352 Le Bourget

Références

n° d'affaire : C16PR0033
maître d'ouvrage : Etablissement Public d'Aménagement Plaine de France
Devis n° D16PR0033 du 19/02/2016

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Emmanuel Dumont, Charles Kreziak, Mireille Perrot, Gaëlle Pétillon, Jérémie Sage	03/11/16	
Contrôlé par	Mireille Perrot	08/11/16	
Validé par	Cécile Maurel	10/11/16	

Participants

Emmanuel Dumont, Philippe Guezennec, Charles Kreziak, Mireille Perrot, Gaëlle Pétillon, Jérémie Sage

Résumé de l'étude :

Dans le cadre du projet Sevrans Terre d'Avenir, un pôle sportif comprenant un lac artificiel doit être aménagé. Plusieurs solutions ont été étudiées par l'Agence ATM pour alimenter ce lac, dont une alimentation par la nappe phréatique. L'EPA Plaine de France a alors chargé le Cerema d'étudier la faisabilité d'une telle alimentation.

L'étude du Cerema a consisté en une caractérisation géologique et hydrogéologique du site, lors de laquelle un modèle géologique du site et deux cartes piézométriques ont été établis. L'alimentation du lac a ensuite été étudiée à l'aide d'un modèle hydrologique de type réservoir. Enfin, ces éléments ont été confrontés avec les principaux risques identifiés, à savoir le risque de dissolution du gypse et le risque de pollution de la nappe phréatique.

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION.....	4
1.1 Contexte de l'étude.....	4
1.2 Objectif de l'étude.....	5
2 MÉTHODOLOGIE.....	6
2.1 Méthodologie.....	6
2.2 Présentation des scénarios d'aménagement.....	7
3 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	9
3.1 Situation géographique.....	9
3.2 Contexte géologique.....	11
3.3 Contexte hydrogéologique.....	14
4 CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE DU SITE.....	15
4.1 Fluctuations piézométriques.....	15
4.2 Carte piézométrique de la nappe phréatique.....	18
4.3 Perméabilité des formations aquifères.....	20
4.4 Construction d'une chronique piézométrique type.....	22
5 ÉTUDE DE LA RÉALIMENTATION DU LAC.....	24
5.1 Méthodologie.....	24
5.2 Modélisation des scénarios.....	25
5.3 Synthèse.....	30
6 FAISABILITÉ DU LAC AU REGARD DES RISQUES IDENTIFIÉS.....	32
6.1 Aléa lié à la dissolution du gypse.....	32
6.2 Sites et sols pollués.....	37
7 CONCLUSIONS.....	40
7.1 Synthèse.....	40
7.2 Incertitudes et suites à donner.....	41
ANNEXES.....	44
Annexe 1 : Emplacements des piézomètres recensés.....	44
Annexe 2 : Emplacements des essais de perméabilité bibliographiques.....	47

1 Introduction

1.1 Contexte de l'étude

Le projet Sevrans Terre d'Avenir prévoit une redynamisation de la ville en lien avec l'arrivée des deux gares du Grand Paris Express (Sevrans-Beaudottes et Sevrans-Livry, mise en service prévue en 2023) et la création de l'arc paysager «Nature, Loisirs». Ce projet s'articule autour de 3 pôles (Figure 1) :

- la gare Sevrans-Livry au Sud,
- les terrains Montceuleux, à l'Est
- la gare Sevrans-Beaudottes, au Nord.

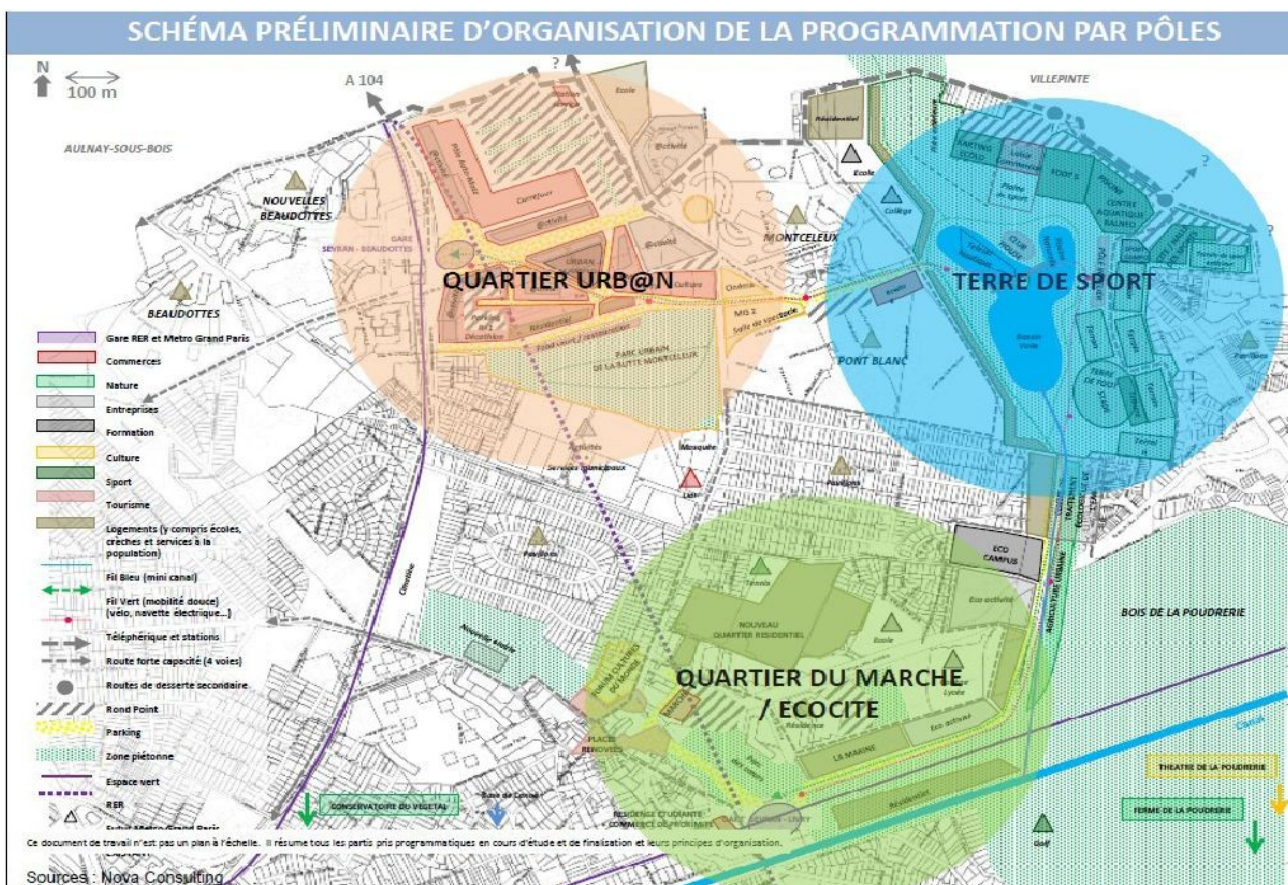


Figure n°1 : Schéma préliminaire d'organisation de la programmation par pôles

Le pôle sportif se concentre à l'est du projet, sur les terrains Montceuleux, avec le regroupement et la construction d'une piscine, d'un lac artificiel, d'une zone de baignade, de loisirs nautiques, d'un stade, d'une salle de sport, de jeux extérieurs et d'une clinique du sport. Le secteur de la gare Sevrans-Beaudottes va revaloriser son centre commercial. Enfin des logements vont s'implanter le long de l'arc et surtout à proximité des deux gares.

La création du lac, objet de la présente étude, soulève plusieurs problématiques, notamment en ce qui concerne son alimentation en eau. L'étude réalisée en 2015 par l'Agence ATM (Sevrans Terre d'Avenir – La place de l'eau dans le projet – Mission de cadrage – novembre 2015) a permis d'identifier quatre possibilités pour l'alimentation de ce lac artificiel :

- alimentation en direct par la nappe phréatique,
- alimentation par la Morée,
- alimentation par le Canal de l'Ourcq,
- alimentation par le ruissellement.

La solution idéale recommandée par l'Agence ATM consisterait en une combinaison de ces modes d'alimentation : une alimentation à la fois par la nappe et par le ruissellement, avec l'éventuelle possibilité d'une alimentation d'appoint.

L'alimentation du lac par la nappe nécessite cependant une étude hydrogéologique afin de déterminer la faisabilité d'une telle pratique, comme cela est recommandé dans le rapport de l'Agence ATM.

1.2 Objectif de l'étude

Les deux objectifs principaux de l'étude du Cerema sont d'étudier la faisabilité de l'alimentation du lac par la nappe phréatique et d'étudier la faisabilité d'une telle pratique vis-à-vis du risque de dissolution du gypse et de la présence de sites pollués.

Dans cette optique, la mission du Cerema a consisté dans un premier temps à établir un modèle géologique conceptuel et à caractériser le fonctionnement hydrogéologique de la zone. L'alimentation du lac a ensuite été étudiée à l'aide d'un modèle hydrologique, permettant de simuler en continu sur une période longue le fonctionnement hydrologique du plan d'eau. Le modèle géologique ainsi que le recensement des désordres dus à la dissolution du gypse ont ensuite permis d'étudier la faisabilité du projet au regard du risque de dissolution du gypse. Enfin, les sites et sols pollués répertoriés à proximité de la zone d'étude ont été recensés.

2 Méthodologie

2.1 Méthodologie

Cette étude s'est dans un premier temps basée sur une analyse des données bibliographiques disponibles, en particulier :

- FONDASOL (2016) – EPA Plaine de France - Pose et relevés de piézomètres - prélèvements et analyses chimiques des eaux - Investigations Géotechniques (IPE.15.0126.INDB)
- ATM (2015) - Sevrans Terre d'Avenir : La place de l'Eau dans le projet - Mission de Cadrage
- Technosol (2015) – Gare SNCF Sevrans Beaudottes – Reconnaissance de sols (TEA150068)
- INERIS (2013) - Évaluation de l'aléa mouvements de terrain lié à la dissolution du gypse sur les Communes de Sevrans, Villepinte et Tremblay, Seine-Saint-Denis, Île-de-France (DRS-13-130829-04972A)
- INERIS (2011) - Étude des processus de dissolution affectant le sous-sol du Bois de la Tussion (Seine-Saint-Denis) - Évaluation de l'aléa et proposition de solutions d'aménagement adaptées (DRS-11-100905-02718A)
- LREP (1991) – Bassin de retenue de la Mare aux Poutres – Étude géotechnique (GEF 11672)
- LREP (1985) – Bâche d'accumulation d'eaux usées à Sevrans – Compte rendu du suivi de chantier (GEF 8187)
- LREP (1983) – Chambre de stockage d'eaux usées à Sevrans – Étude géotechnique (GEF 7288)
- Poupelloz B. et Hirschauer A. (1980) – Alimentation d'un plan d'eau par la nappe phréatique – Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (n°106 – mars-avril 1980)
- LREP (1976) – Autoroute A87 : Avant Projet Détaillé – Étude géotechnique (GEF 1490-1)

Un modèle géologique de la zone a ensuite été établi à partir de la base de données de sondages du Cerema, afin de préciser les épaisseurs respectives des différentes couches au droit de la zone d'étude.

- LREP (1971) – S.D.A.U. d'Aulnay-Sevrans – Synthèse géologique (GEF 810-1)

On notera que les rapports d'études géotechniques relatives au collecteur de la Morée (Ø1600 Morée EP), au collecteur de la Morée par temps sec (collecteur départemental Ø1800), et les études d'avant-projet de la cuve de Sevrans n'ont pu être récupérées. Les informations géologiques acquises lors de ces projets pourraient contribuer à l'amélioration du modèle géologique de la zone.

Un modèle géologique de la zone a ensuite été établi à partir de la base de données de sondages du Cerema, afin de préciser les épaisseurs respectives des différentes couches au droit de la zone d'étude.

Le fonctionnement hydrogéologique du site a été caractérisé à l'aide de données bibliographiques et de campagnes de relevés piézométriques réalisées en octobre 2015 et en avril 2016. Les données acquises par le Cerema ont été complétées par des données du Conseil Département de Seine-Saint-Denis (DEA 93), de la Société du Grand Paris (SGP) et de Fondasol, afin de dresser des cartes piézométriques et déterminer les sens d'écoulement de la nappe phréatique dans la zone d'étude.

Cette phase de caractérisation de la géologie et de l'hydrogéologie du site s'est conclue par la nécessité de réaliser une campagne de reconnaissance complémentaire permettant d'améliorer la connaissance du site. Le Cerema a ainsi préconisé la réalisation de :

- 4 sondages d'une profondeur variant entre 7 m (pour les 2 sondages destructifs) et 20 m (pour les 2 sondages carottés),
- 3 piézomètres, dont 2 profonds et 1 court, afin de pouvoir comparer les caractéristiques (niveaux de nappe et géochimie) de la nappe superficielle et de la nappe du Saint-Ouen,
- 7 essais de perméabilité de type Lefranc,
- prélèvements d'eau dans les piézomètres, suivis d'analyses physico-chimiques (pH, Conductivité, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Sr^{2+} , SO_4^{2-} , Alcalinité (HCO_3^-), NO_3^- , Cl^-).

Ces reconnaissances doivent commencer en novembre 2016 et être effectuées par le bureau d'études FONDASOL.

Une fois le fonctionnement hydrogéologique du site défini, un modèle hydrologique de type réservoir a été développé afin d'étudier l'alimentation du lac par la nappe phréatique. Des échanges avec l'EPA Plaine de France et l'agence LIN, chargée d'élaborer le projet urbain et paysager de Sevrans Terre d'Avenir, se sont déroulés afin d'envisager différents scénarios d'aménagement du lac.

Enfin, sur la base de tous les éléments réunis, les risques que de tels aménagements pourraient susciter en termes de dissolution du gypse ont été évalués.

2.2 Présentation des scénarios d'aménagement

À l'issue des échanges avec le comité technique, quatre scénarios de dimensionnement du plan d'eau ont été retenus sur la base de propositions de l'agence d'architecture et d'urbanisme LIN. Différentes configurations ont ainsi été introduites, avec des surfaces en eau (S) variables et des découpages du plan d'eau en deux à trois bassins pour trois des scénarios proposés (voir schéma ci-après). Peuvent ainsi être distingués :

- Un scénario « minimum » (S = 2.05 ha, 1 bassin)
- Un scénario intermédiaire « de référence » (S = 7.1 ha, 2 bassins)
- Un second scénario intermédiaire (S = 6.83 ha, 3 bassins)
- Un scénario « maximum » (S = 8.9 ha, 2 bassins)

Pour chacun de ces scénarios, les cotes visées pour le niveau d'eau bas du lac sont de l'ordre de 56 m NGF (56,5 m NGF sur les bassins situés en partie nord de la zone d'aménagement et 55 m NGF sur ceux situés en partie sud) avec un marnage d'environ 1,5 m. (NB : les surfaces associées aux différents scénarios correspondent ici la surface en eau pour un niveau bas des eaux sur les différents bassins)

Certaines caractéristiques géométriques des bassins, telles que la pente des berges ou la profondeur du lac, n'ont pas été fixées de façon précise pour la définition des différents scénarios. Ces dernières ont cependant fait l'objet de préconisations. Dans la suite, les pentes des berges sont ainsi supposées comprises entre 1:10 et 1:4 en partie immergée et égales à 2 % au-dessus de la cote visée. Des valeurs de profondeur du plan d'eau comprise entre 2 et 3 m sont par ailleurs considérées.

Du fait des contraintes imposées sur la pente des berges, le scénario « minimum » peut d'emblée être écarté, la largeur réduite du plan d'eau (environ 75 m) s'avérant en effet peu compatible avec les profondeurs visées.

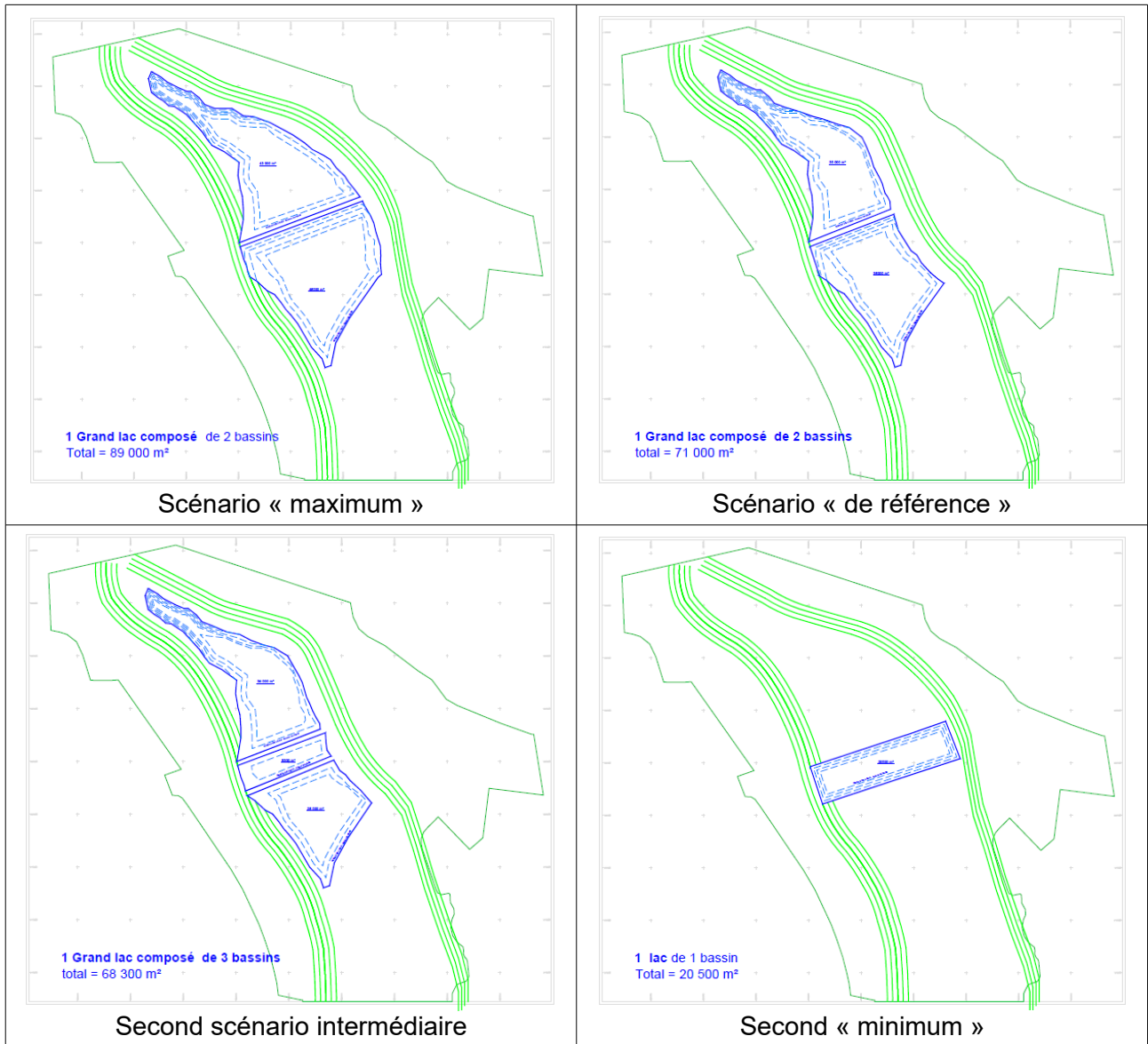


Figure n°2 : Scénarios définis par l'agence LIN pour l'aménagement du lac

3 Description de la zone d'étude

3.1 Situation géographique

La commune de Sevrans s'inscrit au sein de l'ensemble géomorphologique dénommé « Plaine de France ». Cette plaine est caractérisée par une surface topographique très régulière présentant, au droit de la commune, une légère déclivité de l'Est vers l'Ouest. Les cotes altimétriques sont globalement comprises entre 50 m et 60 m NGF à l'exception notable de la butte de Montceuleux qui « culmine » à 81 m NGF.

