

**Projet Sevrans Terre d'Avenir**  
**Etude hydrogéologique complémentaire sur la faisabilité**  
**d'un lac artificiel alimenté par la nappe phréatique**  
Juillet 2017

Crédit photo : © Cerema



Partenaire(s) de l'étude

**grandparis**  
**aménagement**

## Projet Sevrans Terre d'Avenir – Étude hydrogéologique complémentaire sur la faisabilité d'un lac artificiel alimenté par la nappe phréatique

### Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V	03/07/17	Version provisoire

### Affaire suivie par

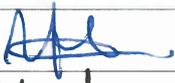
<b>Emmanuel DUMONT</b> - Département Géosciences Risques – Unité Risques, Sols Urbains, Eaux Souterraines
Tél. : 01 48 38 81 04
Courriel : emmanuel.dumont@cerema.fr
<b>Site du Bourget</b> : Cerema / Dter IdF – BP 134 - Rue de l'égalité prolongée - 93352 Le Bourget

### Références

n° d'affaire : C17PR0041

maître d'ouvrage : EPIC Grand Paris Aménagement (M. Etienne Brugerre)

Devis n° D17PR0041 du 24/05/17

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Emmanuel Dumont, Charles Kreziak, Jérémie Sage	29/06/17	
Avec la participation de	Philippe Guezennec		
Contrôlé par	Mireille Perrot	03/07/17	
Validé par	Cécile Maurel	03/07/17	

### Résumé de l'étude :

Le Cerema a été sollicité par l'EPIC Grand Paris Aménagement pour prendre en compte les résultats de reconnaissances hydrogéologiques complémentaires dans son analyse de la faisabilité d'un lac artificiel alimenté par la nappe phréatique. Ces reconnaissances ont permis d'améliorer la caractérisation du fonctionnement hydrogéologique du site. De nouvelles simulations ont été effectuées avec le modèle hydrologique de type réservoir, développé par le Cerema en 2016, en actualisant les valeurs des paramètres utilisés.

# SOMMAIRE

<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
1.1 Contexte de l'étude.....	4
1.2 Objectif de l'étude et méthodologie employée.....	5
<b>2 RECONNAISSANCES COMPLÉMENTAIRES.....</b>	<b>6</b>
2.1 Contenu des reconnaissances complémentaires.....	6
2.2 Sondages carottés.....	7
2.3 Relevés piézométriques.....	8
2.4 Essais de perméabilité de type Lefranc.....	11
2.5 Analyses physico-chimiques.....	13
2.5.1 Discussion des résultats d'analyses.....	13
2.5.2 Caractérisation hydrochimique des nappes.....	14
<b>3 MODÈLE CONCEPTUEL HYDROGÉOLOGIQUE ET RISQUE DE DISSOLUTION DU GYPSE.....</b>	<b>16</b>
3.1 Modèle conceptuel hydrogéologique.....	16
3.2 Risque de dissolution du gypse.....	17
<b>4 ETUDE DE LA RÉALIMENTATION DU LAC.....</b>	<b>19</b>
4.1 Contexte.....	19
4.2 Description des simulations complémentaires.....	20
4.2.1 Actualisation des paramètres et entrées du modèle.....	20
4.2.2 Description des scénarios retenus.....	20
4.3 Résultats.....	21
4.3.1 Scénario « de référence ».....	21
4.3.2 Scénario alternatif (sans alimentation complémentaire).....	22
4.3.3 Scénario alternatif avec une alimentation complémentaire.....	23
4.4 Synthèse sur la réalimentation du lac.....	25
<b>5 CONCLUSION.....</b>	<b>27</b>
5.1 Synthèse.....	27
5.2 Recommandations et suites à donner.....	28
<b>ANNEXES.....</b>	<b>31</b>
Annexe 1 : Coupes des sondages carottés et diagraphies gamma ray.....	31

# 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 de deux gares du Grand Paris Express (Sevrans-Beaudottes et Sevrans-Livry) et la création de l'arc paysager «Nature, Loisir». 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.

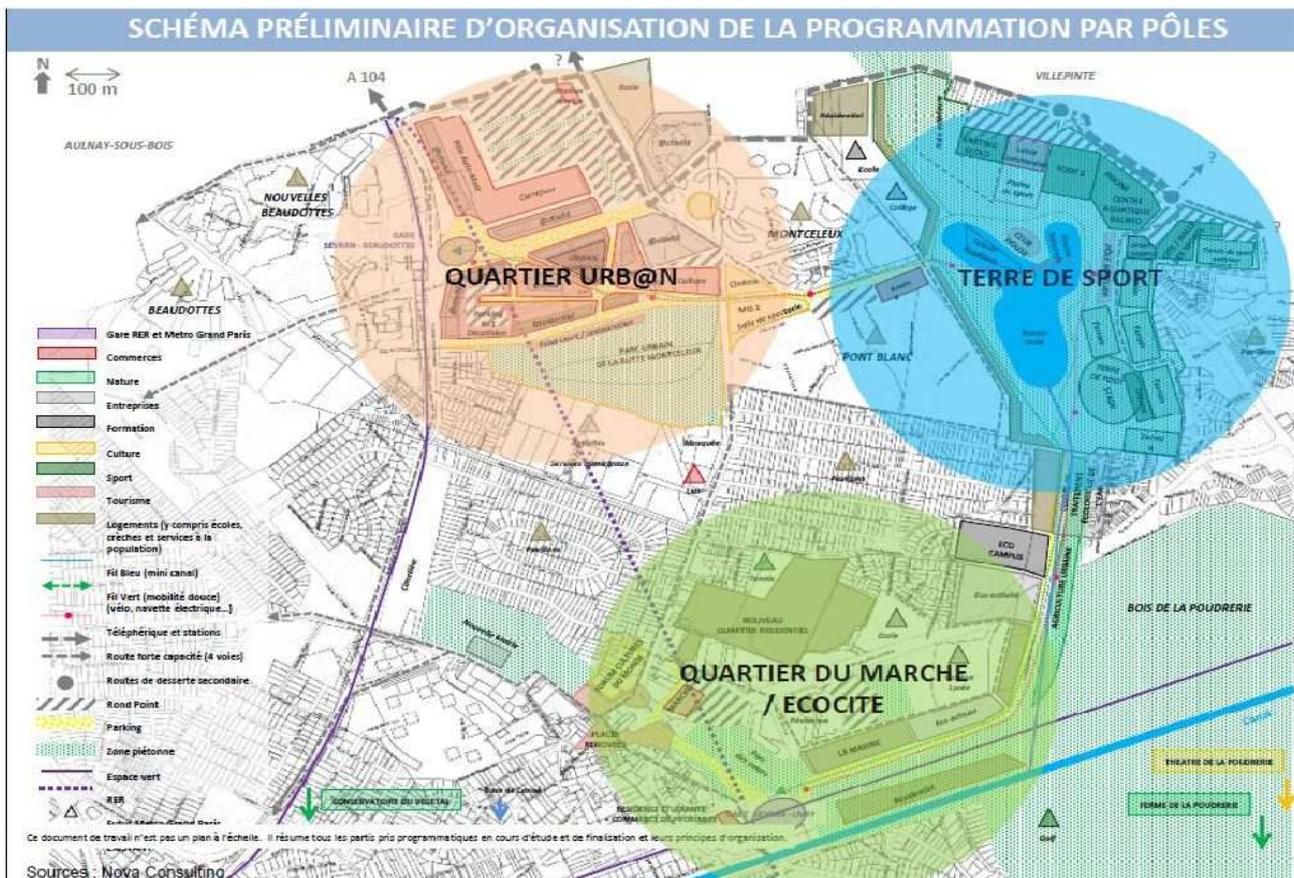


Figure n°1 : Schéma préliminaire d'organisation de la programmation par pôles

Le pôle sportif, situé à l'est du projet sur les terrains Montceuleux, doit comprendre un lac artificiel, dont l'alimentation a été étudiée en 2015 par l'Agence ATM (Sevrans Terre d'Avenir – La place de l'eau dans le projet – Mission de cadrage – novembre 2015).

A la demande de l'EPA Plaine de France, le Cerema a réalisé une première étude hydrogéologique en 2016 (rapport C16PR0033 du 10/11/16), dont les objectifs principaux étaient 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. La mission du Cerema avait consisté dans un premier temps à établir un modèle géologique conceptuel et à caractériser le fonctionnement hydrogéologique de la zone. L'alimentation du lac avait 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 avaient 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 avaient été recensés.

Le Cerema avait, en outre, préconisé la réalisation de reconnaissances hydrogéologiques complémentaires.

A l'issue de cette campagne de reconnaissances complémentaires, l'EPA Plaine de France, qui a rejoint l'EPIC Grand Paris Aménagement, a demandé au Cerema de réaliser une étude complémentaire afin de prendre en compte les résultats de ces reconnaissances.

## 1.2 Objectif de l'étude et méthodologie employée

L'objectif de cette étude complémentaire réalisée par le Cerema est d'analyser la faisabilité du lac au regard des résultats des nouvelles reconnaissances hydrogéologiques.

Dans cette optique, la mission du Cerema a consisté dans un premier temps à vérifier et à analyser les résultats des reconnaissances hydrogéologiques effectuées par Fondasol lors du premier trimestre 2017 (Rapport FONDASOL n° IPE.16.0230.INDA du 17/03/2017, *EPA Plaine de France - Pose de piézomètres – essais de perméabilité – carottages - analyses chimiques des eaux*).

Le modèle géologique conceptuel et la caractérisation du fonctionnement hydrogéologique de la zone ont ensuite été affinés.

Enfin, de nouvelles simulations hydrologiques ont été réalisées, à l'aide du modèle développé par le Cerema en 2016, en modifiant les paramètres de manière à prendre en compte les nouvelles reconnaissances hydrogéologiques.

La description détaillée des contextes géologiques et hydrogéologiques, faite dans le rapport du Cerema de 2016, ne sera pas reprise dans ce rapport. Ainsi, le rapport du Cerema de 2016 sera cité à plusieurs reprises, et il est préférable d'en prendre connaissance avant de lire le présent rapport.

Le Cerema s'est par ailleurs appuyé sur la note technique du 25 novembre 2016, rédigée par l'INERIS (DRS-16-160442-10345A), dans laquelle l'Ineris émettait un avis sur le projet de lac et sur le rapport du Cerema.

## 2 Reconnaissances complémentaires

### 2.1 Contenu des reconnaissances complémentaires

Les reconnaissances, réalisées par Fondasol lors du premier trimestre 2017, ont consisté en :

- **2 sondages carottés** en 90/114 mm de diamètre à **20 m de profondeur**, notés SC5 et SC10
- **3 sondages destructifs** en diamètre 83 mm à **7 m de profondeur** (EL5 et EL10) et à **11 m de profondeur** (EL11) pour la réalisation de **7 essais Lefranc** aux profondeurs suivantes :
  - 4,0 m et 5,5 m en EL5,
  - 5,0 m et 6,5 m en EL10,
  - 5,0 m, 6,5 m et 10,5 m en EL11.
- **la pose de 2 piézomètres à 20,6 et 20,3 m de profondeur**, crépinés dans la nappe su Saint-Ouen, en diamètre 52/60 mm en SC5 et SC10, notés PZ5bis et PZ10bis, protégés par des têtes métalliques hors sol cadenassées.
- **la pose d'1 piézomètre à 7 m de profondeur**, crépiné dans la nappe superficielle, en diamètre 52/60 mm en EL10, noté PZ10, protégé par une tête métallique hors sol cadenassée.
- **4 packs d'analyses chimiques des eaux en laboratoire** dans les piézomètres PZ5 (existant), PZ5bis, PZ10 et PZ10bis, comprenant la recherche des éléments chimiques suivants : pH, Cond, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Alcalinité (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Cl<sup>-</sup>.

Ces reconnaissances font suite à une première campagne réalisées par Fondasol en 2015, lors de laquelle 9 piézomètres avaient été installés à Sevrans, dont le piézomètre Pz5 (Rapport FONDASOL n° IPE. 15.0126.INDB du 18/04/2016, EPA Plaine de France - Pose et relevés de piézomètres - prélèvements et analyses chimiques des eaux - Investigations Géotechniques).

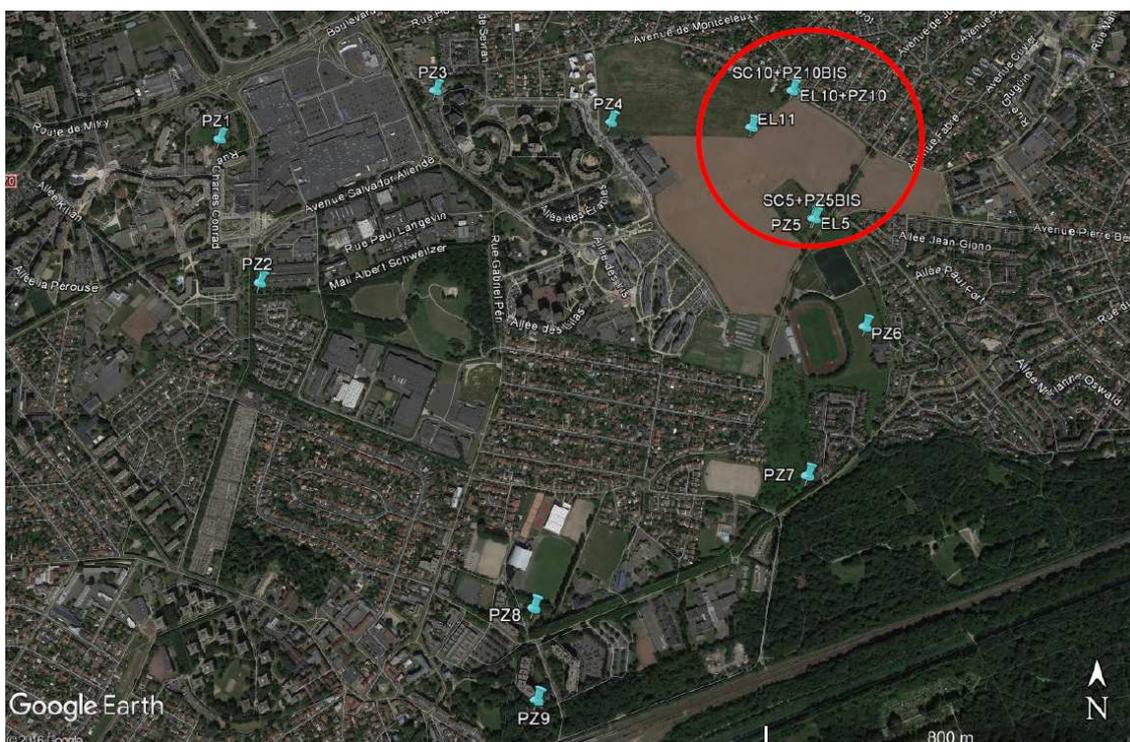


Figure n°2 : Emplacement des piézomètres et sondages (Fondasol, 2017)

Le Cerema a complété les reconnaissances de Fondasol par plusieurs mesures et essais :

- des mesures de radioactivité naturelle (« diagraphie gamma ray ») dans les piézomètres Pz5Bis et Pz10Bis afin de vérifier le découpage stratigraphique ;
- un relevé de l'ensemble des piézomètres posés par Fondasol et deux relevés piézométriques des piézomètres Pz5, Pz5Bis, Pz10 et Pz10Bis uniquement.

