

DIRIEA IF - DIRIF

Desserte du Port de Bonneuil-sur-Marne par la RN 406

BONNEUIL-SUR-MARNE (94)

Etude géotechnique de conception phase projet (G2PRO)

Dossier LGEN.N.344

Pièce n°1

13/06/2025



Division Ingénierie Géotechnique

Agence de Nanterre • 41 Rue des 3 Fontanot

Objet : Le présent rapport (pièce n°1) traite d'une première partie de la mission G2PRO réalisée dans le cadre de la création de la voie desserte du Port de Bonneuil-sur-Marne.

Elle est exclusivement consacrée au contexte de l'étude, aux investigations réalisées et leurs analyses et la synthèse géotechnique retenue au droit du linéaire par ouvrage.

Ce document sera accompagné par :

- La pièce n°2 porte sur la réalisation et les calculs des ouvrages en terre à réaliser : remblais sur sols compressibles (stabilité et tassement) avec mise en place du drainage vertical, et des inclusions rigides aux rives des ouvrages d'art,
- La pièce n°3 porte sur les fondations profondes des ouvrages d'art, les fondations de la trémie, et les soutènements.

DIRIEA IF - DIRIF						
DESSERTE DU PORT DE BONNEUIL-SUR-MARNE PAR LA RN 406						
BONNEUIL-SUR-MARNE (94)						
RAPPORT –Etude géotechnique de conception phase projet (G2PRO)						
Dossier : LGEN.N.344				Contrat : LGEN.N.0017		
Indice	Date	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur	Contenu	Observations
1	13/06/2025	Martin CORRE	Laurent RIVAGE	Vincent PERSET	96 pages + 4 Annexes	-

A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport.

Sommaire

1. Plans de situation	5
1.1. Extrait de carte IGN	5
1.2. Image aérienne	5
2. Contexte de l'étude.....	6
2.1. Données générales	6
2.1.1. Généralités	6
2.1.2. Documents communiqués	6
2.1.3. Etudes géotechniques/hydrogéologiques antérieures.....	7
2.2. Mission GINGER CEBTP	7
2.3. Caractéristiques du projet	8
2.4. Contexte prévisionnel et risques naturels	13
2.4.1. Contexte géologique.....	13
2.4.2. Etude historique du site	14
2.4.1. Contexte hydrogéologique générale	17
2.4.2. Contexte sismique	18
2.4.3. Risques naturels.....	18
3. Investigations géotechniques.....	21
3.1. Investigations in-situ	21
3.2. Piézométrie.....	25
3.3. Essais en laboratoire - Identification des sols	26
3.4. Essais en laboratoire - Agressivité chimique du milieu.....	26
4. Modèle géotechnique, hydrogéologique et sismique.....	27
4.1. Lithologie	27
4.2. Analyse descriptive des remblais	33
4.3. Analyse alluvions modernes	36
4.4. Analyse des sondages pressiométriques.....	38
4.5. Analyse graphique des sondages CPT et CPTu.....	44
4.6. Caractéristiques physiques des sols.....	52
4.6.1. Diagramme de Casagrande et analyse granulométrique/ sédimentométrique.....	52
4.6.2. Analyse GTR	57
4.6.1. Poids volumique	61
4.6.2. Teneur en eau	61
4.6.3. Essais triaxiaux et de cisaillement direct à la boîte.....	62
4.6.4. Essais œdométriques	70
4.6.5. Essais de fluage	74
4.6.6. Essais de dissipation	76

4.6.1.	Essais Proctor.....	80
4.6.2.	Aptitude au traitement.....	80
4.6.1.	Teneur en CaCO ₃	81
4.7.	Teneur en matière organique	82
4.8.	Essais d'agressivité du milieu (eau et sols) vis-à-vis des bétons.....	83
4.9.	Maquette géotechnique.....	85
4.9.1.	Trémie Sud	85
4.9.2.	Trémie Nord	85
4.9.3.	Giratoire sud.....	86
4.9.4.	OA RD10.....	87
4.9.5.	Giratoire intermédiaire.....	88
4.9.6.	OA du Port.....	88
4.10.	Modèle hydrogéologique.....	89
4.10.1.	Suivi piézométrique CEREMA.....	89
4.10.2.	Suivi piézométrique INFRANEO	91
4.10.3.	Inondabilité	92
4.10.4.	Maquette hydrogéologique	92
4.11.	Risque sismique	93
4.11.1.	Données parasismiques réglementaires	93
4.11.2.	Liquéfaction.....	93
5.	Etude projet	94
5.1.	Analyse du contexte et principes d'adaptation.....	94
5.2.	Zone d'influence géotechnique	95
5.3.	Aléas géotechniques résiduels	95
6.	Cadre contractuel de la mission	96
6.1.	Cadre de la mission.....	96
6.2.	Limites et responsabilités	96