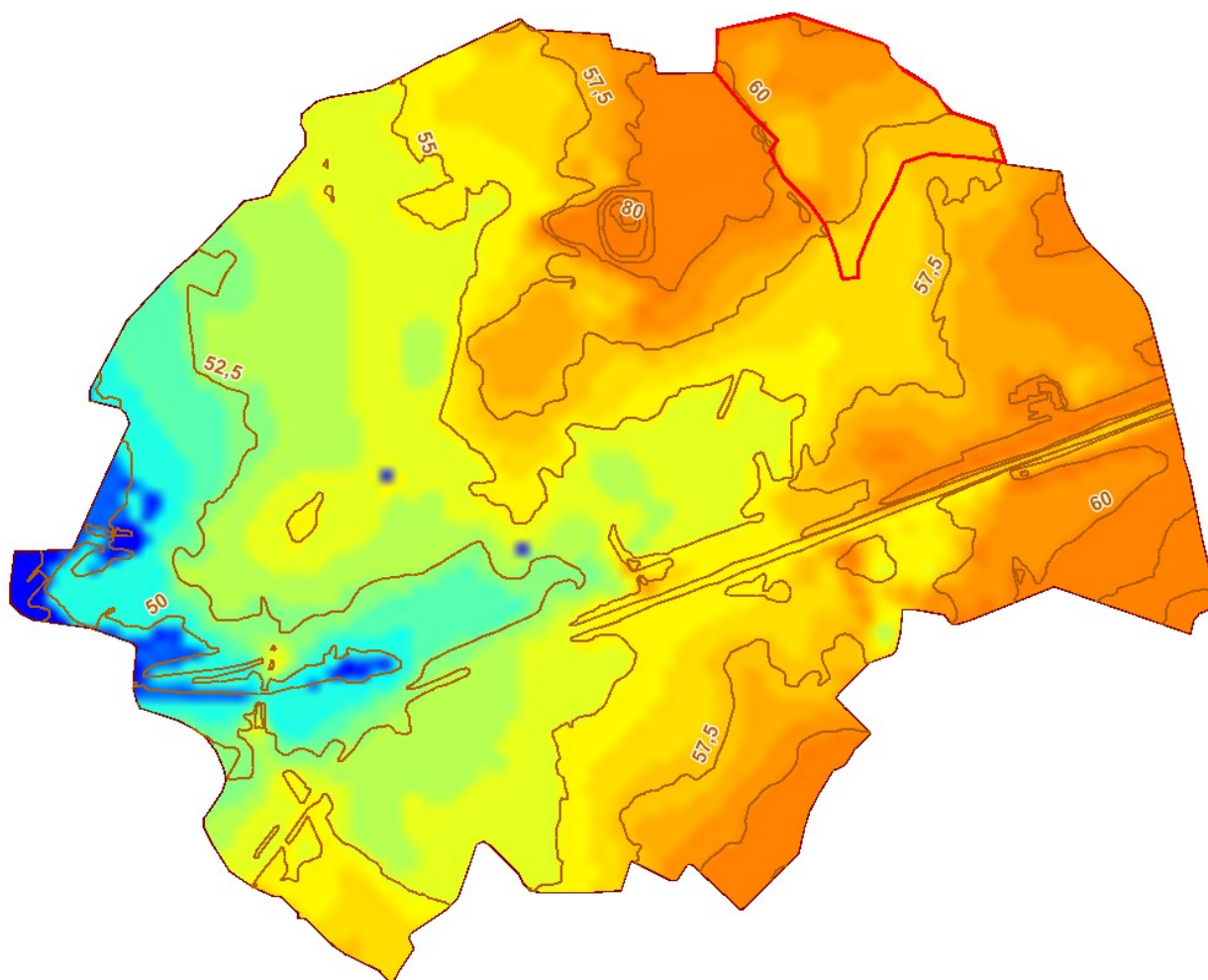


Figure n°3 : Morphologie de Sevrans

La zone devant accueillir le parc et le lac, appelée terrains Montceuleux, se situe au Nord-Est de la commune au droit de parcelles ayant à ce jour un caractère agricole. Bien que le relief y soit très peu marquée, le levé topographique met en évidence un contraste entre la partie Nord (bombement au-dessus de 60,5 m NGF) et la partie Sud (point bas situé à une cote inférieure à 57m NGF).



Figure n°4 : Topographie de la zone d'étude

D'un point de vue hydrographique, la commune de Sevrans fait partie du bassin versant «Morée-Sausset», qui est imperméabilisé en moyenne à 36%. La zone d'étude est située à proximité immédiate de l'ancien lit de la Morée. Actuellement canalisé, cet ancien cours d'eau naturel s'écoulait approximativement d'est en ouest et recevait les eaux de plusieurs affluents, dont le Sausset sur sa rive droite et le Rouailler sur sa rive gauche. La commune de Sevrans est également marquée par la présence de Canal de l'Ourcq. Bien que celui-ci soit conçu pour être étanche, il n'est pas impossible qu'il existe localement des échanges entre la nappe phréatique et le canal.

Enfin, la carte des anciens rus, étangs et marais de Seine-Saint-Denis montre que la majeure partie de la commune de Sevrans était autrefois recouverte de zones marécageuses (Figure 5).

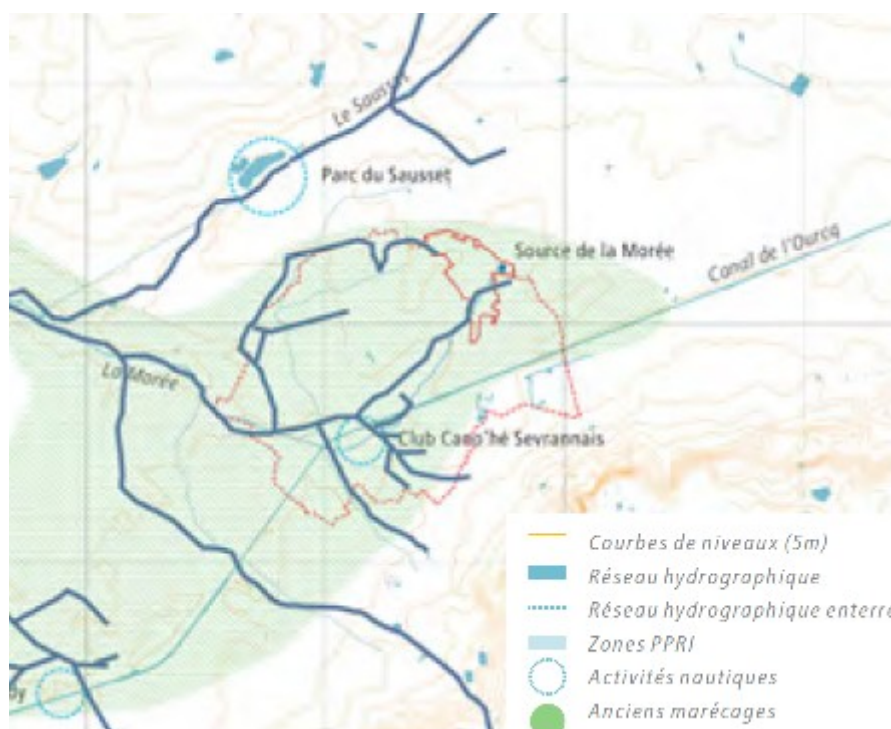


Figure n°5 : Carte des anciens rus, étangs et marais de Seine-Saint-Denis (Source : DEA 93, modifié par LIN)

3.2 Contexte géologique

La disposition tabulaire des couches géologiques à l'échelle du Bassin Parisien est ici marquée par une dépression synclinale (approfondissement des assises géologiques). Le secteur Montceuleux est situé sur le flanc nord du synclinal de l'Aulnay dont l'axe se superpose sensiblement au lit de la Morée. Cette situation structurale imprime aux couches géologiques un pendage de quelques degrés vers le sud. Le pendage général, qui détermine les directions des nappes aquifères, est cependant atténué par des ondulations secondaires ou des remaniements de surface. Les couches géologiques en place (formation du Tertiaire) sont masquées à l'affleurement par une couverture plus ou moins épaisse de limons sur les parties hautes et d'alluvions dans la vallée de la Morée. La limite entre les terrains de recouvrement et les horizons géologiques en place est marquée par une zone d'altération et de remaniement due à l'érosion fluviale et aux alternances de gel et de dégel durant le Quaternaire (solifluxion).

Les couches en place débutent par les Sables et Marnes Infragypseux, renfermant parfois quelques niveaux gypseux (4ème masse de gypse) ou, quand cette formation est érodée (lit mineur des anciens cours d'eau) par le Marno-Calcaire de Saint-Ouen. La stratigraphie suivante peut être établie à partir des données bibliographiques disponibles et de la carte géologique au 1/50.000 de Lagny (édition BRGM n°184) :

- les Limons des Plateaux
- les Alluvions Modernes et les Alluvions Anciennes
- les Sables et Marnes Infragypseux
- le Marno-Calcaire de Saint-Ouen
- les Sables de Beauchamp
- les Marnes et Caillasses
- le Calcaire Grossier

Les Limons des Plateaux

Les Limons des Plateaux sont des dépôts éoliens constitués de limons bruns argileux, d'une épaisseur variant entre 1 et 2 m. Selon la carte géologique, ils sont essentiellement présents au nord de la zone d'étude.

Les Alluvions Modernes et Anciennes

Les Alluvions Modernes, accumulées par transport fluvial dans les zones basses ceinturant le ruisseau de la Morée, sont constituées de sables, de limons et d'argile marneuse. Elles peuvent receler quelques passages fortement organiques ou même tourbeux au droit des anciennes zones marécageuses. Selon la carte géologique, les Alluvions Modernes devraient être rencontrées au centre et au sud de la zone d'étude.

Bien que signalées sur la carte géologique, les Alluvions Anciennes ne semblent pas être systématiquement rencontrées dans les sondages. Cela peut s'expliquer par le fait que leur lithologie ne correspond pas nécessairement à des sables moyens ou grossiers, mais peut être au contraire assez proche de celle des Alluvions Modernes.

L'épaisseur de la couche des alluvions augmente à mesure que l'on se rapproche du lit de la Morée. Dans l'axe de l'ancien cours, leur épaisseur peut atteindre 8 m. Au droit de la zone d'étude l'épaisseur moyenne des alluvions est d'environ 3 m.

Les Sables et Marnes Infragypseux

Sous cette dénomination sont regroupés les Marnes Infragypseuses (partie supérieure) et les Sables Verts de Monceau (partie inférieure), qu'il est parfois difficile d'individualiser, car ces derniers peuvent prendre un faciès marneux ou se mélanger aux Marnes Infragypseuses. La frange supérieure des Marnes Infragypseuses a été fortement altérée par les processus d'érosion lors du dépôt des alluvions, l'action du ruissellement et des infiltrations d'eau ainsi que les effets de la cryoturbation et de la solifluxion. Dans l'ensemble, les Sables et Marnes Infragypseux sont fortement remaniés.

Les Marnes Infragypseuses sont des marnes argileuses ou calcaires, verdâtres à brunâtres, contenant de nombreux nodules calcaires et interrompues par des passages d'argiles magnésiennes. Les Sables Verts de Monceau sont des sables verts fins plus ou moins argileux.

Du gypse peut être rencontré dans les Marnes Infragypseuses et plus rarement dans les Sables Verts. Ce gypse correspond aux résidus non érodés des anciennes masses de gypse (3ème et 4ème masse). Il présente le plus souvent un caractère résiduel et lenticulaire, il ne subsiste généralement que lorsque l'épaisseur des Marnes Infragypseuses est significative (supérieure ou égale à 5 m) ou à l'aplomb des cuvettes du Calcaire de Saint-Ouen.

Au droit de la zone d'étude, l'épaisseur moyenne de cet ensemble est de l'ordre de 5 m (4 m de Marnes Infragypseuses et 1 m de Sable de Monceau). Cependant, il convient de noter que de fortes variations d'épaisseur peuvent être rencontrées : en partie Est et Sud-Ouest de la zone d'étude, ces formations peuvent atteindre 10 m.

Le Marno-Calcaire de Saint-Ouen

Le Marno-Calcaire de Saint-Ouen est constitué d'une alternance de marnes et de calcaires où s'intercalent quelques feuillets d'argile magnésienne. Les marnes, compactes ou grumeleuses, prédominent dans la partie supérieure de la couche et contiennent de nombreux nodules calcaires. Le tiers inférieur de cette formation est enrichi en bancs calcaires fracturés, fréquemment dolomités et plus résistants que les marnes. Le Calcaire de Ducy, situé à la base de cette formation, est réputé particulièrement fracturé et perméable. L'épaisseur totale du Saint-Ouen dans la zone d'étude varie entre 9 et 12 m. Des niveaux de gypse saccharoïde peuvent parfois subsister à la base de la couche, mais le gypse, lorsqu'il était présent, est fréquemment dissous et a laissé place à des vides ou des faciès d'altération.

Les Sables de Beauchamp

Les Sables de Beauchamp, d'une épaisseur comprise entre 10 et 14 m, sont représentés par deux faciès distincts :

- des sables bleus-verdâtres, fins, homogènes, propres ou légèrement marneux que l'on trouve généralement en partie supérieure et inférieure et qui peuvent contenir des niveaux grésifiés,
- des argiles ou des marnes sableuses que l'on rencontre généralement en partie médiane et qui peuvent constituer une couche peu perméable séparant la nappe baignant le Marno-Calcaire de Saint-Ouen de celle baignant les Marnes et Caillasses. De petits niveaux gypseux peuvent être rencontrés.

Les Marnes et Caillasses

Les Marnes et Caillasses revêtent deux faciès différents susceptibles d'être enchevêtrés :

- un faciès marno-calcaire où s'intercalent des niveaux marneux, des bancs calcaires et des lits d'argile magnésienne feuilletée. Ce faciès est très généralement prédominant lorsque l'épaisseur de la formation reste limitée à une douzaine de mètres ;
- un faciès gypseux où les marnes et les calcaires sont associés à des bancs de gypse albaströïde blanc. La proportion de gypse croît avec l'épaisseur de la formation et peut dépasser 10 m pour une épaisseur des Marnes et Caillasses atteignant 30 m.

Le Calcaire Grossier

Il s'agit d'un ensemble calcaire comprenant des bancs massifs rocheux, renfermant à sa base des niveaux sableux grossiers et glauconieux. Cette formation a une épaisseur relativement constante de l'ordre de 20 m, mais a été fortement affectée par des mouvements tectoniques : le toit de la formation présente de brusques variations d'altitudes.

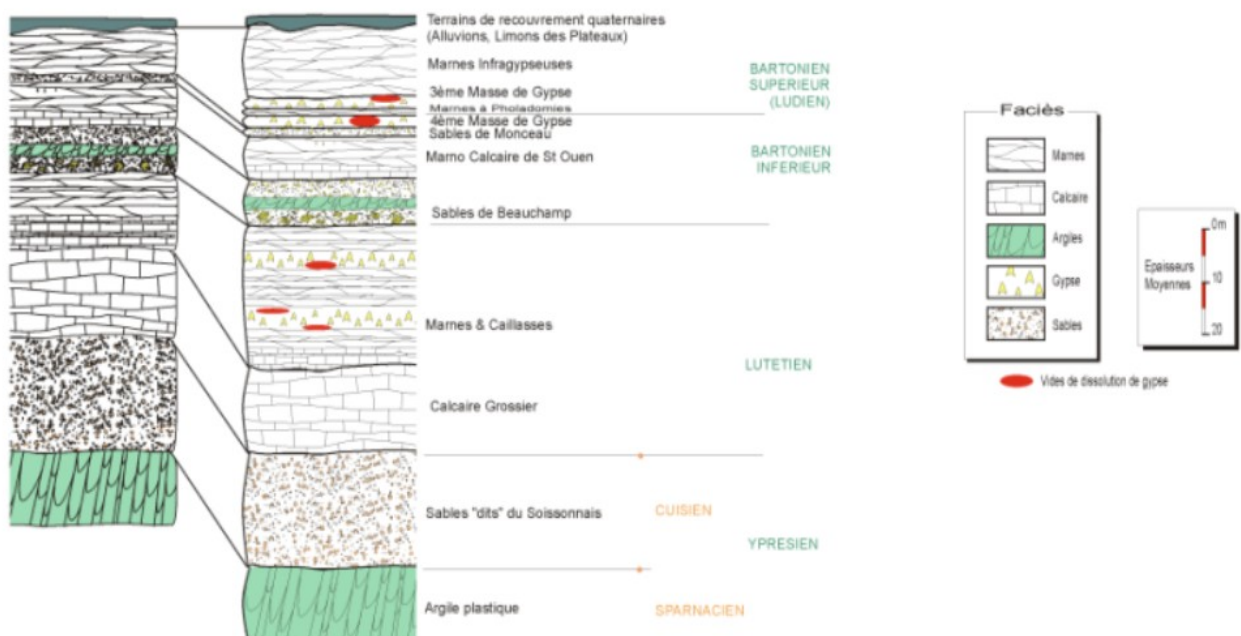


Figure n°6 : Succession stratigraphique au droit de la zone d'étude et variations lithologiques potentielles

3.3 Contexte hydrogéologique

Trois nappes peuvent être distinguées au droit des terrains Montceux :

- la nappe superficielle baignant principalement les alluvions et dans une moindre mesure les Marnes Infragypseuses. C'est une nappe à surface libre dont les affleurements formaient les mares et les marais aujourd'hui disparus.
- la nappe du Saint-Ouen, qui baigne la formation éponyme et la partie supérieure des Sables de Beauchamp. Elle est limitée à la base par l'horizon peu perméable des Sables de Beauchamp et mise en charge par le faciès marneux du Saint-Ouen ou la base des Marnes Infragypseuses.
- la nappe profonde (nappe du Lutétien) baignant la partie supérieure des Sables de Beauchamp, les Marnes et Caillasses et le Calcaire Grossier. Cette nappe captive est mise en charge par l'horizon peu perméable des Sables de Beauchamp.

Il est important de noter que les limites verticales de ces différentes formations aquifères ne sont pas franches. En effet, les niveaux géologiques concernés ont des faciès très hétérogènes aussi bien latéralement que verticalement. Les Marnes Infragypseuses peuvent avoir presque totalement disparues au droit des anciens rus en raison de l'érosion fluviale, favorisant les interactions entre la nappe du Saint-Ouen et la nappe superficielle. Par ailleurs, la déstructuration induite par la dissolution du gypse a pu créer des zones très perméables qui constituent des lieux d'écoulements préférentiels au sein d'un même aquifère mais également de communications possibles entre les différents aquifères.

La comparaison des seuls niveaux hydrostatiques ne permet souvent pas de distinguer les trois nappes citées ci-dessus. Les niveaux d'eau mesurés dans deux piézomètres proches mais crépinés dans deux nappes différentes sont en effet généralement assez similaires. En revanche, les analyses hydrochimiques menées par l'INERIS ont permis de mettre en évidence des faciès géochimiques propres à chacune de ces nappes (INERIS, 2011). Cette comparaison effectuée à partir d'analyses réalisées dans des piézomètres situés à l'intérieur du Bois de la Tussion mériterait néanmoins d'être étendue à d'autres parties de la commune de Sevrans.

Enfin, il existe probablement des interactions entre la nappe superficielle et le Canal de l'Ourcq, qu'il est néanmoins difficile de quantifier (Ineris, 2011).

4 Caractérisation hydrogéologique du site

4.1 Fluctuations piézométriques

L'EPA Plaine de France a confié à FONDASOL la pose et le relevé de piézomètres ainsi que la réalisation d'analyses chimiques des eaux dans le cadre du projet de la création de l'arc paysager « Nature, Loisir » (FONDASOL, 2006). Neuf piézomètres d'une profondeur de 6m captant la nappe superficielle ont ainsi été installés en août et en septembre le long de l'arc paysager (Figure 7).

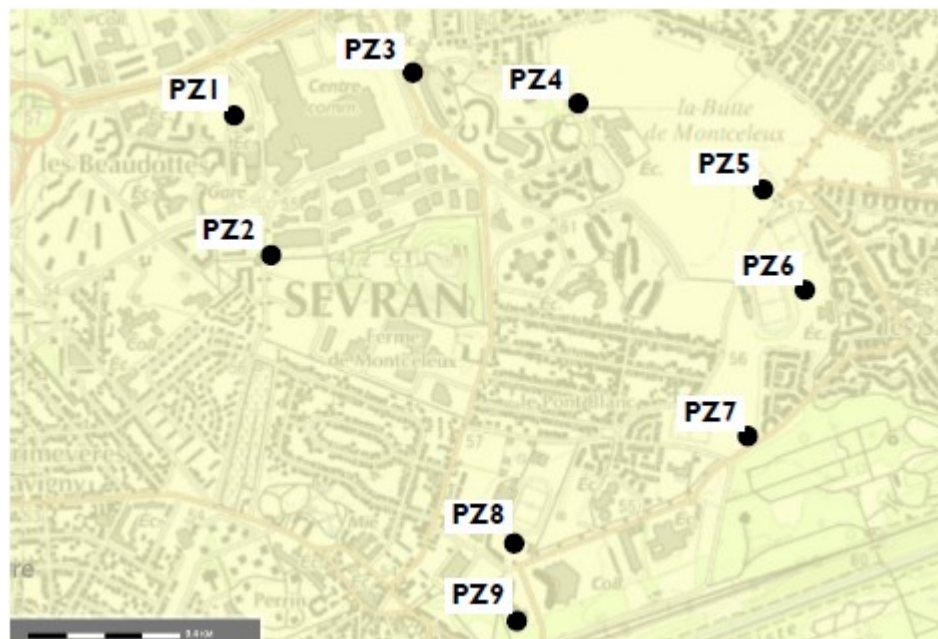


Figure n°7 : Emplacement des piézomètres posés par FONDASOL (FONDASOL, 2016)

La Figure 8 présente les fluctuations piézométriques observées dans ces piézomètres entre le 08/10/15 et le 26/07/16. Le piézomètre Pz5, situé dans la zone d'étude a malencontreusement été endommagé et n'a pas pu être mesuré lors du premier semestre de 2016, jusqu'à ce qu'il soit remplacé en juin 2016.

Plusieurs comportements peuvent être distingués selon les piézomètres :

- les Pz1, Pz6, Pz7, Pz8 et Pz9 ont des comportements relativement homogènes, avec une élévation du niveau d'eau quasiment continue jusqu'au début du mois de juin (la baisse mesurée le 09/06/16 dans le Pz9 semble suspecte et peut résulter d'une erreur de mesure) puis une baisse du niveau d'eau correspondant au début de la période estivale.
- les Pz2, Pz3 et Pz4 sont caractérisés par des comportements plus erratiques. La tendance globale du Pz2 est à la hausse, dans des proportions équivalentes au premier groupe de piézomètre, mais elle est interrompue à trois reprises par des baisses du niveau piézométrique. Dans le Pz4, le niveau monte jusqu'en novembre 2015, avant de redescendre jusqu'en février 2016, puis de remonter à nouveau rapidement et s'aligner sur le comportement du premier groupe de piézomètres. Le piézomètre Pz3 semble avoir un comportement relativement proche des piézomètres du premier groupe, mais le niveau anormalement haut mesuré le 08/10/16 (pouvant résulter d'une erreur) et l'absence de mesure le 28/01/16 rendent la comparaison difficile.