En raison d'incertitudes sur la fiabilité des résultats d'analyses fournis dans le rapport de Fondasol, le Cerema s'est rapproché de l'INERIS, qui réalise un travail de recherche sur la caractérisation du fond géochimique des nappes de la Plaine de France. L'Ineris a accepté de nous communiquer les résultats d'analyses physico-chimiques effectuées dans les piézomètres Pz5 et Pz5Bis (pH, Cond,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Alcalinité ( $\text{HCO}_3^-$ ),  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ ) pour vérifier la représentativité des résultats des analyses de Fondasol.

## 2.2 Sondages carottés

La réalisation des sondages carottés répondait à un triple objectif : déterminer l'épaisseur des formations superficielles, rechercher la présence éventuelle de gypse et mieux caractériser la lithologie des alluvions.

Les sondages carottés ont permis de préciser la lithologie et l'épaisseur des différentes couches. La description suivante est fournie par Fondasol (Fondasol, 2017) :

- **Remblais (R)** : remblais limoneux et argileux marron à marron foncé avec débris hétérogènes (brique, céramique, matière organique ...) présents sur une épaisseur de 0,8 à 1,2 m ;
- **Alluvions (All)** : les alluvions sont composées de limons argilo-sableux ou de sables limoneux, avec cailloutis, débris de coquilles et de matières organiques, de couleur beige, gris clair, bariolé d'ocre. Elles sont présentes sur 2,2 à 3,3 m d'épaisseur, l'épaisseur la plus importante étant observée dans le SC5, à proximité de l'ancien cours de la Morée ;
- **Marnes Infragypseuses (MIG, aussi appelé résidus des masses et marnes du gypse)** : elles sont présentes dans le SC10 sous forme de marnes sableuses beige-jaunâtre et de marnes beige-blanchâtre sur une épaisseur de 2,8 m. Elles ont été complètement érodées au niveau du SC5.
- **Marno-Calcaire de Saint-Ouen (CSO)** : cette formation comprend une alternance de marnes, marnes argileuses, marnes sableuses et calcaires, de couleur beige clair à foncé, rosé, marron, avec des horizons pluri-centimétriques marneux marron foncé ou argileux verdâtre et des silex épars. Son épaisseur est de l'ordre de 15 m.
- **Sables de Beauchamp (SB)** : ils ont uniquement été rencontrés dans le SC5, à une profondeur de 19,5m.

La distinction entre les formations des Marnes Infragypseuses et le Marno-Calcaire de Saint-Ouen, toutes deux marneuses, est relativement difficile, d'autant plus que ces formations peuvent être fortement érodées au niveau de l'ancien cours de la Morée.

Afin de préciser les contacts entre ces deux couches, le Cerema a inspecté les caisses de carottes et a réalisé dans les piézomètres Pz5bis et Pz10bis des mesures de radioactivité naturelle (diagraphie gamma ray).

Les diagraphies obtenues, présentées en Annexe 1, corroborent le découpage stratigraphique effectué par Fondasol.

Les limites stratigraphiques sont détaillées dans le tableau 1.

Sondage	SC5+PZ5bis		SC10+PZ10bis	
Cote du TN	57,4		59,1	
Formation	Profondeur base couche (m/TN)	Cote base couche (m NGF)	Profondeur base couche (m/TN)	Cote base couche (m NGF)
Remblais	1,2	56,2	0,8	58,3
Alluvions	4,5	52,9	3	56,1
Marnes Infragypseuses	-		5,8	53,3
Marno-Calcaire de Saint-Ouen	19,4	38	>20,0	<38,3
Sables de Beauchamp	>20,0	<37,4	-	

Tableau n°1 : Succession stratigraphique au droit des sondages carotté de Fondasol

Une analyse plus complète des résultats de ces sondages sera fournie au chapitre 3.2. On notera néanmoins que, d'un point de vue lithologique :

- bien que les alluvions soient identifiées comme des alluvions anciennes sur la carte géologique au 1/50 000, leur perméabilité devrait rester relativement basse, étant donné la proportion relativement importante d'argile et de limon mêlés au sable,
- la partie supérieure du Saint-Ouen est fortement altérée, en particulier dans le SC5. Malgré cela, on peut distinguer la partie supérieure du Saint-Ouen, où des marnes prédominent, de la partie inférieure, où les passages calcaires sont plus abondants. La perméabilité de la partie inférieure du Saint-Ouen est donc probablement supérieure à celle de la partie supérieure, comme cela avait été évoqué dans le premier rapport du Cerema.

## 2.3 Relevés piézométriques

Le suivi piézométrique a été réalisé par Fondasol d'octobre 2015 à juillet 2016 dans les piézomètres installés en 2015. Ce suivi a ensuite été interrompu, puis repris en avril 2017.

Des mesures ont par ailleurs été effectuées par Fondasol dans les nouveaux piézomètres installés en 2017.

Le Cerema a réalisé une campagne de mesures dans l'ensemble des piézomètres le 12 avril 2017. Des relevés ont également été effectués par le Cerema dans les nouveaux piézomètres le 13 mars et le 18 mai 2017.

Les figures 3 et 4 présentent respectivement l'évolution de la profondeur et de la cote piézométriques dans les piézomètres crépinés dans les formations superficielles (Pz1 à Pz10). Les mesures effectuées en 2017 sont cohérentes avec celles de 2016.

Les niveaux d'eau mesurés en avril 2017 sont significativement plus bas que ceux mesurés en avril 2016. Entre ces deux relevés, la baisse moyenne est de 0,6 m. Elle est encore plus importante dans les piézomètres Pz2 (1,12 m) et le Pz3 (supérieure à 0,83 m<sup>1</sup>), alors qu'elle est la plus faible dans les piézomètres Pz4 (0,40 m) et Pz9 (0,32 m).

Cette baisse des niveaux d'eau observée entre avril 2016 et 2017 s'explique par le fort déficit de précipitation qui touche l'Île-de-France depuis l'été 2016. Il sera donc important de poursuivre le suivi piézométrique en 2017, car les niveaux des nappes devraient être particulièrement bas, et la

<sup>1</sup>En avril 2017, le piézomètre Pz3 était sec à 4,45 m de profondeur, alors que l'eau était à 3,62 m en avril 2016.

mesure des niveaux d'étiage constituera une donnée importante pour dimensionner le futur lac.

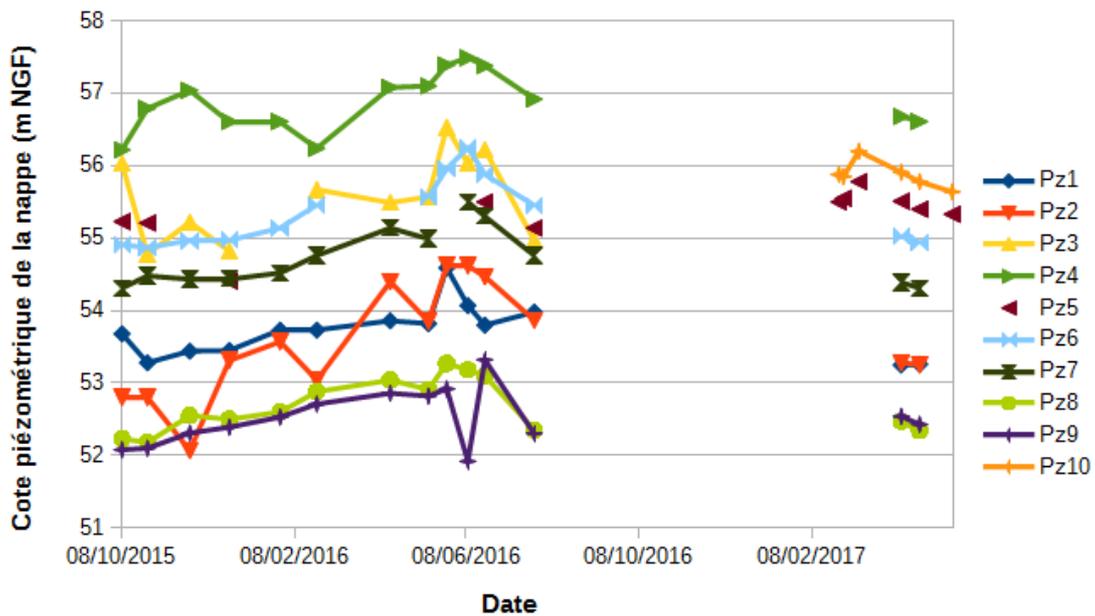


Figure n°3 : Fluctuations de la cote piézométrique dans les piézomètres posés par Fondasol

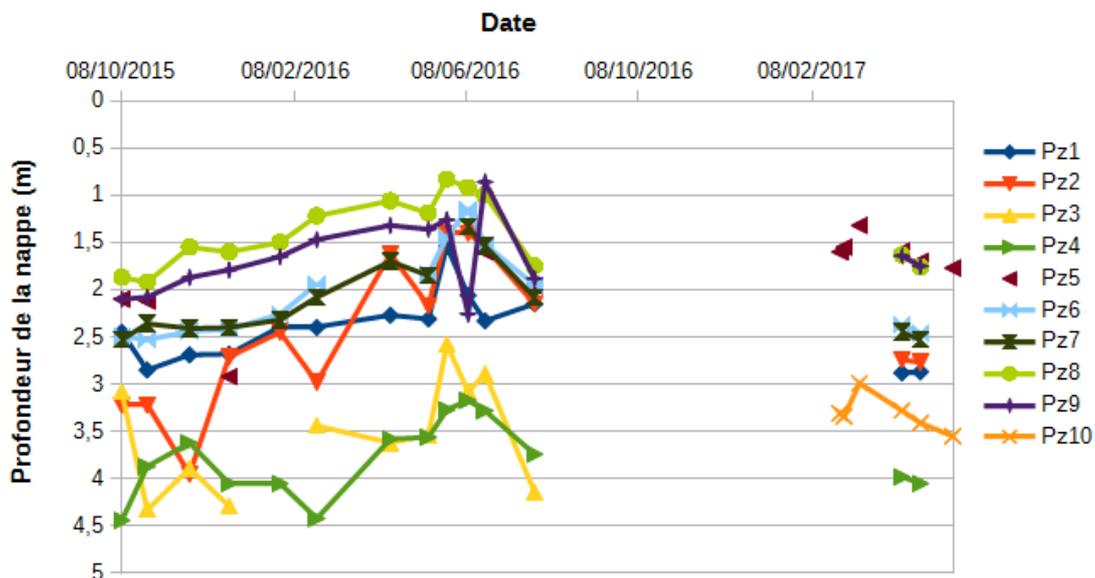


Figure n°4 : Fluctuations de la profondeur de la nappe dans les piézomètres posés par Fondasol

Les piézomètres Pz5bis et Pz10bis ont été installés de manière à comparer les niveaux de la nappe superficielle (nappe baignant les Alluvions et les Marnes Infragypseuses) et de la nappe du Saint-Ouen. Ainsi les piézomètres Pz5bis et Pz10bis sont crépinés dans le Marno-Calcaire de Saint-Ouen, et ont été installés respectivement à côté des piézomètres Pz5 et Pz10, crépinés dans les formations superficielles.

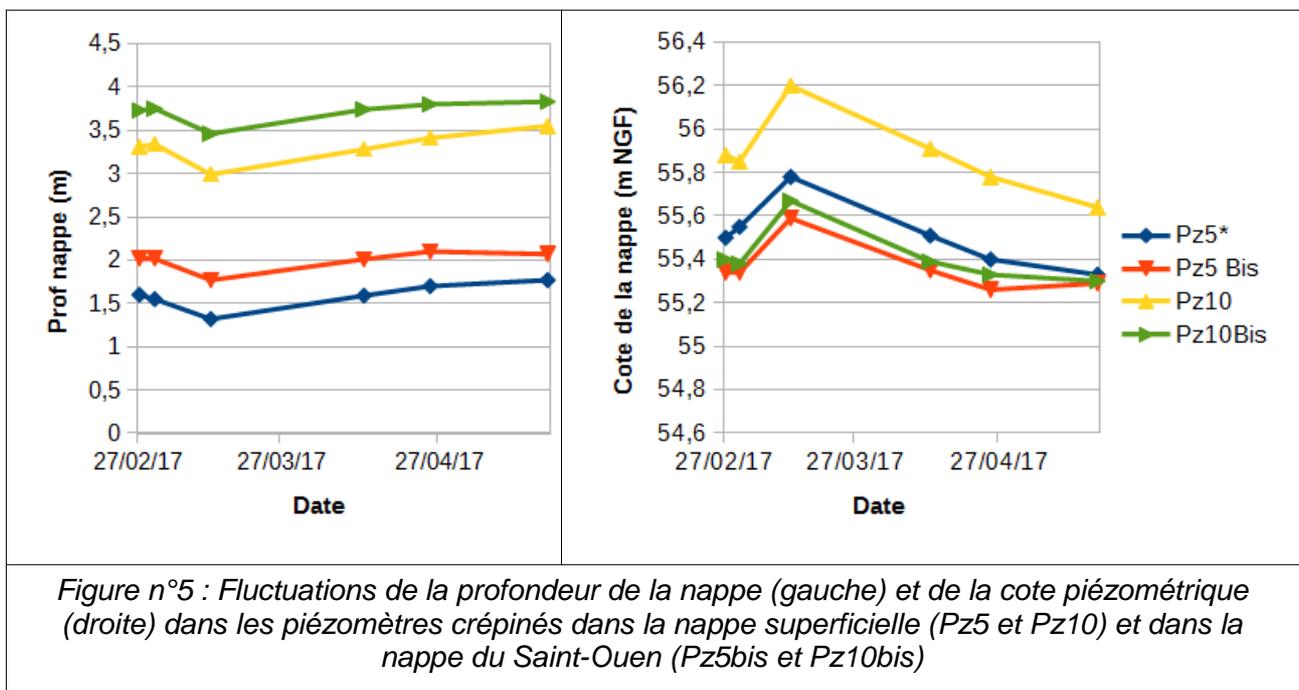
Le tableau 2 détaille l'équipement de ces 4 piézomètres, et le tableau 3 récapitule l'ensemble des mesures piézométriques effectuées depuis le développement à l'air lift de ces piézomètres, le 21/02/2017.