ANNEXES

ANNEXE 1 – NOTES GENERALES SUR LES MISSIONS GEOTECHNIQUES

ANNEXE 2 – PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

ANNEXE 3 – ANALYSE LITHOLOGIQUE PAR SONDAGE

ANNEXE 4 – TABLEAU SONDAGES DES ETUDES ANTERIEURES

1. Plans de situation

1.1. Extrait de carte IGN

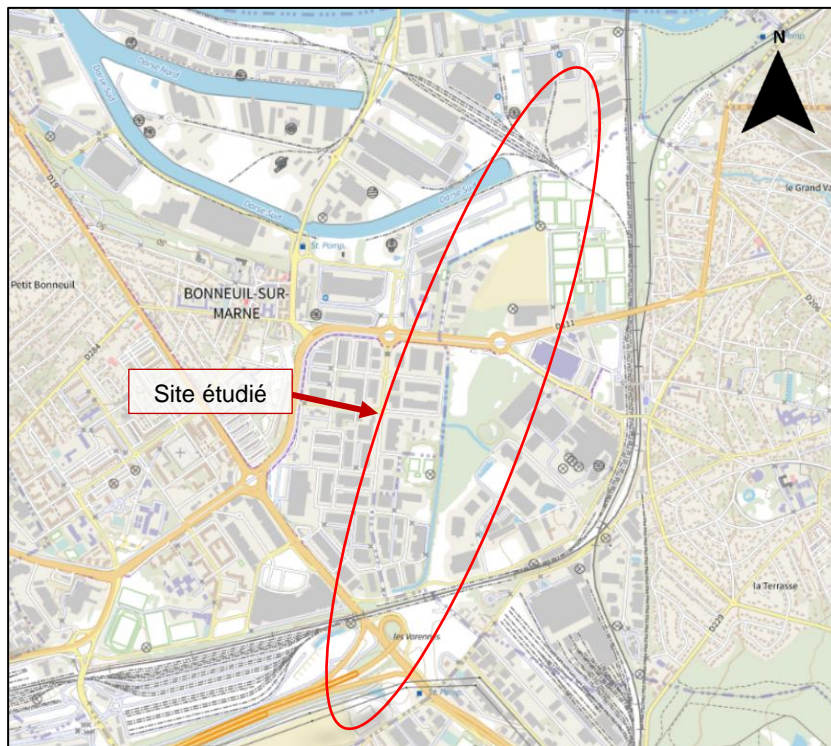


Figure 1 : Carte IGN de la zone d'étude (Source : www.geoportail.gouv.fr)

1.2. Image aérienne



Figure 2 : Image satellite de la zone d'étude (Source : www.geoportail.gouv.fr)

2. Contexte de l'étude

2.1. Données générales

2.1.1. Généralités

Nom de l'opération : Desserte du Port de Bonneuil-sur-Marne par la RN 406
 Adresse/Commune : BONNEUIL-SUR-MARNE (94)
 Client/Maître d'ouvrage : DIRIEA IF - DIRIF
 Maîtrise d'œuvre : ARTELIA

2.1.2. Documents communiqués

Les documents utilisés qui nous ont été communiqués dans le cadre de la présente mission sont présentés ci-dessous. La liste ne correspond qu'aux documents, et leurs versions les plus récentes, exploitées dans la suite du rapport.

Tableau 1 : Documents communiqués

N°	Document	Origine / référence	Date
1	A.2.2 Synoptique (Localisation ouvrage)	DIRIEA IF - DIRIF	mai 2020
2	Vue en plan et coupes trémie C.7.2.2.a.6 : <ul style="list-style-type: none"> cuve sous radier station de relevage 	DIRIEA IF - DIRIF	mai 2020
3	Note de calcul Trémie sud -section ouverte IndA : <ul style="list-style-type: none"> PRO-OUV-NDC-ART-XXX-A-TREMIE SUD -NOTE DE CALCUL DE LA TREMIE SUD _SECTION OUVERTE 	ARTELIA	28/03/2024
4	Descente de charges micropieux trémie sud	ARTELIA	03/04/2024
5	Note de modélisation et de la descente de charges OA Port IndB : <ul style="list-style-type: none"> 8.5.2-PRO_OUV_NDC_ART_1741-B-OA-PORT-NDC-MOD-ET-DDC 	ARTELIA	17/01/2025
6	DDC radiers_Trémie nord	ARTELIA	31/01/2024
7	Plans et coupes palplanches SNCF : <ul style="list-style-type: none"> RN406-M04-SEC-DOE-COF-33501-I - Palplanches-PL2 RN406-M04-SEC-DOE-COF-33500-H - Palplanches-PL1 	ARTELIA	31/01/2024
8	Plan et coupe OA RD10 : <ul style="list-style-type: none"> PRO-OUV-PLN-ART-1733-A-OA-RD10-COFFRAGE 	ARTELIA	11/12/2023
9	DDC OA RD10	ARTELIA	03/04/2024
10	Profil en long et Coupes courante IndC : <ul style="list-style-type: none"> PRO_RN406_Section_Courante_VP-PL_ind C PRO_RN406_Section_Courante_PP_SOL_C 	ARTELIA	12/03/2025

2.1.3. Etudes géotechniques/hydrogéologiques antérieures

Les études géotechniques et hydrogéologiques effectuées antérieurement dans le cadre du projet de voie desserte du port de Bonneuil-sur-Marne, et qui nous ont été transmises, sont les suivantes :

Origine	Type mission	Référence	Date
FONDASOL	G ₁₂ (G2PRO)	IP.10.0323 – Pièce 002 – PRO – Ind.A	06/12/2012
ALTHEA Ingénierie	/	Étude hydrogéologique Compte rendu des essais de pompage et de perméabilité – AP17 2429	16/07/2018
SEMOFI	Compte rendu investigations	Rapport d'investigations complémentaires – C16-9482 – Indice B	29/06/2018
HYDROGEOTECHNIQUE	G1/G2AVP	Pont-rail SNCF – RN 406 Ligne 990 000 (Grande Ceinture) C.18.35037	12/03/2019
CEREMA	G2PRO	C18PR0012 - C19PR0019 – RN406 – Desserte du port de Bonneuil - Indice 2	26/05/2020
ESIRIS IDF INFRA	G2PRO	Rp-PA19 3158-IndB - Stabilité de pente – Couche de forme	09/10/2020
CEREMA	Rapport suivi piézométrique	N° NOVA : 24-IF-0126	31/03/2025

Ces études sont supposées être parfaitement connues du lecteur. Les plans d'implantation et les résultats des investigations (in situ ou en laboratoire) exploités dans ce rapport sont rappelés en Annexe 2.

2.2. Mission GINGER CEBTP

La mission de Ginger CEBTP est conforme au contrat n° LGEN.N.0017.

