



## **Barrage de Villeneuve Saint-Germain**

MISSION DE MAÎTRISE D'ŒUVRE POUR LA RENOVATION DU BARRAGE

### **ETUDES PRELIMINAIRES**

#### **ANNEXE N° 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE**

##### **EAU & ENVIRONNEMENT PARIS**

21/37 rue de Stalingrad  
Le Baudran – Bat B - 3<sup>ème</sup> étage  
94742 Arcueil cedex  
Tel. : +33 01 41 24 24 56  
Fax : +33 01 41 24 29 39

**VNF - ARRONDISSEMENT PICARDIE**

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL</b>	<b>1</b>
1.1.	DOCUMENTS DE REFERENCE	1
1.2.	GEOLOGIQUE	2
1.3.	STRUCTURAL	3
<b>2.</b>	<b>CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE</b>	<b>5</b>
2.1.	HYDROLOGIE DE SURFACE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE	5
2.2.	HYDROGEOLOGIE	5
2.3.	PIEZOMETRIE	9
<b>3.</b>	<b>GEOTECHNIQUE</b>	<b>10</b>
3.1.	DOCUMENTS DE REFERENCE	10
3.2.	LITHOLOGIE AU DROIT DU BARRAGE EXISTANT	10
3.2.1.	Présentation de la campagne de reconnaissance réalisée en 2013 (Hydrogéotechnique)	10
3.2.2.	Lithologie des sols au droit du barrage	11
3.2.3.	Perméabilités des sols	14
3.2.4.	Propriétés mécaniques des sols	15
3.2.5.	Hypothèses géomécaniques	19
3.2.6.	Sujétions d'exécution	20

## FIGURES

FIG. 1.	EXTRAIT DE LA CARTE IGN AU 1/25000 <sup>EME</sup> SOISSONS 211 EST	1
FIG. 2.	CARTE ISOHYPSE DU TOIT DU THENATIEN SUR LE SECTEUR DE VILLENEUVE-SAINT-GERMAIN	4
FIG. 3.	COUPE HYDROGEOLOGIQUE NORD-SUD AU DROIT DU CHAMP CAPTANT DE VILLENEUVE-SAINT-GERMAIN	7
FIG. 4.	COUPE HYDROGEOLOGIQUE OUEST-EST AU DROIT DU CHAMP CAPTANT DE VILLENEUVE-SAINT-GERMAIN	8
FIG. 5.	ÉVOLUTIONS PIEZOMETRIQUES DES OUVRAGES P2 ET P23 ENREGISTRES PAR LE BRGM (1992)	9
FIG. 6.	PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES GEOTECHNIQUES – MISSION G12 (HYDROGEOTECHNIQUE, 2013)	11
FIG. 7.	PROFILS GEOTECHNIQUES AU DROIT DU BARRAGE	13
FIG. 8.	MODULE PRESSIOMETRIQUE MOYEN EN FONCTION DE L'ALTITUDE DU FORAGE (COUCHE 3)	18

# 1. CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

## 1.1. DOCUMENTS DE REFERENCE

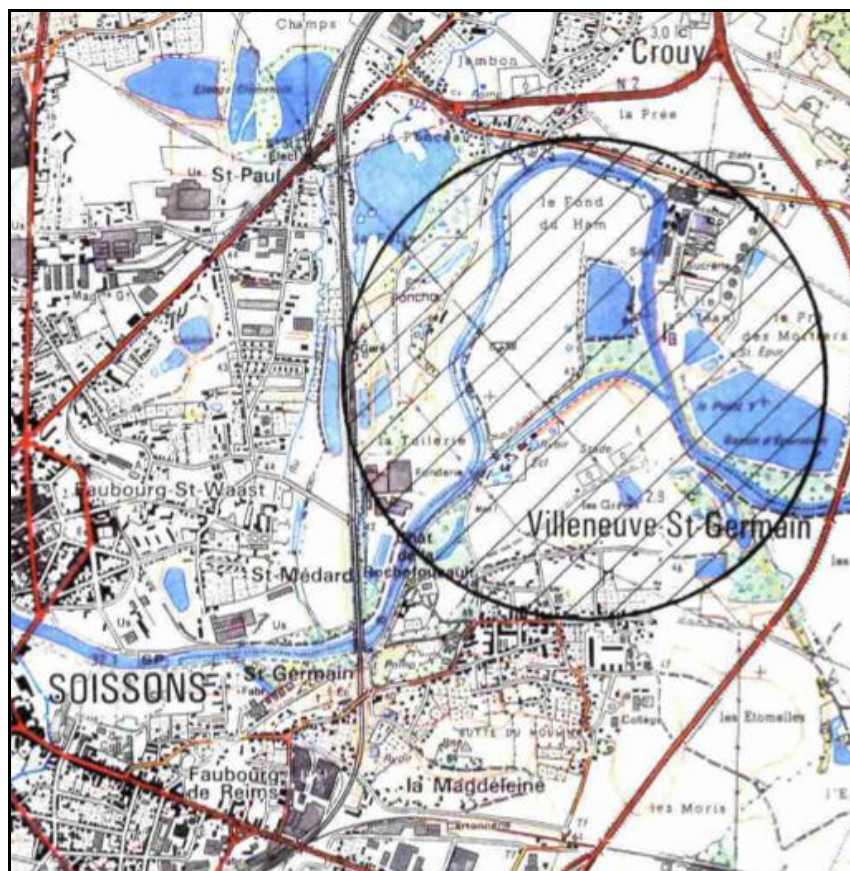
Documents généraux :

- Carte géologique (feuille de Soissons) tirée du site Internet INFOTERRE du B.R.G.M., échelle 1 / 50 000<sup>ème</sup>.

Documents particuliers :

- Étude hydrogéologique qualitative et quantitative du champ captant de Villeneuve Saint-Germain, Syndicat d'étude pour l'alimentation en eau potable (SEAEP de Crouy-Soissons-Villeneuve Saint-Germain, B.R.G.M., dossier R 36 962 PIC 4S 93, 03/1993,
- Rapport d'étude géotechnique pour le reconstruction du barrage de Villeneuve-Saint-Germain, – mission G11-G12, Hydrogéotechnique, novembre 2013.

Cette étude de captage a été menée dans l'environnement immédiat du barrage :



**Fig. 1. Extrait de la carte IGN au 1/25000<sup>ème</sup> Soissons 211 Est**

## **1.2. GEOLOGIQUE**

Le substratum de la zone d'étude est constitué par les formations carbonatées du Crétacé dont la craie blanche à silex du Sénonien forme, avec sa forte épaisseur (350 m en moyenne), la phase terminale des dépôts du Secondaire.

Il est surmonté par les formations à dominante argilo-sableuses du Tertiaire que l'on peut distinguer de bas en haut comme suit :

Le **Thénatien**, que l'on subdivise généralement en quatre niveaux, à savoir :

- Le conglomérat de base à silex,
- L'argile de Vaux-sous-Laon et les marnes vertes,
- Les Sables de Bracheux,
- Les Calcaires lacustres de Billy ou de Mortemer.

Ces formations représentent une épaisseur moyenne de 35 à 40 m.

Le **Sparnacien**, caractérisé par une série essentiellement argileuse, dont la base est constituée d'argiles à lignite. Celles-ci évoluent vers le sommet en argiles bariolées et font place, dans le haut de la série, à un banc de grès. L'épaisseur du Sparnacien est de l'ordre de 10 à 15 m.

Le **Cuisien**, qui montre un faciès à dominance sableuse et que l'on peut diviser en trois niveaux :

- À la base, les Sables d'Aizy,
- Au-dessus, les Sables marins de Pierrefonds surmontés par le niveau laguno-feldspathique de Billy,
- Les Sables d'Héronval qui terminent la série en surmontant les grès feldspathiques de Billy et l'Argile de Laon.