Sondage	Tube piézométrique		Matériaux annulaire		Protection de type capot métallique hors sol	Airlift
	PVC plein Ø 51/60 mm	PVC crépiné Ø 51/60 mm	Bouchon d'argile	Graviers calibrés		
PZ5*	0,0 à 2,0 m	2,0 à 6,0 m	0,0 à 1,5 m	1,5 à 6,0 m	X	X
PZ5bis	0,0 à 14,6 m	14,6 à 20,6 m	10,0 à 13,0 m	13,0 à 20,6 m	X	X
PZ10	0,0 à 2,0 m	2,0 à 7,0 m	0,3 à 0,6 m	0,6 à 7,0 m	X	X
PZ10bis	0,0 à 14,30 m	14,3 à 20,3 m	10,0 à 13,0 m	13,0 à 20,3 m	X	X

Tableau n°2 :Équipement des piézomètres installés en 2017 (Fondasol, 2017)

Date	Relevé	PZ5 TN : 57,10 mNGF		PZ5bis TN : 57,36mNGF		PZ10 TN : 59,19mNGF		PZ10bis TN : 59,13 mNGF	
		Prof eau (m)	Cote eau (m NGF)	Prof eau (m)	Cote eau (m NGF)	Prof eau (m)	Cote eau (m NGF)	Prof eau (m)	Cote eau (m NGF)
27/02/17	Fondasol	1,60	55,50	2,02	55,34	3,31	55,88	3,73	55,40
02/03/17	Fondasol	1,55	55,55	2,02	55,34	3,34	55,85	3,75	55,38
13/03/17	Cerema	1,32	55,78	1,77	55,59	2,99	56,20	3,46	55,67
12/04/17	Cerema	1,59	55,51	2,01	55,35	3,28	55,91	3,74	55,39
25/04/17	Fondasol	1,70	55,40	2,10	55,26	3,41	55,78	3,80	55,33
18/05/17	Cerema	1,77	55,33	2,07	55,29	3,55	55,64	3,83	55,30

Tableau n°3 :Mesures effectuées par Fondasol et le Cerema dans les piézomètres installés en 2017



La figure 5 permet de comparer les fluctuations de la cote piézométrique dans les piézomètres

crépinés dans la nappe superficielle (Pz5 et Pz10) et dans ceux crépinés dans la nappe du Saint-Ouen (Pz5bis et Pz10bis).

Les relevés piézométriques effectués entre le 27/02/17 et le 18/05/17 semblent montrer que la cote de la nappe superficielle est significativement supérieure à celle de la nappe du Saint-Ouen au niveau des Pz10 et Pz10bis (différence de charge de l'ordre de 0,5 m). La différence de charge entre les deux nappes est plus faible au niveau des Pz5 et Pz5bis. Lors des 5 premiers relevés, la cote de la nappe superficielle est légèrement supérieure à celle du Saint-Ouen (différence de charge variant entre 0,15 et 0,2 m). Le 18/05/17, la différence de charge n'est plus que de 0,04 m.

## 2.4 Essais de perméabilité de type Lefranc

Sept essais Lefranc, répartis sur les 3 sondages EL5, EL10 et EL11, ont été réalisés. Chacun des essais s'est déroulé en deux temps :

- réalisation dans un premier temps d'un essai à débit constant : de l'eau est injectée à débit constant dans le forage et l'évolution du niveau d'eau est mesurée en fonction du temps ;
- réalisation dans un deuxième temps d'un essai à charge variable : après arrêt de l'injection, la descente du niveau d'eau est mesurée en fonction du temps.

Pour ces deux types d'essai, l'interprétation peut se faire en régime transitoire, lors de la montée du niveau d'eau pour l'essai à débit constant ou lors de la descente pour l'essai à charge variable. Les essais à débit constant peuvent aussi être interprétés en régime permanent si un équilibre est obtenu entre le débit d'eau injecté et le niveau d'eau dans le forage.

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau 4. On notera que, contrairement au rapport de Fondasol, les valeurs de perméabilité obtenues avec les deux types d'essais sont mentionnées. Les essais de perméabilité par injection peuvent en effet provoquer un colmatage de la crépine en cours d'essai. Ce colmatage peut se produire assez rapidement, si bien que la lanterne est parfois déjà colmatée lors de la phase de descente.

Par ailleurs, les essais de perméabilité de type Lefranc fournissent une information locale sur la perméabilité, ce qui tend à minimiser la perméabilité des formations aquifères, contrairement aux essais de pompage qui permettent d'estimer la perméabilité globale des formations aquifères. L'essai Lefranc permet en revanche d'apprécier les contrastes de perméabilité entre différents faciès d'une même formation géologique, ou entre différentes formations.

Pour ces différentes raisons, la valeur obtenue lors de l'essai par injection sera retenue pour le modèle hydrogéologique conceptuel. Les résultats des différents essais seront également étudiés afin d'identifier les contrastes de perméabilité entre les différentes formations géologiques.

Enfin, bien que le Cerema n'ait pas assisté aux essais et n'ait pas eu de retour de Fondasol sur le déroulement de ces essais, les remarques suivantes peuvent être faites au sujet de leur interprétation :

- la hauteur de tubage dépassant du sol n'a pas été fournie par Fondasol ;
- pour la phase d'injection, deux essais ont été interprétés en régime permanent (EL5 de 3,5 à 4,5 m et EL11 de 4,5 à 5,5 m) ; le Cerema a procédé à une vérification de l'interprétation en régime transitoire, car l'inflexion des courbes (en particulier le EL11) laisse penser que le niveau d'eau avait peut-être atteint le sommet du tubage et que l'eau s'était mise à déborder. Les valeurs obtenues sont de  $4,0 \cdot 10^{-6}$  m/s pour l'essai dans le sondage EL5 (entre 3,5 et 4,5 m) et  $1,5 \cdot 10^{-6}$  m/s dans le sondage EL11 (entre 4,5 et 5,5 m). Ces valeurs sont donc équivalentes à celles obtenues par Fondasol.
- pour l'essai réalisé dans le sondage EL11 entre 6 et 7 m, le tubage était apparemment déjà presque rempli au début de l'essai par injection, ce qui expliquerait le faible nombre de mesures.

Sondage	Profondeur de la poche d'essai (m)	Cote de la poche d'essai (m NGF)	Couches géologiques concernées	Coefficient de perméabilité à l'injection (m/s)	Coefficient de perméabilité à la descente (m/s)
EL5	3,5 à 4,5	53,5 à 52,5	All - CSO	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
EL5	5,0 à 6,0	52,0 à 51,0	CSO altéré	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$
EL10	4,5 à 5,5	54,7 à 53,7	MIG	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$
EL10	6,0 à 7,0	53,2 à 52,2	CSO	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$
EL11	4,5 à 5,5	55,3 à 54,3	All et/ou MIG *	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$
EL11	6,0 à 7,0	53,8 à 52,8	MIG et/ou CSO *	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-9}$
EL11	10,0 à 11,0	49,8 à 48,8	CSO *	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-8}$

\* Pour le sondage EL11, les couches géologiques dans lesquelles les essais ont été réalisées ont été déduites de la stratigraphie obtenue dans les sondages SC5 et SC10.

Tableau n°4 : Synthèse des résultats des essais de perméabilité de type Lefranc

Les perméabilités lors des essais par injection sont globalement assez faibles. Elles varient entre  $4,3 \cdot 10^{-6}$  et  $1,0 \cdot 10^{-7}$  m/s, sachant que la perméabilité pourrait être encore plus faible dans le sondage EL11 entre 6,0 et 7,0 m.

Bien que le nombre restreint d'essais ne permette pas de faire d'analyses statistiques par couche, il est possible d'identifier certaines tendances pour les essais par injection :

- la perméabilité des alluvions de la Morée, de l'ordre de  $4 \cdot 10^{-6}$  m/s est sensiblement supérieure aux perméabilités des autres formations ;
- les perméabilités des Marnes Infragypseuses et du Calcaire de Saint-Ouen varient entre  $1 \cdot 10^{-7}$  et  $2 \cdot 10^{-6}$  m/s, les valeurs les plus élevées étant obtenues dans le sondage EL5 entre 5 et 6 m ( $1 \cdot 10^{-6}$  m/s), dans une zone où cette formation semble avoir été altérée et remaniée, et dans le sondage EL11 entre 4,5 et 5,5 m ( $2 \cdot 10^{-6}$  m/s).

Ainsi, les perméabilités les plus élevées ont été obtenues dans les alluvions de la Morée (de l'ordre de  $4 \cdot 10^{-6}$  m/s), alors que la perméabilité du substratum marneux (Marnes Infragypseuses et Calcaire de Saint-Ouen) sont significativement plus faibles ( $1 \cdot 10^{-7}$  à  $2 \cdot 10^{-6}$  m/s). L'essai réalisé entre 6 et 7 m dans le EL11 suggère que la perméabilité serait même inférieure à  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s dans les marnes argileuses et les argiles marneuses.

Par rapport aux valeurs de perméabilités bibliographiques fournies dans le rapport précédent du Cerema (Cerema, 2016), on peut noter que :

- la valeur de perméabilité obtenue dans les alluvions est significativement plus basse que les résultats des deux essais bibliographiques ( $2 \cdot 10^{-5}$  et  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s),
- les valeurs de perméabilité obtenues dans les Marnes Infragypseuses sont nettement plus basses que la valeur bibliographique de  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s, qui avait été jugée étonnamment haute,
- les valeurs de perméabilité obtenues dans le Calcaire de Saint-Ouen supérieur sont comparables aux valeurs bibliographiques disponibles, comprises entre  $1 \cdot 10^{-7}$  et  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s,
- aucun essai n'a été réalisé en 2017 dans les Calcaires de Saint-Ouen médian et inférieur, ni dans le Calcaire de Ducy, pour lesquels les valeurs de perméabilité bibliographique variaient entre  $5 \cdot 10^{-6}$  et  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s pour le Saint-Ouen médian et inférieur, et atteignaient  $6,7 \cdot 10^{-4}$  m/s dans le Calcaire de Ducy.

## 2.5 Analyses physico-chimiques

### 2.5.1 Discussion des résultats d'analyses

Les résultats des analyses effectuées par le laboratoire Wessling pour Fondasol sont récapitulées dans le tableau 5.

Les remarques suivantes peuvent être faites :

- la balance ionique n'est pas du tout respectée pour les échantillons des piézomètres Pz10 (nappe superficielle) et Pz10bis (nappe du Saint-Ouen) ; les concentrations en sulfates sont de plus extrêmement basses (respectivement 8,0 et 29 mg/L), ce qui semble peu cohérent avec le contexte hydrogéologique local, la nappe superficielle baignant les résidus des Masses et Marnes du Gypse à l'amont hydrogéologique ;
- pour l'échantillon du Pz5 (nappe superficielle), les concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  (8000 mg/L) et en  $\text{Ca}^{2+}$  (2000 mg/L) sont extrêmement élevées, ce qui n'est cohérent ni avec les résultats des autres analyses, ni avec la mesure de la conductivité (1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 25°C).

Paramètre	Unités	Pz5 (sup.)	Pz5Bis (CSO)	Pz10 (sup.)	Pz10Bis (CSO)
Cond à 25°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1100	1000	960	1300
pH		7 à 16,6°C	7,3 à 16,4°C	7,2 à 16,4°C	7,2 à 16,5°C
$\text{HCO}_3^-$	mg/L	8000	410	780	430
$\text{Cl}^-$	mg/L	6	32	2	2
$\text{NO}_3^-$	mg/L	<1,0	<1,0	6	1
$\text{SO}_4^{2-}$	mg/L	150	210	8	29
$\text{Ca}^{2+}$	mg/L	2000	240	790	280
$\text{K}^+$	mg/L	1,2	2	3,8	1,6
$\text{Mg}^{2+}$	mg/L	490	55	230	120
$\text{Na}^+$	mg/L	14	12	20	7,8
$\text{Sr}^{2+}$	$\mu\text{g}/\text{L}$	30000	34000	10000	34000

Tableau n°5 : Résultats des analyses des échantillons prélevés le 27 février 2017 par Fondasol

Le Cerema a fait part de ces remarques à Fondasol, en demandant notamment si ces valeurs suspectes ne pouvaient pas provenir de problèmes de dilution des échantillons. Le laboratoire d'analyse a néanmoins confirmé la validité des résultats, et Fondasol a émis l'hypothèse que la minéralisation anormalement élevée dans le Pz5 pouvait provenir de l'absence de nettoyage par air lift depuis sa pose.

Le Cerema s'est alors rapproché de l'Ineris pour que des prélèvements soient effectués dans les piézomètres Pz5 et Pz5bis afin de confirmer les résultats de Fondasol, ce qui a été fait le 6 juin 2017, dans le cadre du programme de recherche de l'Ineris. Les résultats des analyses de l'Ineris sont comparées à celles de Fondasol dans le tableau 6.

		Pz5 (sup.)	Pz5 (sup.)	Pz5Bis (CSO)	Pz5Bis (CSO)
Date du prélèvement		27/02/17	06/06/17	27/02/17	06/06/17
Paramètre	Unités				
Cond à 25°C	µS/cm	1100	939	1000	954
pH		7 à 16,6°C	7,53 à 11,4°C	7,3 à 16,4°C	7,77 à 12,8°C
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	<b>8000</b>	<b>602,48</b>	410	408,94
Cl <sup>-</sup>	mg/L	6	6,72	32	35,26
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	<1,0	n.a.	<1,0	0,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	150	153,21	210	222,34
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	<b>2000</b>	<b>178,42</b>	240	139,8
K <sup>+</sup>	mg/L	1,2	0,56	2	1,79
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	<b>490</b>	<b>43,28</b>	55	57,63
Na <sup>+</sup>	mg/L	14	10,36	12	13,14
Sr <sup>2+</sup>	µg/L	30000	Non mesuré	34000	Non mesuré

Tableau n°6 : Comparaison des analyses effectuées par Fondasol (prélèvement du 27/02/17) et l'Ineris (prélèvement du 06/06/17)

La comparaison des résultats d'analyses du Pz5 montre que les concentrations en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, en Ca<sup>2+</sup> et en Mg<sup>2+</sup>, obtenues lors du prélèvement fait par Fondasol en février 2017, ne sont pas représentatives de la minéralisation réelle de la nappe. Lors des deux analyses, les concentrations obtenues pour le Pz5bis sont en revanche très similaires pour la quasi-totalité des paramètres. Seules les concentrations en Ca<sup>2+</sup> diffèrent.

La comparaison des résultats d'analyse effectuées par Fondasol et l'Ineris pour les Pz5 et Pz5bis montre que les résultats des analyses du Pz5 fournis par Fondasol ne sont pas représentatifs de la minéralisation réelle de la nappe superficielle. Cette comparaison permet également de mettre en doute les résultats obtenus par Fondasol pour les Pz10 et Pz10bis, dont la balance ionique est fortement déséquilibrée et les concentrations en sulfates sont particulièrement faibles. Ainsi, seules les analyses effectuées par l'Ineris seront prises en compte dans cette étude.

## 2.5.2 Caractérisation hydrochimique des nappes

La figure 6 présente le diagramme de Piper réalisé à partir des analyses de l'Ineris dans les piézomètres Pz5 et Pz5Bis. Il permet de comparer les faciès chimiques des échantillons d'eau prélevés dans la nappe superficielle (Pz5), baignant les alluvions de la Morée, et dans la nappe du Saint-Ouen (Pz5Bis).

Les deux échantillons ont un faciès bicarbonaté calcique, avec une plus grande influence du pôle sulfaté pour la nappe du Saint-Ouen (Pz5Bis).

Les teneurs en sulfates sont relativement basses dans les deux échantillons (153 mg/L pour la nappe superficielle et 222 mg/L pour la nappe du Saint-Ouen).

Il aurait été intéressant de disposer d'analyses fiables pour les Pz10 et Pz10bis, afin de vérifier que les mêmes tendances étaient observées, et de comparer le faciès de la nappe superficielle lorsqu'elle baigne les Alluvions (Pz5) et les Marnes Infragypseuses (Pz10).