Il s'agit d'une étude géotechnique de Conception (G2) selon la norme AFNOR NF P 94-500 de novembre 2013 sur les missions d'ingénierie géotechnique. Plus précisément, compte tenu du niveau d'avancement du projet, notre mission s'intègre dans la phase Projet (G2 PRO). Elle porte sur les éléments suivants :

- Synthétiser et mettre à jour les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet ;
- Fournir les notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques :
 - les fondations des ouvrages :
 - fondations profondes pour les ouvrages d'art,
 - fondations superficielles pour la trémie (avec micropieux pour la trémie sud et une partie en inclusions rigides pour la trémie nord),
 - inclusions rigides aux rives des ouvrages d'art,

- les soutènements provisoires par palplanches tirantées pour construction de la trémie Nord,
- les terrassements, en déblais et remblais, avec préchargement et drainage vertical pour accélérer la consolidation,
- Fournir les notes de calculs de dimensionnement des ouvrages géotechniques.

Il convient de rappeler que les aspects suivants, sans être exhaustifs, ne font pas partie de la mission :

- L'évolution dans le temps de l'hydrogéologie locale et la définition des niveaux d'eau caractéristiques ;
- Les études de pollutions ;
- La reconnaissance des anomalies géotechniques situées en dehors de l'emprise des investigations ;
- L'estimation des quantités, coûts et délais d'exécution.

2.3. Caractéristiques du projet

Le port de Bonneuil-sur-Marne, géré par Ports de Paris, constitue la seconde plate-forme multimodale d'Île-de-France, après le port de Gennevilliers. Situé à 8 km de Paris, il accueille plus de 200 entreprises sur 200 ha. Le port est actuellement desservi par une unique route départementale au nord et au sud : la RD130. Il est tributaire d'un réseau départemental très chargé et en partie enserré dans des quartiers d'habitat (RD130 et RD10 à Bonneuil-sur-Marne). L'insuffisance de cette desserte routière contraint ses capacités de développement.

L'opération consiste à améliorer la desserte du port de Bonneuil-sur-Marne depuis le réseau routier principal par le prolongement de la route RN406 à 2x1 voie de l'échangeur vers le port. Avec une longueur totale de deux kilomètres et demi, ce réseau structurant permettra de donner un accès au port direct et plus rapide.

Après le raccordement à l'échangeur RN19/RN406, le projet doit franchir la rue des Sablons, le faisceau de voies ferrées de la Grande Ceinture, la rue Louis Thébault, la RD10 et enfin la voie ferrée du port pour se raccorder à la voirie du port. Deux giratoires sont prévus pour le raccordement à la voirie du port : un au sud de la voie ferrée et un au nord. Aucun échange direct n'est prévu avec la voirie départementale (RD10) pour éviter du trafic supplémentaire dans la traversée de Sucy-en-Brie et Ormesson-sur-Marne. Toutefois, un carrefour est prévu pour desservir les zones d'activités au sud de la RD10.

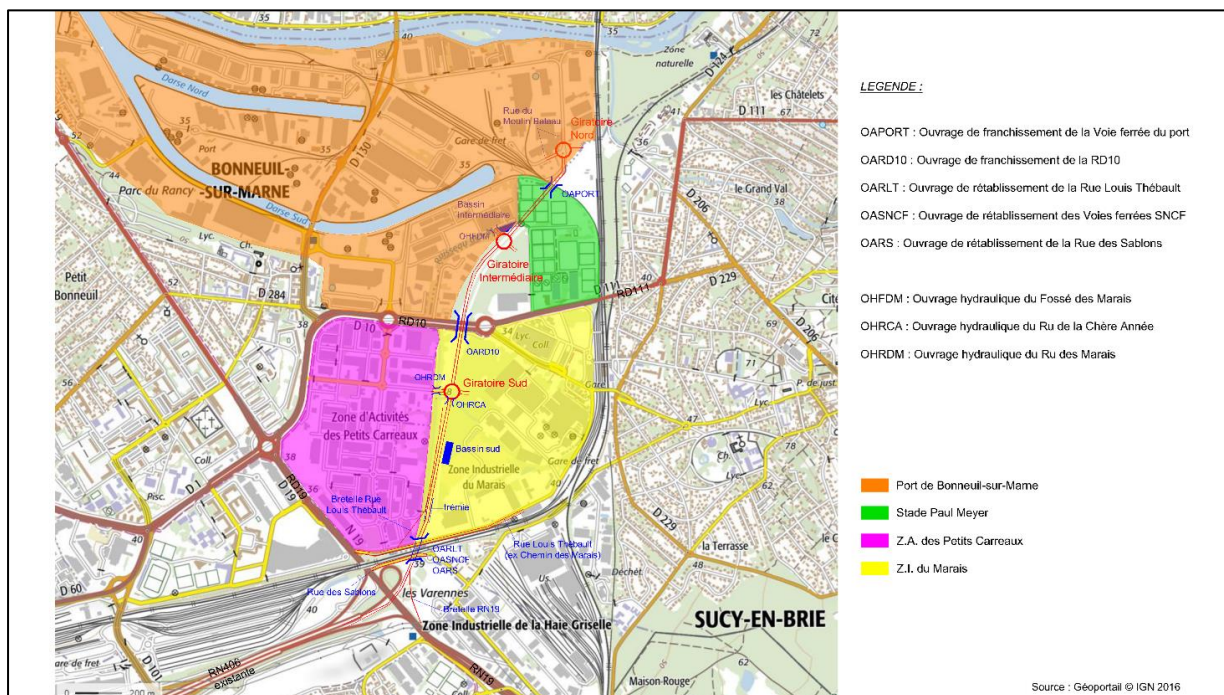


Figure 3 : Extrait carte de la localisation des ouvrages (source : ARTELIA)

Le projet peut donc se décomposer en trois sections :

- Une section sud entre la RN 406 existante et le carrefour d'accès aux zones d'activités (giratoire sud inclus). C'est une voie considérée comme une bretelle de catégorie A suivant le guide VSA90 avec une vitesse limitée à 70 km/h ;
- Une section intermédiaire entre les carrefours d'accès aux ZA (giratoire sud non inclus) et de desserte sud du Port (giratoire intermédiaire inclus). Cette section est dimensionnée suivant le guide AU70, avec une vitesse de circulation toujours autorisée à 70 km/h ;
- Une section nord, entre le carrefour de desserte sud du Port (giratoire intermédiaire non inclus) et le carrefour nord du Port (giratoire nord inclus) : cette section, directement liée au réseau routier du Port, est traitée comme une voie urbaine avec une vitesse limitée à 50 km/h. Conformément au conseil intégré de décembre 2018, cette section respecte géométriquement le guide AU70.