Cette série stratigraphique à une puissance de l'ordre de 60 m.

Le **Lutécien**, constitué par les calcaires grossiers du Bassin Parisien, qui forme les falaises bordant les plateaux. Cette série s'achève avec l'Argile de Saint-Gobain et atteint une épaisseur moyenne de 40 m.

Le **Bartonien inférieur** qui est représenté par les Sables de Beauchamp, mais dont l'observation est rendue difficile par les recouvrements limoneux.

Les formations limoneuses et sablo-graveleuses du Quaternaire achèvent la chronologie des dépôts dans le secteur et sont représentatifs de la morphologie actuelle des paysages environnants. On distingue dans ces formations :

Les limons loessiques qui occupent largement les plateaux avec une épaisseur atteignant fréquemment 5 à 6 m. en bordure de l'Aisne, ces limons sont carbonatés et reposent directement sur la roche calcaire lutétienne.

Les limons sableux qui se caractérisent par deux grandes catégories :

- Les limons de versant et piedmonts,
- Les limons de plateau (mélange de sable et de loess).



Les alluvions anciennes, composées de sables et graviers, que l'on rencontre essentiellement dans la vallée de l'Aisne. On y distingue généralement deux niveaux, à savoir :

- Les moyennes terrasses, composées de cailloutis gravelo-calcaires qui reposent sur les formations du Sparnacien, avec une épaisseur comprise entre 5 et 15 m,
- Les basses terrasses, constituées d'une grave calcaire fine, épaisse de 3 à 6 m, qui surmonte les sables thénatiens dans le secteur du champ captant de Villeneuve-Saint-Germain.

Les alluvions modernes, avec des argiles et des limons comme principaux composants, qui forment une bande étroite et profonde dans laquelle s'écoule l'Aisne. En berge, la présence de tourbe et alluvions organo-minérales est fréquente.

### **1.3. STRUCTURAL**

L'analyse de la carte gravimétrique à 1/320 000<sup>ème</sup> de la feuille de Paris, établie par le B.R.G.M. montre que dans la région de Soissons, le socle est affecté de faibles ondulations. À partir de données de forages d'eau et pétroliers, le B.R.G.M. a pu tracer les surfaces du toit du Thénatien. Celle-ci est présentée sous la forme d'isohypses (ligne d'égale altitude) sur la figure suivante.

Dans le secteur qui nous intéresse, ces isohypses mettent en évidence l'existence d'une gouttière synclinale orientée Est-Ouest.

En ce concerne le toit du Thénatien, dans le secteur qui nous intéresse, sa cote minimale est d e+ 30 m NGF (dans la gouttière synclinale).



## 2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

### 2.1. HYDROLOGIE DE SURFACE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le bassin de l'Aisne, constitue avec celui de l'Ailette, deux sous-bassins de l'Oise coulant d'Est en Ouest.

La superficie du bassin versant de l'Aisne est de l'ordre de 7 940 km<sup>2</sup> ; aux environs de Villeneuve-Saint-Germain, la pente moyenne du cours d'eau est d'environ 0,1 ‰. Sur le secteur d'étude, l'Aisne est large d'environ 50 m dans un fond de vallée large de 2,5 km.

L'Aisne présente de nombreux méandres dont celui remarquable du fond du Ham jouxtant le site d'étude. Il est fréquent de rencontrer des plans d'eau en bordure de l'Aisne, ceux-ci correspondant à d'anciennes ballastières.

### 2.2. HYDROGEOLOGIE

Hydro-géologiquement, la région de Soissons peut être caractérisée par la présence de 4 aquifères, dont la position suit la chronologie et la stratigraphie locale. Ces aquifères, dont certains sont en relation directe, peuvent se résumer de haut en bas, comme suit :

- Les alluvions modernes et anciennes, en particulier de l'Aisne,
- Un ensemble de niveaux aquifères représentés par les formations tertiaires qui forment souvent des nappes perchées. Il s'agit en particulier :
  - Des sables barthoniens,
  - Des calcaires lutétiens,
  - Des sables de Cuise,
  - Des sables thénatiens.

Ces sous-ensembles sont en général séparés par un substratum argileux (Argiles de Saint-Gobain, Argile de Laon, Argiles panachées du Sparnacien) dont l'épaisseur est très variable selon l'endroit considéré. Ce réservoir du Tertiaire a une épaisseur a une puissance de l'ordre de :

- 50 à 60 m à l'Ouest de la vallée de l'Aisne,
  - 20 à 30 m à l'Est de cette même vallée.
- La craie sénonienne, dont les affleurements sont inexistants dans la région de Soissons et qui est toujours recouverte par les formations de l'Eocène qui atteignent en moyenne 20 à 30 m dans les vallées.

Le caractère aquifère de cette craie sénonienne est en grande partie lié à la tectonique régionale (gouttières synclinales) imposée par le plissement alpin et source de fissuration. À cette fissuration, permettant une cinématique de l'eau d'infiltration, se conjugue une altération de la craie par l'eau propice également à un stockage d'eau, ceci en général sur 10 à 15 m d'épaisseur en moyenne.

**Barrage de Villeneuve Saint-Germain**

Mission de maîtrise d'œuvre pour la rénovation du barrage

**ANNEXE N 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE**

- Le réservoir profond des sables de l'Albien dont la nappe est captive.

Au droit du site concerné, sous l'influence de l'Aisne, les formations supérieures de l'Eocène supérieur, des argiles du Sparnacien aux sables barthoniens, ont été érodées et/ou remaniées. Il en résulte que les Alluvions de l'Aisne reposent directement sur les sables thénatiens.

Sur ces sables thénatiens (base de l'Eocène), environ 30 m, nous retrouvons les aquifères déjà décrits ci-dessus, à savoir :

- Aquifère de la craie sénonienne (Crétacé supérieur) : environ 400 m,
- Aquifère des sables vers de l'Albien (Crétacé inférieur).

En terme de relation entre les aquifères, l'absence des argiles du Sparnacien, érodées par l'Aisne, semblent assurer une continuité hydraulique entre l'aquifère des alluvions et les sables thénatiens.

Par l'intermédiaire de son conglomérat de base, l'aquifère du Thénatien est certainement également en relation directe avec celui de la craie sénonienne sous-jacente.

En ce qui concerne l'aquifère de l'Albien, sa profondeur sous des masses carbonatées et argileuses est telle qu'elle interdit toute communication avec les réservoirs supérieurs. Les épaisseurs moyennes des formations géologiques pouvant contribuer à caractériser les aquifères rencontrés sur les ouvrages du champ captant opéré par le BRGM lors de son étude de 1993 citée plus haut, sont résumées dans le tableau suivant.

La répartition spatiale, tant d'un point de vue géologique qu'hydrogéologique des aquifères, au droit du champ captant, est représentée par l'intermédiaire des coupes suivantes.