# Diagramme de Piper

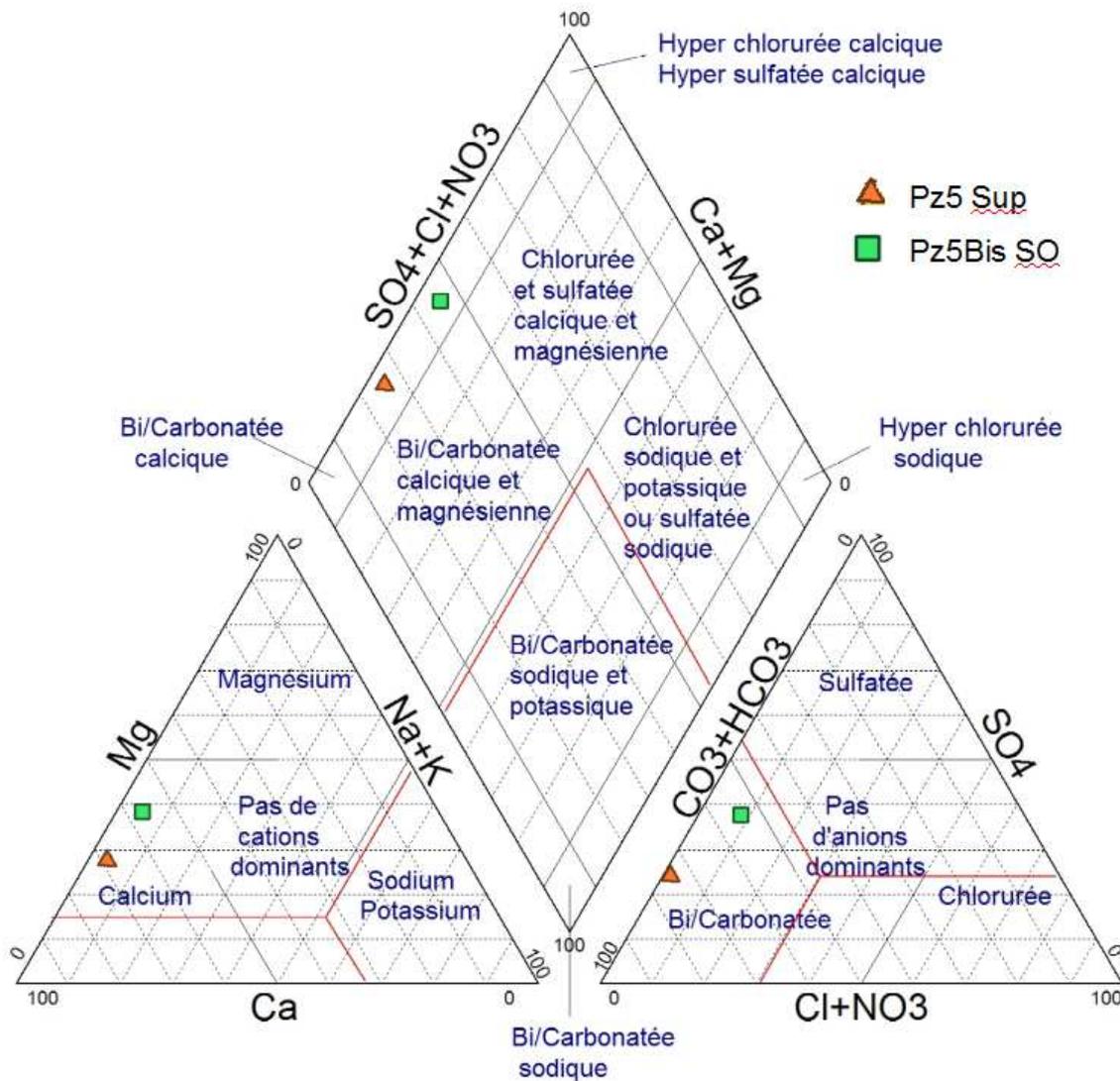


Figure n°6 : Diagramme de Piper réalisé à partir des prélèvements effectués par l'Ineris le 6 juin 2017 dans les piézomètres Pz5 et Pz5Bis

## 3 Modèle conceptuel hydrogéologique et risque de dissolution du gypse

### 3.1 Modèle conceptuel hydrogéologique

Les nouvelles reconnaissances hydrogéologiques ont permis d'affiner la caractérisation du fonctionnement hydrogéologique de la zone, et en particulier les interactions entre la nappe superficielle et la nappe du Saint-Ouen.

La comparaison des charges hydrauliques de la nappe superficielle et de la nappe du Saint-Ouen montre qu'il existe une différence de charge significative entre ces deux nappes.

De fin février à fin avril 2017, la charge hydraulique de la nappe superficielle était significativement supérieure à celle de la nappe du Saint-Ouen, indiquant un possible phénomène de drainance verticale descendante. Lors des relevés piézométriques effectués en mai, il subsistait une différence de charge importante au niveau des Pz10 et Pz10bis, mais la différence de charge était presque nulle au niveau des Pz5 et Pz5bis. Cela peut être expliqué par la forte réactivité de la nappe superficielle aux événements climatiques, alors que la nappe du Saint-Ouen fait preuve de plus d'inertie. Il est ainsi possible qu'en période de hautes eaux la nappe superficielle alimente la nappe du Saint-Ouen, et que ce soit l'inverse en période de basses eaux. L'inversion pourrait survenir plus tôt dans la zone d'extension des Alluvions, plus perméables et donc plus réactives que les Marnes Infragypseuses.

La comparaison des valeurs de perméabilité obtenues lors de la campagne de reconnaissances complémentaires suggère que la perméabilité des formations superficielles est significativement plus basse que ce qui avait été identifié dans l'étude du Cerema de 2016 à partir de données bibliographiques. Les formations alluvionnaires sont a priori sensiblement plus perméables que les Marnes Infragypseuses, et devraient être le siège de circulations d'eau préférentielles. Cela est cohérent avec les cartes piézométriques établies par le Cerema en 2016, qui montraient la présence d'un axe de drainage au niveau de l'ancien tracé de la Morée. Les valeurs de perméabilité assez basses mesurées dans la partie supérieure du Saint-Ouen, ainsi que la superposition de couches plus ou moins marneuses et argileuses dans cette formation impliquent une perméabilité verticale de cette couche significativement plus faible que la perméabilité horizontale des alluvions.

Enfin, la comparaison des résultats des analyses effectuées par l'Ineris dans les piézomètres Pz5 et Pz5bis a permis de montrer que les deux nappes avaient des faciès majoritairement bicarbonaté calcique, mais que la nappe du Saint-Ouen était plus influencée par le pôle sulfaté que la nappe superficielle.

Ainsi, l'analyse des fluctuations piézométriques, des résultats des essais de perméabilité et des résultats d'analyses chimiques concordent et permettent de conclure que la nappe superficielle et la nappe du Saint-Ouen sont partiellement déconnectées par la présence de couches peu perméables, situées dans les Marnes Infragypseuses et la partie supérieure du Calcaire de Saint-Ouen. L'absence de couche argileuse réellement imperméable permet néanmoins à ces deux nappes de rester globalement à l'équilibre par des phénomènes de drainance verticale.

### 3.2 Risque de dissolution du gypse

Parmi les conclusions mises en évidence dans notre rapport de 2016, nous avons pointé les incertitudes subsistant sur les épaisseurs et les faciès lithologiques des formations présentes au droit des terrains Montceuleux (notamment pour les horizons ludiens).

En effet, les interpolations réalisées à partir des sondages d'archives (très peu nombreux au droit des terrains Montceuleux) laissent suspecter des sur-épaisseurs significatives de Marnes Infragypseuses en partie est de la zone d'étude. Ces zones de sur-épaisseurs étant traditionnellement associées à la présence des niveaux gypseux inférieurs du Ludien (3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> Masse), il semblait nécessaire d'affiner le contexte géologique local.



Figure n°7 : Carte interpolée de l'épaisseur des Marnes infragypseuses et localisation des nouveaux sondages (point de plus gros diamètre)

Les investigations complémentaires réalisées par Fondasol en ce début d'année, ont permis de préciser la nature des terrains présents en partie est de la zone d'étude (sondages carottés SC10 notamment).

La description des terrains établie par Fondasol et notre examen des échantillons prélevés n'ont pas mis en évidence de gypse dans les 20 premiers mètres forés au droit des sondages SC5 et SC10.

De plus, la succession stratigraphique déduite de ces sondages indique des épaisseurs sensiblement plus faibles de l'horizon des Marnes Infragypseuses que celles extrapolées par le modèle géologique exploitant les sondages d'archives.

Le tableau ci-dessous met en regard la succession géologique pressentie et l'épaisseur des terrains effectivement rencontrés :

Formations	SC5		SC10	
	extrapolées	rencontrées	extrapolées	rencontrées
Remblais	-	1,2 m		
Alluvions	6,55 m	3,3 m	2,5 m	2,2 m
MIG	<b>3 m</b>	-	<b>6,8 m</b>	<b>2,8 m</b>
Saint-Ouen	9,7 m	14,9 m	10,5 m	> 14,2 m

*Tableau n°7 : Comparaison des épaisseurs des couches extrapolées lors de l'étude de 2016 et rencontrées lors des sondages de Fondasol*

Au droit du sondage SC5, les Marnes Infragypseuses sont totalement absentes et elles sont réduites à 2,8m au droit du sondage SC10. Dans ce secteur, il semble donc que l'action de la Morée se soit traduite par une forte érosion superficielle.

Au vu de ces éléments, la probabilité d'être confronté à des niveaux gypseux à proximité de la surface semble donc pouvoir être écartée.

L'examen des données de sondage montre également que les épaisseurs de l'horizon du Marnocalcaire de Saint Ouen mesurées en sondage sont sensiblement plus importantes que celles extrapolées par le modèle géologique : épaisseur proche de 15 m en lieu et place des 10 m moyen extrapolés.

Du point de vue du risque gypse, cette sur-épaisseur de la formation peut indiquer une variation locale de faciès qui pourrait contenir des niveaux gypseux, cependant nous n'en avons pas trouvé trace sur les échantillons.

Par ailleurs, les faibles teneurs en sulfates mesurées par l'Ineris dans les piézomètres Pz5 et Pz5bis corroborent la faible probabilité de rencontrer du gypse en quantité importante dans les Marnes Infragypseuses et dans le Calcaire de Saint-Ouen au niveau de la zone d'étude.

Enfin, les essais de perméabilité réalisés dans l'horizon de Saint-Ouen indiquent que ces terrains sont peu à très peu perméables : ils devraient donc constituer une coupure hydraulique limitant les infiltrations et les risques de dissolution des niveaux de gypse situés plus en profondeur au sein de l'horizon des Marnes et Caillasses.

A ce stade des études, la seule interrogation qui subsiste du point de vue du risque de dissolution du gypse est liée à la présence, au sud-ouest de la zone, d'épaisseurs importantes de la formation des Marnes Infragypseuses. L'appréciation de ce risque nécessitera d'évaluer la zone d'influence hydrogéologique du futur lac lorsqu'une géométrie suffisamment fine aura été retenue.

## 4 Etude de la réalimentation du lac

### 4.1 Contexte

Dans l'étude de 2016, la faisabilité d'une alimentation par la nappe du plan d'eau avait été étudiée à partir d'un modèle hydrologique de type réservoir, permettant de simuler son fonctionnement en continu et sur des périodes longues (15 ans de données météorologiques sur le département de Seine Saint-Denis), en rendant compte des échanges entre le volume stocké en surface, la nappe superficielle et l'atmosphère.

Ce modèle offrait une représentation relativement simple du plan d'eau (assimilé à un puits circulaire) et du sous-sol (supposé homogène). Ce dernier était alors essentiellement caractérisé par sa conductivité hydraulique à saturation  $K_S$  et le mur de la nappe  $Z_{IMP}$  (compris entre la base des marnes infra-gypseuses et la partie supérieure du marno-calcaire de Saint-Ouen).

Pour l'étude des différents scénarios d'aménagement proposés par l'agence LIN, la paramétrisation du modèle avait été réalisée sur la base de reconnaissances et d'éléments bibliographiques n'offrant qu'une vision partielle des caractéristiques hydrogéologiques de la zone d'étude. La perméabilité du sol apparaissant assez incertaine, deux scénarios contrastés avaient en particulier été retenus pour les simulations, avec des valeurs de  $K_S$  de  $5.10^{-7}$  et  $5.10^{-5}$  m/s. De la même manière, une plage de valeurs de  $Z_{IMP}$  comprises entre 45 et 52 mNGF avait été utilisée. Les niveaux de nappe autour du plan d'eau constituant l'une des entrées du modèle hydrologique, une chronique piézométrique type avait par ailleurs été introduite sur la base de différentes observations.

De par la nature du problème étudié, les résultats fournis par le modèle apparaissaient très dépendants des niveaux de nappe utilisés comme données d'entrée.

Les différents tests de sensibilités effectués avaient par ailleurs permis de mettre en évidence l'influence significative du paramètre  $K_S$  (et dans une moindre mesure de  $Z_{IMP}$ ) sur les flux d'eau échangés entre la nappe et le lac, et donc sur les niveaux simulés dans ce dernier.

Les conclusions formulées à l'issue du rapport de 2016 apparaissaient alors fortement dépendantes de la valeur de  $K_S$  considérée. Dans l'hypothèse d'une perméabilité importante ( $K_S = 5.10^{-5}$  m/s) les résultats des modélisations suggéraient ainsi que les apports de la nappe seraient suffisants pour maintenir le plan d'eau à un niveau proche de la cote visée de 56 mNGF.

À l'inverse, en retenant une hypothèse plus défavorable ( $K_S = 5.10^{-7}$  m/s), les seuls apports souterrains et superficiels (via les précipitations) ne permettaient pas de maintenir un niveau d'eau satisfaisant dans l'ouvrage, ce qui conduisait donc à envisager l'utilisation d'une source complémentaire pour l'alimentation du lac.

Les reconnaissances effectuées en novembre 2016 ont à la fois permis de conforter les hypothèses sur les niveaux de nappe utilisés en entrée du modèle (chronique piézométrique type) et d'affiner les plages de valeurs de  $K_S$  et  $Z_{IMP}$  à sélectionner pour analyser le fonctionnement hydrologique du plan d'eau. De nouvelles simulations ont donc été réalisées afin de préciser l'impact de ces nouveaux éléments sur la faisabilité du lac.

## 4.2 Description des simulations complémentaires

### 4.2.1 Actualisation des paramètres et entrées du modèle

De la même manière que pour les simulations effectuées en 2016, deux valeurs de perméabilité  $K_S$  ont ici été utilisées:  $5.10^{-7}$  et  $2.10^{-6}$  m/s. Ces valeurs sont comprises entre la perméabilité mesurée pour les Alluvions ( $4.10^{-6}$  m/s) et la valeur basse obtenue pour les Marnes Infragypseuses ( $1.10^{-7}$  m/s).

La côte de l'interface entre les formations superficielles et le Calcaire de Saint-Ouen se situe aux alentours de 53 m NGF dans les sondages SC5 et SC10. Afin de tenir compte de l'altération du toit du Calcaire de Saint-Ouen, visible dans le sondage SC5 et susceptible de favoriser les circulations d'eau, des valeurs légèrement inférieures ont ici été retenues pour la cote du substratum  $Z_{IMP}$ .

Il semble important de souligner que modèle utilisé n'offre qu'une représentation très simplifiée du fonctionnement hydrogéologique de la zone d'étude. Ainsi, ce dernier ne permet pas de rendre compte des interactions entre la nappe superficielle et la nappe du Saint-Ouen.

Dans le modèle, un abaissement de la côte du substratum  $Z_{IMP}$  permet, dans une certaine mesure, de tenir compte de la réalimentation de la nappe superficielle par la nappe du Saint-Ouen.