Par ailleurs, il est prévu une bretelle de raccordement à la rue Louis Thébault et une bretelle de raccordement à la RN19.

La mission GINGER CEBTP porte sur les ouvrages suivants :

- La trémie qui s'articule autour de la rue des sablons, le faisceau de voies ferrées et la rue Louis Thébault. L'OA SCNF a déjà été construit, la mission se concentre sur les zones nord et sud. On distinguera dans la suite du rapport les éléments suivants pour la trémie :

- Trémie - partie Nord de l'OA SNCF : Construction de la trémie en U bétonnée avec un dimensionnement d'un radier résistant à la sous-pression. Fouille provisoire prévue en palplanches tirantées (provisoire);

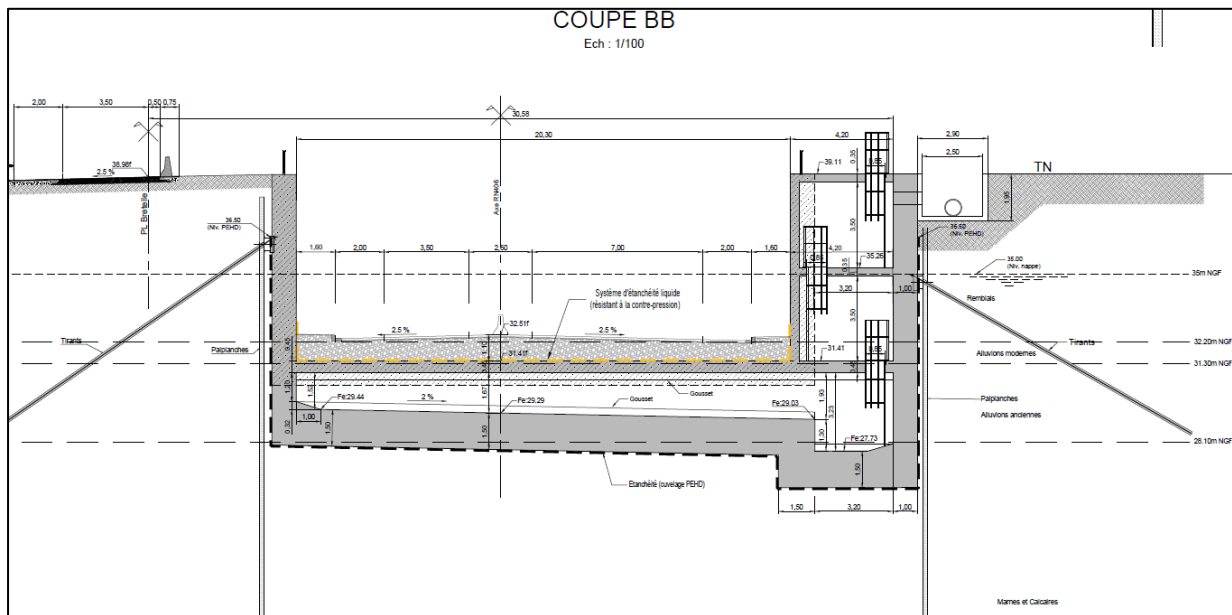


Figure 4 : Extrait Coupe B-B Cuve Trémie Nord (source : ARTELIA)

- Trémie - partie Sud de l'OA SNCF : Construction de la trémie en U bétonnée avec un dimensionnement d'un radier fondés sur micropieux.