Ouvrage	EPAISSEUR DES FORMATIONS									
	Alluvions modernes			Alluvions anciennes		Thanétien				Séno-Turonien
	Limons	Marnes	Sables	Graviers	Sables & graviers	Sable noir	Sable vert	Sable jaune	Sable bleu	Craie
P3	-	-	3,60	> 2,60	-	-	-	-	-	-
P13	0,95	-	-	-	4,85	> 0,10	-	-	-	-
P12	0,70	-	2,00	> 2,80	-	-	-	-	-	-
P41	0,30	-	3,00	2,60	-	-	-	19,00	5,90	> 3,60
P11	0,65	-	2,35	> 2,30	-	-	-	-	-	-
P31	-	-	-	> 7,40	-	-	-	-	-	-
P42	1,30	-	2,15	2,65	-	-	29,20	-	-	> 3,70
Pz1	0,60	3,90	> 4,50	-	-	-	-	-	-	-
Pz2	0,80	-	-	8,20	-	-	-	-	-	-
Pz3	0,40	-	-	6,60	> 2,00	-	-	-	-	-
P14	0,60	1,40	-	-	2,80	> 2,15	-	-	-	-
P15	1,00	-	2,80	-	> 3,15	-	-	-	-	-
P16	0,70	-	-	2,35	-	> 2	-	-	-	-
P6	0,60	-	-	> 5,25	-	-	-	-	-	-
P7	0,60	-	-	> 5,00	-	-	-	-	-	-
P21	0,70	-	2,50	-	1,70	> 0,30	-	-	-	-
P17	1,20	-	0,90	-	4,30	> 0,60	-	-	-	-
P22	1,20	-	-	-	3,60	> 0,40	-	-	-	-
P 24	0,60	-	2,50	-	1,90	> 6,00	-	-	-	-
P6bis	-	-	-	> 10,00	-	-	-	-	-	-
P23	0,30	0,70	1,00	-	4,00	> 2,35	-	-	-	-

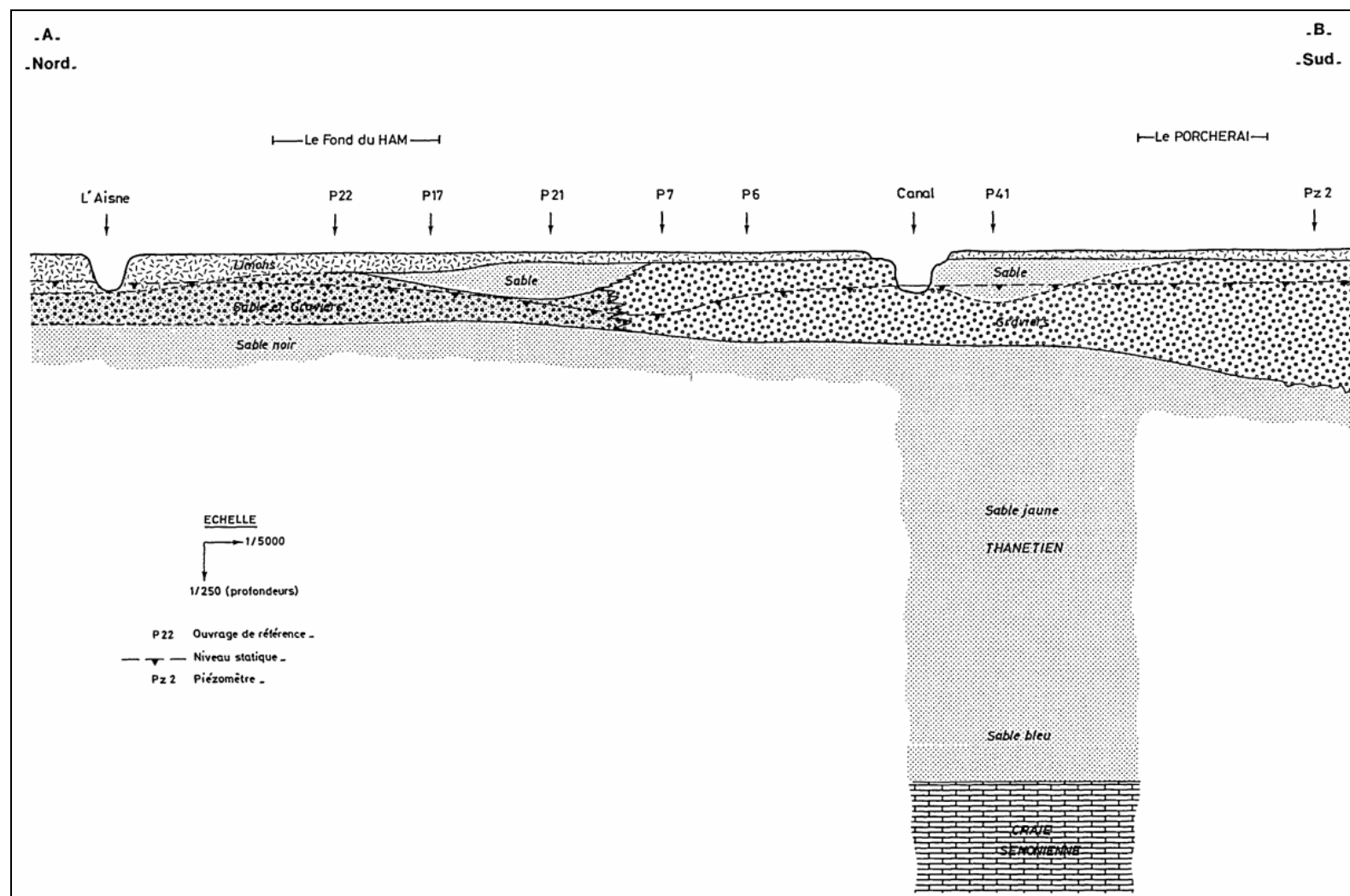
**Tabl. 1 - Épaisseurs moyenne des formations géologiques rencontrées au droit des ouvrages de captage d'eau (données B.R.G.M., 1993)**