On retiendra que les piézomètres Pz6, Pz7, Pz8 et Pz9 situés à proximité de la Morée semblent avoir un comportement relativement homogène, avec un battement variant entre 1,1 m pour le Pz8 et 1,4m pour le Pz9. Les Pz3 et Pz4, situés à priori en dehors de la zone d'extension des alluvions

(couverture de Limons des Plateaux visible sur la coupe du Pz4) semblent avoir eu un comportement sensiblement différent. Il serait par ailleurs intéressant de se renseigner sur la présence éventuelle d'activités anthropiques susceptibles d'impacter les fluctuations piézométriques au nord-est de la zone d'étude (rabattement éventuel de la nappe au niveau du centre commercial, pompage agricole éventuel pour l'irrigation du champ...).

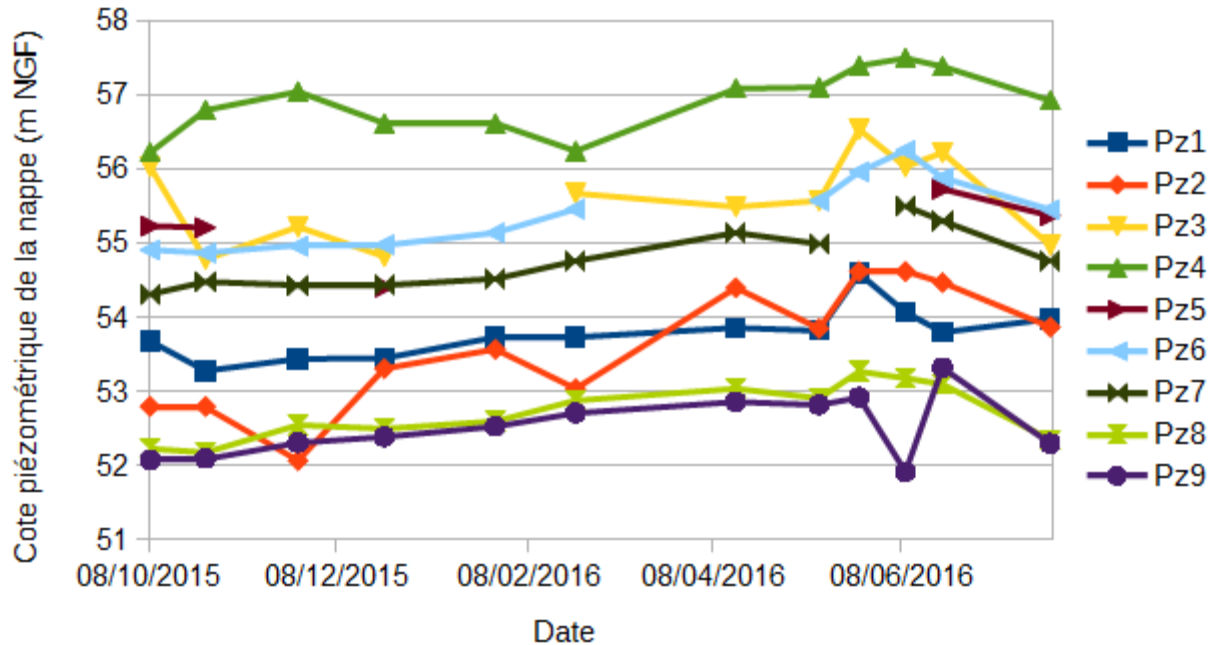


Figure n°8 : Fluctuations de la cote piézométrique dans les piézomètres posés par FONDASOL

Ces fluctuations piézométriques peuvent également être examinées en termes de profondeur (Figure 9). On retiendra pour la zone d'étude que :

- en partie nord (Pz4), la profondeur minimale a été le 09/06/16 (3,17 m) et la profondeur maximale le 08/10/15 (4,44 m),
- en partie sud (Pz6), la profondeur minimale a été le 09/06/16 (1,15 m) et la profondeur maximale le 26/10/15 (2,53 m).

On notera que les fluctuations piézométriques mesurées en 2016 sont marquées par une année hydrologique exceptionnelle, caractérisée par des records de précipitation en mai 2016 (160 mm enregistrés à l'aéroport Roissy - Charles de Gaulle). Ainsi, les niveaux piézométriques les plus hauts ont été mesurés en juin, alors qu'ils sont en général plutôt attendus en mars ou en avril.

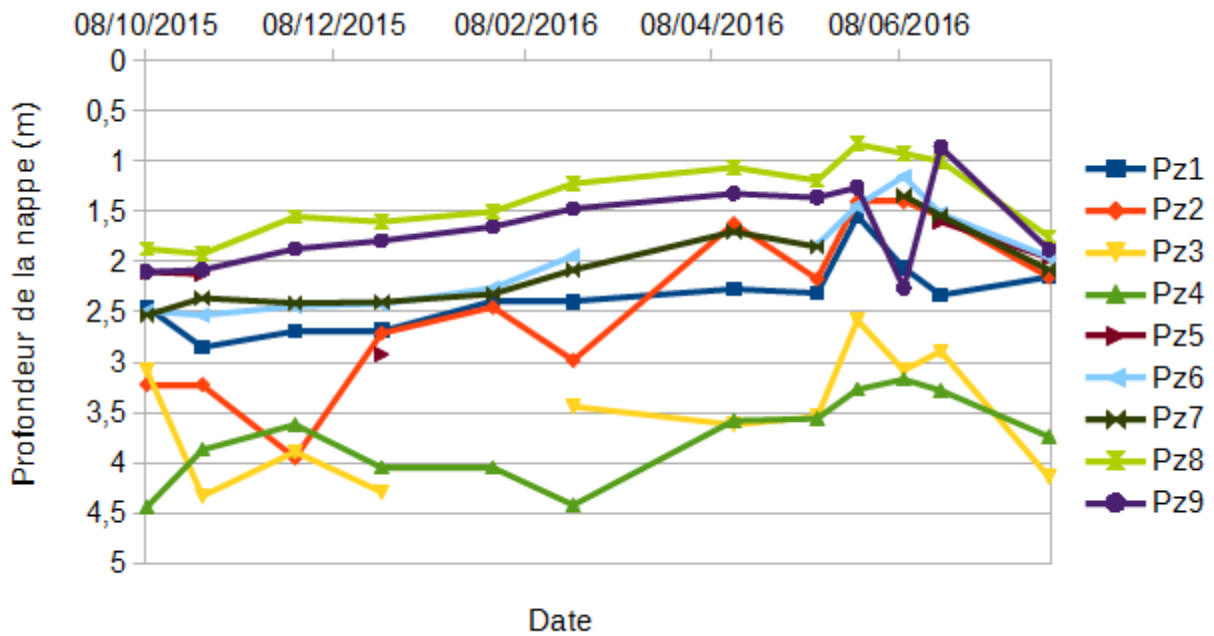


Figure n°9 : Fluctuations de la profondeur de la nappe dans les piézomètres posés par FONDASOL

Cette analyse peut être complétée par l'étude des tendances piézométriques pluri-annuelles enregistrées dans les piézomètres de la DEA 93, situés avenue Hector Berlioz, à proximité du bassin de la Mare aux Poutres. Deux piézomètres ont été installés l'un à côté de l'autre, l'un crépiné dans les Alluvions (Sev01), et l'autre dans le Marno-Calcaire de Saint-Ouen (Sev02). Les fluctuations dans les deux piézomètres sont très similaires (Figure 10). Toutes deux indiquent une légère tendance à la hausse de ces deux nappes, avec une augmentation moyenne de l'ordre de 0,4 m entre le début des mesures trimestrielles en 2004 et l'année 2015.

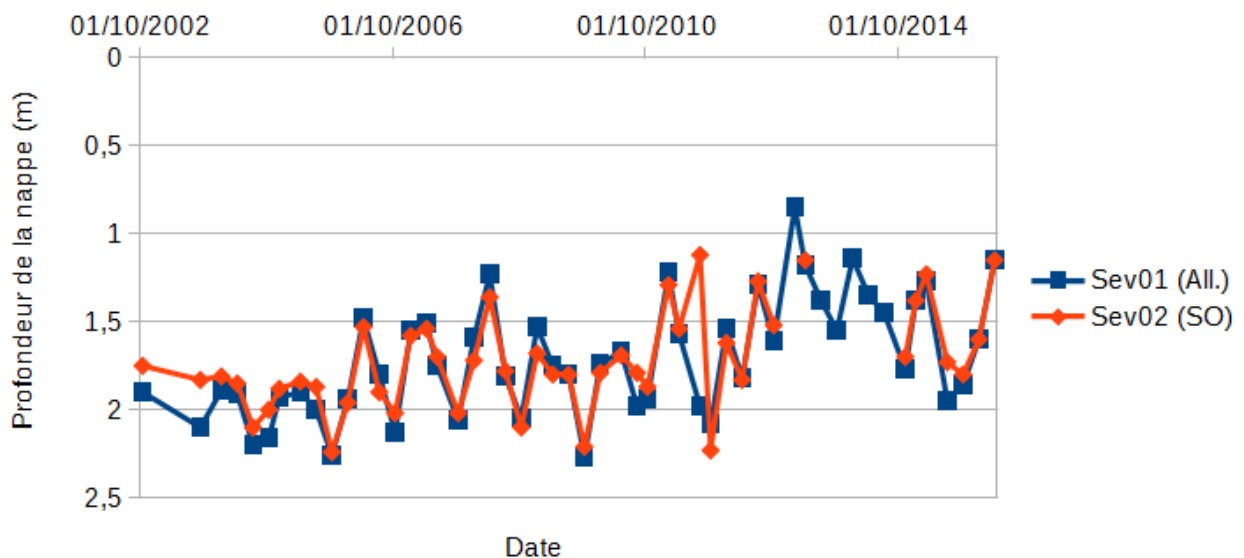


Figure n°10 : Fluctuations de la profondeur de la nappe dans les piézomètres posés par FONDASOL

4.2 Carte piézométrique de la nappe phréatique

Une cartographie de la piézométrie de Seine-Saint-Denis a été réalisée par le LREP (Cerema) en 2006 à l'échelle du département. Cette carte, réalisée à partir de données bibliographiques anciennes et de relevés piézométriques parfois asynchrones, permet d'identifier les directions principales des écoulements des nappes, mais peut manquer de précision à l'échelle d'un projet d'aménagement. Sur cette carte de 2006, les courbes isopièzes étaient fortement influencées par le Canal de l'Ourcq, suggérant un drainage de la nappe phréatique par celui-ci. Le nombre de piézomètres sur la commune de Sevrans était néanmoins relativement faible, et la plupart se trouvait à proximité immédiate du canal.

Il a donc été décidé, pour les besoins de la présente étude, de réaliser deux nouvelles cartes piézométriques : une carte de basses eaux (octobre 2015) et une carte de hautes eaux (avril 2016). Les données utilisées sont issues :

- des campagnes de relevés piézométriques effectuées par le Cerema en octobre 2015 (dans le cadre d'un autre projet) et en avril 2016 (dans le cadre du présent projet),
- des relevés effectués par la DEA 93 dans ses piézomètres situés à proximité du bassin de la Mare aux Poutres et du bassin de la Poudrerie,
- des relevés effectués par Fondasol dans le cadre de sa mission réalisée pour l'EPA Plaine de France (FONDASOL, 2016), lors de laquelle 9 piézomètres ont été installés sur la commune de Sevrans,
- des relevés effectués à Sevrans par la Société du Grand Paris.

Les emplacements des piézomètres recensés sont présentés en Annexe 1, en fonction de la nappe captée et de la provenance des données. On notera que la répartition des piézomètres est très hétérogène. Ceux-ci sont principalement localisés le long de la future ligne 16 du Grand Paris et dans le parc de Sevrans. Tous les piézomètres recensés n'ont pas pu être mesurés lors de ces deux campagnes. C'est en particulier le cas des piézomètres situés dans le Bois de la Tussion. On notera un déficit de points important en amont hydrogéologique de la zone d'étude (au nord et à l'est).

Dans la mesure où les niveaux piézométriques ne semblent pas dépendre de la nappe captée, les interpolations ont été réalisées en utilisant tous les piézomètres, quelle que soit la nappe captée. En revanche, certains piézomètres ont été écartés lors des interpolations en raison de niveaux piézométriques visiblement aberrants. Bien que quelques piézomètres crépinés dans la nappe du Lutétien aient été utilisés, les courbes isopièzes obtenues dans la zone d'étude sont surtout représentatives des écoulements de la nappe superficielle.

Les cartes piézométriques ont été réalisées à l'aide du logiciel GDM7 (BRGM) et du logiciel QGis. Le logiciel GDM7 a été utilisé pour réaliser l'interpolation des niveaux piézométriques. La méthode d'interpolation retenue est le krigeage linéaire sans dérive, avec un voisinage par octants. Cette méthode présente l'avantage d'être assez robuste et en général bien adaptée pour l'interpolation de surfaces piézométriques.

Le résultat des interpolations a ensuite été importé sous QGis, et les courbes isopièzes ont été légèrement lissées. Le tracé de l'ancien ru de la Morée, tel qu'il figure sur la carte géomorphologique du SDAU d'Aulnay-sous-Bois – Sevrans (LREP, 1971), a été ajouté. On notera que ce tracé diffère légèrement de la carte de la DEA 93 (Figure 5), en particulier au niveau de sa source.

Les cartes piézométriques obtenues pour la période de basses eaux (octobre 2015) et de hautes eaux (avril 2016) sont présentées respectivement sur les Figures 11 et 12.

Carte piézométrique de basses eaux (octobre 2015)

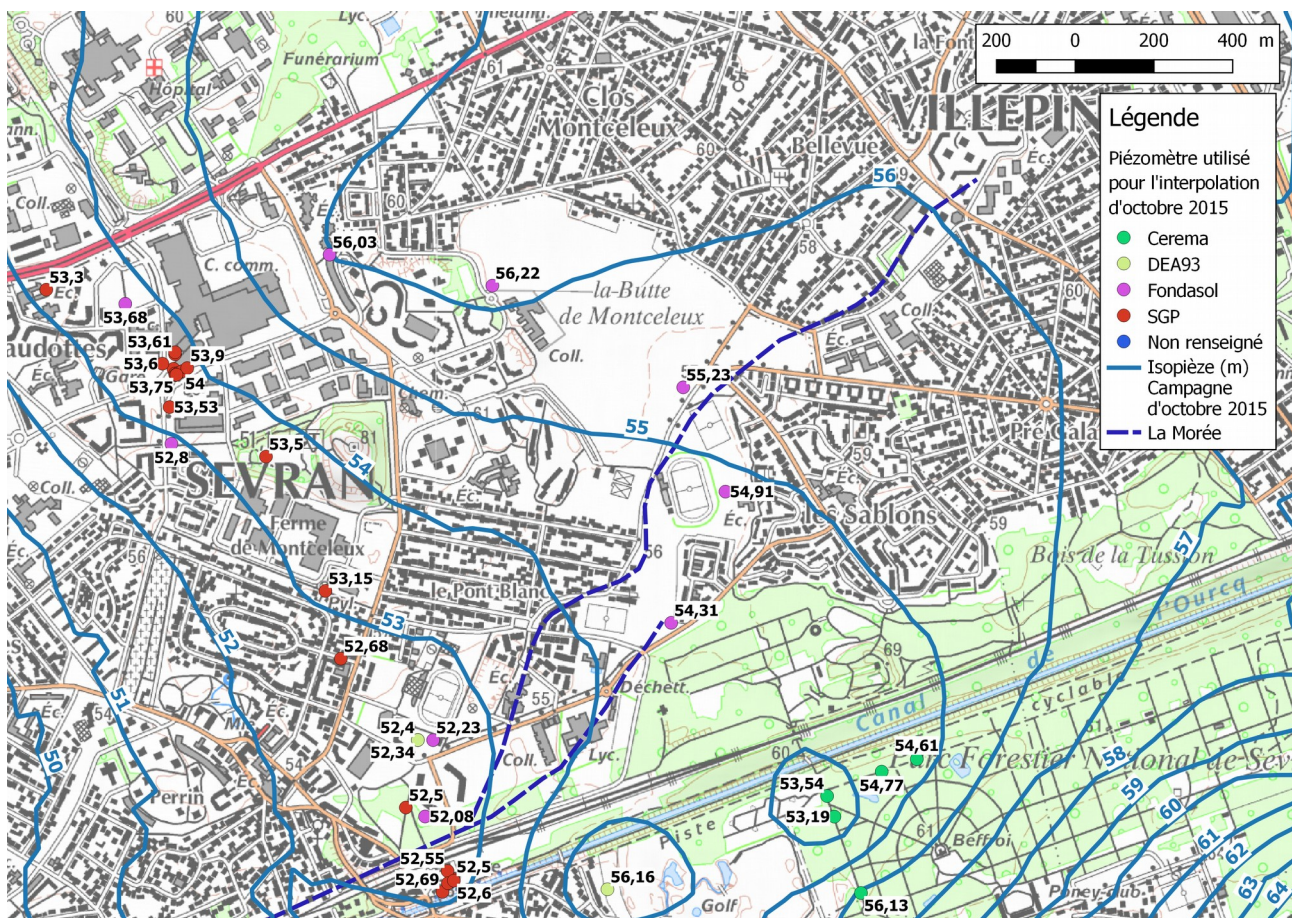


Figure n°11 : Carte piézométrique de basses eaux 2015 (octobre 2015)

Par rapport à la carte piézométrique de 2006, les courbes isopièzes obtenues pour le relevé d'octobre 2015 semblent être plus influencées par l'ancien cours de la Morée que par le Canal de l'Ourcq. Dans le secteur Montceuleux, l'écoulement de la nappe superficielle s'effectue ainsi en direction du lit de l'ancien rû. Malgré sa canalisation et sa transformation en collecteur d'eau usée, la Morée semble donc continuer à assurer une fonction de drainage de la nappe superficielle. Au nord de la zone d'étude, l'infléchissement très marqué des courbes isopièzes marque la ligne de partage des eaux entre le bassin versant de la Morée et celui du Sausset. Le rapprochement des courbes isopièzes au niveau du centre commercial de Sevrans doit néanmoins être relativisé en raison du manque de point au nord et à l'est de la zone d'étude ainsi que par le niveau d'eau suspect mesuré en octobre 2015 dans le piézomètre Pz3 (le niveau de nappe le plus haut a été mesuré en octobre dans ce piézomètre). L'isopièze 56 m NGF est ainsi particulièrement affectée par le manque de mesure à l'amont hydrogéologique, et son tracé doit être considéré avec précaution.

Carte piézométrique de hautes eaux (avril 2016)

Lors du relevé d'avril 2016, 2 des 9 piézomètres installés par Fondasol n'avaient pas pu être relevés : le Pz5 a en effet été détruit et le Pz6, situé dans l'enceinte du stade, était inaccessible ce jour-là. Ces piézomètres étant situés à des emplacements stratégiques pour l'interpolation des niveaux piézométriques, il a été décidé d'introduire une valeur de niveau d'eau fictive pour ces deux points, en extrapolant les fluctuations piézométriques observées dans les piézomètres voisins (Pz4 et Pz7), soit une augmentation du niveau de la nappe de 0,8 m entre début octobre 2015 et mi avril 2016. Ces deux points sont représentés par des étoiles sur la carte ci-dessous.