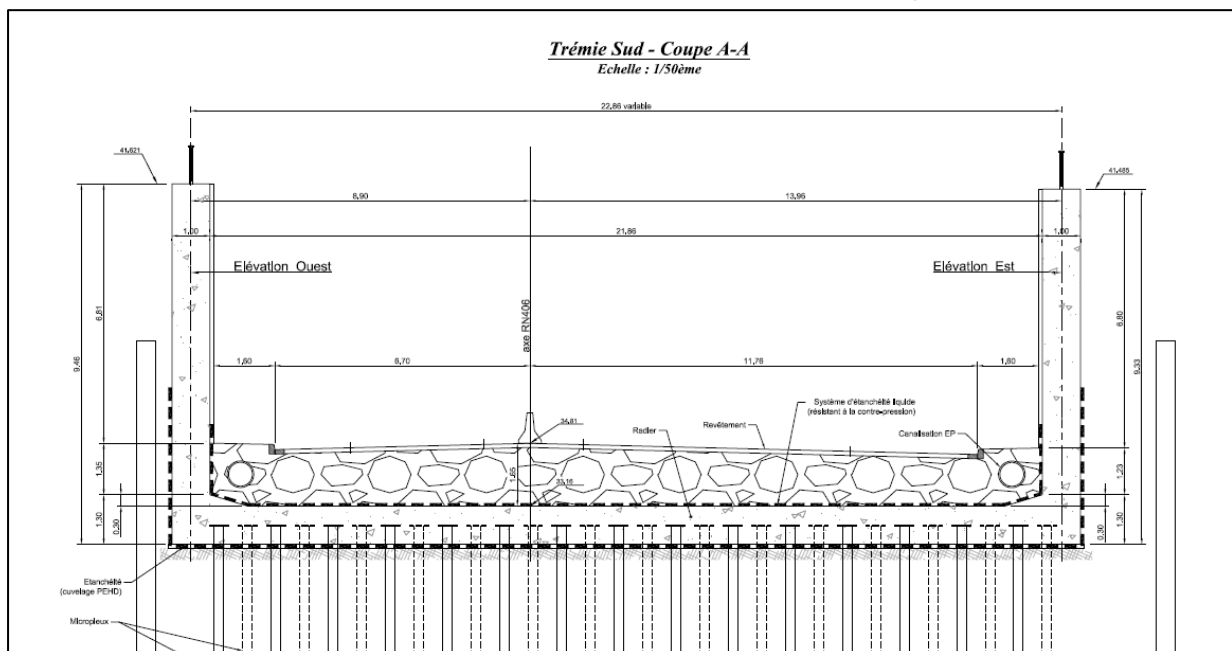


Figure 5 : Extrait coupe transversale Trémie sud (source : ARTELIA)

- OA RD10 : passage supérieur au-dessus de la RD10 fondé sur 3 appuis : 2 culées et 1 pile centrale. Ouvrage de franchissement d'une longueur de 475m. Fondations profondes de type pieux en tarière creuse avec variante en pieux foré boue. Inclusions rigides en rive des pieux afin de limiter les tassements différentiels dans les zones des culées des pieux.

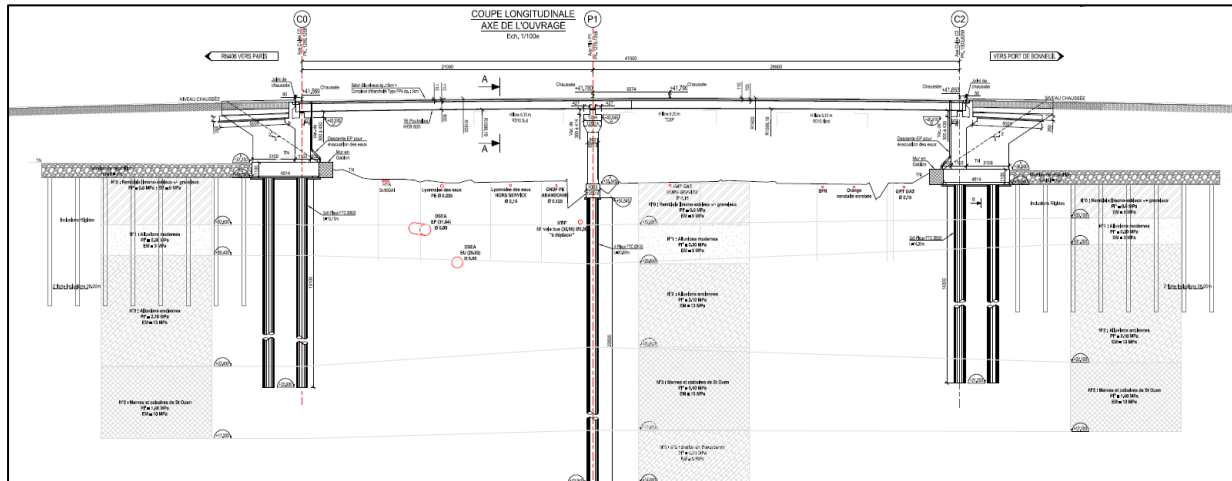


Figure 6 : Extrait coupe longitudinale OA RD10 (source : ARTELIA)

- OA Port : passage supérieur au-dessus de la voie ferrée du Port fondé sur 3 appuis : 2 culées et 1 pile centrale. Ouvrage de franchissement d'une longueur de 40m. Fondations profondes de type pieux en tarière creuse avec variante en pieux foré boue. Inclusions rigides en rive des pieux afin de limiter les tassements différentiels dans les zones des culées des pieux.

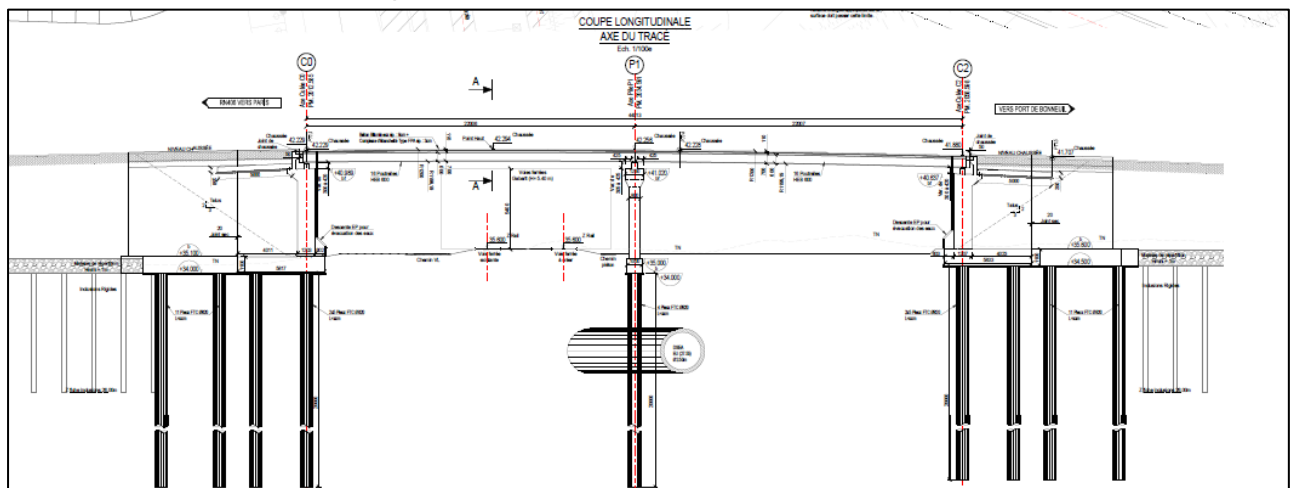


Figure 7 : Extrait coupe longitudinale OA du Port (source : ARTELIA)

Les ouvrages en terre :

- section courante (zone des giratoires sud et intermédiaire), avec une hauteur de remblais comprise entre 1.0 et 3.0 m ;
- remblais d'accès aux ouvrages d'art, avec une hauteur entre 3.0 m et 7.6 m/TA.
- déblais au niveau de la trémie pouvant atteindre 7.6 m/TA de profondeur.