# Barrage de Villeneuve Saint-Germain

Mission de maîtrise d'œuvre pour la rénovation du barrage

## ANNEXE N 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE

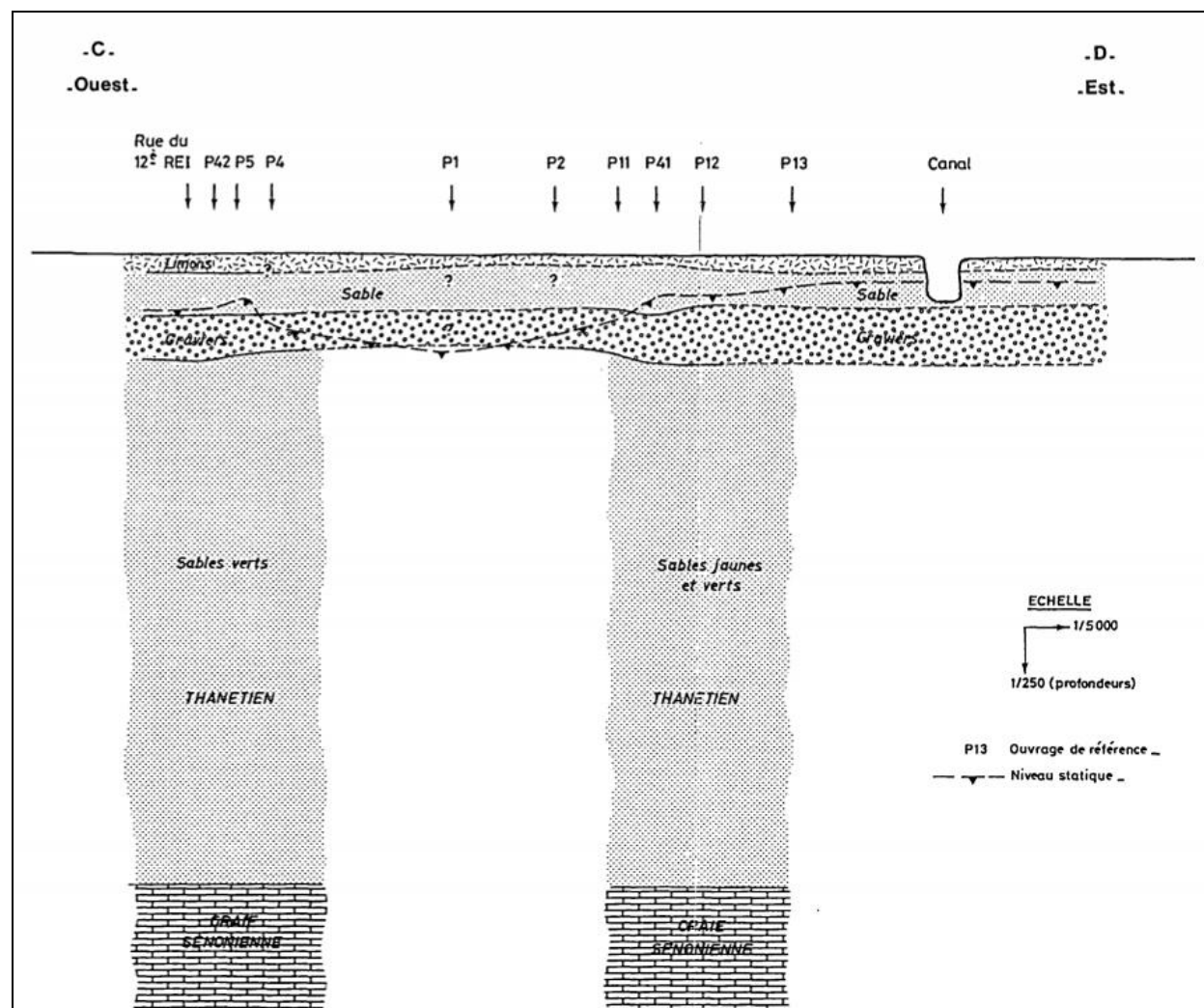


**Fig. 3. Coupe hydrogéologique Nord-Sud au droit du champ captant de Villeneuve-Saint-Germain**

# **Barrage de Villeneuve Saint-Germain**

Mission de maîtrise d'œuvre pour la rénovation du barrage

## **ANNEXE N 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE**



**Fig. 4. Coupe hydrogéologique Ouest-Est au droit du champ captant de Villeneuve-Saint-Germain**

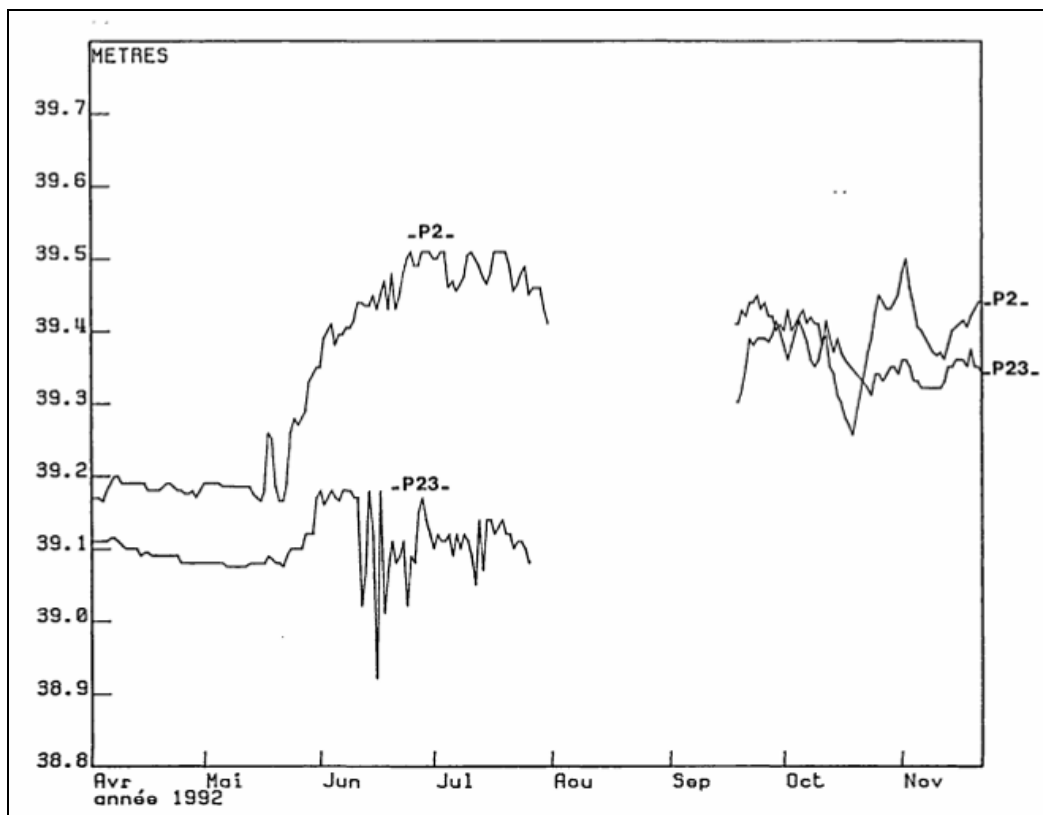
## 2.3. PIEZOMETRIE

Les données suivantes peuvent être jugées relativement anciennes dans la mesure où elles datent de 1993, et qu'elles correspondent à un champ de captage dont la piézométrie a pu évoluer depuis du fait des pompages.

Nous estimons toutefois qu'elles apportent de précieuses informations sur la piézométrie du site :

L'état piézométrique réel de la nappe des alluvions sur le champ captant de Villeneuve-Saint-Germain a été mesuré en 1992 via deux limnigraphes implantés sur la zone du Porcherai (puits n°2) et du fond du Ham (n°23). Les enregistrements entre avril et novembre 1992 :

- Fournissent une information sur le niveau moyen de la nappe (une moyenne annuelle oscillant autour de 39,3 m NGF),
- Montrent des fluctuations moyennes jugées importantes sur ces deux puits de l'ordre de 50 cm de mars à novembre,
- Le niveau piézométrique sur ces deux puits est fortement influencé par la mise en service des puits voisins. D'après le BRGM, au moins 30 des 50 cm des variations observées sont imputables à ces pompages, les 20 cm restant étant d'influence climatique, etc.



**Fig. 5. Évolutions piézométriques des ouvrages P2 et P23 enregistrés par le BRGM (1992)**

### 3. GEOTECHNIQUE

#### 3.1. DOCUMENTS DE REFERENCE

Documents généraux :

- Carte géologique (feuille de Soissons) tirée du site Internet INFOTERRE du B.R.G.M., échelle 1 / 50 000<sup>ème</sup>.

Documents particuliers :

- Rapport d'étude géotechnique, mission G11-G12, dans le cadre des études préalables à la reconstruction du barrage de Villeneuve Saint Germain, Hydrogéotechnique Nord et Ouest, dossier n°C.12.30.260, 22/11/2013.

#### 3.2. LITHOLOGIE AU DROIT DU BARRAGE EXISTANT

##### 3.2.1. Présentation de la campagne de reconnaissance réalisée en 2013 (Hydrogéotechnique)

La campagne réalisée par Hydrogéotechnique en 2013 a consisté en :

- 8 forages destructifs notés SP1 à SP8, descendus par rapport au T.N. (pour les sondages à terre) et par rapport au ponton fluvial (pour les sondages en eau), aux profondeurs suivantes et avec essais pressiométriques tous les 1,50 m :

N° de sondage	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8
Hauteur (m)	15,00	16,50	12,20	15,00	18,50	18,00	15,50	18,00

- 12 sondages carottés notés SC1 à SC11 et SC4bis descendus aux profondeurs suivantes (profondeurs données par rapport au T.N. dans les sondages à terre et par rapport au ponton pour les sondages sur l'eau) :