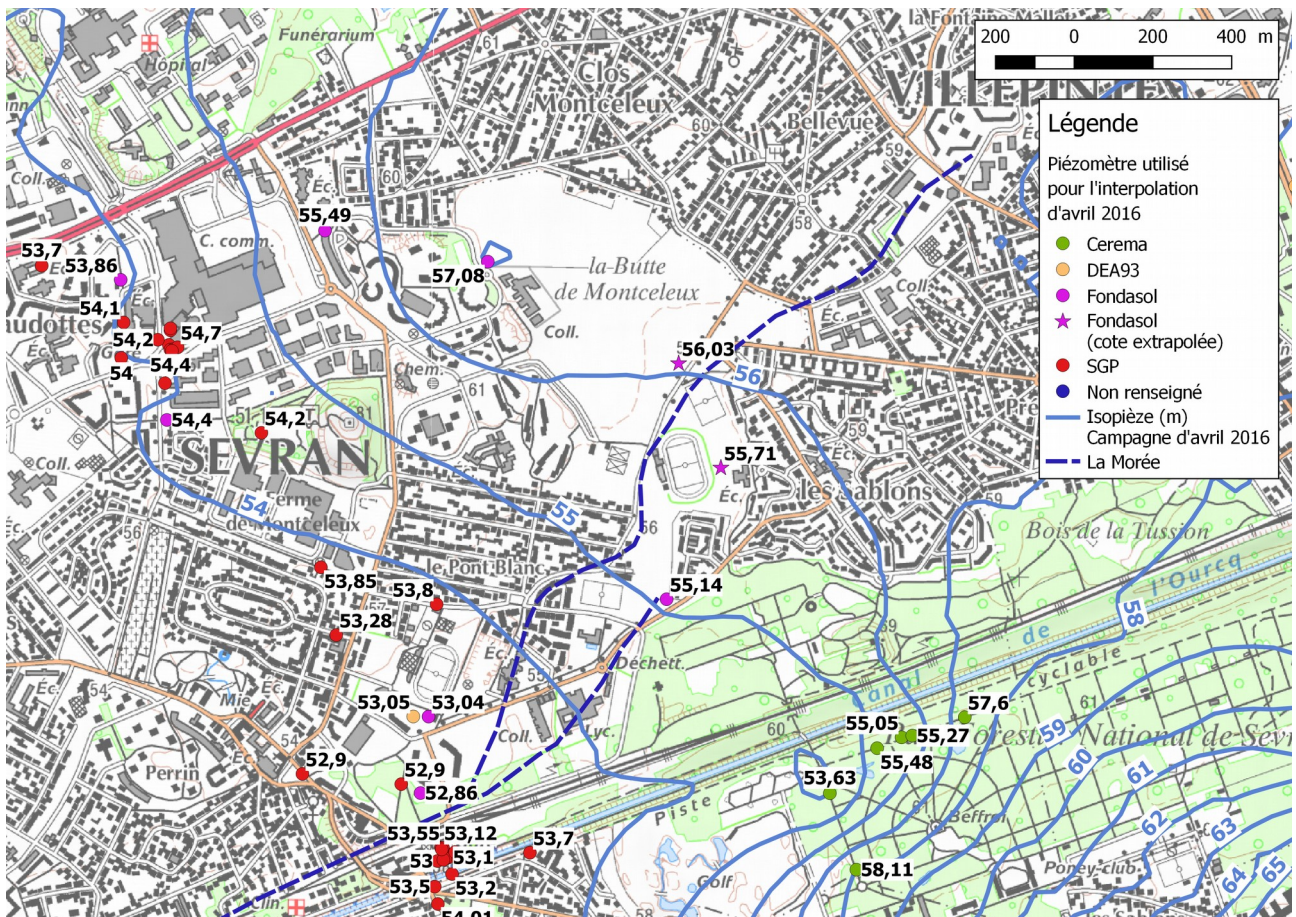


Figure n°12 : Carte piézométrique de hautes eaux 2016 (avril 2016)

Les directions principales des écoulements de la nappe obtenus à l'aide de la carte piézométrique d'avril 2016 restent comparables à celle d'octobre 2015. On notera néanmoins des différences significatives pour la forme des isopièzes au nord et au nord est de la zone d'étude, où la différence de cote piézométrique entre les piézomètres Pz3 et Pz4 est passée de 0,2 m en octobre 2015 (le niveau mesuré dans le Pz3 était alors suspect) à 1,6 m en avril 2016.

Enfin la forme des isopièzes au niveau du Canal de l'Ourcq pourrait laisser supposer que des interactions entre le canal et la nappe existe (alimentation du canal par la nappe). Cela peut également résulter de la répartition des points utilisés pour l'interpolation, puisqu'un nombre de points important se trouve le long du canal. Cette information doit donc être prise avec précaution.

4.3 Perméabilité des formations aquifères

Une recherche bibliographique a été réalisée afin de recenser les valeurs de perméabilité disponibles dans les environs de la zone d'étude. Les recherches se sont concentrées sur la partie du territoire de la commune de Sevrans située au nord du Canal de l'Ourcq. Les principales sources d'information sont les études réalisées par la Société du Grand Paris, en particulier au niveau de la Gare de Sevrans-Beaudottes, ainsi que les études du LREP (1976, 1985 et 1991).

Le tableau ci-dessous liste les résultats des essais Lefranc réalisés dans les Remblais (R), les Alluvions (All), les Marnes Infragypseuses (MIG), les Sables Verts de Monceau (SM) et le Marno-Calcaire de Saint-Ouen (CSO). Des cartes positionnant les différents essais sont présentées en Annexe 2. Une première carte représente les essais effectués dans les formations superficielles et

une seconde les essais effectués dans le Marno-Calcaire de Saint-Ouen.

Sondage	Profondeur cavité	Formation	K moyen (m/s)	Source
SC2	4 – 5	Remblais	6.10^{-6}	SGP (Technosol, 2015)
SC3	-	Alluvions sableuses	5.10^{-5}	LREP (1985)
C2	-	All. sur Sables de Monceau	2.10^{-5}	LREP (1991)
S1	-	Masses et Marnes du Gypse	4.10^{-5}	LREP (1976)
SC3	4 – 5	Marnes Infragypseuses	1.10^{-5}	SGP (Technosol, 2015)
SC3	7 – 8	Sables de Monceau – Calcaire de Saint-Ouen	2.10^{-7}	SGP (Technosol, 2015)
FD2642	10 – 11	Calcaire de Saint-Ouen	$1,6.10^{-7} - 10^{-6}$	SGP (G12-SEV-AVP)
SC1	12 – 13	Calcaire de Saint-Ouen	6.10^{-5}	SGP (Technosol, 2015)
SC2	12 – 13	Calcaire de Saint-Ouen	5.10^{-6}	SGP (Technosol, 2015)
SC3	13 – 14	Calcaire de Saint-Ouen	3.10^{-5}	SGP (Technosol, 2015)
SC2	16 – 17	Calcaire de Saint-Ouen	$4,5.10^{-6}$	SGP (Technosol, 2015)
S1	-	Calcaire de Saint-Ouen	7.10^{-5}	LREP (1985)

Tableau 1 : Synthèse bibliographique des résultats des essais Lefranc

La majorité des essais Lefranc a été réalisée dans le Marno-Calcaire de Saint-Ouen (7 essais), le reste étant effectué dans les Remblais (1 essai), les Alluvions (2 essais), les Marnes Infragypseuses (1 essai) et dans les Masses et Marnes du Gypse (1 essai au niveau de la Cuve de Sevrans).

Hormis pour le Marno-Calcaire de Saint-Ouen, le faible nombre de mesures conjugué au caractère très local des essais Lefranc, rend difficile l'attribution d'une valeur de perméabilité à chacune des formations. Ce constat est particulièrement vrai pour les remblais, formation anthropique hétérogène par nature, où la valeur de 6.10^{-6} m/s ne peut être considérée comme représentative de l'ensemble de la couche.

Les valeurs de perméabilité obtenues dans les Alluvions, les Marnes Infragypseuses et les Masses et Marnes du Gypse sont de l'ordre de 10^{-5} m/s. On notera que les essais Lefranc réalisés dans les alluvions intéressent des sondages relativement proches de l'ancien cours de la Morée, où des alluvions anciennes sont susceptibles d'être rencontrées. Des valeurs plus faibles de perméabilité peuvent être attendues dans les zones situées à plus grande distance de la Morée (zone d'extension des alluvions modernes). Par ailleurs, la valeur de 1.10^{-5} m/s obtenue pour les Marnes Infragypseuses semble relativement élevée pour cette formation, souvent considérée comme peu perméable.

Ces valeurs devront être confrontées aux résultats des essais Lefranc qui doivent être réalisés dans la zone d'étude, conformément aux préconisations du Cerema.

Les résultats des essais Lefranc intéressant le Marno-Calcaire de Saint-Ouen, effectués en majorité à proximité de la Gare de Sevrans Beaudottes, varient entre 1.10^{-7} m/s et 7.10^{-5} m/s. Sur la base de ces résultats, il semble difficile de décrire précisément les variations verticales de perméabilité. On notera cependant que la partie supérieure du Saint-Ouen, semble moins perméable (K variant entre 1.10^{-6} et 1.10^{-7} m/s) que les parties médianes et inférieures (K variant entre 5.10^{-6} et 7.10^{-5} m/s). Aucun de ces essais n'a à priori été effectué dans le Calcaire de Ducy (base du Calcaire de Saint-Ouen). Outre ces essais Lefranc, deux essais de pompage ont été

réalisés par le LREP lors des études géotechniques du bassin de retenue de la Mare aux Poutres. Les résultats donnent pour le Calcaire de Ducy une transmissivité moyenne de 2.10^{-3} m²/s et une perméabilité associée de $6,7.10^{-4}$ m/s. Pour le Calcaire de Saint-Ouen supérieur et médian, l'essai de pompage a été de courte durée (4 h) et le débit maximal n'a pas excédé 6,4 m³/h. L'essai n'a pas pu être interprété en raison des fluctuations anarchiques des rabattements. Cependant, cet essai laisse supposer qu'il existe un niveau semi-étanche entre le Calcaire de Saint-Ouen médian et le Calcaire de Ducy.

4.4 Construction d'une chronique piézométrique type

Afin de simuler en continu sur une période longue le fonctionnement hydrologique du plan d'eau, il est nécessaire de disposer de chroniques piézométriques mensuelles, représentatives des fluctuations de la nappe phréatique dans la zone d'étude sur une longue durée.

Les chroniques piézométriques trimestrielles de la DEA 93 peuvent être utilisées pour caractériser les tendances pluriannuelles. Ainsi, à partir des mesures effectuées dans le piézomètre Sev01 (Alluvions), des moyennes annuelles ont été calculées puis converties en écart à la moyenne pluriannuelle. Ces écarts à la moyenne sont présentés en Figure 13.

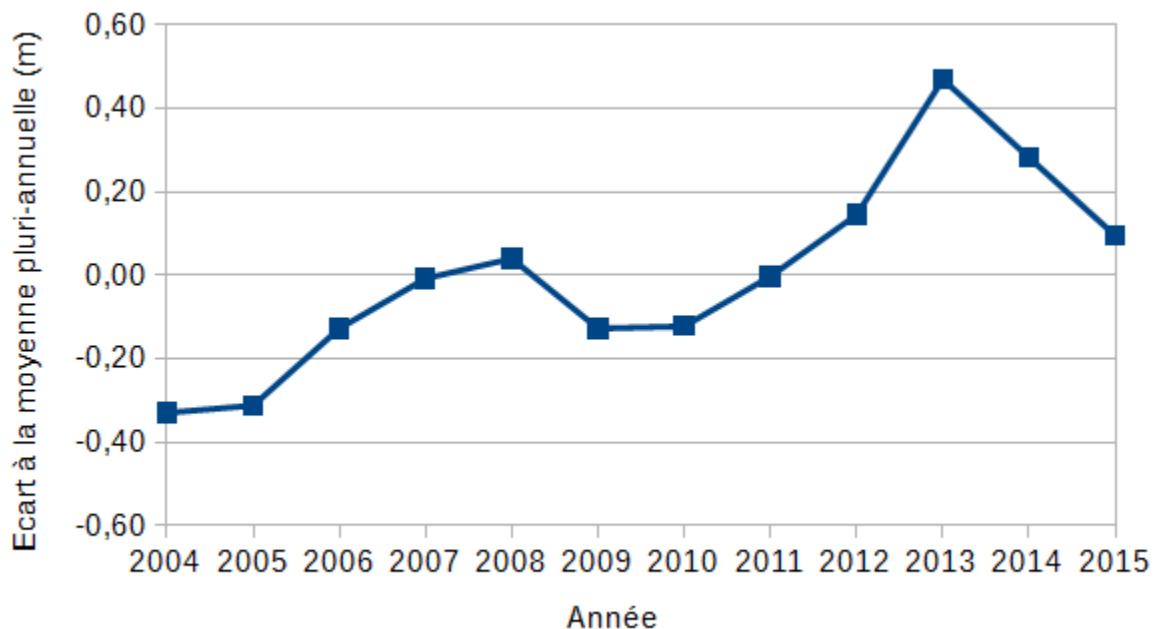


Figure n°13 : Courbe des écarts à la moyenne pluriannuelle enregistrés dans le piézomètre Sev01 (Source : DEA93)

En raison du caractère atypique de l'année hydrologique 2015 – 2016, il ne semble, en revanche, pas pertinent d'utiliser les chroniques piézométriques mensuelles de FONDASOL. Cela conduirait en effet à surestimer grandement les niveaux piézométriques à la fin du printemps et au début de l'été 2016. A défaut, les niveaux mesurés en 2015 dans les piézomètres de la Société du Grand Paris ont pu être mobilisés. Pour chaque mois de l'année 2015, les écarts à la moyenne annuelle ont été calculés dans 6 piézomètres de la SGP crépinés dans le Marno-Calcaire de Saint-Ouen (Figure 14), situés entre les gares de Sevrans-Beaudottes et Sevrans-Livry. Le battement annuel moyen observé dans ces piézomètres en 2015 étant de 0,8 m, il a été décidé de majorer les écarts à la moyenne, afin d'obtenir un battement annuel de 1,2 m. Cette approche permet de ne pas surestimer les niveaux piézométriques d'étiage.

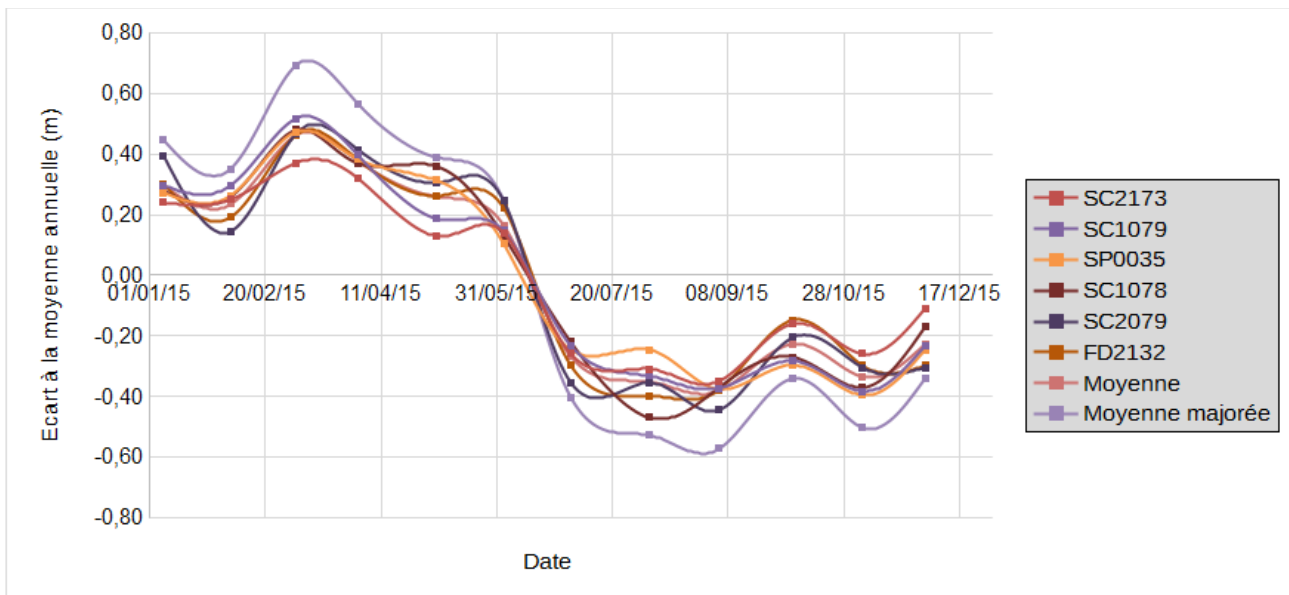


Figure n°14 : Courbe des écarts à la moyenne annuelle enregistrés dans six piézomètres de la Société du Grand Paris (Source : SGP)

Enfin, la courbe des écarts à la moyenne annuelle a été additionnée à la courbe des écarts à la moyenne pluriannuelle, puis calée afin de reproduire le niveau piézométrique mesuré en octobre 2015 dans la partie sud de la zone d'étude, pour obtenir la courbe présentée en Figure 15.

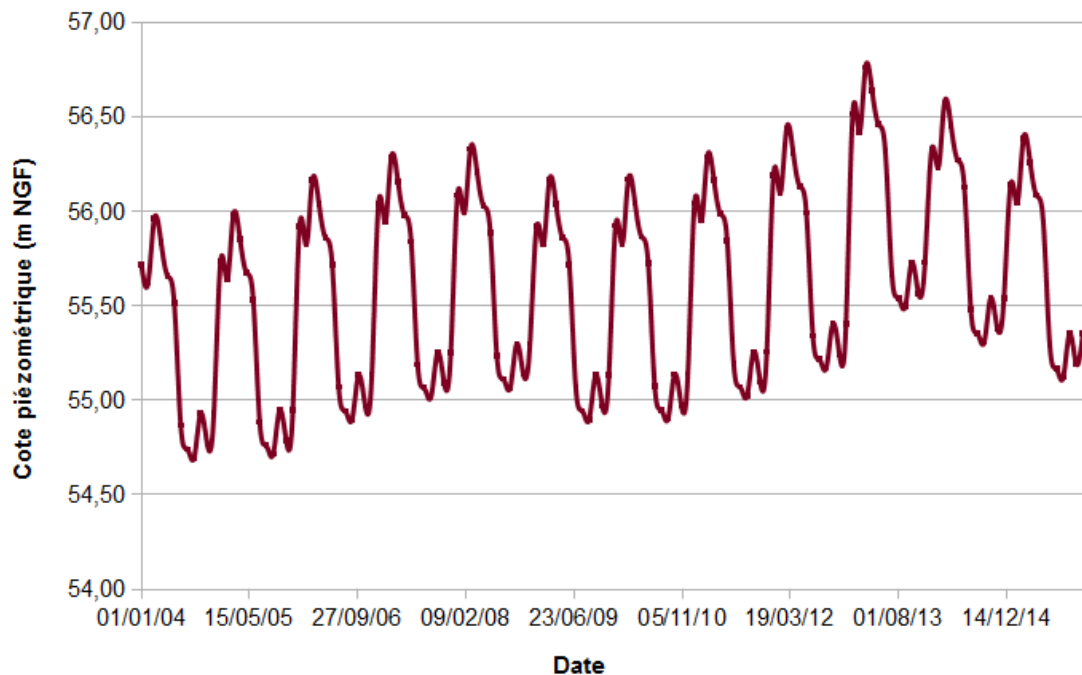


Figure n°15 : Chronique piézométrique type

5 Étude de la réalimentation du lac

5.1 Méthodologie

Un modèle hydrologique conceptuel, permettant de simuler en continu sur une période longue le fonctionnement hydrologique du plan d'eau, a été développé de manière à étudier la faisabilité d'une alimentation de ce dernier par la nappe pour les différents scénarios d'aménagement retenus.

Le plan d'eau est représenté comme un réservoir de géométrie connue, alimenté par des écoulements souterrains et des apports superficiels, subissant des pertes par évaporation.

Les simulations sont ici conduites au pas de temps horaire, en considérant une période de modélisation de 12 ans, correspondant aux années d'observations 2004 à 2015.

Les apports par temps de pluie sont simulés à partir d'une chronique de précipitation fournie par la Direction de l'Eau et de l'Assainissement du département de Seine Saint-Denis. Dans un premier temps, seuls les apports directs par les précipitations (P) sont considérés (il n'est donc pas tenu compte d'éventuels apports par ruissellement).

Les pertes par évaporation sont estimées à partir d'une chronique d'évapotranspiration potentielle calculée pour la station météo-France de Trappes-en-Yvelines. La valeur nette de l'évaporation $E(i)$ s'appliquant à la surface du bassin au pas de temps i est alors calculée à partir de l'équation suivante :

$$E(i) = C(i) \times ETP(i) \quad (5.1)$$

Où : $ETP(i)$ désigne la valeur d'évapotranspiration potentielle (par unité de surface) au pas de temps i et $C(i)$ est un coefficient dit « cultural », traduisant l'écart à la valeur de référence calculée par la formule de Penman-Monteith. Ici, ce dernier est supposé être compris entre 0,85 (période hivernale) et 1,25 (période estivale) sur la base des préconisations de la FAO pour le calcul de l'évaporation sur une surface d'eau libre.

Le flux total d'évaporation (en m^3 par pas de temps) s'appliquant au plan d'eau peut ensuite être estimé à partir de $E(i)$ en calculant à chaque pas de temps la surface au miroir de ce dernier. Une relation Hauteur-Volume-Surface, déduite des caractéristiques géométriques du bassin (plans fournis par LIN et pentes des berges), est alors utilisée.

Les échanges entre le plan d'eau et la nappe (supposée libre) sont modélisés à partir de la formule de Dupuit, en faisant l'hypothèse que le plan d'eau peut être décrit comme un puits cylindrique de rayon équivalent R_{EQ} . Le débit $Q(i)$ (en m^3/s) depuis la nappe vers le plan d'eau est alors donné par :

$$Q(i) = \frac{\pi K_s \times (h_N^2(i) - h_S^2(i))}{\ln(R_A(i)/R_{EQ})} \quad (5.2)$$

Où : $h_N(i) = Z_N(i) - Z_{IMP}$, avec $Z_N(i)$ la cote de la nappe (en m NGF) au pas de temps i telle que fournie par la chronique piézométrique type et Z_{IMP} le mur de la nappe compris entre la base des marnes infra-gypseuses et la partie supérieure du marno-calcaire de Saint-Ouen ; $h_S(i) = Z_S(i) - Z_{IMP}$ avec $Z_S(i)$ le niveau d'eau dans le lac (en mNGF) ; K_S = la conductivité hydraulique à saturation du sol supposé homogène au-dessus de Z_{IMP} ; R_A = le rayon d'action du plan d'eau (en m) pouvant être estimé à partir de la formule de Sichard (ici modifiée pour éviter que R_A ne devienne trop réduit, voire négatif):

$$R_A = \max(R_{EQ} + 3000 \sqrt{K_S} \times (h_N - h_S), R_{EQ} + \Delta R_{MIN}) \quad (5.3)$$

Où : ΔR_{MIN} correspond à un écart minimum entre le rayon apparent du plan d'eau R_{EQ} et le rayon

d'action R_A . Ce paramètre (« artificiel ») a une incidence directe sur la valeur de $Q(i)$ calculée par la formule de Dupuit et traduit ici l'incertitude quant à la validité de la formule de Sichardt.