Les ouvrages sont localisés sur le plan longitudinal suivant, la hauteur maximale des remblais et déblais y figurent :

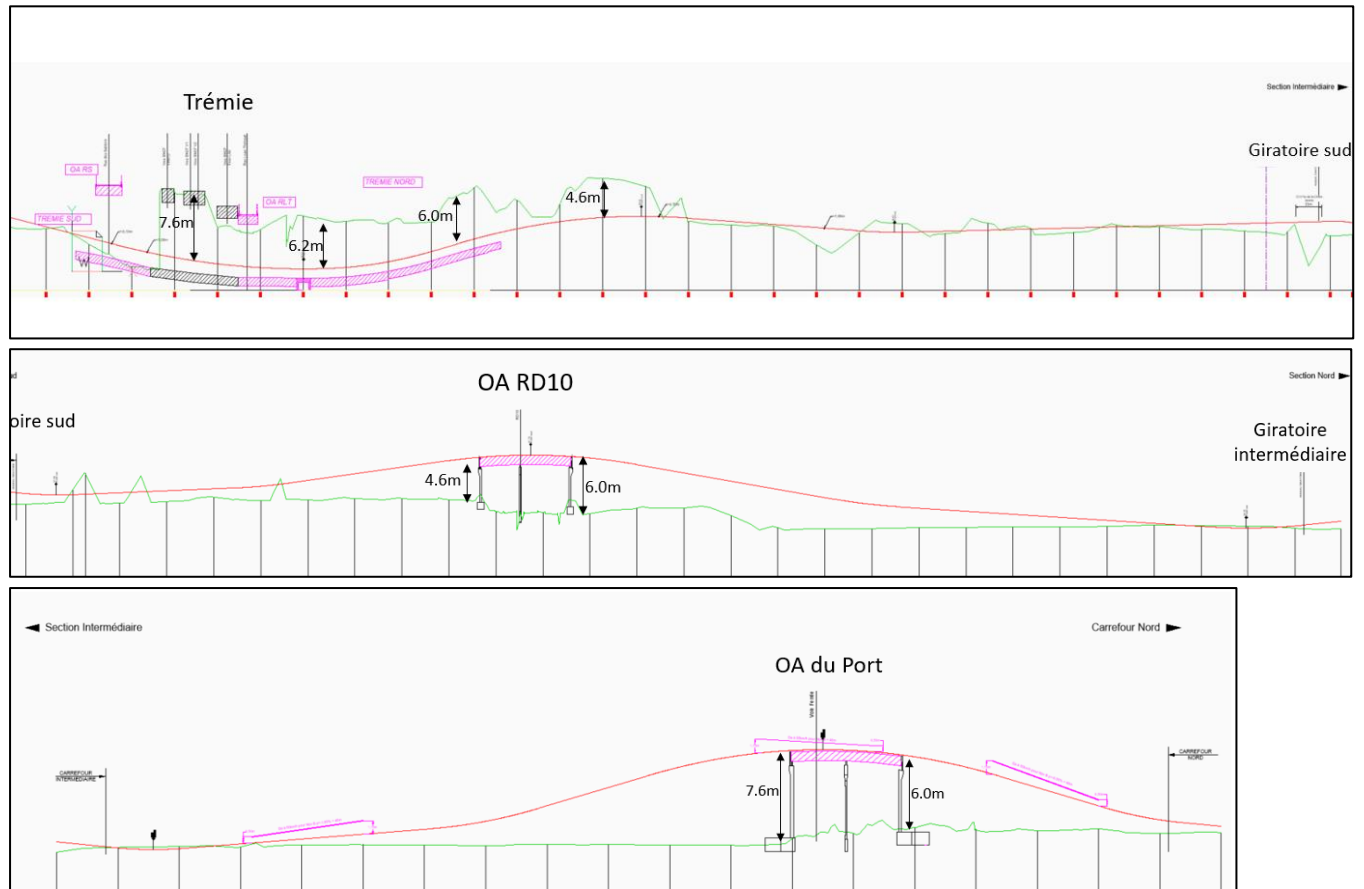


Figure 8 : Extrait de la coupe longitudinale du tracé (source : ARTELIA)

2.4. Contexte prévisionnel et risques naturels

2.4.1. Contexte géologique

D'après notre expérience locale et les cartes géologiques de PARIS/CORBEIL-ESSONNES à l'échelle 1/50000, le site est constitué, sous une faible épaisseur d'éventuels matériaux végétalisés :

- Remblais : d'origines diverses et d'épaisseurs variables : en général 2 à 3m mais pouvant atteindre 12m pour les remblais de comblement des anciennes exploitations de sables et graviers,
- Les alluvions modernes de la Marne (notées Fz), limoneuses, argileuses et tourbeuses, molles et compressibles. Epaisseur 2 à 4m, voire plus au Nord de la Zone,
- Les alluvions anciennes de la Marne (notées Fy ou Fx) constitués de sables et graviers denses, silico-calcaires. Epaisseur de l'ordre de 7 à 8m lorsqu'elles ne sont pas exploitées,
- Les Marnes infragypseuses et les Sables verts de Monceau. Epaisseur variable, inférieure à 8m, notés e6e,
- Les Marnes et Calcaires de St Ouen et le Calcaire de Ducy, notés e6d et e6b,
- Les Sables et Grès de Beauchamp, notés e6a,
- Les Marnes et Caillasses du Lutétien, notées e5d.