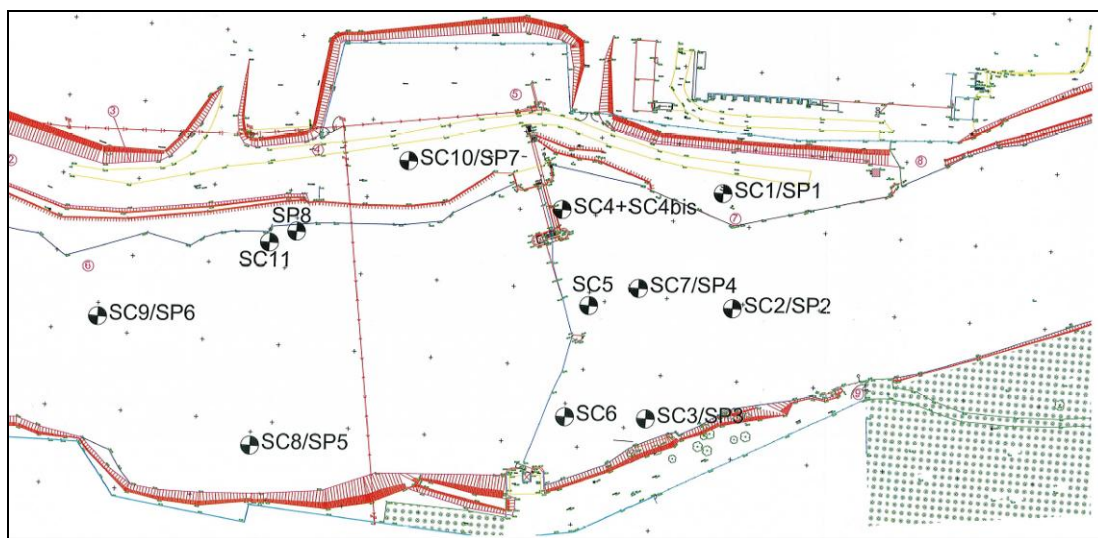
N° de sondage	SC1	SC2	SC3	SC4	SC4bis	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11
Hauteur (m)	15,00	16,50	12,20	7,50	9,00	8,20	8,50	15,00	18,50	18,00	15,50	18,80

- En laboratoire :
  - 3 teneurs en eau,
  - 3 analyses granulométriques,



- 3 valeurs au bleu,
- 3 essais de cisaillement rectiligne.

L'implantation des sondages est la suivante :



**Fig. 6. Plan d'implantation des sondages géotechniques – mission G12 (Hydrogéotechnique, 2013)**

Les sondages ont été nivelés en (X,Y) en LAMBERT I et IGN 69 en (Z).

Les sondages réalisés à terre sont les suivants : SC1/SP1 et SC10/SP7.

### 3.2.2. Lithologie des sols au droit du barrage

De la retranscription des données issues du travail d'Hydrogéotechnique et des données collectées auprès du B.R.G.M., nous déduisons la lithologie des terrains au droit du barrage existant.

Le tableau suivant rassemble l'ensemble des données issues des forages d'Hydrogéotechnique.

Les figures suivantes illustrent le profil géotechnique au droit du barrage (profil en travers en amont immédiat et profil en long dans l'axe du barrage).

**Barrage de Villeneuve Saint-Germain**

Mission de maîtrise d'œuvre pour la rénovation du barrage

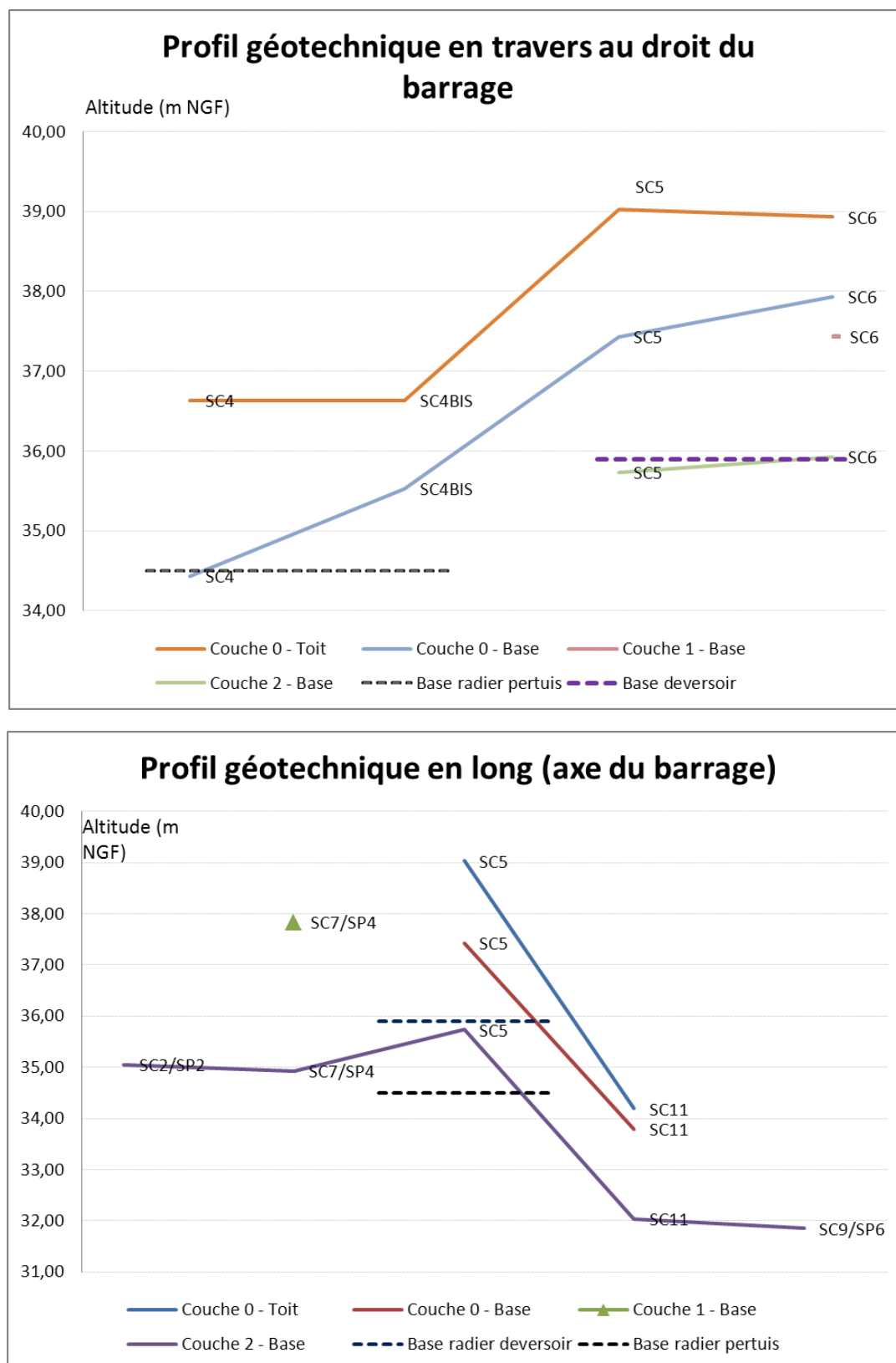
**ANNEXE N 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE**