L'évolution du volume V dans le plan d'eau est alors donnée par l'équation suivante (où $S(V)$ désigne la surface en eau calculée à partir de la relation Hauteur-Volume-Surface) :

$$\frac{dV}{dt} = Q + S(V) \times (P - E) \quad (5.4)$$

5.2 Modélisation des scénarios

Parmi les quatre scénarios d'aménagement décrits en 2.2, seuls les scénarios « intermédiaires » et « maximum », ont ici été retenus (le scénario « minimum » n'étant en effet pas compatible avec les valeurs de pentes prévues sur le plan d'eau). La réalisation de plans d'eau constitués de bassins étagés, telle qu'initialement envisagée pour ces trois scénarios, apparaît peu réaliste en raison des difficultés techniques qu'elle soulèverait. Étant donné les différences de niveau d'eau visé pour les bassins amont et aval (respectivement situés en partie nord et sud de la zone d'étude), il semble en effet difficile de garantir le maintien en eau du bassin amont susceptible de se vider dans le bassin aval. Les simulations sont donc réalisées en considérant le plan d'eau comme un unique bassin de surface équivalente à celle proposée pour les scénarios retenus. Les deux scénarios « intermédiaires » devenant, pour une telle approche sensiblement identiques, seuls les scénarios « de référence » et « maximum » ont finalement été modélisés dans le cadre de cette étude. Le niveau d'eau visé dans le lac est de 56 mNGF, mais on notera que la chronique piézométrique type ayant plutôt été calée sur les niveaux mesurés en partie sud, cet objectif pourrait être abaissé à 55,5 mNGF (c'est à dire l'objectif pour le lac inférieur).

Le modèle hydrologique introduit dans la section précédente n'offrant qu'une représentation idéalisée du système étudié (« plan d'eau + nappe »), ses différents paramètres ne peuvent pour la plupart pas être estimés de façon précise. L'ordre de grandeur du rayon équivalent R_{EQ} du lac peut par exemple être déduit de la géométrie de ce dernier en raisonnant sur ses dimensions (ex : longueur ≈ 500 m, largeur ≈ 150 m, $S^{0.5} \approx 266$ m), mais rien ne permet en revanche de l'identifier avec précision puisque sa géométrie diffère du puits circulaire auquel il est assimilé. De la même manière, la limite inférieure de la nappe n'étant pas clairement définie, la valeur de sa cote Z_{IMP} sera nécessairement approximative (ici supposée comprise entre 45 et 52 m NGF).

Des gammes de valeurs plausibles des paramètres du modèle sont donc introduites pour l'étude du fonctionnement hydrologique du plan d'eau. Une configuration de référence est également définie afin d'analyser un-à-un l'effet de ces différents paramètres sur les résultats de modélisation (voir tableau ci-dessous).

Paramètre	Minimum	Maximum	Référence ¹
K_S (m.s ⁻¹)	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
ΔR_{MIN} (m)	50	500	50
Z_{IMP} (mNGF)	45	52	50
R_{EQ} (m)	150	500	266
Pente des berges immergées	1:10	1:4	1:8
Profondeur (m)	2	3	3
Surface (ha)	7.1	8.9	7.1

¹Pour la configuration « de référence » : R_{EQ} correspond à $S^{0.5}$, Z_{IMP} au niveau intermédiaire entre les estimations haute et basse de ce paramètre. Une valeur de pente intermédiaire mais nettement inférieure à 1:4 est privilégiée (plus compatible avec l'exigence de berges faiblement inclinées). La surface est celle du scénario « de référence ». La profondeur testée est celle initialement envisagée. Les valeurs de K_S et ΔR_{MIN} correspondent à un cas de figure favorable en termes de fonctionnement hydrologique du plan d'eau (L'objectif est donc d'évaluer l'incidence des autres paramètres pour cette configuration « plus favorable »).

Parmi les différents paramètres du modèle hydrologique, deux d'entre eux apparaissent particulièrement incertains mais également déterminants pour le calcul des échanges entre la nappe et le plan d'eau : (1) l'écart minimum ΔR_{MIN} entre le rayon d'action et le rayon équivalent du lac et (2) la conductivité hydraulique à saturation du sol K_S . L'écart ΔR_{MIN} a ici une incidence directe sur le rayon d'action du plan d'eau et donc sur les flux simulés à partir de la formule de Dupuit. Un encadrement volontairement large de ΔR_{MIN} , entre 50 et 500 m, est donc retenu. Pour la conductivité hydraulique à saturation du sol compte tenu de l'incertitude quant à la perméabilité des formations présente sur la zone d'étude, deux scénarios contrastés sont envisagés pour les simulations avec des valeurs de K_S de 5.10^{-7} et 5.10^{-5} m/s.

Dans la suite, l'étude du fonctionnement hydrologique du plan d'eau (en particulier des niveaux d'eau simulés dans le lac) est organisée de la façon suivante :

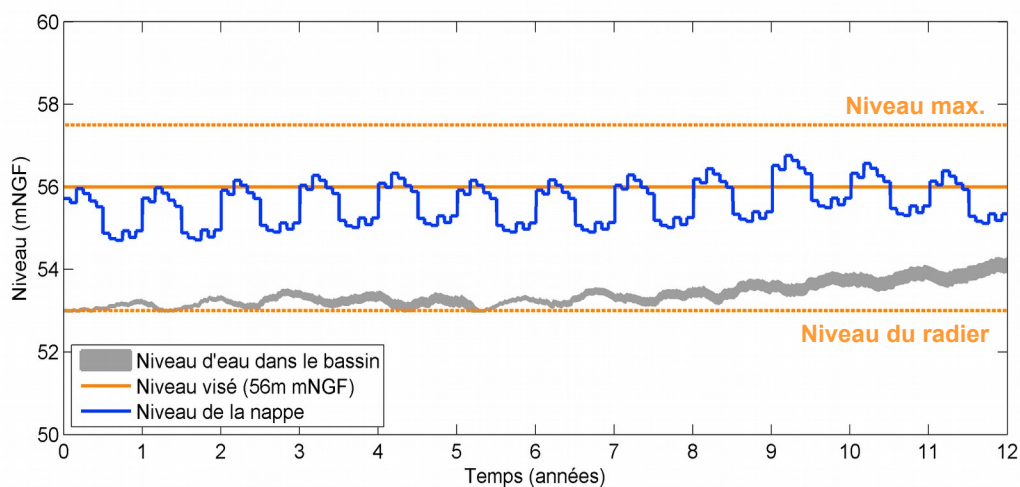
1. **L'effet de la conductivité hydraulique du sol K_S** , compte tenu de l'incertitude sur la valeur de ΔR_{MIN} , est analysé en fixant l'ensemble des autres paramètres à leur valeur de référence.
2. **La sensibilité des résultats aux paramètres du modèle** (autres que K_S et ΔR_{MIN}) est examinée pour la configuration de référence en analysant la variabilité induite par ces derniers sur les niveaux d'eau simulés. Aux paramètres hydrologiques s'ajoutent ici les caractéristiques du plan d'eau dont certaines (pente des berges ou profondeur) n'ont pas été définies de façon précises dans les scénarios de LIN.

L'ensemble des simulations est ici réalisé en tenant compte du remplissage du plan d'eau, c'est-à-dire en supposant celui-ci vide au début de la période de modélisation.

5.2.1 Incidence de la conductivité hydraulique du sol

- **Hypothèse « $K_S = 5.10^{-7}$ m/s »**

Le graphique ci-dessous fait apparaître les niveaux d'eau simulés dans le lac dans l'hypothèse d'une faible valeur de K_S , en considérant deux valeurs de ΔR_{MIN} (50 et 500 m). Les gammes de hauteurs d'eau pouvant être attendues entre ces deux valeurs de ΔR_{MIN} sont représentées par un fuseau gris. La partie supérieure du fuseau gris correspond aux résultats obtenus dans le cas le plus favorable pour une valeur de ΔR_{MIN} de 50 m et la partie inférieure du fuseau au cas $\Delta R_{MIN} = 500$ m. D'une manière générale, le flux issu la nappe apparaît clairement insuffisant pour le scénario testé et ne permet a priori pas de garantir un niveau d'eau satisfaisant dans le bassin (pour rappel la cote visée était initialement de 56 m NGF).

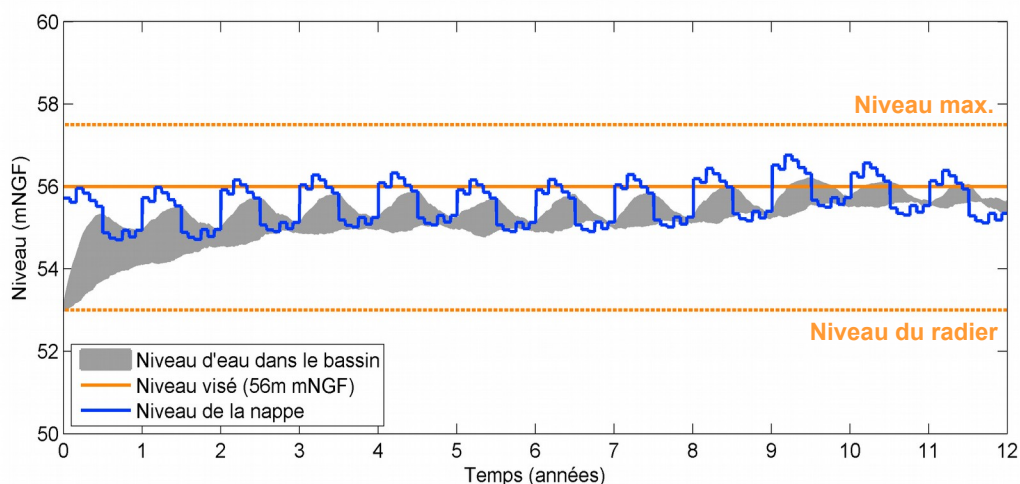


Les termes du bilan hydrologique du plan d'eau présentés dans le tableau ci-dessous confirment l'insuffisance de l'alimentation souterraine au regard des pertes par évaporation.

Terme du bilan	$\Delta R_{MIN} = 50 \text{ m}$	$\Delta R_{MIN} = 500 \text{ m}$
Volume de surverse	0 m ³ /an	0 m ³ /an
Volume issu de la nappe	4 300 m ³ /an	800 m ³ /an
Volume reçu par la nappe	0 m ³ /an	0 m ³ /an
Volume évaporé	40 800 m ³ /an	38 500 m ³ /an
Apports superficiels	41 700 m ³ /an	41 700 m ³ /an

- **Hypothèse « $K_S = 5.10^{-5} \text{ m/s}$ »**

Le graphique ci-dessous fait apparaître les niveaux d'eau simulés dans le lac dans l'hypothèse d'une valeur élevée de K_S . La partie supérieure du fuseau gris correspond aux niveaux simulés pour $\Delta R_{MIN} = 50 \text{ m}$ et la partie inférieure $\Delta R_{MIN} = 500 \text{ m}$. Les résultats indiquent en premier lieu que des niveaux de remplissage du plan d'eau sensiblement supérieurs à ceux simulés pour le scénario $K_S = 5.10^{-7} \text{ m/s}$ peuvent ici être obtenus. Néanmoins, ces derniers demeurent le plus souvent inférieurs à la cote visée de 56 m NGF (par ailleurs rarement atteinte par la nappe) et se situent plutôt aux alentours de 55 mNGF. Il est en outre intéressant de constater que l'incertitude quant à la valeur de ΔR_{MIN} semble ici avoir une incidence plus importante sur les niveaux d'eau simulés dans le lac.



Les termes du bilan hydrologique du plan d'eau associés au scénario $K_S = 5.10^{-5} \text{ m/s}$ sont présentés dans le tableau ci-dessous :

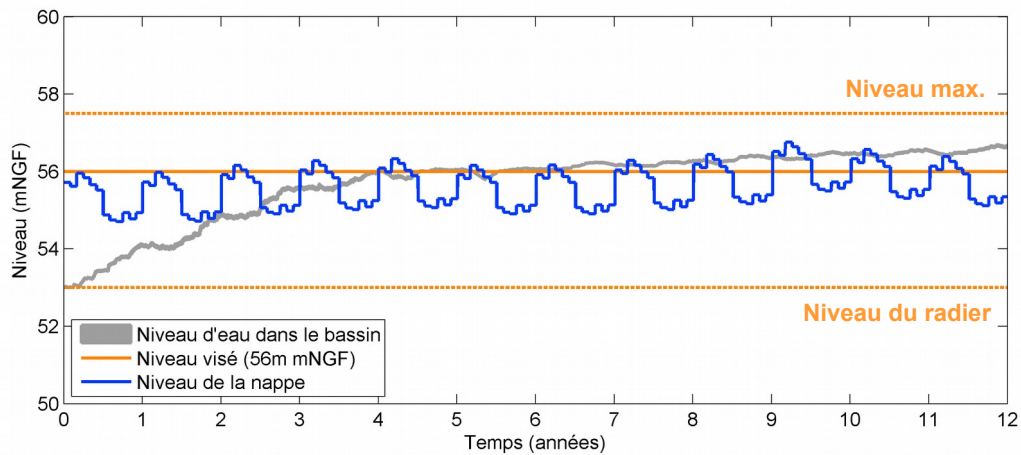
Terme du bilan	$\Delta R_{MIN} = 50 \text{ m}$	$\Delta R_{MIN} = 500 \text{ m}$
Volume de surverse	0 m ³ /an	0 m ³ /an
Volume issu de la nappe	73 600 m ³ /an	28 800 m ³ /an
Volume reçu par la nappe	42 500 m ³ /an	2 000 m ³ /an
Volume évaporé	62 500 m ³ /an	56 900 m ³ /an
Apports superficiels	41 700 m ³ /an	41 700 m ³ /an

Si les résultats obtenus suggèrent clairement que la combinaison des apports superficiels par les précipitations et des apports de la nappe est capable de compenser les pertes liées à l'évaporation, ces derniers font également apparaître la difficulté que représente l'estimation des flux entre la nappe et le plan d'eau, du fait de l'incertitude sur la valeur de ΔR_{MIN} . Ainsi, si les volumes issus de la nappe sont sensiblement accrus pour $\Delta R_{MIN} = 50 \text{ m}$, les flux du plan d'eau vers la nappe le sont également (ici d'un ordre de grandeur similaire aux apports par les

précipitations). On notera cependant, qu'indépendamment de la valeur de ΔR_{MIN} considérée, les flux dirigés de la nappe vers le lac demeurent bien supérieurs aux flux dirigés du lac vers la nappe.

- **Intérêt d'une alimentation complémentaire pour le cas $K_s = 5.10^{-7}$ m/s**

Étant donné les faibles niveaux d'eau simulés dans l'hypothèse d'un sol faiblement perméable ($K_s = 5.10^{-7}$ m/s), des simulations supplémentaires sont réalisées pour illustrer l'intérêt d'une alimentation complémentaire du plan d'eau. Bien que différentes sources d'alimentation pourraient en pratique être envisagées, ces apports complémentaires sont dans la suite modélisés comme le ruissellement généré par une surface active de 10 ha (représentant à l'échelle annuelle un volume supplémentaire de l'ordre de 60 000 m³.) Les résultats obtenus indiquent alors, que dans une telle configuration, le maintien en eau du bassin à un niveau proche de la cote visée pourrait être envisagé avec des risques probablement limités de réalimentation de la nappe par le plan d'eau.



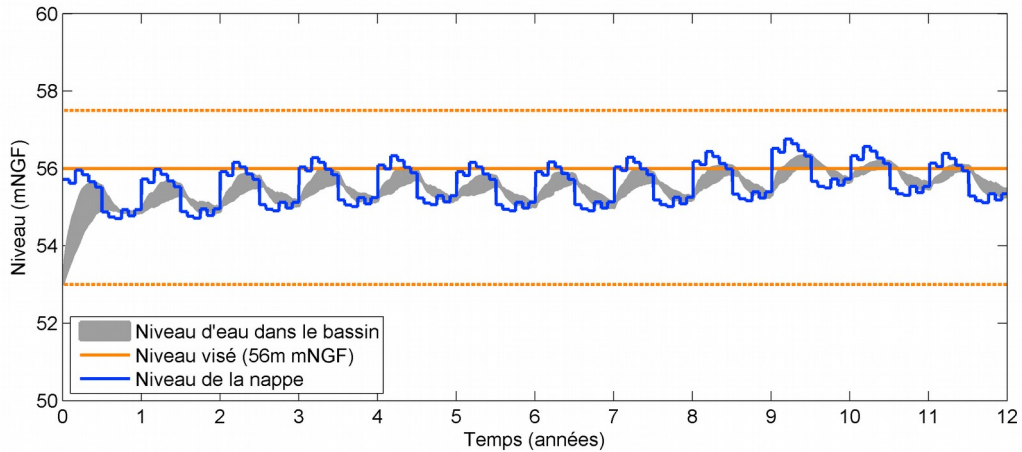
Les termes du bilan hydrologique associé à ce scénario sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	$\Delta R_{MIN} = 50$ m	$\Delta R_{MIN} = 500$ m
Volume de surverse	0 m ³ /an	0 m ³ /an
Volume issu de la nappe	720 m ³ /an	130 m ³ /an
Volume reçu par la nappe	1 600 m ³ /an	250 m ³ /an
Volume évaporé	75 400 m ³ /an	75 800 m ³ /an
Apports superficiels	100 000 m ³ /an	100 000 m ³ /an

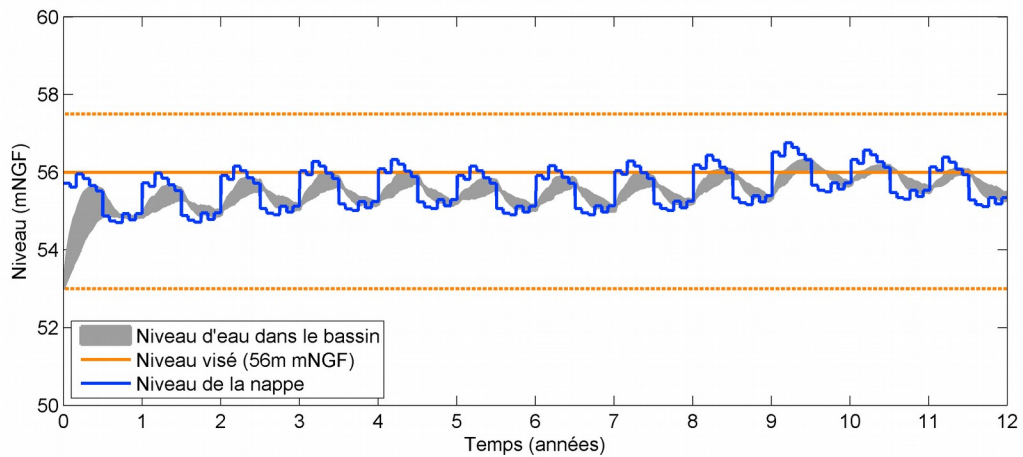
5.2.2 Sensibilité des résultats aux paramètres du modèle

L'incidence sur les niveaux d'eau simulés des différents paramètres du modèle hydrologique (autres que ΔR_{MIN} et K_s) est étudiée dans les pages qui suivent. De la même manière que dans les graphiques précédents, l'écart entre les niveaux d'eau simulés pour la valeur minimale et maximale du paramètre étudié (lorsque tous les autres sont fixés à leur valeur de référence) est représenté par un fuseau gris.