Figure 9 : Extrait cartes géologiques échelle 1/50000 (source : www.geoportail.gouv.fr)

2.4.2. Etude historique du site

Le linéaire du prolongement de la RN406 a connu plusieurs changements morphologiques, une analyse par clichés aériennes a été effectuée de 1921 à nos jours à l'aide de l'outil « Remonter dans le temps » de IGN et de l'analyse effectuée par le CEREMA, ils permettent d'étudier l'évolution de notre zone d'étude :

1921 : La darse n'existe pas encore. Ce cliché met en évidence la zone humide originelle, les systèmes de drainage et les canaux.

1933 : Création de la darse. Dépôts de matériaux observés en bordure.

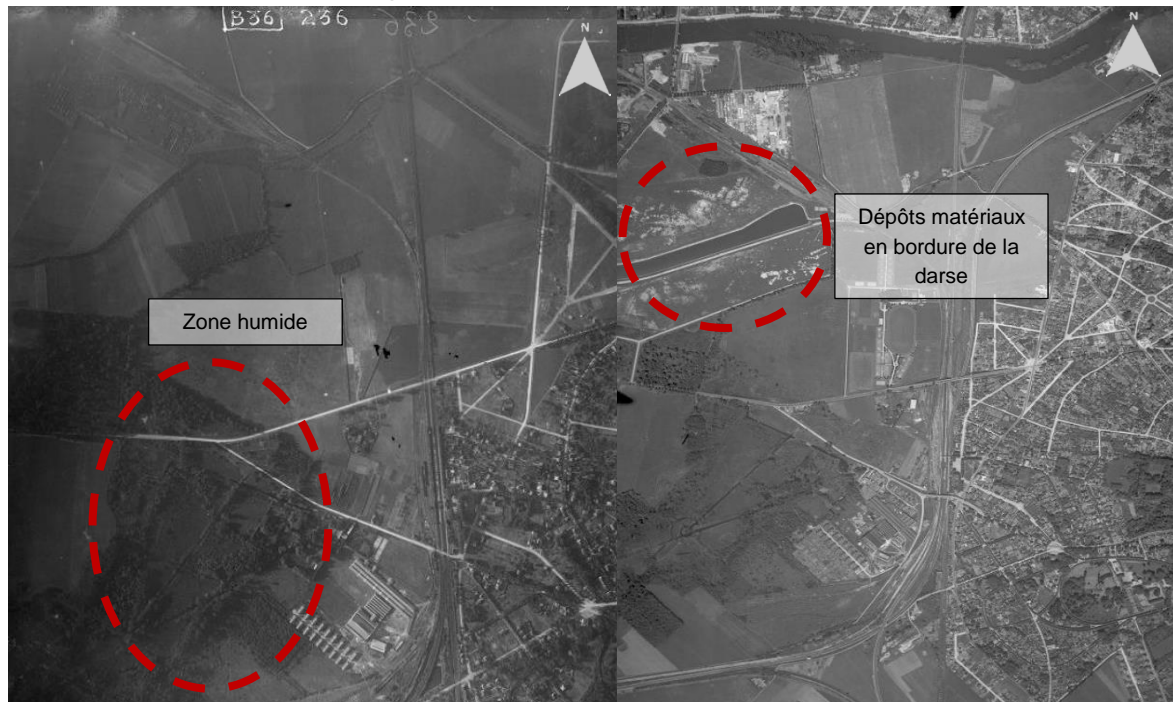


Figure 10 : Photos aériennes de la zone du projet en 1921 et 1933 (source : IGN "Remontées dans le temps »)

1949 : Début des extractions alluvionnaires dans le sud du secteur.

1955 : Début des comblements des ballastières, visibles sur les clichés ultérieurs.

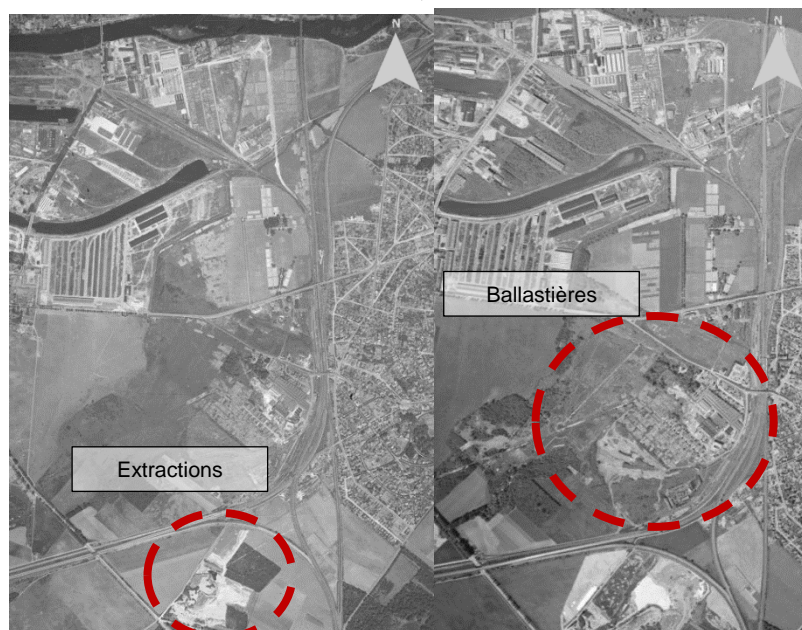


Figure 11 : Photos aériennes de la zone du projet en 1949 et 1955 (source : IGN "Remontées dans le temps »)

1965-1968 : Importants dépôts sur la zone humide (entre RN19 et D10), constitués de matériaux hétérogènes.

1971 : Disparition partielle des canaux, probablement recouverts par des remblais.