Couche 0		Remblais divers : Sables, cailloutis, cailloux, blocs, argiles +/- sableuses, béton, ferraille bois													
		SC1/SP1	SC2/SP2	SC3/SP3	SC4	SC4BIS	SC5	SC6	SC7/SP4	SC8/SP5	SC9/SP6	SC10/SP7	SC11	SP8	
Profondeur (m)	Toit	0,00			4,50	4,50	2,20	2,40				0,00	5,85	5,50	
	Base	2,10			6,70	5,60	3,80	3,40				4,20	6,25	6,50	
Cote (m NGF)	Toit	42,12			36,63	36,63	39,03	38,93				44,07	34,19	34,54	
	Base	40,02			34,43	35,53	37,43	37,93				39,87	33,79	33,54	
Couche 1		Alluvions modernes = limons sableux (Sables de Beauchamp dont l'observation est difficile du fait du dépôt limoneux)													
		SC1/SP1	SC2/SP2	SC3/SP3	SC4	SC4BIS	SC5	SC6	SC7/SP4	SC8/SP5	SC9/SP6	SC10/SP7	SC11	SP8	
Profondeur (m)	Toit	2,10						3,40	3,00			4,20			
	Base	4,80						3,90	3,40			6,00			
Cote (m NGF)	Toit	40,02						37,93	38,23			39,87			
	Base	37,32						37,43	37,83			38,07			
Couche 2		Alluvions anciennes = sables, sables et graviers = basse terrasse (graves calcaires fines)													
		SC1/SP1	SC2/SP2	SC3/SP3	SC4	SC4BIS	SC5	SC6	SC7/SP4	SC8/SP5	SC9/SP6	SC10/SP7	SC11	SP8	
Profondeur (m)	Toit	4,80	4,20	2,80			3,80	3,90	3,40		4,50	6,00	6,25	6,50	
	Base	7,05	6,20	5,50			5,50	5,40	6,30		8,20	8,30	8,00	8,00	
Cote (m NGF)	Toit	37,32	37,05	38,23			37,43	37,43	37,83		35,55	38,07	33,79	33,54	
	Base	35,07	35,05	35,53			35,73	35,93	34,93		31,85	35,77	32,04	32,04	
Couche 3		Sables fins gris, noirs ou vert parfois légèrement limoneux = Sables de Bracheux (toit du Thénatien)													
		SC1/SP1	SC2/SP2	SC3/SP3	SC4	SC4BIS	SC5	SC6	SC7/SP4	SC8/SP5	SC9/SP6	SC10/SP7	SC11	SP8	
Profondeur (m)	Toit	7,05	6,20	5,50	6,70	5,60	5,50	5,40	6,30	8,00	8,20	8,30	8,00	8,00	
	Base	15,00	16,50	12,20	7,50	9,60	8,20	8,20	15,00	18,50	18,00	15,50	18,00	18,00	
Cote (m NGF)	Toit	35,07	35,05	35,53	34,43	35,53	35,73	35,93	34,93	31,75	31,85	35,77	32,04	32,04	
	Base	27,12	24,75	28,83	33,63	31,53	33,03	33,13	26,23	21,25	22,05	28,57	22,04	22,04	

**Tabl. 2 - Tableau d'analyse des coupes lithologiques des sondages réalisés par Hydrogéotechnique**

**Barrage de Villeneuve Saint-Germain**

Mission de maîtrise d'œuvre pour la rénovation du barrage

**ANNEXE N 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE****Fig. 7. Profils géotechniques au droit du barrage**

Nous constatons alors :

- Le respect des éléments observés dans l'étude du BRGM de 1993 (nature des couches, altimétries des interfaces entre couches), qui permet raisonnablement de valider la lithologie proposée par Hydrogéotechnique,
- Le pendage général des couches d'amont en aval, conforme aux éléments du B.R.G.M., avec un toit du Thénatien s'abaissant progressivement vers le Nord (35 m NGF au droit de SC2, puis 32 m NGF au droit de SC9, à environ 150 m en aval (donc au Nord). Au droit du barrage, cette couche dont la qualité mécanique (bonne à très bonne) est discutée ci-après, présente un toit autour de 35 à 35,5 m NGF.
- Transversalement au barrage :
  - Un niveau de remblais en amont immédiat du barrage (bloc calcaire, remblais, ferraille, etc.) supérieur d'environ 2,20 m au droit du déversoir par rapport au pertuis,
  - Un pendage descendant dans un axe rive gauche – rive droite des couches 1, 2 et 3. À titre comparatif, au droit de SC6 le toit du Thénatien (couche 3) approxime 35,9 m NGF pour 34,4 m NGF au droit de SC4).

Nous avons projeté sur ces deux profils géotechniques les cotes (approximatives) de fondation du barrage existant (d'une part au droit du pertuis et d'autre part au droit du déversoir).

Nous constatons que :

- Le déversoir est fondé à la base des alluvions anciennes (couche 2),
- Le pertuis semble fondé dans la couche de sables fins gris de Bracheux (couche 3).

La qualité mécanique de ces sols est discutée ci-après.

### 3.2.3. Perméabilités des sols

Les résultats des essais de perméabilité réalisés par Hydrogéotechnique en 2013 dans les sondages SC1 et SC10 en berge sont synthétisés dans le tableau suivant :

N° de couche	Perméabilité k (m/s)
0	$10^{-2}$ à $10^{-8}$
1	$5.10^{-6}$ à $10^{-8}$
2	$10^{-3}$ à $10^{-5}$
3	$10^{-4}$ à $10^{-7}$

**Tabl. 3 - Perméabilité des sols – Données Hydrogéotechnique (2013)**

Ces enveloppes de perméabilité par couche sont celles retenues par Hydrogéotechnique. Nous formulons les remarques suivantes :

- Les perméabilités (très variables) fournies pour la couche 0 n'intéressent pas le Projet (remblais terrestres),



- Globalement, la couche 2 présente le degré de perméabilité le plus élevé (comparativement aux couches 1 et 3 qui l'enveloppent), avec un rapport de perméabilité maximal de  $10^5$  entre les couches 1 et 2, et  $10^4$  entre les couches 2 et 3, en cohérence avec la nature de ces 3 horizons (éléments fins limoneux présents dans les couches 1 et 3, et non 2),
- Compte-tenu des observations faites au § 2.2 du rapport, l'aquifère des alluvions anciennes (couche 2) est systématiquement baignée par la nappe au droit de la rivière et les relations entre les aquifères 1 à 3 sont continues (en l'absence des argiles du Sparnacien),
- Compte-tenu de la dénivellation entre les plans d'eau amont et aval du barrage et des relations entre aquifères explicitées ci-avant, des circulations sous les fondations du barrage existant sont très probables.

### 3.2.4. Propriétés mécaniques des sols

Les résultats des essais pressiométriques sont les suivants :

#### Couche 0 :

- $E_M = 1,1 - 3,4 \text{ MPa}$   
 $E_M \text{ moyen} = 1,9 \text{ MPa}$
- $P_I^* = 0,10 - 0,34 \text{ MPa}$   
 $P_I^* \text{ moyen} = 0,18 \text{ MPa}$

Ces compacités sont jugées très faibles à modestes. Ces résultats sont cohérents avec la nature de la couche considérée (remblais remaniés).

**Attention** à la présence d'éléments anthropiques détectés : bois, ferrailles, blocs de maçonnerie.

#### Couche 1 :

- $E_M = 2,5 - 2,8 - 3,7 - 4,0 \text{ MPa}$   
 $E_M \text{ moyen} = 3,2 \text{ MPa}$
- $P_I^* = 0,25 - 0,27 - 0,41 - 0,54 \text{ MPa}$   
 $P_I^* \text{ moyen} = 0,35 \text{ MPa}$

Ces compacités sont jugées modestes à moyennes.

Les résultats des couches de terrain qui nous intéressent plus particulièrement puisqu'elles sont amenées à fonder l'ouvrage (en cas de reconstruction du barrage), sont les suivantes :

#### Couche 2 :

Une valeur particulièrement élevée ( $E_M = 55,4 \text{ MPa}$ ) est exclue de la moyenne considérée :

- $E_M = 9,5 - 7,9 - 6,1 - 9,1 - 14,1 - 16,8 - 15,8 - 55,4 \text{ MPa}$   
 $E_M \text{ moyen} = 10,6 \text{ MPa}$
- $P_I^* = 0,60 - 0,90 - 1,13 - 1,05 - 1,66 - 1,92 - 2,46 - 2,73 \text{ MPa}$   
 $P_I^* \text{ moyen} = 1,39 \text{ MPa}$

**Barrage de Villeneuve Saint-Germain**

Mission de maîtrise d'œuvre pour la rénovation du barrage

**ANNEXE N 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE**

Ces compacités sont jugées moyennes à bonnes.