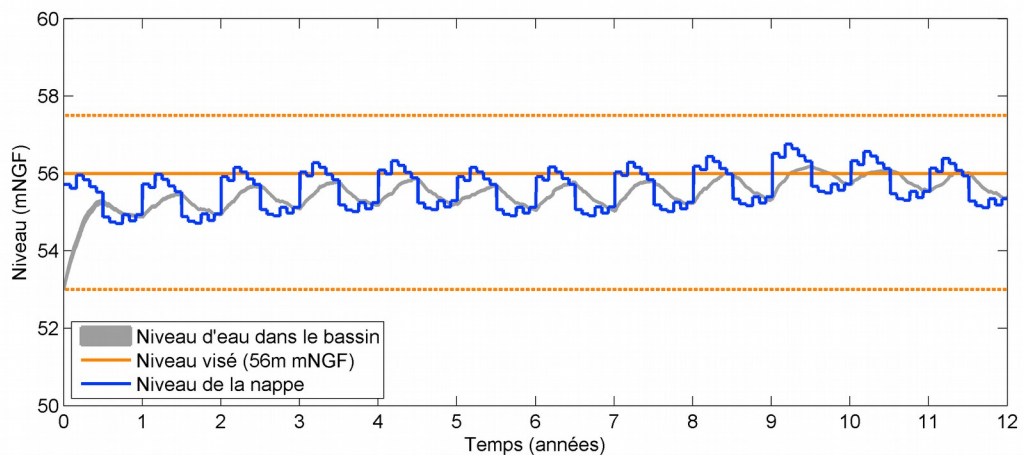
- **Effet du rayon équivalent R_{EQ}**



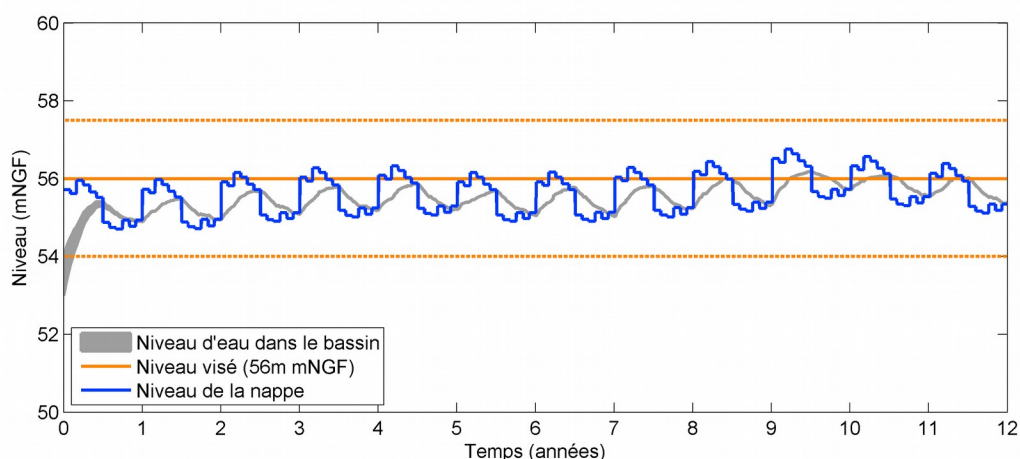
- **Effet de la cote inférieure de la nappe Z_{IMP}**



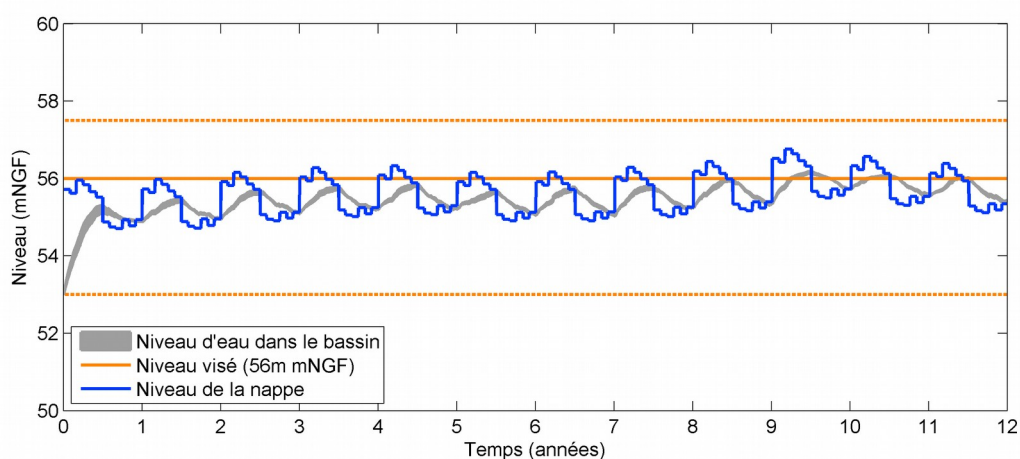
- **Effet de la pente des berges immergées**



- **Effet de la profondeur du plan d'eau**



- **Effet de la surface du plan d'eau**



- **Conclusion**

L'analyse précédente indique que les niveaux d'eau simulés sont assez sensibles à la valeur des paramètres Z_{IMP} et R_{EQ} intervenant directement dans le calcul des flux entre la nappe et le plan d'eau (Pour rappel, Z_{IMP} et R_{EQ} correspondent respectivement à la limite inférieure de la nappe et au rayon équivalent du plan d'eau). Ces paramètres peuvent toutefois être estimés de façon nettement plus satisfaisante que ΔR_{MIN} ou K_S , et les valeurs de référence utilisées dans les simulations précédentes demeurent ici assez vraisemblables. Les tests de sensibilité montrent en revanche que l'incidence sur les niveaux d'eau simulés des paramètres renvoyant aux caractéristiques du lac (superficie, profondeur et pente des berges) est probablement très limitée.

En comparaison des paramètres hydrologiques contrôlant le débit issu de la nappe, les caractéristiques de l'ouvrage n'ont qu'une incidence réduite sur les niveaux d'eau simulés. Le fonctionnement hydrologique du plan d'eau est donc (pour la configuration de référence) essentiellement contrôlé par les flux souterrains, eux même conditionnés par les fluctuations du niveau de la nappe. Il convient cependant de remarquer que le modèle hydrologique ne permet pas de rendre compte de l'incidence de la géométrie, et en particulier de la profondeur du lac, sur la température de l'eau qui conditionne en partie les flux d'évaporation. L'effet de ces paramètres pourrait donc être légèrement sous-estimé.

5.3 Synthèse

Le fonctionnement hydrologique du plan d'eau apparaît largement dépendant des caractéristiques hydrogéologiques du sol (que reflète dans le modèle le paramètre K_S) et pour lesquelles subsistent à ce stade des incertitudes. Les résultats obtenus indiquent en outre que le paramètre ΔR_{MIN} contrôlant la valeur minimale du rayon d'action dans la formule de Dupuit s'avère assez déterminant. Différentes conclusions peuvent néanmoins être formulées.

Dans l'hypothèse où les conditions hydrogéologiques du site seraient plutôt favorables (perméabilité de l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ m/s), les résultats de modélisation indiquent que les apports par la nappe seraient suffisants pour assurer le maintien d'un niveau d'eau relativement important dans l'ouvrage (bien que le plus souvent inférieur à la cote initialement visée de 56 mNGF).

Si à l'inverse les caractéristiques du sol s'avéraient plus défavorables (perméabilité de l'ordre de $5 \cdot 10^{-7}$ m/s), la combinaison des flux souterrains et des apports superficiels (via les précipitations) ne permettrait pas de compenser les pertes par évaporation et de garantir un niveau d'eau satisfaisant dans le lac. Dans de telles conditions, l'alimentation du plan d'eau par une source complémentaire (restant à définir) devrait probablement être envisagée. Les résultats précédents indiquent en particulier que le maintien du niveau du lac autour de 56 mNGF deviendrait possible avec un apport complémentaire de l'ordre de 60 000 m³/an, lequel ne donnerait par ailleurs lieu qu'à une ré-alimentation limitée de la nappe par le plan d'eau (à condition que le sol soit effectivement très peu perméable).

D'une manière générale, il semble important de souligner que le débit d'alimentation par la nappe est en grande partie conditionné par la différence entre le niveau de cette dernière et celui de l'eau dans le bassin. Ainsi, une alimentation souterraine n'est possible que lorsque le niveau de la nappe se trouve supérieur à celui du plan d'eau. Dans le cas contraire, ce sont à l'inverse les volumes stockés dans le bassin qui alimentent la nappe (dans des proportions variables suivant la nature du sol). L'objectif initial de maintien du niveau d'eau dans le lac à 56 mNGF apparaît donc peu pertinent puisque supposant un déséquilibre important entre la nappe et celui-ci. Il serait par conséquent préférable d'abaisser ce niveau à une cote de 55 mNGF, plus compatible avec les niveaux de la nappe en période de basses eaux. L'augmentation considérable des volumes de déblais qu'impliquerait cet abaissement de la ligne d'eau dans le bassin conduit alors à s'interroger sur la viabilité du scénario « maximum » ($S = 8.9$ ha). Ainsi ce scénario « maximum » ne pourrait être à priori envisagé qu'en distinguant un lac supérieur étanche et un lac inférieur alimenté par la nappe.

Les résultats précédents indiquent enfin, que pour les différents scénarios de modélisation considérés, les caractéristiques du plan d'eau telles que sa surface, la pente de ses berges ou sa profondeur, n'ont qu'une incidence réduite sur les niveaux d'eau simulés. L'effet de ces caractéristiques apparaît particulièrement insignifiant au regard des incertitudes associées au calcul des flux entre la nappe et le plan d'eau, conséquence de la difficulté que représente la détermination de K_S et ΔR_{MIN} . Les conclusions quant à la possibilité de maintenir un niveau d'eau satisfaisant dans le lac grâce à une alimentation de ce dernier par la nappe sont ici totalement dépendantes de la valeur de K_S retenue pour caractériser la zone d'étude. Bien que la valeur de $5 \cdot 10^{-7}$ m/s s'avère particulièrement pessimiste, l'estimation de la perméabilité du sol n'en demeure pas moins problématique. Les résultats des essais Lefranc prévus en novembre 2016 dans la zone d'étude devraient permettre de lever en partie l'incertitude quant à la valeur de K_S et aux débits issus de la nappe. Si l'alimentation du plan d'eau par la nappe est retenue, il sera néanmoins probablement nécessaire de prévoir des investigations complémentaires lors des phases ultérieures du projet. Ainsi, la réalisation, dans un deuxième temps, d'un essai de pompage pourra s'avérer nécessaire pour mieux caractériser la perméabilité globale de la formation aquifère superficielle et de mieux estimer la valeur du rayon d'action R_A du plan d'eau, ce qui permettrait de réduire l'incertitude sur le paramètre ΔR_{MIN} , auquel le modèle est également très sensible.

6 Faisabilité du lac au regard des risques identifiés

6.1 Aléa lié à la dissolution du gypse

Le gypse est une roche soluble. En présence d'eau insaturée en calcium et en sulfate, la masse minérale va se dissocier, ses ions passant en solution selon la formule suivante :



Tant que les quantités d'ions en solutions n'atteignent pas une valeur limite (saturation), cette réaction va se poursuivre et provoquer un départ de matière solide. En fonction des contextes géologiques (importance des niveaux gypseux) et hydrogéologiques (écoulement suffisamment importants), les masses mises en solution peuvent être importantes et laisser la place à des cavités dans le sous-sol.

Sur le territoire de la Seine Saint-Denis, certaines formations géologiques renferment des épaisseurs significatives de gypse (Cf. § 3.2) et des désordres consécutifs à leur dissolution sont connus sur la commune de Sevrans et les communes limitrophes.

Cependant, les vitesses de dissolution restent relativement faibles et, sauf modifications anthropiques locales, les écoulements hydrogéologiques lents de ce secteur de la Plaine de France, favorisent la mise en place d'un équilibre hydrogéologique.

6.1.1 Typologie des phénomènes

Selon les contextes géologiques et notamment en fonction des épaisseurs de gypse, de l'épaisseur et de la nature des terrains qui les recouvrent, différentes typologies de désordres peuvent être observées en surface.

Lorsque des bancs gypseux épais sont soumis à la dissolution, les volumes de vides créés peuvent être assez conséquents. Leur évolution pourra alors impacter la surface soit sous forme d'effondrements ponctuels, lorsque des terrains rocheux au sein de la couverture permettent le développement de la cavité, soit sous forme de tassements lorsque les terrains de couverture, insuffisamment rigides, se déforment progressivement (Figure n°16).

Sous l'effet de l'érosion, les effondrements impactant la surface, sont généralement remblayés par des apports de surface (matériaux meubles déposés naturellement ou apports anthropiques). Cependant, ces zones ont été très fortement déstabilisées et des sollicitations mécaniques ou hydrodynamiques peuvent être à l'origine d'une réactivation de mouvements de la surface du sol. Ce type de phénomène a été observé lors des travaux de la tranchée couverte du RER B exécuté dans les années 1970 sur le territoire de Sevrans (Fig. n°17).

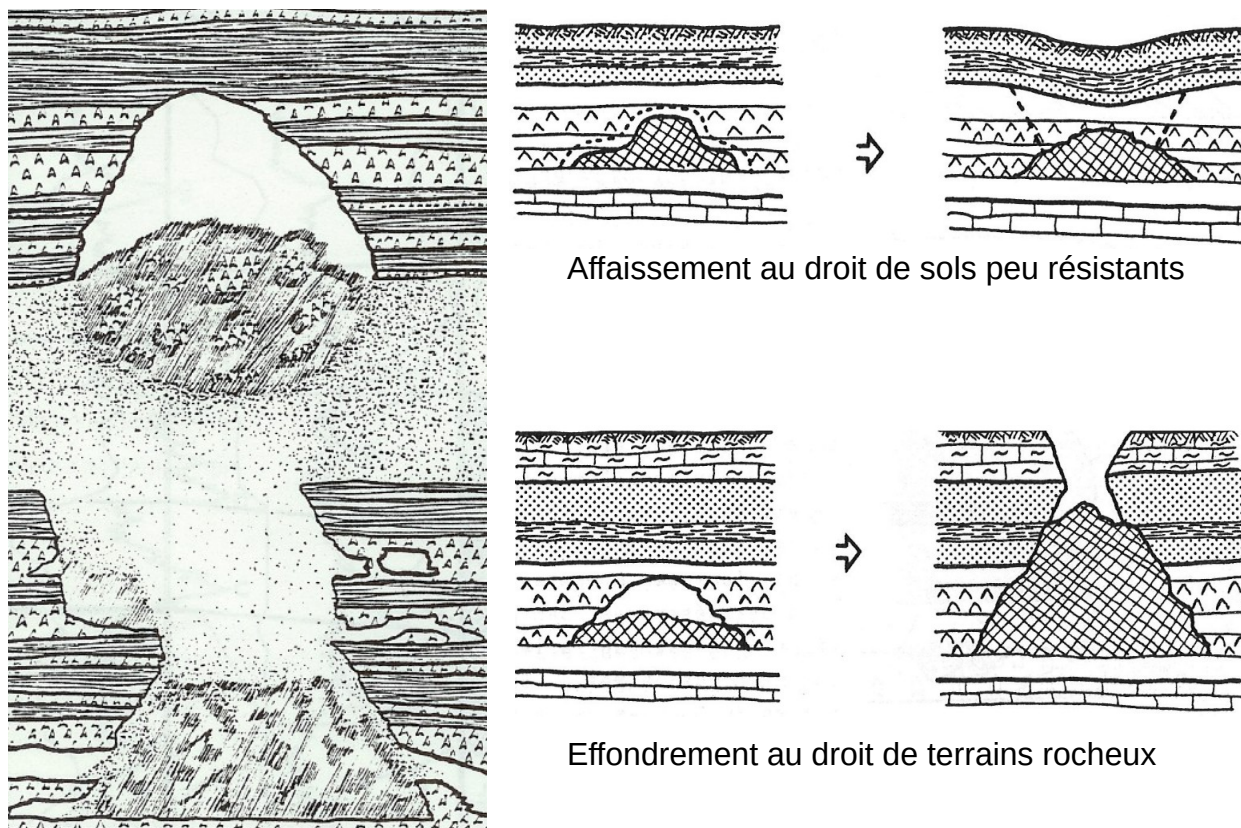


Figure n°16 : (Gauche) Schéma de la progression des vides suite à la dissolution du gypse sous la gare du Nord. (Droite) Typologie de manifestation en surface selon la nature des terrains de couverture

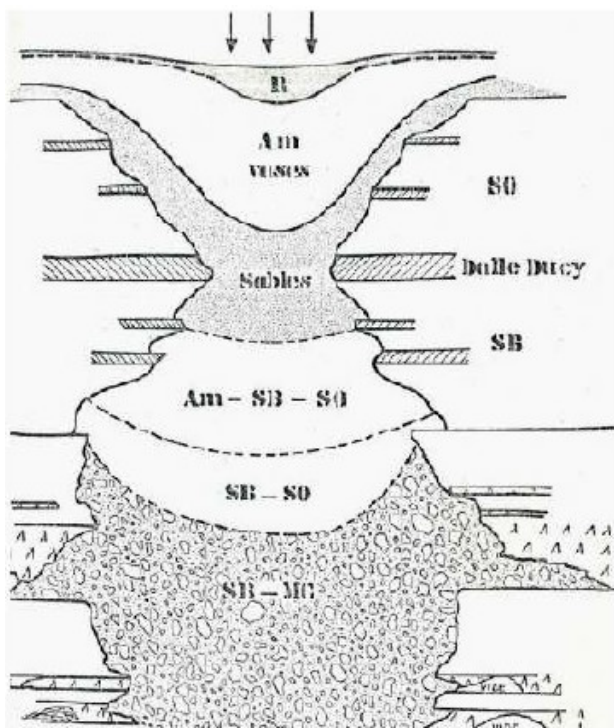


Figure n°17 : Schéma d'anciens effondrements de dissolution « remobilisés » lors des pompages intensifs des travaux du RER B (LREP - 1974)

L'appréciation de l'aléa (probabilité d'apparition d'effondrement ou d'affaissement en surface) s'appuie donc sur :

- l'identification des zones renfermant des épaisseurs de gypse situées suffisamment proche de la surface pour y générer des désordres (ou l'identification des formations susceptibles de receler du gypse) ;
- la délimitation des zones ayant connues des phénomènes de dissolution, susceptibles de présenter d'anciens effondrements.

6.1.2 Caractéristiques des formations gypseuses du site

Pour affiner la compréhension du contexte géologique et évaluer l'importance des épaisseurs de gypse susceptibles d'être rencontrées, une modélisation géologique du sous-sol a été utilisée.

Un modèle numérique intégrant l'ensemble des données de sondages disponibles (231 sondages profonds en janvier 2016), a permis d'interpoler les surfaces des horizons géologiques et d'extrapoler en tout point de la zone d'étude l'épaisseur des formations renfermant du gypse. Comme indiqué au paragraphe 3.2, ces épaisseurs fournissent une indication sur la présence de gypse.

En complément, les descriptions lithologiques des sondages profonds, disponibles proche de la zone d'étude, ont été analysées.

Les caractéristiques suivantes en ont été déduites :

- Horizon des Marnes et Caillasses (Figure 18)

Au droit de la zone d'étude, la formation est présente sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 16 m (7 points comptabilisés). La probabilité d'être confronté à des niveaux gypseux n'est pas exclue.

Les descriptions lithologiques consultées font état de petits niveaux gypseux limités à quelques décimètres représentant une épaisseur cumulée comprise entre 1,75 et 2 m, située entre 34,5 et 38,7 m sous la surface du terrain naturel. Le rapport entre l'épaisseur cumulée des niveaux gypseux et leur profondeur est de l'ordre de 0,05.

- Horizon des Marnes Infragypseuses (Figure 19)

Au droit de la zone d'étude, l'ensemble des Marnes Infragypseuses présente une épaisseur comprise entre 1 et 6 m.

Les descriptions lithologiques auxquelles nous avons eu accès ne mentionnent pas de gypse au droit de la zone d'étude. Même si la description de petits niveaux gypseux ait pu être omise ou non identifiée du fait de la nature des sondages, il est très probable qu'aucun niveau gypseux supérieur à 1 m n'ait été rencontré.

Cependant, au sud de la zone d'étude, les sur-épaisseurs de cet horizon rendent probables la présence de gypse sur des épaisseurs de 1 à 2 m.

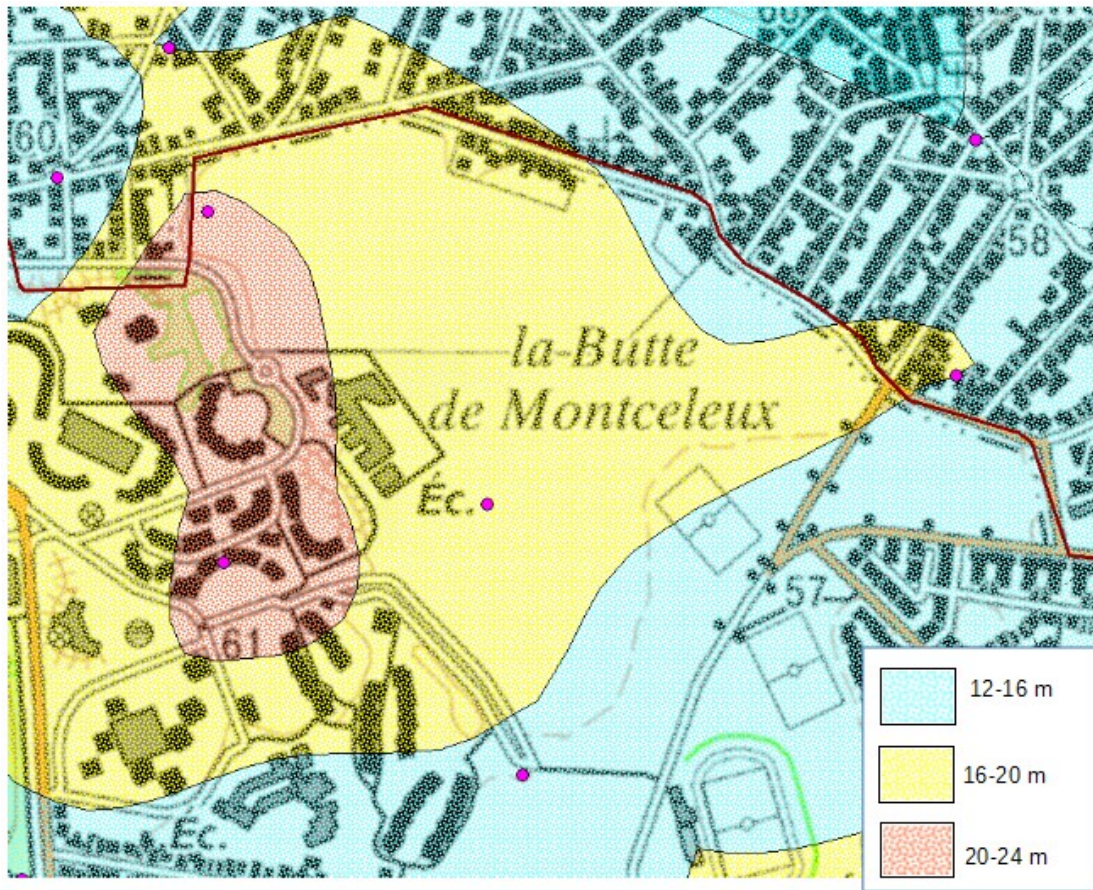


Figure n°18 : Carte d'épaisseur des Marnes et Caillasses et localisation des points de sondages consultés

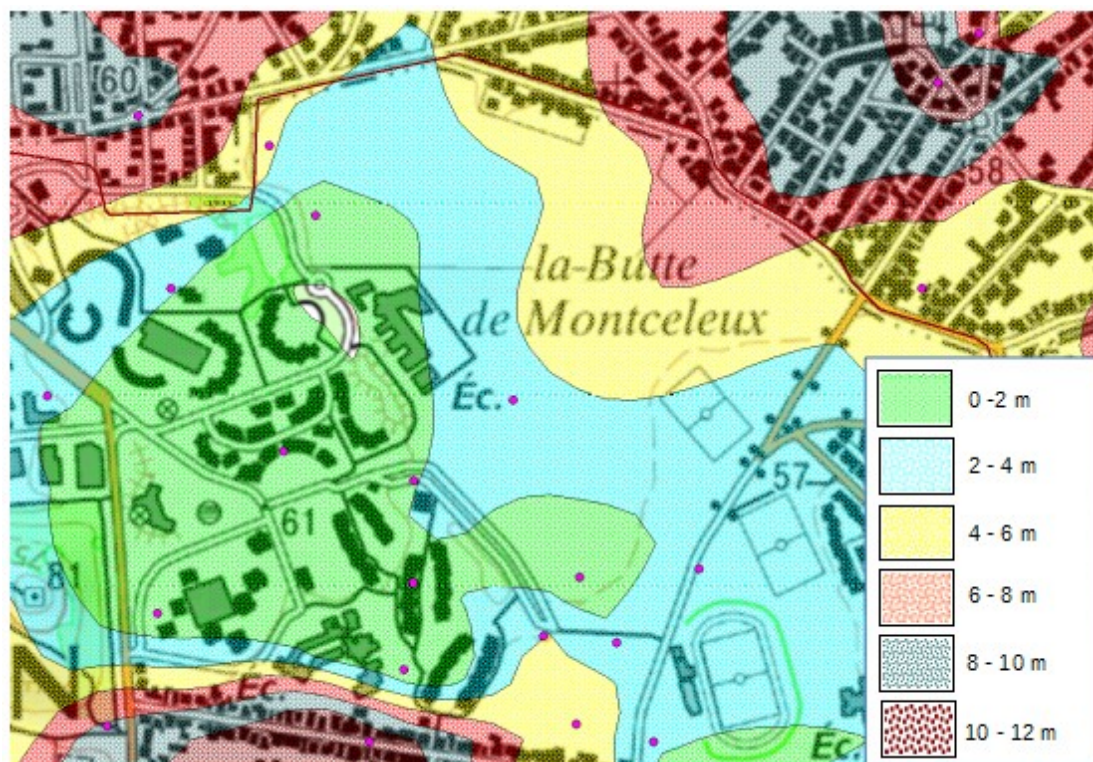


Figure n°19 : Carte d'épaisseur des Marnes Infragypseuses et localisation des points de sondages consultés

En tenant compte des grilles de prédisposition à l'aléa (Figure 20), proposées dans le cadre de la cartographie de l'aléa lié à la dissolution du gypse établie à la demande des services de l'État sur les communes de Sevrans, Villepinte et Tremblay-en-France, les modèles géologiques décrits ci-dessus conduisent à ne retenir que des aléas nuls pour les phénomènes de dissolution des gypses du Lutétien et du Ludien et ce quelque-soit le contexte hydrogéologique.