Des valeurs de  $Z_{IMP}$  comprises entre 50 et 52 m NGF ont donc été utilisées pour les simulations.

Bien que les niveaux de nappes mesurés en 2017 soient significativement inférieurs à ceux mesurés en 2016, il n'a pas semblé nécessaire de modifier la chronique piézométrique type élaborée en 2016, car celle-ci prenait déjà en compte les variations interannuelles dues à l'alternance d'années plus ou moins pluvieuses. Pour rappel, cette chronique piézométrique type avait été calée sur le niveau piézométrique mesuré en octobre 2015 dans la partie sud de la zone d'étude, et est donc plutôt représentative des niveaux piézométriques dans la zone sud, plus bas que ceux de la zone nord.

### 4.2.2 Description des scénarios retenus

Les simulations intégrant les nouvelles estimations des paramètres  $K_S$  et  $Z_{IMP}$  ont dans un premier temps été effectuées pour le scénario d'aménagement « de référence » proposé par LIN (bassin de 7,1 ha). Pour les paramètres autres que  $K_S$  et  $Z_{IMP}$ , la configuration de référence mentionnée dans le rapport de 2016 a ici été utilisée (voir tableau ci-après).

Les simulations de 2016 avaient été réalisées en supposant le plan d'eau totalement vide au début de la période de modélisation, ce qui se traduisait par une phase transitoire de remplissage excessivement longue compliquant parfois l'interprétation du fonctionnement de l'ouvrage en régime permanent. Afin de faciliter l'analyse des résultats, le niveau d'eau dans le lac en début de simulation a cette fois-ci été fixé à 56 mNGF (en notant que pour le remplissage initial des bassins, des sources d'alimentation autres que la nappe superficielle pourraient être envisagées).

Compte tenu des résultats obtenus pour le scénario de référence et des remarques formulées à l'issue de l'étude de 2016 (difficulté à garantir le maintien en eau de l'ensemble du lac du fait d'un approfondissement du toit de la nappe en partie nord et présence du collecteur départemental de la Morée), des simulations ont, dans un second temps, été réalisées, en retenant un scénario alternatif, plus conforme aux préconisations de la première étude, pour lequel seul le bassin aval du scénario « de référence » serait alimenté par la nappe.

Dans une telle configuration, la présence d'un lac étanche en partie nord permet d'envisager qu'une partie des volumes de ce dernier soit dirigée vers le bassin aval ; l'intérêt d'une alimentation complémentaire du plan d'eau a donc également été étudié pour ce scénario alternatif.

Paramètre	Minimum	Maximum	Valeurs fixes
$K_S$ (m.s <sup>-1</sup> )	$5.10^{-7}$	$2.10^{-6}$	/
$Z_{IMP}$ (mNGF)	50	52	/
$\Delta R_{MIN}$ (m) <sup>1</sup>	/	/	50
$R_{EQ}$ (m) <sup>1</sup>	/	/	$S^{0,5}$
Pente des berges immergées <sup>1</sup>	/	/	1:8
Profondeur (m) <sup>1</sup>	/	/	3

Configuration utilisée pour les simulations complémentaires. Certains paramètres sont fixés pour les deux scénarios testés.  $R_{EQ}$  correspond à  $S^{0,5}$ , ou S désigne la surface du plan d'eau (soit 7.1 ha pour le scénario de référence et 3.6 ha pour le scénario alternatif). <sup>1</sup>Se référer au rapport de 2016.

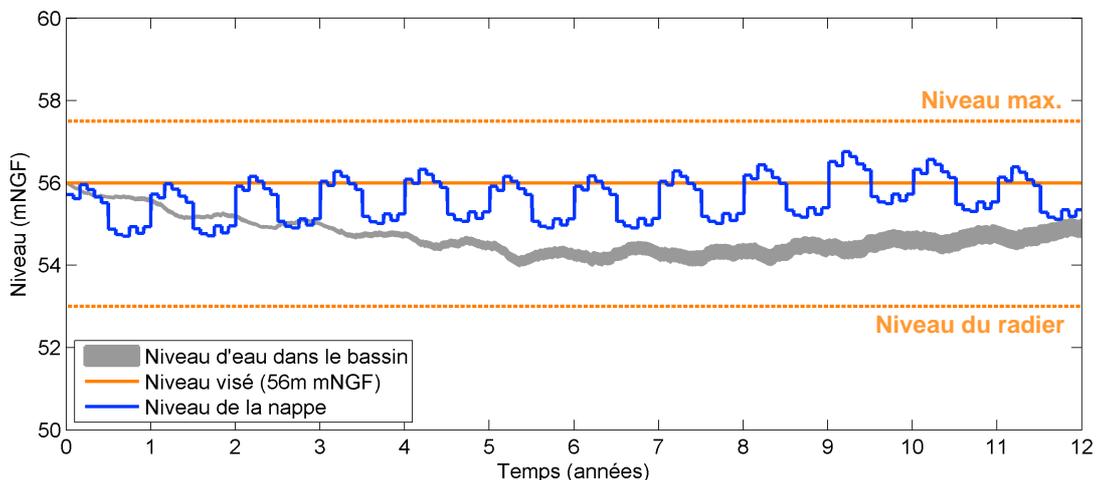
## 4.3 Résultats

### 4.3.1 Scénario « de référence »

Les simulations sont réalisées en considérant successivement l'hypothèse favorable  $K_S = 2.10^{-6}$  m/s et l'hypothèse d'un sol peu perméable  $K_S = 5.10^{-7}$  m/s. Pour chacune de ces hypothèses, les valeurs minimum et maximum de  $Z_{IMP}$  sont utilisées. Dans les figures qui suivent, la partie supérieure du fuseau gris correspond au niveau d'eau simulé pour  $Z_{IMP} = 50$  m et la partie inférieure pour  $Z_{IMP} = 52,5$  m.

- **Hypothèse «  $K_S = 2.10^{-6}$  m/s ».**

Les résultats obtenus pour l'estimation haute de  $K_S$  sont présentés dans le graphique ci-dessous. Ce dernier indique clairement que même sous l'hypothèse relativement favorable d'une perméabilité de  $2.10^{-6}$  m/s, les débits issus de la nappe ne permettent pas de maintenir un niveau d'eau à 56 mNGF, ce dernier se rapprochant plutôt du niveau bas de la nappe à 55 mNGF.

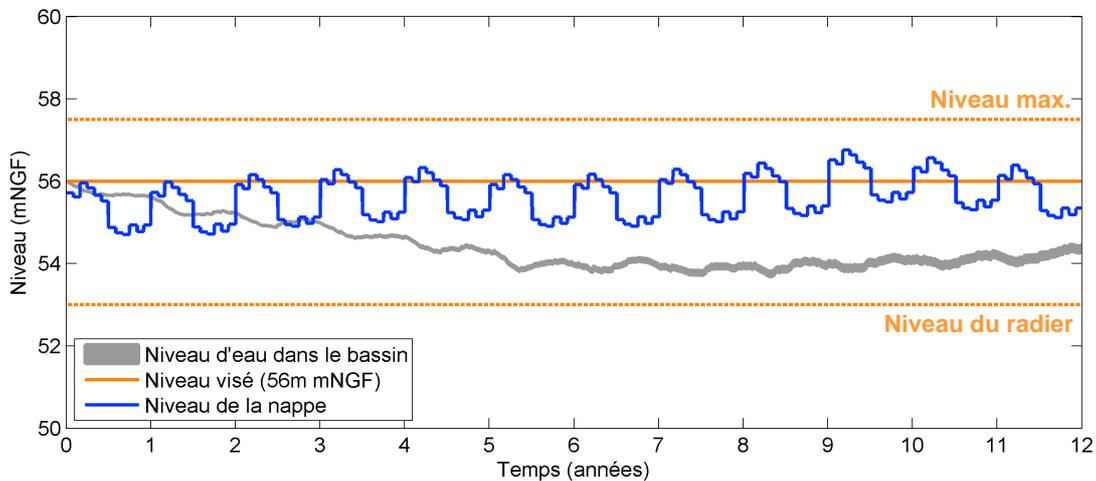


L'épaisseur du fuseau gris qui tend à s'accroître sur la durée de la simulation indique que l'incertitude sur la valeur de  $Z_{IMP}$  peut induire des variations sur les niveaux de nappe simulés par le modèle, même si ces dernières restent assez modérées. L'incertitude sur la valeur de  $Z_{IMP}$  semble en revanche avoir une incidence assez marquée sur les termes du bilan hydrologique associé à ce scénario (voir tableau ci-dessous).

	$Z_{IMP} = 50 \text{ m}$	$Z_{IMP} = 52,5 \text{ m}$
Volume de surverse	0 m <sup>3</sup> /an	0 m <sup>3</sup> /an
Volume issu de la nappe	9 300 m <sup>3</sup> /an	5 600 m <sup>3</sup> /an
Volume reçu par la nappe	640 m <sup>3</sup> /an	340 m <sup>3</sup> /an
Volume évaporé	55 200 m <sup>3</sup> /an	53 400 m <sup>3</sup> /an
Apports superficiels	41 700 m <sup>3</sup> /an	41 700 m <sup>3</sup> /an

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

Le graphique ci-dessous fait apparaître les niveaux d'eau simulés dans le lac dans l'hypothèse d'une faible valeur de  $K_S$ . De façon prévisible, les niveaux d'eau simulés pour cette hypothèse apparaissent encore plus limités que dans la configuration précédente et indiquent qu'une simple alimentation du plan d'eau par la nappe superficielle et les précipitations ne permettrait probablement pas de compenser les pertes liées à l'évaporation.



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.

	$Z_{IMP} = 50 \text{ m}$	$Z_{IMP} = 52,5 \text{ m}$
Volume de surverse	0 m <sup>3</sup> /an	0 m <sup>3</sup> /an
Volume issu de la nappe	2 950 m <sup>3</sup> /an	1 500 m <sup>3</sup> /an
Volume reçu par la nappe	170 m <sup>3</sup> /an	90 m <sup>3</sup> /an
Volume évaporé	52 300 m <sup>3</sup> /an	51 600 m <sup>3</sup> /an
Apports superficiels	41 700 m <sup>3</sup> /an	41 700 m <sup>3</sup> /an

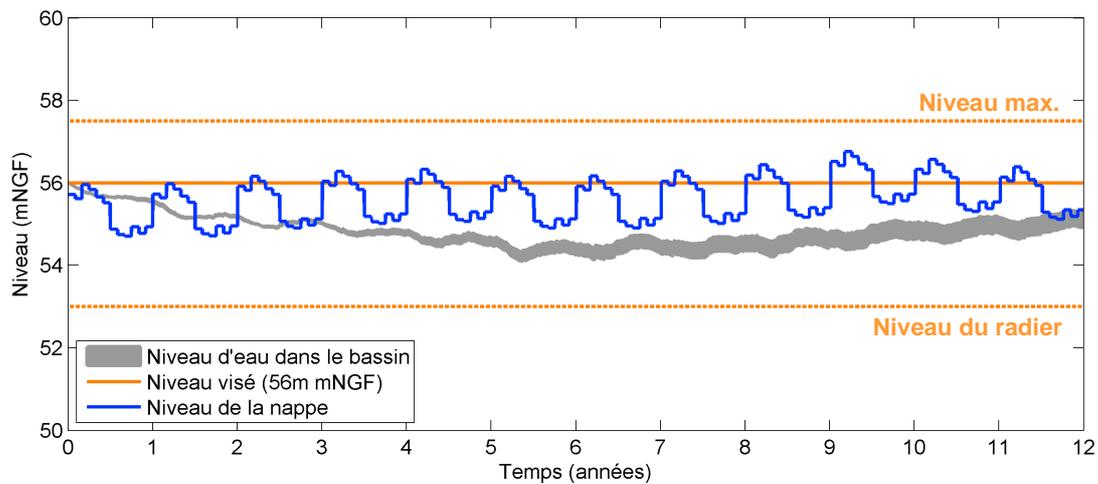
### 4.3.2 Scénario alternatif (sans alimentation complémentaire)

Dans la suite, les simulations sont effectuées en considérant le scénario alternatif d'un unique bassin de 3.6 ha alimenté par la nappe en partie sud de la zone d'aménagement (plus proche de préconisations formulées à l'issue de l'étude de 2016).

- **Hypothèse «  $K_S = 2.10^{-6} \text{ m/s}$  »**

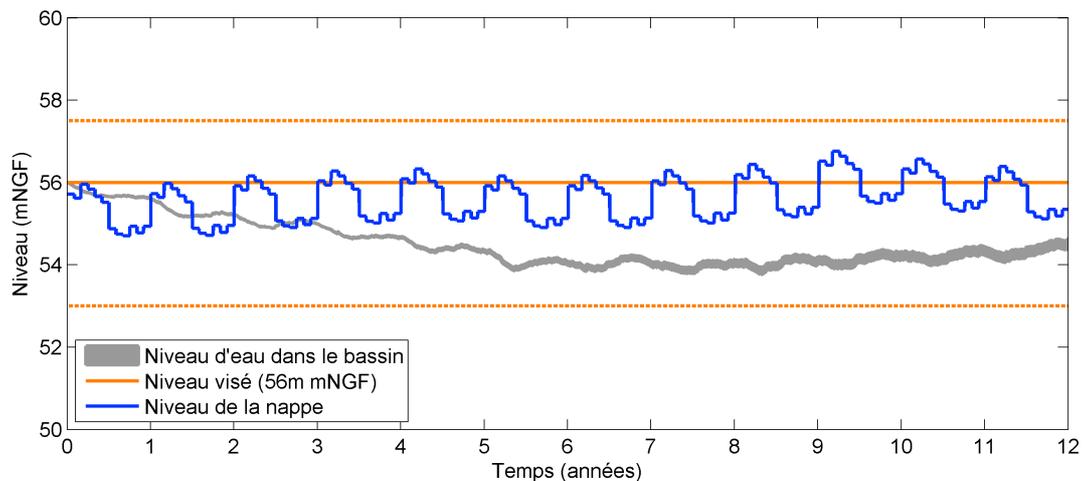
Les niveaux d'eaux simulés dans l'hypothèse d'une perméabilité de  $2.10^{-6} \text{ m/s}$  sont présentés sur le graphique ci-dessous. Comme pour les figures précédentes, la partie supérieure du fuseau gris correspond aux niveaux d'eau simulés pour  $Z_{IMP} = 50 \text{ m}$  et la partie inférieure  $Z_{IMP} = 52,5 \text{ m}$ . Les

résultats obtenus sont assez comparables, à valeur de  $K_S$  équivalente, à ceux du scénario « de référence » ( $S = 7,1$  ha), même si les niveaux d'eau simulés sont ici légèrement supérieurs et se rapprochent de la cote 55 mNGF.



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

Les résultats obtenus pour l'hypothèse plus défavorable «  $K_S = 5.10^{-7}$  m/s » sont présentés ci-dessous. Comme pour le scénario de référence, l'alimentation par la nappe superficielle apparaît ici insuffisante pour maintenir un niveau d'eau satisfaisant dans le bassin, ce qui amène à s'interroger sur l'intérêt d'une alimentation complémentaire.