**Couche 3 :**

- $5,8 \text{ MPa} < E_M < 252 \text{ MPa}$
- $0,61 \text{ MPa} < P_I^* < \text{supérieur strict à } 5 \text{ MPa}$

Ces compacités sont jugées fortes à très fortes (voir détails sur diagraphies Hydrogéotechnique).

Compte-tenu de la dispersion des valeurs entre les différents sondages sur cette couche 3, nous avons synthétisé les résultats par niveaux de résistance globalement équivalents sur chaque point de forage (les valeurs présentées correspondant aux moyennes géométriques des paramètres par tranches homogènes) :

SP1						
Nombre et n° sous couche	Position des interfaces			EM moy (Mpa)	PI* moy (Mpa)	EM/PI* moy
1	Toit	Profondeur (m)	7,05	52,1	> 5	13,8
		Cote (m NGF)	35,07			
	Base	Profondeur (m)	13,00			
		Cote (m NGF)	29,12			
2	Toit	Profondeur (m)	13,00	135,6	> 5	27,1
		Cote (m NGF)	29,12			
	Base	Profondeur (m)	15,00			
		Cote (m NGF)	27,12			

SP2						
Nombre et n° sous couche	Position des interfaces			EM moy (Mpa)	PI* moy (Mpa)	EM/PI* moy
1	Toit	Profondeur (m)	6,2	17,9	3,3	11,1
		Cote (m NGF)	35,05			
	Base	Profondeur (m)	9,30			
		Cote (m NGF)	31,95			
2	Toit	Profondeur (m)	9,30	66,0	> 5	16,1
		Cote (m NGF)	31,95			
	Base	Profondeur (m)	11,00			
		Cote (m NGF)	30,25			
3	Toit	Profondeur (m)	11,00	101,5	> 5	20,7
		Cote (m NGF)	30,25			
	Base	Profondeur (m)	15,00			
		Cote (m NGF)	26,25			

SP3						
Nombre et n° sous couche	Position des interfaces			EM moy (Mpa)	PI* moy (Mpa)	EM/PI* moy
1	Toit	Profondeur (m)	5,5	46,8	4,1	13,5
		Cote (m NGF)	35,53			
	Base	Profondeur (m)	12,20			
		Cote (m NGF)	28,83			
2	Toit	Profondeur (m)	12,20	99,0	4,71	20,6
		Cote (m NGF)	28,83			
	Base	Profondeur (m)	14,00			
		Cote (m NGF)	27,03			

**Barrage de Villeneuve Saint-Germain**

Mission de maîtrise d'œuvre pour la rénovation du barrage

**ANNEXE N 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE**

SP4						
Nombre et n° sous couche	Position des interfaces			EM moy (Mpa)	PI* moy (Mpa)	EM/PI* moy
1	Toit	Profondeur (m)	6,3	13,5	2,1	6,2
		Cote (m NGF)	34,93			
	Base	Profondeur (m)	8,00			
		Cote (m NGF)	33,23			
2	Toit	Profondeur (m)	8,00	43,2	3,96	17,0
		Cote (m NGF)	33,23			
	Base	Profondeur (m)	10,00			
		Cote (m NGF)	31,23			
3	Toit	Profondeur (m)	10,00	126,6	> 5	28,3
		Cote (m NGF)	31,23			
	Base	Profondeur (m)	14,00			
		Cote (m NGF)	27,23			

SP5						
Nombre et n° sous couche	Position des interfaces			EM moy (Mpa)	PI* moy (Mpa)	EM/PI* moy
1	Toit	Profondeur (m)	9	81,0	> 5	16,9
		Cote (m NGF)	30,75			
	Base	Profondeur (m)	10,00			
		Cote (m NGF)	29,75			
2	Toit	Profondeur (m)	10,00	196,3	> 5	39,6
		Cote (m NGF)	29,75			
	Base	Profondeur (m)	17,00			
		Cote (m NGF)	22,75			

SP6						
Nombre et n° sous couche	Position des interfaces			EM moy (Mpa)	PI* moy (Mpa)	EM/PI* moy
1	Toit	Profondeur (m)	8,2	25,5	2,58	5,8
		Cote (m NGF)	31,85			
	Base	Profondeur (m)	9,50			
		Cote (m NGF)	30,55			
2	Toit	Profondeur (m)	9,50	108,3	> 5	24,0
		Cote (m NGF)	30,55			
	Base	Profondeur (m)	15,00			
		Cote (m NGF)	25,05			

SP7						
Nombre et n° sous couche	Position des interfaces			EM moy (Mpa)	PI* moy (Mpa)	EM/PI* moy
1	Toit	Profondeur (m)	8,3	5,8	0,61	9,1
		Cote (m NGF)	35,77			
	Base	Profondeur (m)	10,00			
		Cote (m NGF)	34,07			
2	Toit	Profondeur (m)	10,00	24,3	3,15	7,3
		Cote (m NGF)	34,07			
	Base	Profondeur (m)	15,00			
		Cote (m NGF)	29,07			

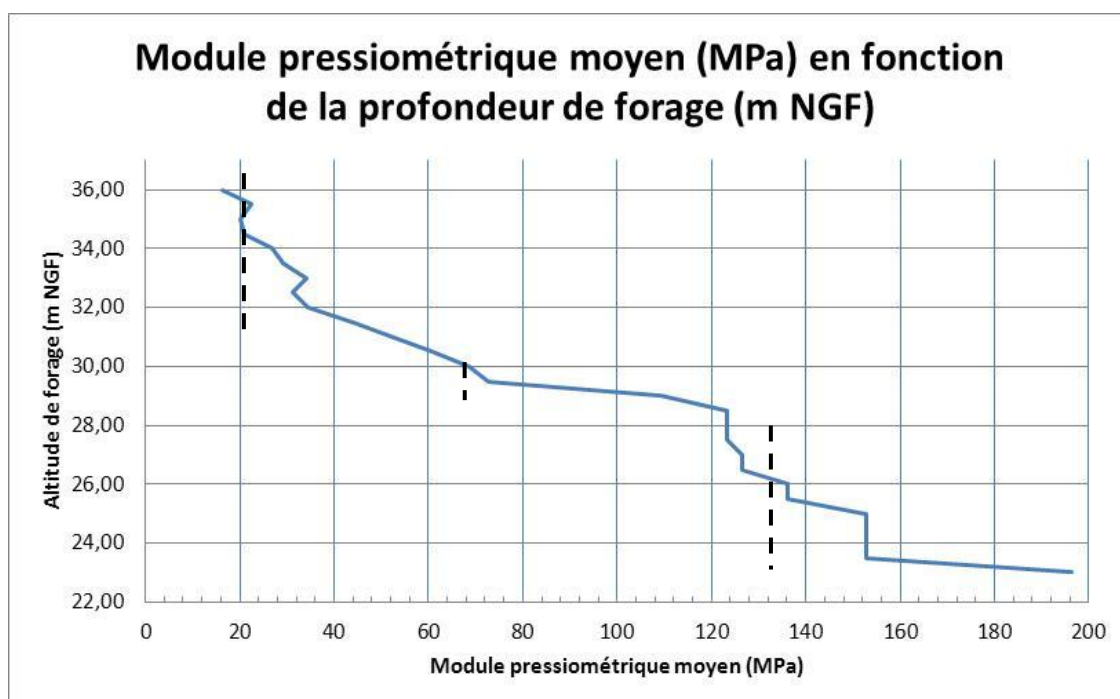
**Barrage de Villeneuve Saint-Germain**

Mission de maîtrise d'œuvre pour la rénovation du barrage

**ANNEXE N 5 RELATIVE A LA DEFINITION DU CADRE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE**

SP8						
Nombre et n° sous couche	Position des interfaces			EM moy (Mpa)	PI* moy (Mpa)	EM/PI* moy
1	Toit	Profondeur (m)	8	25,6	1,76	14,0
		Cote (m NGF)	32,04			
	Base	Profondeur (m)	11,00			
		Cote (m NGF)	29,04			
2	Toit	Profondeur (m)	11,00	118,9	> 5	25,1
		Cote (m NGF)	29,04			
	Base	Profondeur (m)	17,00			
		Cote (m NGF)	23,04			