Prédisposition à l'aléa « mouvements de terrain » lié à la dissolution du gypse		Contexte hydraulique	
		Potentiel de dissolution limitée	Potentiel de dissolution avéré
Epaisseur cumulée de gypse	$e < 1 \text{ m}$	Nulle	Nulle
	$1 \text{ m} \leq e < 3,5 \text{ m}$	Peu Sensible	Sensible
	$e \geq 3,5 \text{ m}$	Sensible	Très Sensible

Prédisposition à l'aléa « mouvements de terrain » lié à la dissolution du gypse		Contexte hydraulique	
		Circulation conforme à la piézométrie régionale	Circulation privilégiée d'eau (gradient élevé)
[Rapport] épaisseur cumulée de gypse / profondeur (e/p)	$e/p < 0,08$	Nulle	Nulle
	$0,08 \leq e/p < 0,2$	Très Peu Sensible	Peu Sensible
	$e \geq 0,2$	Peu Sensible	Sensible

Figure n°20 : Grilles de prédisposition à l'aléa dissolution du gypse du Ludien (en haut) et du gypse du Lutétien (en bas)

Enfin, s'agissant de l'existence de zones de dissolution anciennes qui pourraient être le siège de réactivation d'effondrements passés, l'examen des désordres inventoriés lors des études antérieures (cartographie de l'aléa à l'échelle de Sevrans, Villepinte et Tremblay-en-France) n'indique pas de manifestation de surface au droit de la zone d'étude. Seul un sondage situé dans l'emprise de la zone d'étude mentionne un vide de l'ordre de 1,5 m situé à 28 m de profondeur.

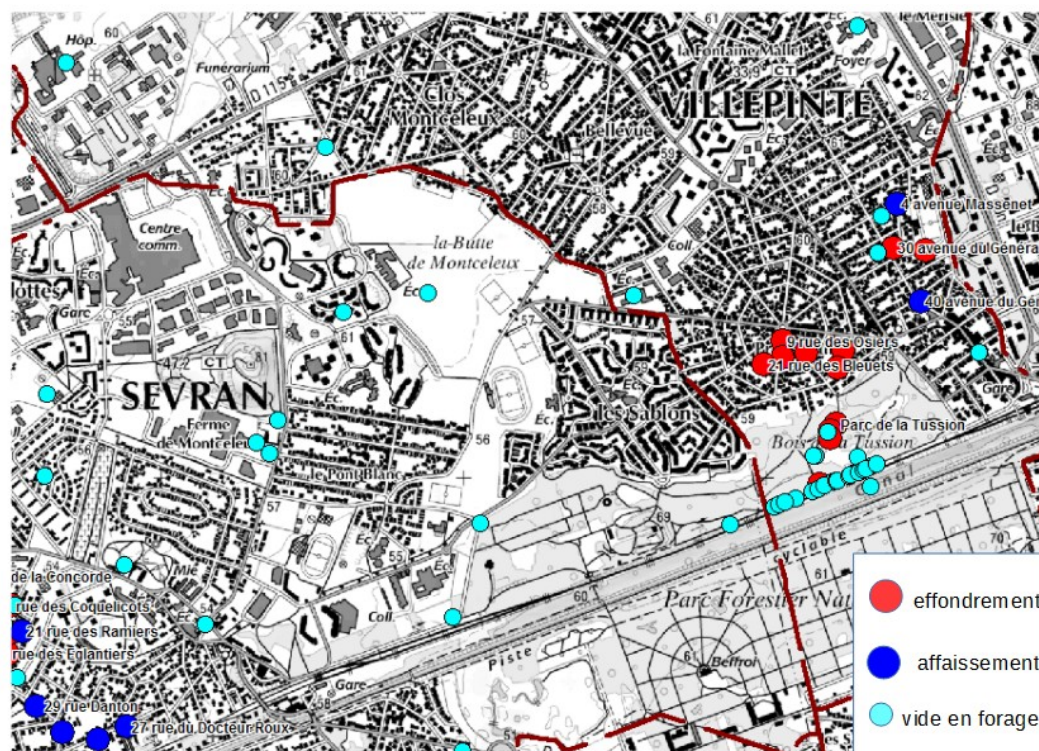


Figure n°21 : Localisation des désordres connus liés à la dissolution

6.1.3 Impact potentiel du fonctionnement de l'ouvrage

Si le contexte géologique mis en évidence au droit de la zone d'étude semble plutôt rassurant vis-à-vis de l'aléa dissolution, ce n'est pas le cas en amont et aval hydrogéologique.

S'agissant de l'horizon des Marnes et Caillasses, en bordure ouest de la zone d'étude, plusieurs sondages indiquent un épaississement susceptible de renfermer des niveaux gypseux profonds.

Pour l'horizon des Marnes Infragypseuses (incluant les masses résiduelles de la base des Masses et Marnes du Gypse), des surépaisseurs importantes sont identifiées au sud et au nord-est de la zone d'étude.

Sous réserve que les écarts entre le niveau du lac et la cote piézométrique de la nappe restent limités (objectif d'un niveau de lac en cohérence avec le battement de la nappe), les charges hydrauliques créées ne devraient pas être suffisamment importantes pour avoir une incidence sur l'aquifère des Marnes et Caillasses : le fonctionnement de l'ouvrage ne devrait donc pas générer un aléa supplémentaire en bordure ouest (partie nord du secteur Montceleux).

Les impacts potentiels au sud et au nord-est sont plus délicats à évaluer. En effet, les formations gypseuses concernées sont en contact direct avec l'aquifère mobilisé pour alimenter le lac (voire y évacuer des surcharges hydrauliques). De plus, la typologie du bâti présent dans ces zones est relativement vulnérable (maison individuelle).

Pour ce secteur, outre l'incidence des fluctuations hydrodynamiques de la nappe, les modifications durables des équilibres physico-chimiques au sein de l'aquifère pourront s'avérer préjudiciables.

Au regard de ces éléments, il semble nécessaire d'affiner la connaissance du site et de l'impact possible de l'ouvrage en :

- précisant, à l'aide de sondages, la nature et l'épaisseur des formations ludiennes au droit du projet,
- essayant de caractériser l'impact hydrodynamique du fonctionnement du lac via des essais de perméabilité in situ,
- réaliser des analyses physico-chimiques afin de caractériser les faciès géochimiques de la nappe superficielle et de la nappe du Saint-Ouen.

6.2 Sites et sols pollués

6.2.1 Inventaire des sites pollués (BASOL)

L'inventaire disponible sur la base de données BASOL du MEEDM, recensant les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif, ne met en évidence aucun site (potentiellement) pollué dans un rayon de 2 km autour du site du projet de lac.

6.2.2 Inventaire des anciens sites industriels et activités de service (BASIAS)

L'inventaire disponible sur la base de données BASIAS du MEEDM, recensant les anciens sites industriels et activités de service recense 11 sites dans un rayon de 1 km autour du site du projet de lac comme résumé dans le tableau ci-après.

Société	Type d'activité	Activité	en	Commune	Localisation	par
---------	-----------------	----------	----	---------	--------------	-----

		cours/Arrêtée		rapport au site
TOTAL RELAIS des CARREAUX IDF9302008	Station service de toute capacité de stockage);Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)	En activité	Villepinte	970 m au Nord-Ouest Aval latéral
RSV IDF9304061	Entretien et réparation de véhicules automobiles	En activité	Villepinte	810 m au Nord Latéral
GARAGE MONACO - RENAULT IDF9304064	Entretien et réparation de véhicules automobiles	En activité	Villepinte	869 m au Nord Latéral
OPEL GUIOT IDF9304066	Entretien et réparation de véhicules automobiles	En activité	Villepinte	775 m u Nord Latéral
GARAGE de l'AVIATION IDF9304067	Entretien et réparation de véhicules automobiles		Villepinte	985 m au au Nord-Ouest Latéral
GARAGE SARLABOUS - FORD IDF9304071	Entretien et réparation de véhicules automobiles	En activité	Villepinte	920 m au Nord Latéral
GARAGE DIDEROT - PEUGEOT IDF9304072	Entretien et réparation de véhicules automobiles	En activité	Villepinte	775 m au Nord Latéral
EXPRESS OIL IDF9304500	Station service de toute capacité de stockage);Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)	En activité	Sevrans	930 m Nord-Ouest Latéral
PAX RECUPERATION DE PEINTURES ET METAUX IDF9305391	Collecte, traitement et élimination des déchets	Ne sait pas	Villepinte	910 m au Nord-Nord-Est Latéral
SAC IDF9302014	Production et distribution de vapeur (chaleur) et d'air conditionné	Activité terminée	Villepinte	830 m au Nord-Est Amont
SOCCRAM DALKIA CHAUFFAGE SOCCRAM- MONTENAY IDF9302038	Production et distribution de vapeur (chaleur) et d'air conditionné	En activité	Sevrans	550 m au Sud-Ouest Aval



Figure n°22 : Localisation des sites Basias (rayon de 1 km)

Compte-tenu de la distance des sites et de leurs positions hydrauliques, les risques de transferts de pollution vers le site du projet sont considérés comme faibles.

6.2.3 Remblais pollués de la Morée

D'après notre connaissance du secteur, il est reconnu que les terrains de couverture sont souvent constitués de remblais anthropiques. Il s'agit souvent de dépôts de remblais de carrière, de terrain naturel ou artificiel comme les déchets de démolition, en comblement sur les alluvions de la Morée. Les services techniques de la ville de Sevrans ont par ailleurs pu constater que des scories provenant d'anciennes fonderies ont fréquemment été utilisées comme remblais sur le territoire de la commune. Ces remblais urbains hétérogènes, d'une profondeur variable (habituellement de 1 à 4 m), présentent parfois des pollutions intrinsèques (métaux, hydrocarbures, HAP, etc.) qui peuvent entraîner en cas de terrassement et d'évacuation hors site des déblais, des surcoûts d'élimination ou qui peuvent être incompatibles avec un usage sensible de baignade et activités de loisirs.

Au regard de ces éléments, il sera utile de vérifier la qualité physico-chimique des remblais par échantillonnage lors des sondages de reconnaissance proposés précédemment.

7 Conclusions

7.1 Synthèse

L'étude des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des terrains Montceuleux a permis d'estimer l'épaisseur des formations géologiques, la profondeur de la nappe et son sens d'écoulement. Les cartes piézométriques établies pour les périodes d'octobre 2015 et avril 2016 montrent l'influence que semble encore exercer la Morée, ancien ru actuellement canalisé, sur les écoulements souterrains. En raison du gradient hydraulique existant et de la topographie, marquée par une pente orientée vers l'ancien ru, la nappe phréatique est nettement plus profonde au nord des terrains Montceuleux qu'au sud. Ainsi la création d'un lac unique couvrant la majorité de ces terrains nécessiterait des terrassements très importants, générant une grande quantité de déblais.

Un modèle hydrologique de type réservoir a été développé afin d'étudier l'alimentation du lac par la nappe phréatique. Le fonctionnement hydrologique du plan d'eau apparaît largement dépendant des caractéristiques hydrogéologiques du sol, et en particulier de la perméabilité, qui affecte également le calcul du rayon d'action. Outre l'importance de la perméabilité, les simulations ont montré que le débit d'alimentation par la nappe est en grande partie conditionné par la différence entre le niveau de cette dernière et celui de l'eau dans le bassin. Les autres paramètres testés, tels que la surface et la profondeur du plan d'eau ainsi que la pente des berges semblent en revanche avoir un impact faible sur l'alimentation du plan d'eau (pour les gammes de valeurs considérées). On notera néanmoins que ce modèle, relativement simple, ne tient pas compte des variations de température dans le plan d'eau, qui elles peuvent être affectées par ces paramètres géométriques. L'impact des aménagements futurs (aux abords du plan d'eau) sur le bilan hydrique de la zone d'étude et le niveau des nappes n'a par ailleurs pas été pris en compte. Il conviendra donc de retenir que l'introduction de certaines espèces végétales ainsi que l'imperméabilisation du site à aménager sont susceptibles d'influencer les échanges entre la nappe et la surface (recharge et évapotranspiration),

La perméabilité a été estimée dans le présent rapport à partir de données bibliographiques, mais sa connaissance devrait être améliorée grâce aux essais géohydrauliques en forage prévus dans le cadre de la campagne d'investigations confiée à Fondasol par l'EPA Plaine de France. En l'attente de ces résultats, deux cas de figures peuvent être envisagés. Dans l'hypothèse où la perméabilité des formations superficielles serait relativement élevée (de l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ m/s), les résultats des modélisations indiquent que les apports par la nappe seraient suffisants pour assurer l'alimentation du plan d'eau, à condition que le niveau de marnage dans le plan d'eau soit proche du niveau de la nappe. Si, à l'inverse, les caractéristiques du sol s'avéraient plus défavorables (perméabilité de l'ordre de $5 \cdot 10^{-7}$ m/s), la combinaison des flux souterrains et des apports superficiels (via les précipitations) ne permettrait pas de compenser les pertes par évaporation et de garantir un niveau d'eau satisfaisant dans le lac. Dans de telles conditions, l'alimentation du plan d'eau par une source complémentaire (restant à définir) devrait probablement être envisagée. Les résultats précédents indiquent en particulier que le maintien du niveau du lac autour de 56 mNGF deviendrait possible avec un apport de l'ordre de 60 000 m³/an, lequel ne donnerait par ailleurs lieu qu'à une ré-alimentation limitée de la nappe par le plan d'eau (à condition que le sol soit effectivement très peu perméable).

L'étude de la faisabilité du lac au regard de la dissolution du gypse a mis en évidence un contexte géologique plutôt rassurant vis-à-vis de l'aléa dissolution au droit des terrains Montceuleux, mais il existe en revanche probablement des niveaux gypseux dans les Marnes et Caillasses en bordure ouest de la zone d'étude. Des surépaisseurs importantes de l'horizon des Marnes Infragypseuses au sud et au nord-est des terrains Montceuleux laissent également craindre l'existence de gypse. Sous réserves que les écarts entre le niveau du lac et la cote piézométrique de la nappe restent

limités, les charges hydrauliques créées ne devraient pas être suffisamment importantes pour avoir une incidence sur l'aquifère des Marnes et Caillasses : le fonctionnement de l'ouvrage ne devrait donc pas générer un aléa supplémentaire en bordure ouest (partie nord du quartier de Montceuleux). Les impacts potentiels au sud et au nord-est sont plus délicats à évaluer. En effet, les formations gypseuses concernées seront en contact direct avec l'aquifère mobilisé pour alimenter le lac (voire y évacuer des surcharges hydrauliques). De plus, la typologie du bâti présent dans ces zones est relativement vulnérable (maison individuelle).

L'absence de sites pollués ou potentiellement pollués (BASOL) à moins de 2 km, ainsi que la distance relativement importante entre les 11 anciens sites industriels et activités de service (BASIAS) recensés dans un rayon de 1 km autour des terrains Montceuleux permet d'estimer que les risques de transferts de pollution vers le site du projet sont faibles. Il conviendra en revanche de s'assurer de la qualité physico-chimique des remblais de la Morée, afin d'écartier les risques de pollution et définir les filières, en cas d'excavation des déblais.

En conclusion, cette étude permet d'ores et déjà d'orienter les choix d'aménagement du futur lac. Parmi les quatre scénarios d'aménagement transmis par l'agence LIN, seuls les scénarios « intermédiaires » et « maximum » avaient été retenus. Le scénario « minimum » n'était en effet pas compatible avec les valeurs de pentes prévues pour le plan d'eau. La réalisation de plans d'eau constitués de bassins étagés tous deux alimentés par la nappe, telle qu'initialement envisagée pour trois scénarios, apparaît par ailleurs peu réaliste en raison des difficultés techniques qu'elle soulèverait. Étant donné les différences de niveau d'eau visé pour les bassins amont et aval (respectivement situés en partie nord et sud de la zone d'étude), il semble en effet difficile de garantir le maintien en eau du bassin amont susceptible de se vider dans le bassin aval. L'aménagement d'un unique grand lac pose d'une part problème en raison de la présence du collecteur départemental ($\phi 1800$) qui traverse les terrains Montceuleux en leur milieu, et d'autre part à cause de l'approfondissement du toit de la nappe en partie nord. Ainsi, sous réserve que la perméabilité soit suffisante, deux possibilités semblent permettre de s'affranchir des nombreuses contraintes existantes : soit un unique lac alimenté par la nappe en partie sud, soit deux lacs, l'un étanche en partie nord, et l'autre alimenté par la nappe en partie sud. Dans tous les cas, il conviendra d'adapter le niveau visé dans le plan d'eau alimenté par la nappe au scénario retenu, afin de minimiser la différence entre le niveau d'eau dans le plan d'eau et le niveau de la nappe phréatique. Cet aspect est d'autant plus important que le niveau d'eau dans le plan d'eau peut à la fois affecter l'alimentation du plan d'eau, mais aussi, à contrario, la quantité d'eau s'infiltrant dans la nappe, ce qui peut avoir un impact sur le risque de dissolution du gypse. Enfin, il subsiste un certain nombre d'incertitudes, qu'il conviendra de lever, comme cela est décrit ci-dessous.

7.2 Incertitudes et suites à donner

Les principales incertitudes portent sur :

- la cartographie de la surface piézométrique au nord et à l'est de la zone d'étude : disposer de points de mesures supplémentaires permettrait d'affiner la cartographie de la surface piézométrique à l'amont hydrogéologique et de préciser l'emplacement de la ligne de partage des eaux entre le bassin versant de la Morée et celui du Sausset ;
- les perméabilités des formations superficielles, qui conditionnent la capacité de la nappe à alimenter le lac ainsi que le rayon d'action du lac ;
- l'épaisseur et les faciès lithologiques des formations géologiques (en particulier les formations ludiennes) au droit des terrains Montceuleux, où le nombre de sondages disponibles est faible ;
- les faciès géochimiques de la nappe superficielle et de la nappe du Saint-Ouen : les concentrations en ions majeurs peuvent en effet fournir des indications sur le risque de dissolution du gypse ;

- la qualité des eaux de la nappe superficielle et de la nappe du Saint-Ouen, en particulier vis-à-vis du risque de pollutions émanant des remblais de la Morée.

Les investigations préconisées par le Cerema devraient permettre de réduire ces incertitudes à un niveau suffisant pour le stade actuel du projet. Ces investigations, devant commencer en novembre 2016, comprennent (cf Figure 23) :

- 4 sondages d'une profondeur variant entre 7 m (pour les 2 sondages destructifs) et 20 m (pour les 2 sondages carottés),
- 3 piézomètres, dont 2 profonds et 1 court, afin de pouvoir comparer les caractéristiques (niveaux de nappe et géochimie) de la nappe superficielle et de la nappe du Saint-Ouen,
- 7 essais de perméabilité de type Lefranc,
- prélèvements d'eau dans les piézomètres, suivis d'analyses physico-chimiques (pH, Conductivité, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Sr^{2+} , SO_4^{2-} , Alcalinité (HCO_3^-), NO_3^- , Cl^-).