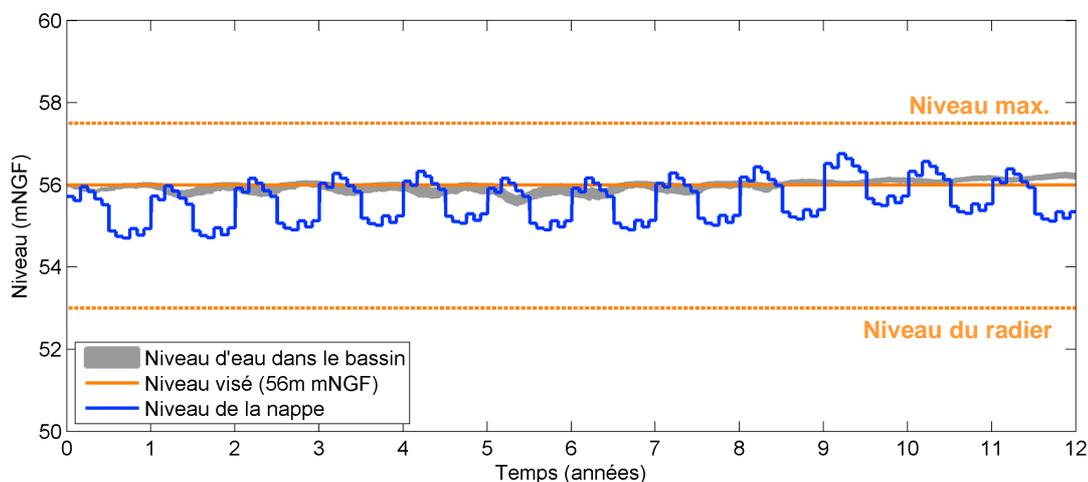


### 4.3.3 Scénario alternatif avec une alimentation complémentaire

Les résultats précédents mettent en évidence la difficulté à maintenir dans le bassin un niveau d'eau proche de celui initialement visé (56 mNGF), pour l'hypothèse d'un sol peu perméable comme pour des valeurs plus favorables de  $K_S$ . Deux scénarios d'alimentation complémentaires du plan d'eau ont donc été testés, en introduisant dans le modèle hydrologique la possibilité de simuler un apport en eau constant sur la période de simulation (en retenant ici des valeurs de 25 et 50 m<sup>3</sup>/jours). Pour ces deux scénarios deux configurations ont été retenues afin de rendre compte de l'incertitude quant aux caractéristiques hydrogéologiques de la zone d'étude, l'une défavorable avec  $K_S = 5.10^{-7}$  m/s et  $Z_{IMP} = 52,5$  m et l'autre plus favorable avec  $K_S = 2.10^{-6}$  m/s et  $Z_{IMP} = 50$  m.

- **Hypothèse d'une alimentation complémentaire de 50 m<sup>3</sup>/j**

Le graphique ci-dessous fait apparaître les niveaux d'eau simulés dans le bassin aval dans l'hypothèse d'une alimentation complémentaire de 50 m<sup>3</sup>/j. La partie supérieure du fuseau gris correspond aux niveaux simulés pour la configuration la plus favorable en termes d'alimentation par la nappe «  $K_S = 2.10^{-6}$  m/s et  $Z_{IMP} = 50$  m », tandis que la partie inférieure correspond à la situation plus contraignante «  $K_S = 5.10^{-7}$  m/s et  $Z_{IMP} = 52,5$  m ».



Les résultats indiquent qu'indépendamment des hypothèses retenues pour la caractérisation du sous-sol sur la zone d'étude (valeurs de  $K_S$  et  $Z_{IMP}$ ), des niveaux de remplissage proches de celui attendus peuvent aisément être espérés avec une alimentation complémentaire de 50 m<sup>3</sup>/j. Il semble ici important de souligner que la valeur de 50 m<sup>3</sup>/j représente à l'échelle annuelle des volumes assez conséquents, comparable aux apports directement attribuables aux précipitations sur la surface du plan d'eau (l'identification d'une source susceptible de fournir de tels volumes n'est donc pas forcément immédiate). Il semble important de souligner que l'hypothèse d'un apport constant de 50 m<sup>3</sup>/j constitue ici une simplification. En pratique, si une alimentation complémentaire du lac devait être mise en œuvre, des études seraient nécessaires afin d'optimiser les apports en eau vers le lac, en les adaptant notamment aux variations saisonnières du niveau de la nappe ou à celles des forçages atmosphériques (précipitations et évapotranspiration).

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

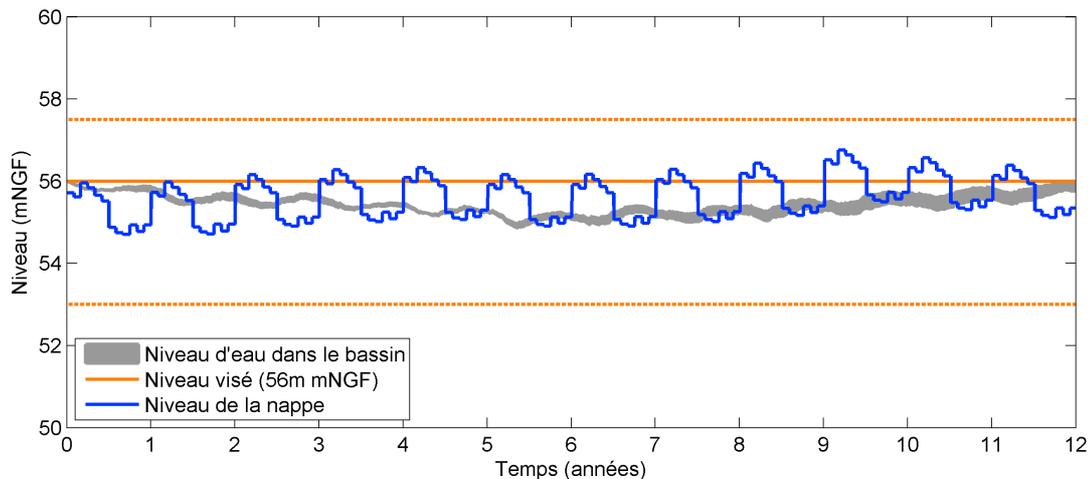
	$K_S = 5.10^{-7}$ m/s, $Z_{IMP} = 52,5$ m	$K_S = 2.10^{-6}$ m/s, $Z_{IMP} = 50$ m
Volume de surverse	0 m <sup>3</sup> /an	0 m <sup>3</sup> /an
Volume issu de la nappe	100 m <sup>3</sup> /an	1 100 m <sup>3</sup> /an
Volume reçu par la nappe	660 m <sup>3</sup> /an	4 000 m <sup>3</sup> /an
Volume évaporé	36 300 m <sup>3</sup> /an	34 700 m <sup>3</sup> /an
Apports superficiels	39 400 m <sup>3</sup> /an	39 400 m <sup>3</sup> /an
- dont apports complémentaires	18 300 m <sup>3</sup> /an	18 300 m <sup>3</sup> /an

Les volumes infiltrés depuis le plan d'eau vers la nappe semblent ici rester relativement modérés, et ne représentent que 3 à 19 % des précipitations. Le choix de recourir à une source d'alimentation complémentaire doit cependant inviter à une certaine prudence afin d'éviter d'introduire un déséquilibre trop important entre le niveau d'eau dans le bassin et celui de la nappe superficielle. Pour la suite, l'hypothèse d'une alimentation plus réduite (25 m<sup>3</sup>/j) a donc été retenue.

- **Hypothèse d'une alimentation complémentaire de 25 m<sup>3</sup>/j**

De façon prévisible, les niveaux d'eau simulés sous l'hypothèse d'une alimentation complémentaire de 25 m<sup>3</sup>/j sont inférieurs à ceux obtenus pour le scénario précédent. Ces derniers

demeurent néanmoins relativement proches du niveau visé, et restent généralement supérieurs à la cote 55 mNGF.



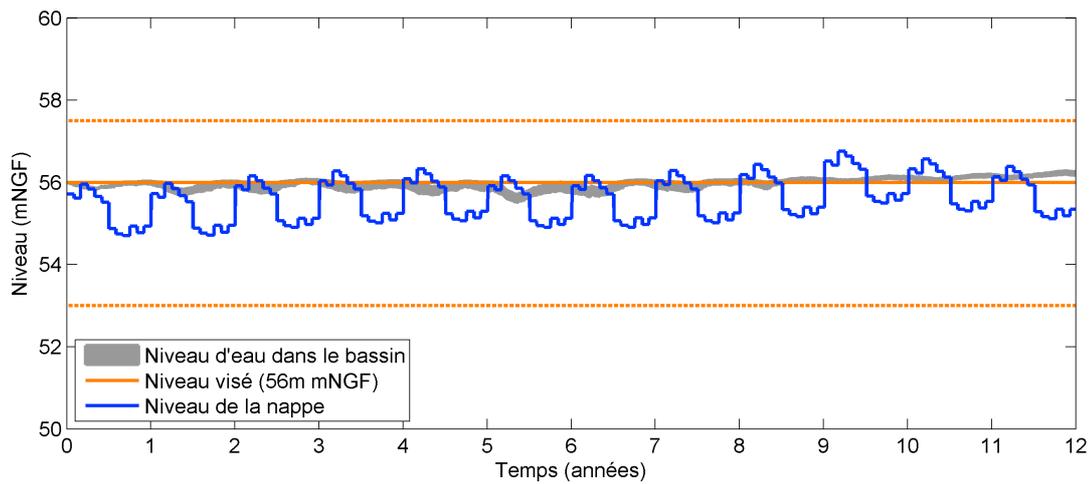
Les termes du bilan hydrologique associé à ce scénario d'alimentation indiquent que les apports superficiels sont, sur la période de simulation, assez comparables aux pertes par évapotranspiration. Les volumes dirigés du plan d'eau vers le sous-sol apparaissent nettement plus réduits que pour le scénario d'alimentation à 50 m<sup>3</sup>/j et représentent tout au plus 8 % des précipitations (environ 50 mm/an). Ce résultat, s'explique en grande partie par le fait que le débit d'alimentation retenu permet ici d'assurer un certain équilibre entre la nappe et le plan d'eau. Le niveau d'eau dans le bassin ne dépasse en effet que rarement le niveau bas de la nappe, ce qui permet alors de limiter l'alimentation du sous-sol par le lac.

#### 4.4 Synthèse sur la réalimentation du lac

Les simulations complémentaires effectuées en intégrant les informations apportées par les reconnaissances hydrogéologiques de novembre 2016 permettent de préciser un certain nombre de points sur la faisabilité d'une alimentation par la nappe superficielle du plan d'eau.

Pour le scénario « de référence » (7.1 ha), la modification des gammes de valeurs des paramètres relatifs au sous-sol, et en particulier la révision à la baisse de la perméabilité maximale pouvant être attendue sur la zone d'étude, permet de conclure quant à l'impossibilité de maintenir une ligne d'eau de 56 mNGF dans le lac en s'appuyant uniquement sur une alimentation par la nappe superficielle. Les résultats indiquent par ailleurs que, compte tenu des valeurs de perméabilité mesurées, l'objectif plus modeste d'une ligne d'eau à 55 mNGF pourrait également être difficile à assurer (d'autant plus que le modèle hydrologique ne tient pas compte de l'approfondissement du toit de la nappe en partie nord de la zone d'étude).

Dans le cas du scénario alternatif (3.6 ha), pour lequel seul le bassin inférieur du scénario de référence serait connecté à la nappe superficielle, la perméabilité relativement modeste du sol sur la zone d'étude semble également compromettre la faisabilité du lac en l'absence d'autre source d'alimentation. Il semble néanmoins important de souligner que, pour l'hypothèse «  $K_s = 2.10^{-6}$  m/s », des niveaux d'eau proches de 55 mNGF pourraient vraisemblablement être obtenus. En présence d'une source d'alimentation autre que la nappe superficielle, des niveaux d'eau satisfaisants (supérieurs à 55 mNGF) pourraient en revanche être atteints, y compris pour l'estimation basse de  $K_s$  ( $5.10^{-7}$  m/s), tout en limitant les flux d'eau dirigés du bassin vers le sous-sol. Les résultats indiquent en particulier qu'un apport de l'ordre de 25 m<sup>3</sup>/j permettrait d'éviter d'introduire un déséquilibre entre la nappe et le plan d'eau, en maintenant le niveau de ce dernier aux alentours de 55 mNGF pour l'ensemble de la gamme de perméabilité retenue.



Si les précisions apportées sur la valeur de  $K_S$  et de  $Z_{IMP}$  ont contribué à réduire l'incertitude associée aux résultats du modèle hydrologique, il semble important de souligner que ces derniers demeurent assez sensibles à certains choix de modélisation et notamment à la valeur du paramètre  $\Delta R_{MIN}$  lié au rayon d'action du plan d'eau (voir rapport de 2016) qui ne pourrait être précisée qu'en réalisant un essai de pompage lors des phases ultérieures du projet.

## 5 Conclusion

### 5.1 Synthèse

Les reconnaissances complémentaires effectuées par Fondasol ont permis d'affiner la caractérisation du fonctionnement hydrogéologique de la zone, et en particulier les interactions entre la nappe superficielle et la nappe du Saint-Ouen.

L'analyse des fluctuations piézométriques, des résultats des essais de perméabilité et des résultats d'analyses concordent et permettent de conclure que **la nappe superficielle et la nappe du Saint-Ouen sont partiellement déconnectées par la présence de couches peu perméables**, situées dans les Marnes Infragypseuses et la partie supérieure du Calcaire de Saint-Ouen. L'absence de couche argileuse réellement imperméable permet néanmoins à ces deux nappes de rester globalement à l'équilibre par des **phénomènes de drainage verticale**.

Les sondages carottés n'ont pas détecté de gypse, que ce soit dans les Marnes Infragypseuses ou le Calcaire de Saint-Ouen. L'épaisseur des Marnes Infragypseuses est par ailleurs plus faible que ce que le modèle géologique établi en 2016 laissait présager. De plus, les concentrations en sulfates sont assez modérées dans la nappe superficielle et dans la nappe du Saint-Ouen. Ces différents facteurs permettent d'estimer qu'**il est peu probable que des niveaux gypseux soient rencontrés dans les Marnes Infragypseuses ou dans le Calcaire de Saint-Ouen, au niveau de la zone d'étude**. Le risque de dissolution du gypse au droit de la zone d'étude est donc relativement faible, puisque le seul gypse susceptible d'être dissous se trouve dans les Marnes et Caillasses, et ne devrait pas être impacté par le projet. Les études ultérieures devront néanmoins permettre de s'assurer de l'absence d'impact hydraulique de l'ouvrage sur les formations gypseuses, présentes dans l'horizon des Marnes Infra-gypseuses situées hors zone d'étude, comme le recommande l'Ineris dans sa note de novembre 2016.