Le graphique suivant apporte un niveau de synthèse supplémentaire, puisqu'il fournit le module pressiométrique moyen sur l'ensemble des sols testés en fonction de l'altitude du forage (forages SP1 à SP8) :



**Fig. 8. Module pressiométrique moyen en fonction de l'altitude du forage (couche 3)**

Une telle approche n'est pas jugée utile concernant l'évaluation des PI\* moyennes sur l'ensemble des forages en fonction de la profondeur, cette dernière présentant :

- Des valeurs systématiquement voisines ou supérieures à 5 MPa en-deçà de 29 m NGF (ceci s'observe d'ailleurs sur le graphe ci-dessus par l'accroissement brutal des modules pressiométriques sous la cote 29 m NGF),
- Des valeurs de PI\* élevées au-dessus de la cote 29 m NGF, supérieures à 1,76 MPa (pour SP8). À noter une exception sur le sondage SP7 réalisé en retrait de la berge (hors limite de la zone d'influence géotechnique du barrage) qui présente une valeur relativement faible entre les cotes 34 et 35,5 m NGF (0,61 MPa à 10 m de profondeur).



### 3.2.5. Hypothèses géomécaniques

Ce paragraphe fournit la synthèse des paramètres géomécaniques des sols de fondation du barrage existant (correspondant également à l'environnement du futur barrage si ce scénario est maintenu) : densité, cohésion, angle de frottement, perméabilité des sols, etc., pour permettre un pré-dimensionnement raisonnable des ouvrages.

Nous notons l'absence de : valeur de résistance à la compression et d'analyse d'agressivité de l'eau et des sols vis-à-vis du béton.

Le tableau suivant regroupe et synthétise les valeurs résultats des sondages et essais connus.

Ces données sont tirées des reconnaissances opérées par Hydrogéotechnique tout en intégrant quelques adaptations :

Sols	PI* [MPa]	Em [MPa]	c' [kPa]	$\varphi'$ [°]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_h$ [kN/m <sup>3</sup> ]
<b>Couche 0</b>	0,18	1,9	0	26,0	14,5	19,0
<b>Couche 1</b>	0,35	3,2	0	25,0 <sup>(1)</sup>	17,0	20,0
<b>Couche 2</b>	1,39	10,6	0	31,2 <sup>(2)</sup>	16,0	20,0
<b>Couche 3</b>	1,76 à > 5 Localement 0,61 (SP7 à 10 m)	Cf. Fig. 8	0	28,4 <sup>(3)</sup>	16,0	20,0

**Tabl. 4 - Synthèse des paramètres géomécaniques des sols de fondation du barrage-  
Données Hydrogéotechnique (2013)**

Les valeurs tabulées sont tirées des essais en laboratoire réalisés par Hydrogéotechnique en 2013.

(1) :

Compte-tenu de la présence potentiellement en quantité importante des limons au sein de cette couche sableuse, la valeur calculée est jugée cohérente.

(2) :

La matrice des alluvions anciennes est sableuse à sablo-graveleuses. L'absence d'éléments fins reconnus (limons en particulier) confère à cet horizon un frottement supérieur aux couches 1 et 3. La valeur calculée est jugée cohérente.

(3) :

La matrice du toit du Thénanien est sableuse (Sables de Bracheux). Nous aurions ainsi pu attendre des valeurs de frottement bien plus importantes (35 à 38 °) pour cet horizon compact,

conformément à la Littérature et à notre connaissance de ce sol. Toutefois, les prélèvements réalisés confirment la présence d'éléments fins gris, noirs et verts traduisant la présence de limons et argiles (dans des volumes non-négligeables ?) ; présence confirmée par des teneurs en eau un peu élevées (autour de 25 %) et par les valeurs au bleu. La qualité mécanique de cet horizon étant inversement proportionnelle à la présence de ces éléments fins, la valeur de frottement proposée par Hydrogéotechnique peut être jugée cohérente. En vue du pré-dimensionnement de l'ouvrage (scénario 3 de reconstruction) et de l'optimisation de ce paramètre (au rôle important), il pourra être envisagé : **de reconnaître plus finement cet horizon en procédant à de nouveaux sondages et analyses en laboratoire de type essais tri-axiaux CD (Consolidé Drainé) sur sol saturé**, plus fiables que les essais à la boîte.

### 3.2.6. Sujétions d'exécution

Compte-tenu des :

- Perméabilités moyennes à faibles dans les horizons sableux, de nombreuses communications notées entre horizons,
- De la sensibilité à la boulangerie de la couche 3,
- Des circulations possibles (compte-tenu du dénivelé du plan d'eau amont-aval) aussi au travers des maçonneries, sous les fondations, de contournement par les rives,
- De l'objectif de fondation de l'ouvrage (scénario 3) sur de bons sols,

Le recours à un bouchon béton paraît pertinent, cerclé d'une enceinte de palplanches ancrée dans la couche 3. La réalisation de cette enceinte devra prendre en considération :

- La préexistence de vestiges de maçonneries et bétons (couche 0), enrochements et ouvrages ayant permis la réalisation du barrage existant, et pouvant conduire au refus prématuré du fonçage des palplanches,
- Des terrains durs à très durs en couche 3 (notamment sous la cote 29 m NGF) qui complexifieront le fonçage d'une enceinte en palplanches, dès la cote 35,5 m NGF (au droit du barrage existant, cf. sondages SC5 et SC6).

En termes de phasage, il s'agirait :

De purger les remblais dans l'alignement de l'enceinte palplanches à créer et en particulier l'élimination des vestiges,

- La mise en œuvre de l'enceinte palplanches,
- Le déblaiement dans l'enceinte palplanches, en eau compte-tenu de tout ce qui a été évoqué ci-avant,
- Le bétonnage à l'avancement et sur un volume utile à la compensation des sous-pressions hydrostatiques,
- La mise à sec et le maintien à sec du batardeau réalisé.

Hydrogéotechnique propose une assise de l'ouvrage reconstruit dans la couche 3, avec un ancrage minimal de 50 cm, et une fiche de palplanches sous l'assise du béton immergé d'au moins

1,0 m. L'application de ces hypothèses conduirait donc à une cote de la base des palplanches autour de 33,8 à 34,0 m NGF.

Sur la couche 3 traversée jusqu'à ces altitudes,  $E_m$  moyen atteint au plus 27 MPa (cf. Fig. 8) et  $PI^*$  moyen oscille entre 2,5 et 3 MPa. Pour de telles valeurs, la mise en œuvre des palplanches sans pré-forages paraît compliquée. Elle obligerait dans tous les cas à la mise en œuvre de modules de palplanches et des énergies de vibro-fonçage élevés.

**Il serait en outre pertinent de procéder à des essais au pénétromètre dynamique lourd pour mieux évaluer l'aptitude au fonçage des palplanches dans ces terrains très compacts.**

À noter le risque de création de fosses d'érosion à l'aval du barrage actuel compte-tenu de la nature granulaire et peu cohésive des couches 1, 2 et 3.