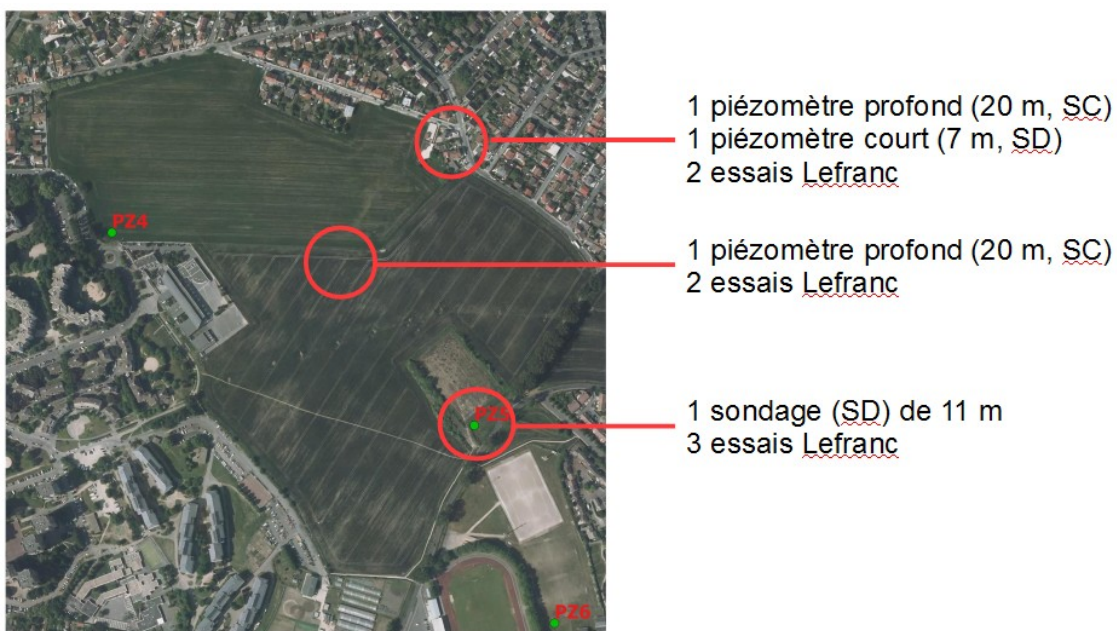


Figure n°23 : Localisation des reconnaissances complémentaires

La pollution potentielle des remblais de la Morée n'avait pas été envisagée lors de la définition de cette campagne de reconnaissances. Les carottes du sondage prévu à côté du piézomètre Pz5 pourront faire l'objet d'un examen attentif des remblais. En cas d'indice visuel de pollution (couleur, aspect), la recherche, dans le sol, d'hydrocarbures (HCT et HAP) et de métaux lourds est conseillée.

Lors des phases ultérieures du projet, des études complémentaires seront nécessaires pour la conception du lac. Certaines actions pourraient être initiées dès maintenant afin de réunir des éléments pouvant alimenter ces futures études.

D'après les informations recueillies par le Cerema, la ou les sources de la Morée s'écoulent à présent dans le collecteur de la Morée temps sec (collecteur départemental, $\phi 1800$). Il serait intéressant de vérifier ces informations et, si c'est bien le cas, de mesurer les débits de cette source et d'analyser la qualité de l'eau. Si les débits et la qualité de l'eau sont suffisants, cela pourrait constituer une source d'appoint pour l'alimentation du lac, qui offrirait l'avantage de présenter une minéralisation élevée, limitant les risques de dissolution du gypse en cas d'écoulement d'eau du lac vers la nappe phréatique.

Parmi les reconnaissances géotechniques complémentaires qui devront être réalisées lors des phases ultérieures du projet, la réalisation d'un essai de pompage semble indispensable en cas d'alimentation du lac par la nappe. Une modélisation hydrogéologique déterministe pourra également s'avérer nécessaire lors des phases de conception.

Enfin, malgré sa canalisation et sa transformation en collecteur d'eau usée, la Morée semble continuer à assurer une fonction de drainage de la nappe superficielle. Il conviendra d'être particulièrement vigilant sur ce point lors des études ultérieures, car cela peut avoir un impact déterminant sur le fonctionnement d'un lac situé en partie sud, aussi bien en termes d'alimentation du lac que d'écoulement à l'aval hydrogéologique. Un suivi simultané des niveaux piézométriques et des débits d'eaux claires parasites dans le collecteur de la Morée (φ1600) pourra s'avérer nécessaire.

Le Chef de l'Unité

« Risques, Sols Urbains, Eaux Souterraines »

M. PERROT

Le Chef du Département

« Géosciences-Risques »

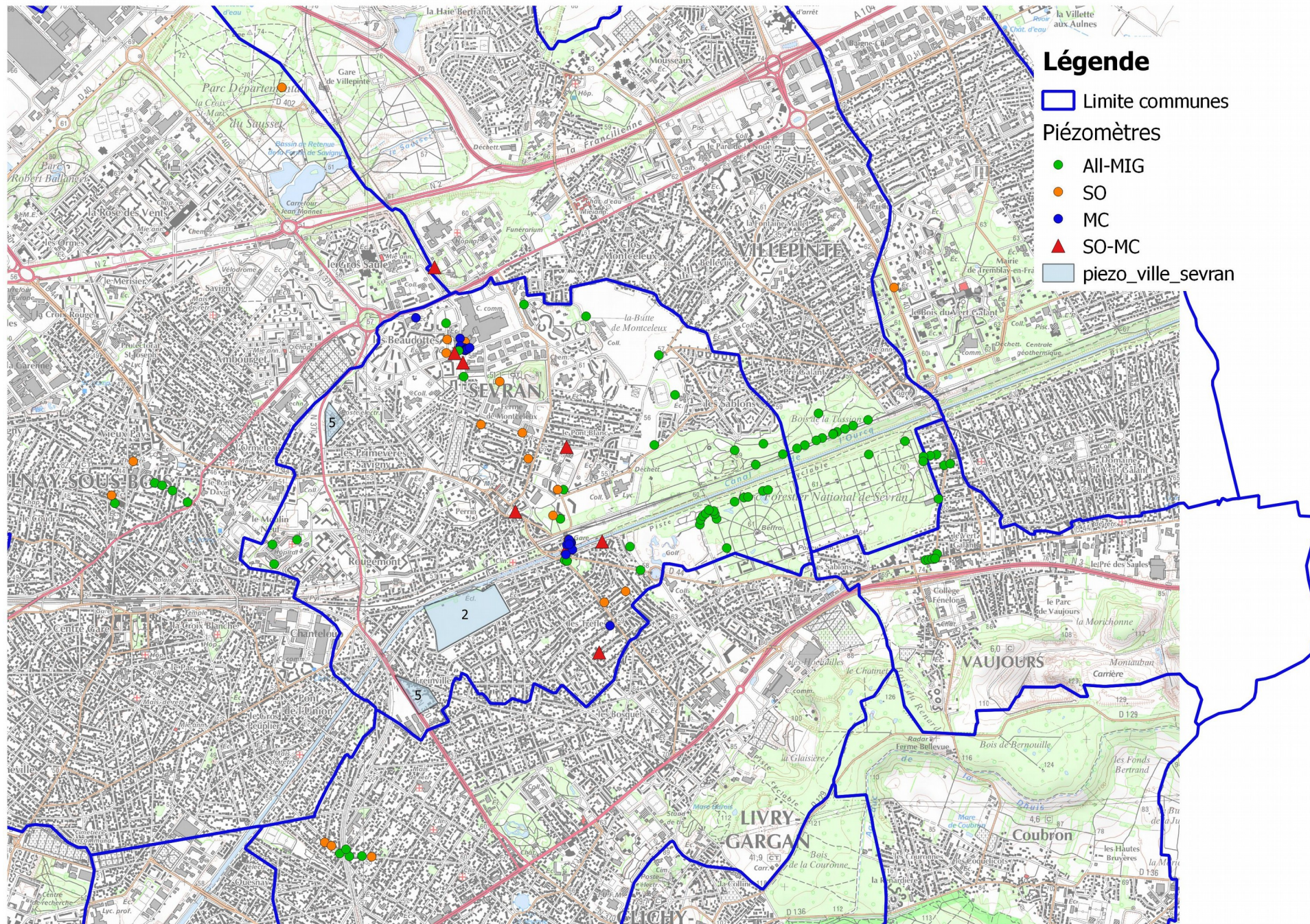
C. MAUREL

Annexes

Annexe 1 : Emplacements des piézomètres recensés

Annexe 1a : Emplacements des piézomètres recensés par nappe captée

Annexe 1b : Emplacements des piézomètres recensés par origine de la donnée



Légende

▭ Limite communes

Piezomètres

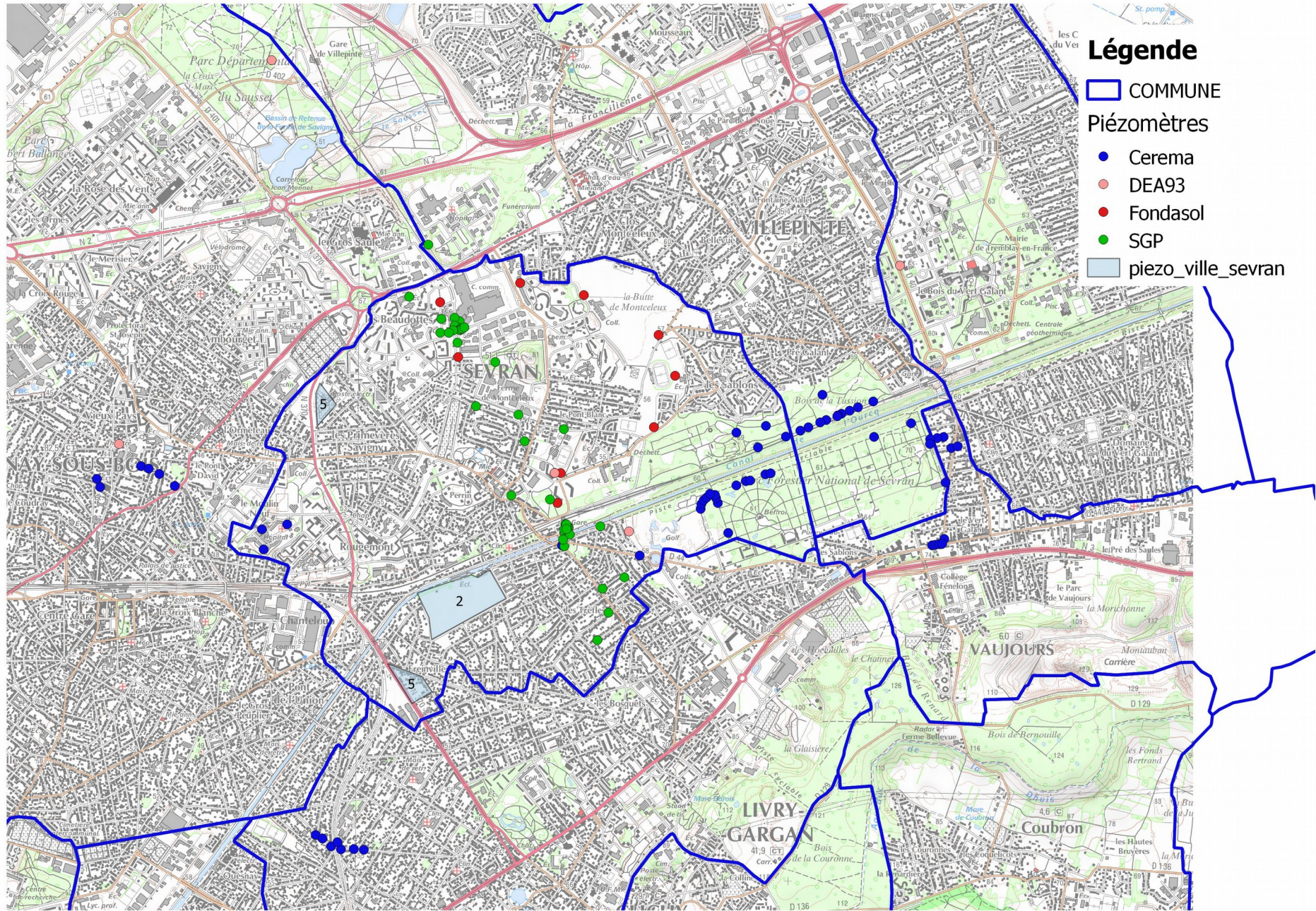
● AII-MIG

● SO

● MC

▲ SO-MC

▭ piezo_ville_sevrans



Légende

COMMUNE

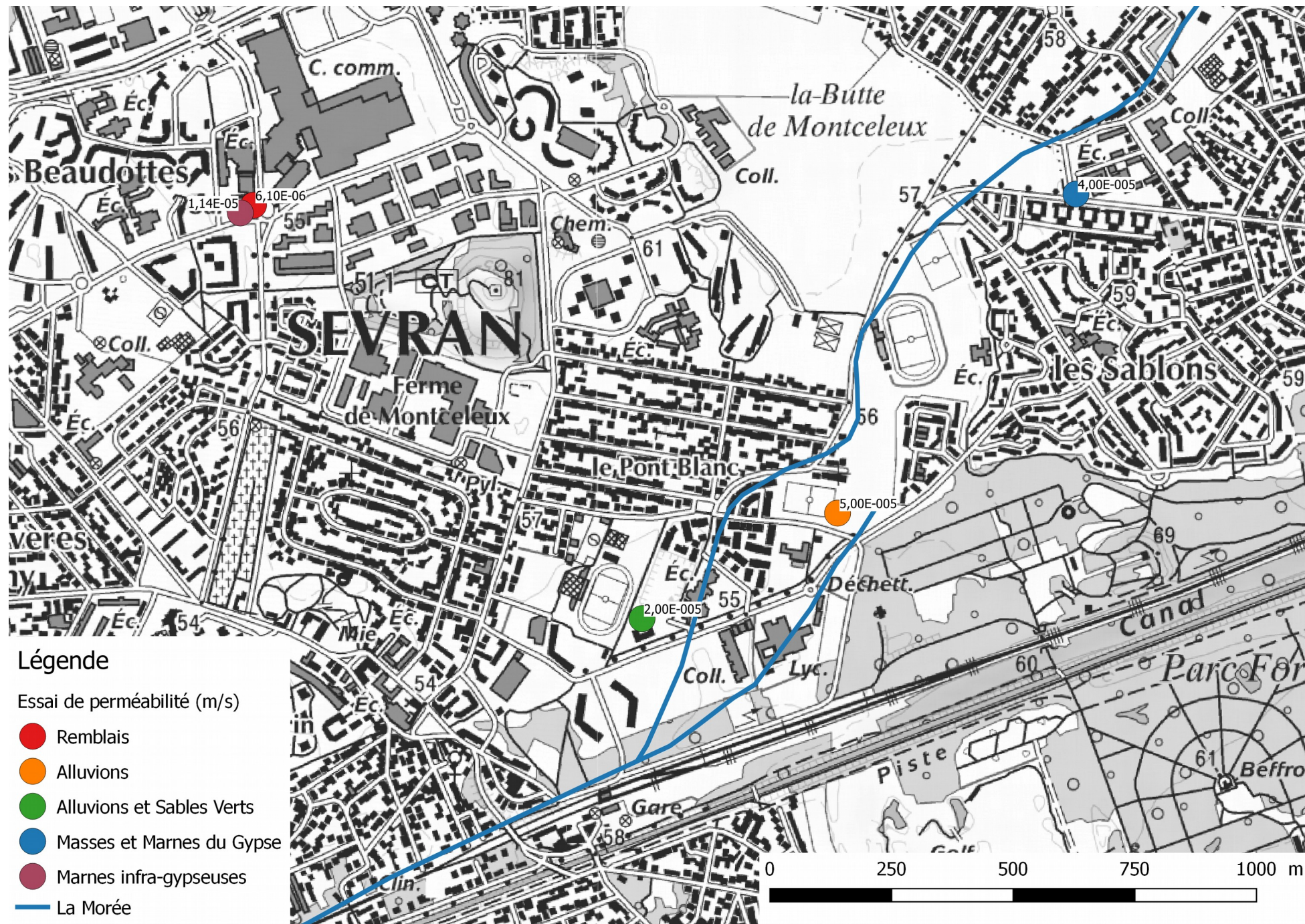
Piezomètres

- Cerema
- DEA93
- Fondasol
- SGP
- piezo_ville_sevrans

Annexe 2 : Emplacements des essais de perméabilité bibliographiques

Annexe 2a : Essais de perméabilité effectués dans les formations superficielles

Annexe 2b : Essais de perméabilité effectués dans le Marno-Calcaire de Saint-Ouen



Beaudottes

1,14E-05

6,10E-06

55

56

54

57

58

59

60

61

69

61

58

57

59

59

54

55

56

57

58

59

60

61

C. comm.

la-Butte de Montceuleux

Coll.

Chem.

61

55

56

57

58

59

60

61

69

61

58

57

59

59

54

55

56

57

58

59

60

61

4,00E-005

5,00E-005

2,00E-005

Coll.

Lyc.

Déchett.

Canal

Parc For

piste

Gare

58

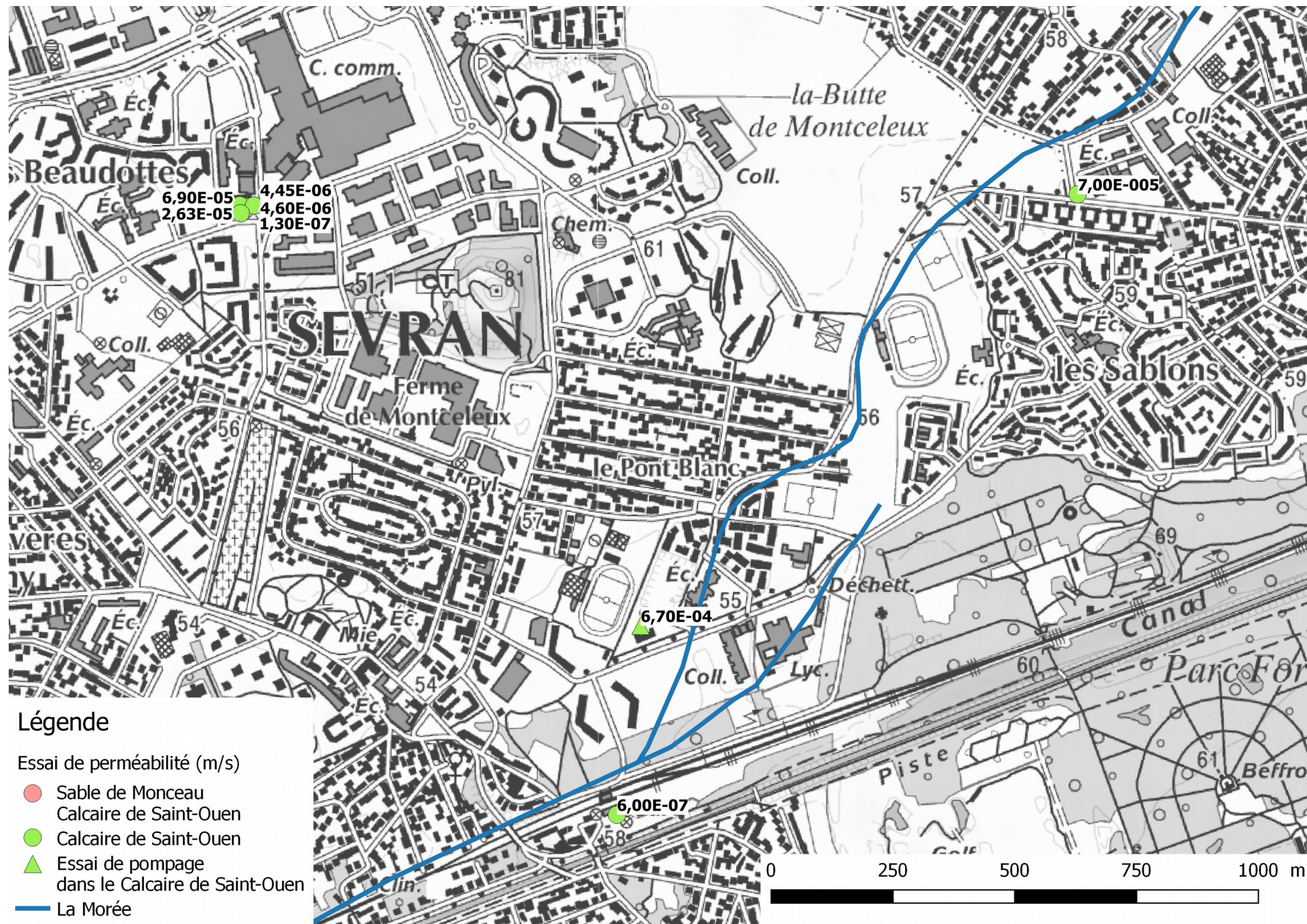
59

60

61

Befro

Clin.





Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Ile-de-France – 12 rue Teisserenc de Bort – 78190 Trappes-en-Yvelines
Tel : 01 34 82 12 34 – Fax : 01 30 50 83 69 – mel : dteridf.cerema@cerema.fr

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30
Établissement public - Siret : 130 018 310 00313 - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 - www.cerema.fr