Sur la base des reconnaissances complémentaires, de nouvelles simulations ont été effectuées en considérant des perméabilités plus faibles et une moindre profondeur du substratum imperméable que lors des simulations de 2016. **Pour un lac de 7,1 ha (scénario de « référence »), les simulations montrent qu'il n'est pas possible de maintenir, sans apport d'eau extérieur, le niveau d'eau visé (56 m NGF) et qu'il est même difficile de maintenir une ligne d'eau de 55 m NGF.**

Des simulations ont alors été réalisées en considérant un lac de 3,6 ha, ce qui reviendrait à considérer que seul le bassin inférieur du scénario de référence serait connecté à la nappe superficielle. Dans ce cas, la perméabilité relativement modeste du sol sur la zone d'étude semble également compromettre la faisabilité du lac en l'absence d'autre source d'alimentation. Il semble néanmoins important de souligner que, pour l'hypothèse «  $K_s = 2.10^{-6}$  m/s », des niveaux d'eau proches de 55 mNGF pourraient vraisemblablement être obtenus. En présence d'une source d'alimentation autre que la nappe superficielle, des niveaux d'eau satisfaisants (supérieurs à 55 mNGF) pourraient en revanche être atteints, y compris pour l'estimation basse de  $K_s$  ( $5.10^{-7}$  m/s), tout en limitant les flux d'eau dirigés du bassin vers le sous-sol. Les résultats indiquent en particulier qu'un apport de l'ordre de 25 m<sup>3</sup>/j permettrait d'éviter d'introduire un déséquilibre entre la nappe et le plan d'eau, en maintenant le niveau de ce dernier aux alentours de 55 mNGF pour l'ensemble de la gamme de perméabilité retenue.

**Ces nouvelles simulations confirment la difficulté de créer un ou plusieurs lacs, d'une surface totale de 7,1 ha, alimentés par la nappe.** L'étude de 2016 du Cerema soulignait déjà les difficultés techniques que soulèverait la réalisation de plans d'eau constitués de deux bassins étagés, tous deux alimentés par la nappe. Les deux solutions envisagées par le Cerema en 2016

semblent donc toujours les plus pertinentes : **la création d'un unique lac alimenté par la nappe en partie sud, ou la création de deux lacs, l'un étanche en partie nord, et l'autre alimenté par la nappe en partie sud.** Selon les niveaux d'eau visés dans le lac en partie sud, une alimentation complémentaire pourra s'avérer nécessaire. Le Cerema recommande cependant de veiller à **minimiser l'impact de l'alimentation du lac sur les fluctuations piézométriques naturelles des nappes**, ce qui est susceptible de contraindre les usages envisagés pour ce lac.

## 5.2 Recommandations et suites à donner

Les reconnaissances complémentaires ont permis d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du site. Il conviendra néanmoins de poursuivre les études hydrogéologiques lors des phases ultérieures du projet, comme cela avait été évoqué dans le rapport du Cerema de 2016.

La conception des lacs nécessitera en particulier **la réalisation d'au moins un essai de pompage.** L'Agence Thierry Maytraud (ATM) a communiqué au Cerema un cahier des charges pour la réalisation de trois essais de pompage : deux dans les Marnes Infragypseuses et un dans le Calcaire de Saint-Ouen. Les reconnaissances déjà effectuées montrent que les formations superficielles sont relativement peu perméables, mais que les alluvions semblent plus propices à l'alimentation du lac. Le Cerema recommande donc de réaliser l'un des essais de pompage dans la zone où les alluvions de la Morée sont puissantes, plutôt que dans les Marnes Infragypseuses. Afin d'améliorer la caractérisation des interactions entre la nappe du Saint-Ouen et la nappe superficielle, il serait opportun de réaliser l'essai de pompage dans le Saint-Ouen au même endroit. Pour chacun des essais de pompage, au moins trois piézomètres satellites, crépinés dans la nappe ciblée doivent être installés. L'effet des deux essais de pompage pourront ainsi être suivis à la fois dans les piézomètres crépinés dans les formations superficielles et dans ceux crépinés dans le Calcaire de Saint-Ouen.

Plusieurs recommandations peuvent par ailleurs être formulées pour la réalisation des essais de pompage :

- étant donné la faible perméabilité des formations superficielles et la faible puissance de cette formation aquifère, l'essai de pompage dans la nappe superficielle peut être difficile à mettre en place, car une pompe mal adaptée risque de dénoyer le puits. Pour l'essai de pompage dans la nappe superficielle, le Cerema recommande donc de placer les piézomètres satellites à une distance réduite du puits, de déterminer impérativement le débit de pompage de l'essai avant de procéder à l'essai de longue durée et de réaliser l'essai de pompage pendant au moins 24h ;
- pour bien caractériser les interactions entre les deux nappes, le Cerema recommande d'équiper les puits avec précaution. Pour l'essai de pompage réalisé dans la nappe du Saint-Ouen, la réalisation et l'équipement du puits devront permettre de solliciter uniquement la partie inférieure de l'aquifère et d'éviter de mettre en communication les deux nappes.

Lors des phases de conception du lac, une représentation aussi précise que possible des différents aquifères sera nécessaire pour dimensionner au mieux l'alimentation du lac.

Il conviendra dans un premier temps de **reprendre dès maintenant le suivi piézométrique mensuel dans l'ensemble des piézomètres de la zone.** Cela permettra d'obtenir en 2017 des données particulièrement intéressantes pour le projet, dans la mesure où le déficit de précipitation observé depuis l'été 2016 devrait se traduire par des niveaux de nappe particulièrement bas lors de la période d'étiage. Étant donné l'importance des relations entre la nappe superficielle et la nappe du Saint-Ouen, la mise en place d'un suivi automatisé des niveaux piézométriques dans les doublets piézométriques (Pz5, Pz5bis, Pz10 et Pz10bis) pourrait également s'avérer utile. De

**nouvelles analyses physico-chimiques devront aussi être réalisés dans les piézomètres Pz10 et Pz10bis.**

Il serait également utile par la suite d'**améliorer la cartographie de la surface piézométrique en ajoutant des points de suivi** en amont hydrogéologique de la zone, pour préciser notamment la ligne de partage des eaux entre le bassin versant de la Morée et celui du Sausset, et en aval hydrogéologique, dans la zone où passait l'ancien cours de la Morée. En effet, 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 (et de risque lié à la dissolution du gypse).

Les sondages réalisés lors des études géotechniques ultérieures devront par ailleurs être mis à profit pour préciser l'épaisseur et les faciès lithologiques des formations géologiques, notamment au droit des terrains Montceuleux, où le nombre de sondages disponibles est faible. Une attention particulière devra être apportée à la délimitation de la zone d'extension des alluvions.

Enfin, une **modélisation hydrogéologique déterministe** semble nécessaire lors des phases de conception, que ce soit pour dimensionner l'alimentation du lac ou pour étudier l'impact du lac sur les fluctuations piézométriques de la zone d'étude, et en particulier en aval hydrogéologique dans les zones où il existe des risques de dissolution du gypse.



# Annexes

## **Annexe 1 : Coupes des sondages carottés et diagraphies gamma ray**

Remarque : La description lithologique faite par Fondasol a été reprise par le Cerema pour éditer les coupes géologiques et y incorporer les diagraphies gamma ray.



**Sondage : SC5**

Client :

 Type : **carottage + gamma-ray**

 Etude : **SEVRAN Bassin artificiel**

Date : 18/05/2017

 Remarque : **Coordonnées X et Y en Lambert 1  
Altitude Z en NGF 69**

X : 615141,79

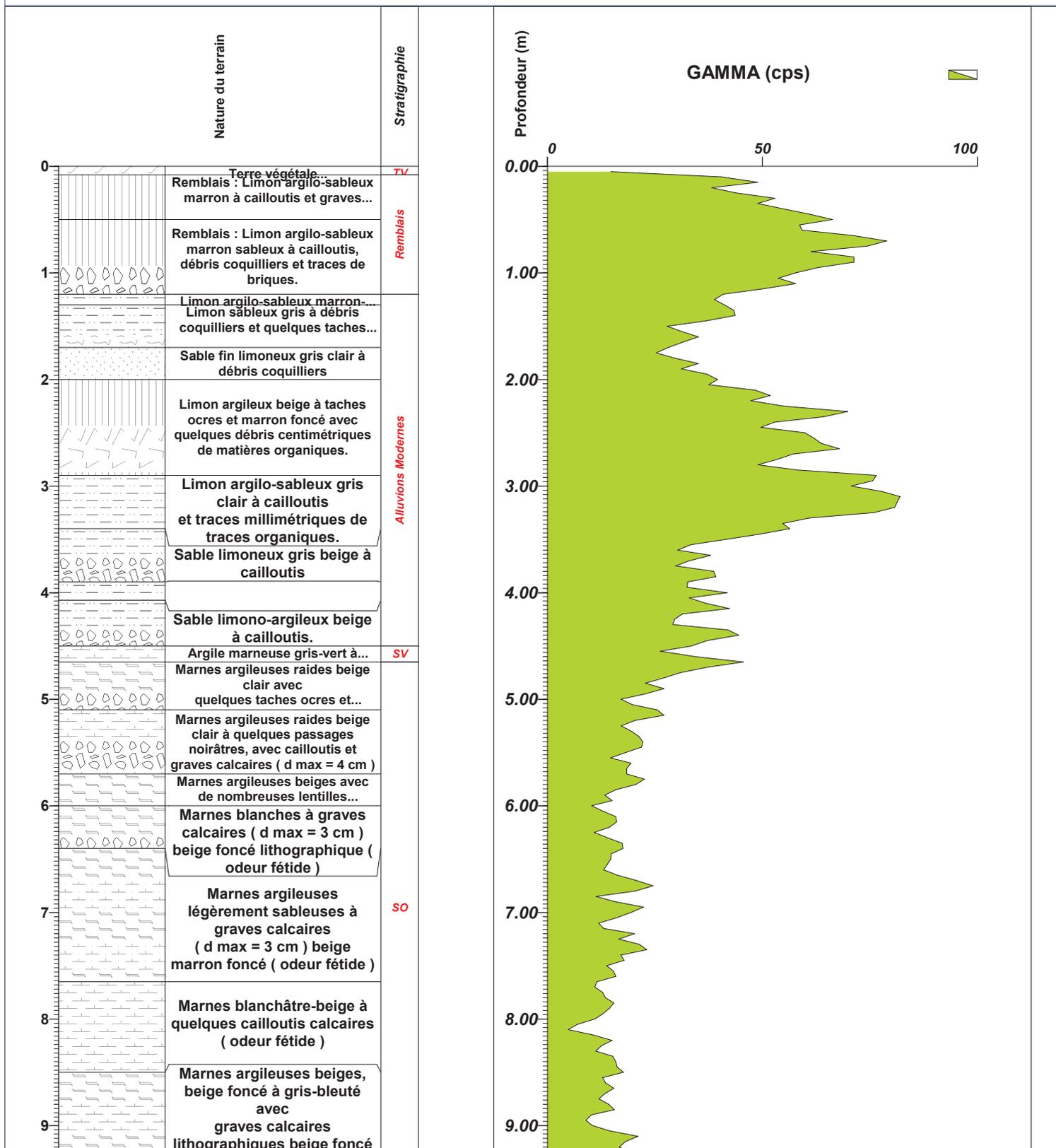
Début : 0,00

Y : 138537,12

Fin : 20,67

Z : 57,36 m

Echelle : 1 / 50



## Sondage : SC5

Client :

 Type : **carottage + gamma-ray**

 Etude : **SEVRAN Bassin artificiel**

Date : 18/05/2017

 Remarque : **Coordonnées X et Y en Lambert 1  
Altitude Z en NGF 69**

X : 615141,79

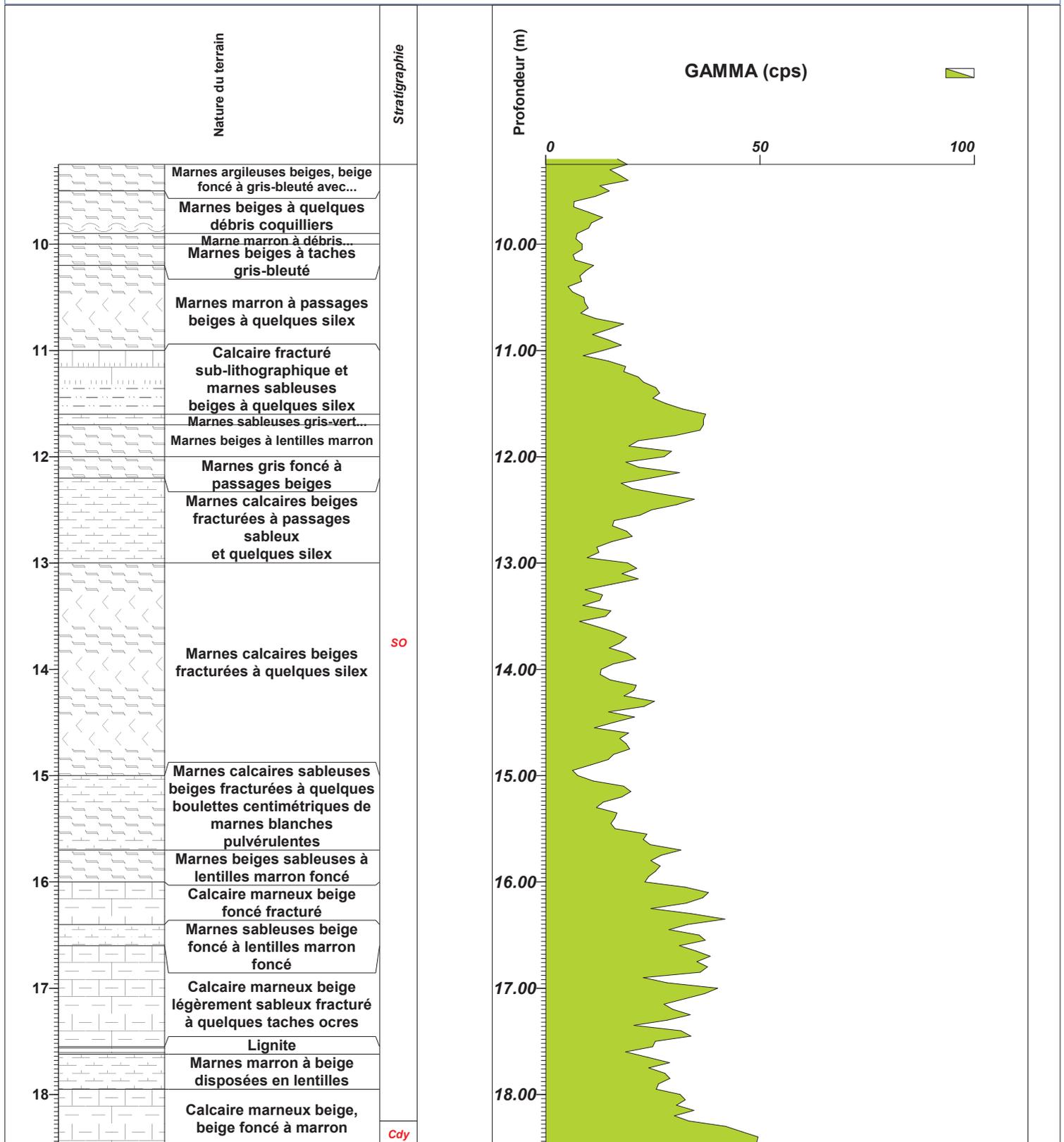
Début : 0,00

Y : 138537,12

Fin : 20,67

Z : 57,36 m

Echelle : 1 / 50



**Sondage : SC5**

Client :

 Type : **carottage + gamma-ray**

 Etude : **SEVRAN Bassin artificiel**

Date : 18/05/2017

 Remarque : **Coordonnées X et Y en Lambert 1  
Altitude Z en NGF 69**

X : 615141,79

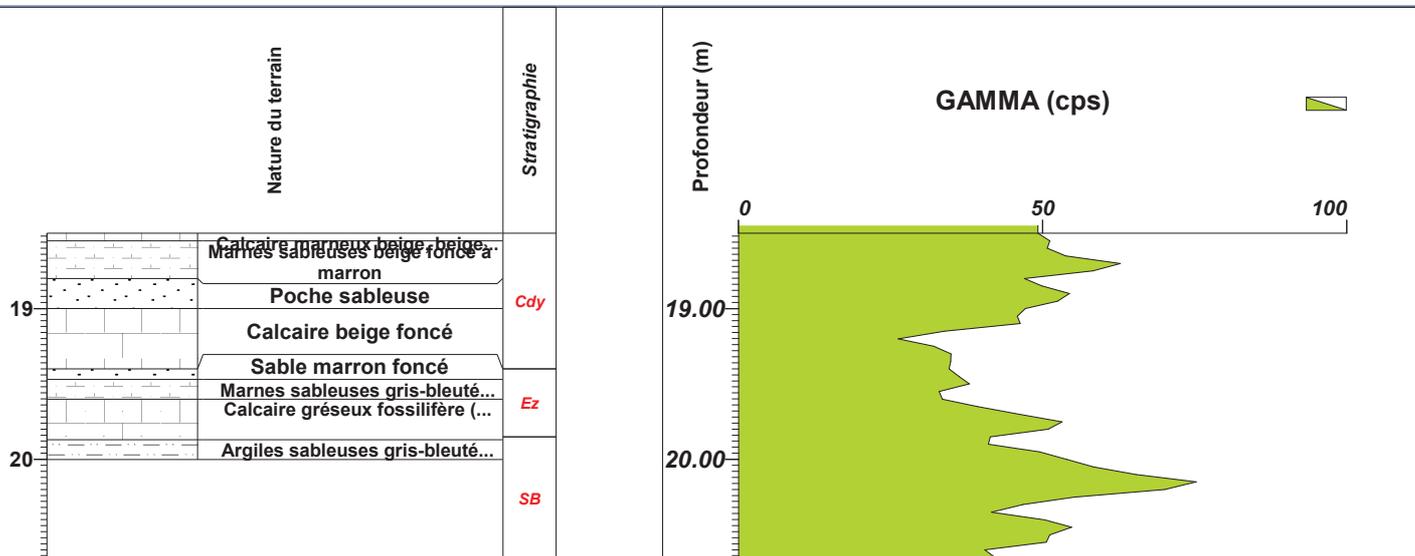
Début : 0,00

Y : 138537,12

Fin : 20,67

Z : 57,36 m

Echelle : 1 / 50



## Sondage : SC10

Client :

 Type : **carottage + gamma-ray**

 Etude : **SEVRAN Bassin artificiel**

Date : 18/05/2017

 Remarque : **Coordonnées X et Y en Lambert 1  
Altitude Z en NGF 69**

X : 615100,45

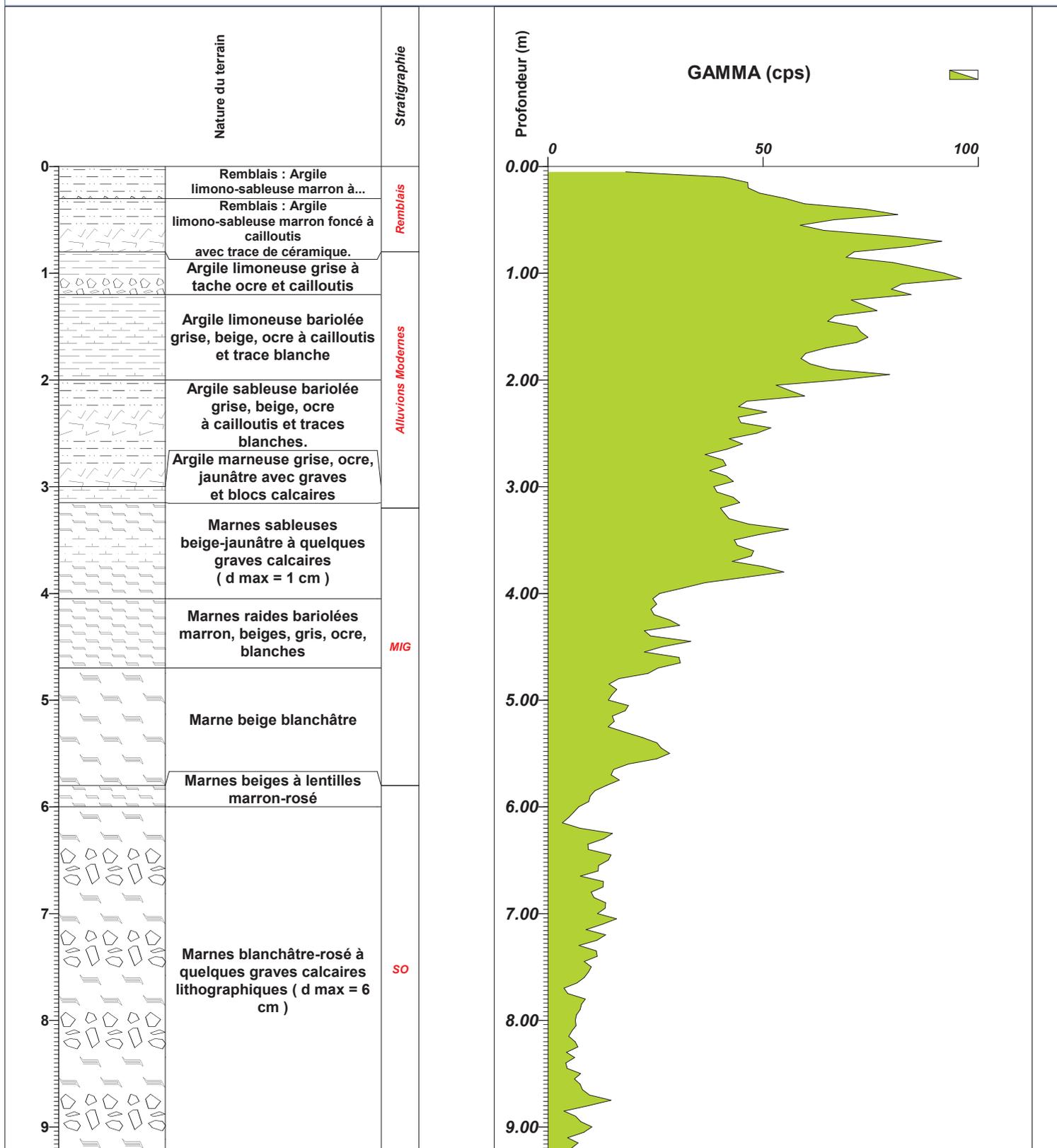
Début : 0,00

Y : 138864,72

Fin : 20,30

Z : 59,13 m

Echelle : 1 / 50



## Sondage : SC10

Client :

 Type : **carottage + gamma-ray**

 Etude : **SEVRAN Bassin artificiel**

Date : 18/05/2017

 Remarque : **Coordonnées X et Y en Lambert 1  
Altitude Z en NGF 69**

X : 615100,45

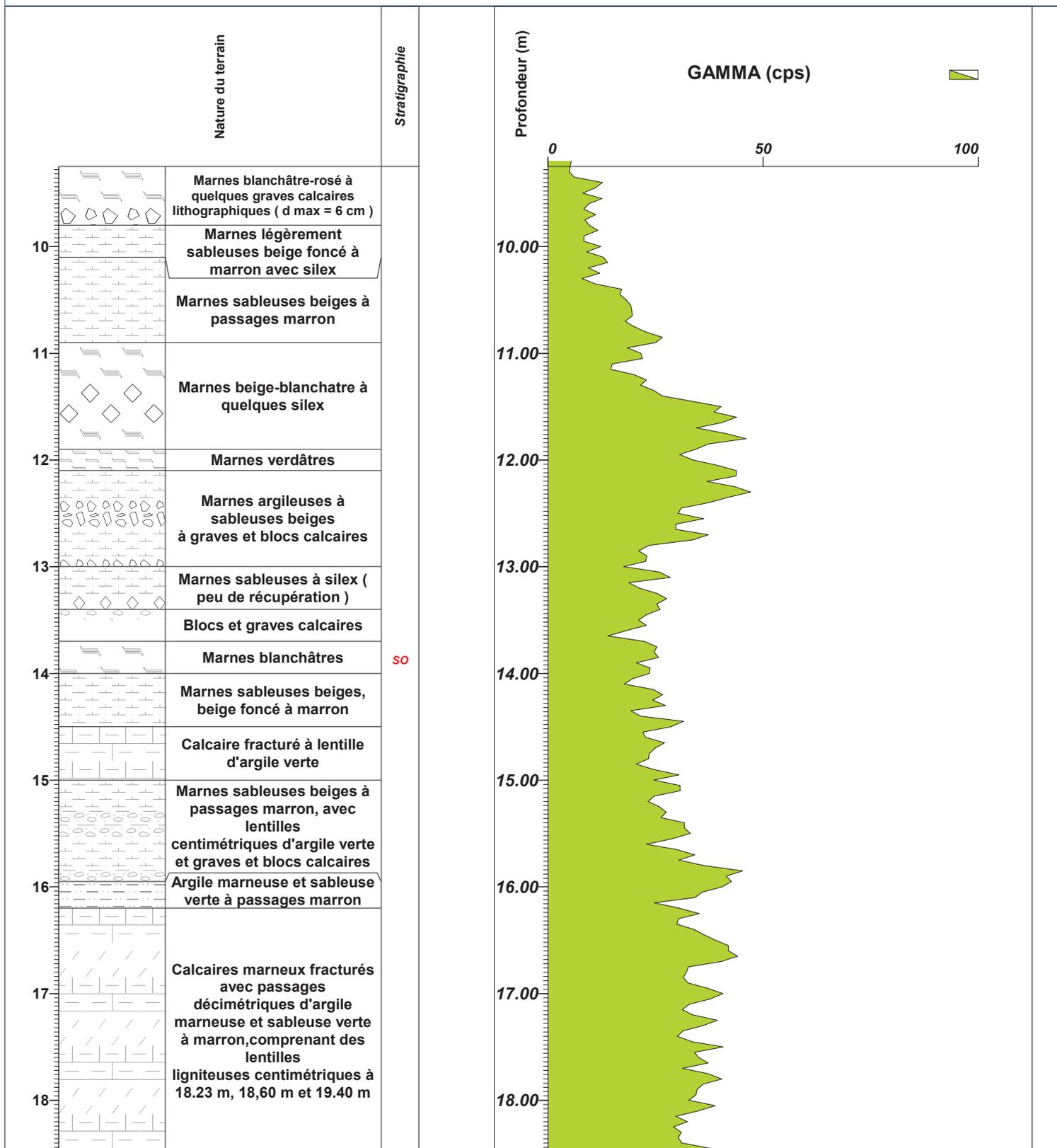
Début : 0,00

Y : 138864,72

Fin : 20,30

Z : 59,13 m

Echelle : 1 / 50



## Sondage : SC10

Client :

 Type : **carottage + gamma-ray**

 Etude : **SEVRAN Bassin artificiel**

Date : 18/05/2017

 Remarque : **Coordonnées X et Y en Lambert 1  
Altitude Z en NGF 69**

X : 615100,45

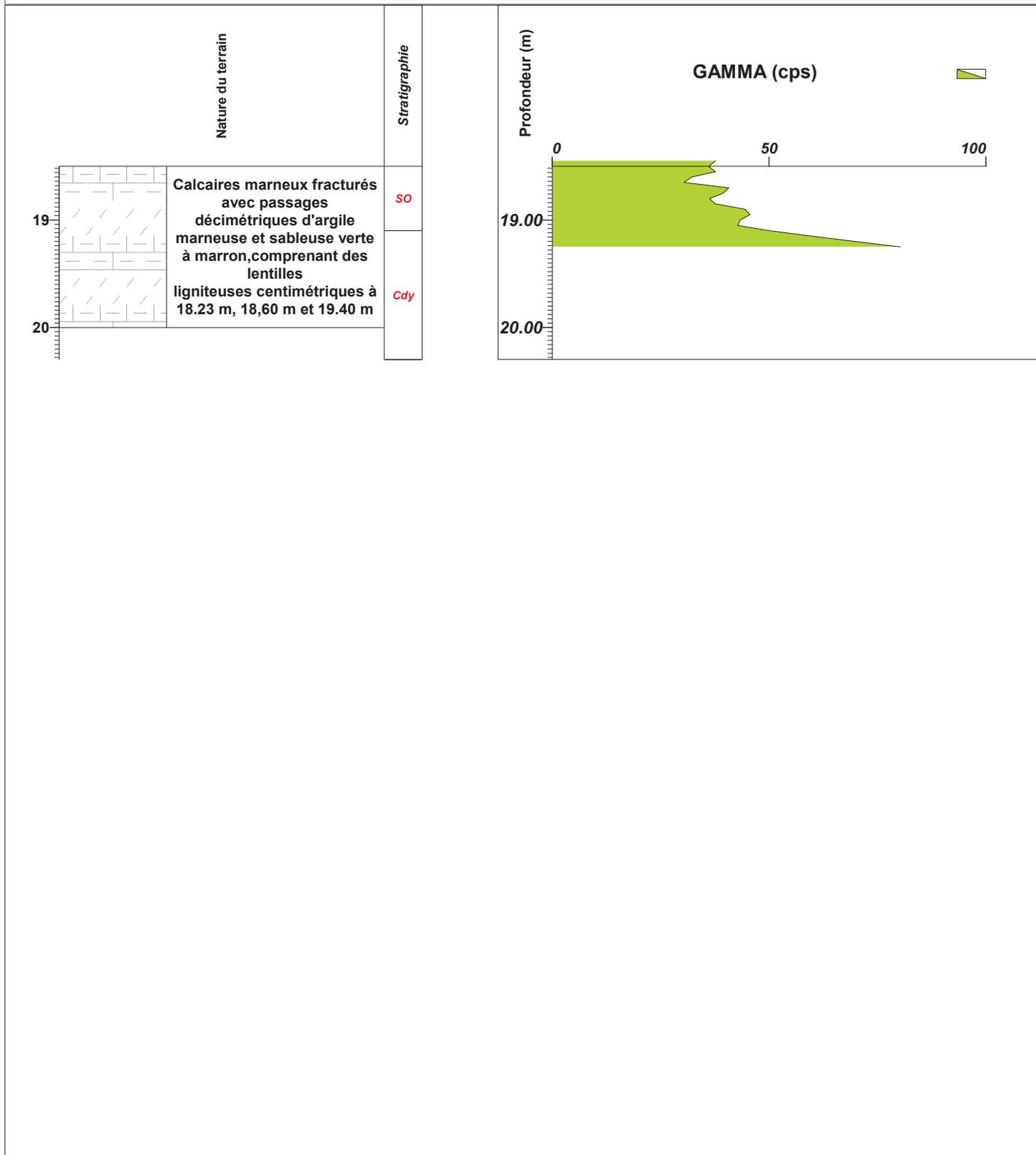
Début : 0,00

Y : 138864,72

Fin : 20,30

Z : 59,13 m

Echelle : 1 / 50







**Cerema Ile-de-France**

Rue de l'Égalité Prolongée – BP 134 – 93352 Le Bourget Cedex

Tel : 01 48 38 81 00 – Fax : 01 48 38 81 01 – mel : dteridf.cerema@cerema.fr

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)