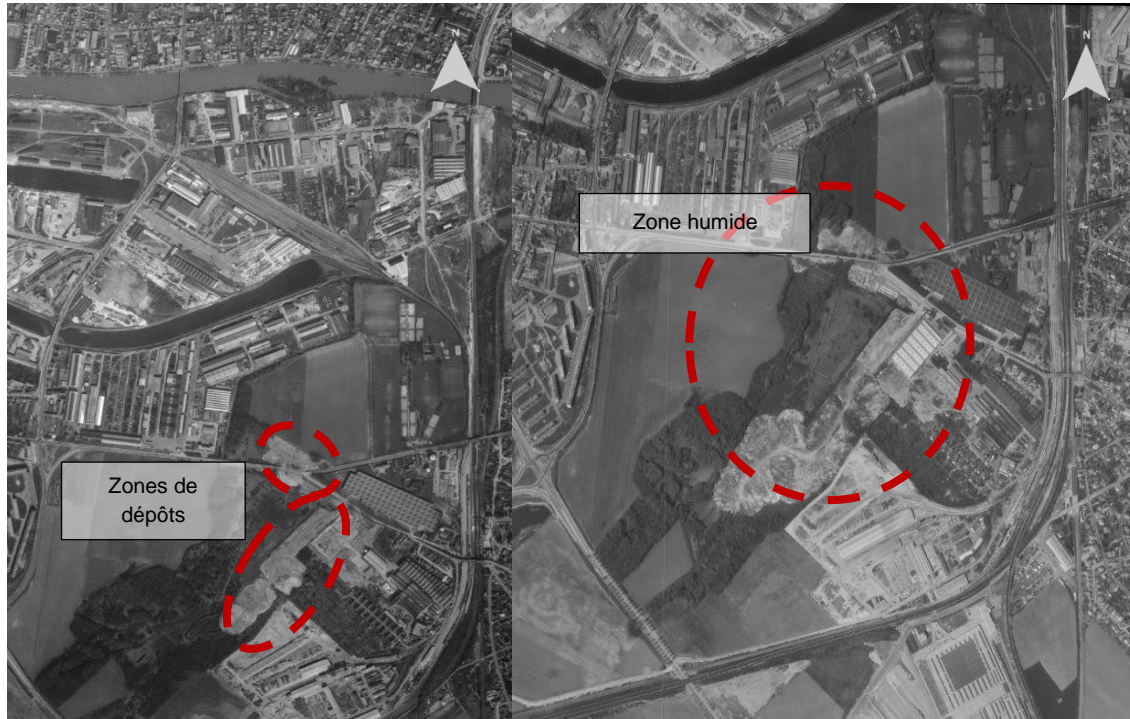


Figure 12 : Photos aériennes de la zone du projet en 1968 et 1971 (source : IGN "Remontées dans le temps »)

1973-1976 : Extractions de matériaux encore en cours, mais concentrées au sud et au sud-ouest.

1981 : Urbanisation dense. La zone humide se réduit à une étroite bande orientée nord-sud.

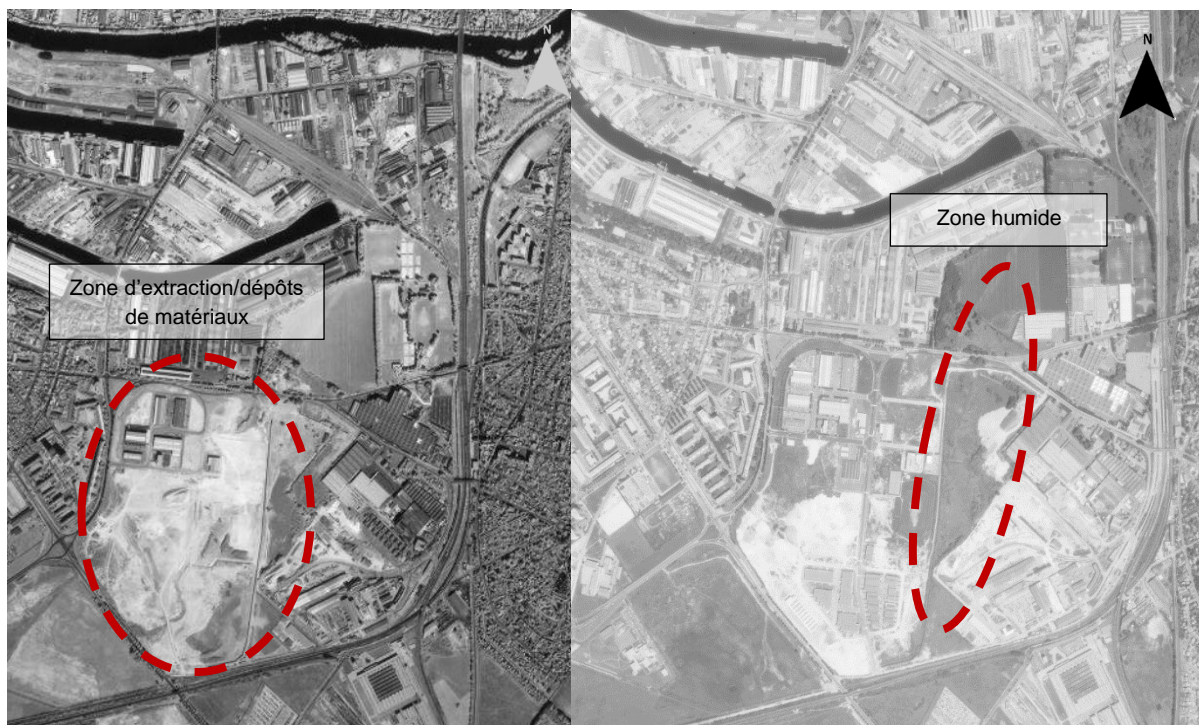


Figure 13 : Photos aériennes de la zone du projet en 1976 et 1981 (source : IGN "Remontées dans le temps »)

2007 : début d'une nouvelle exploitation au sud de la D10.

Depuis 2013, la zone n'a connu aucun changement morphologique majeur. La zone humide arborée est restée inchangée.

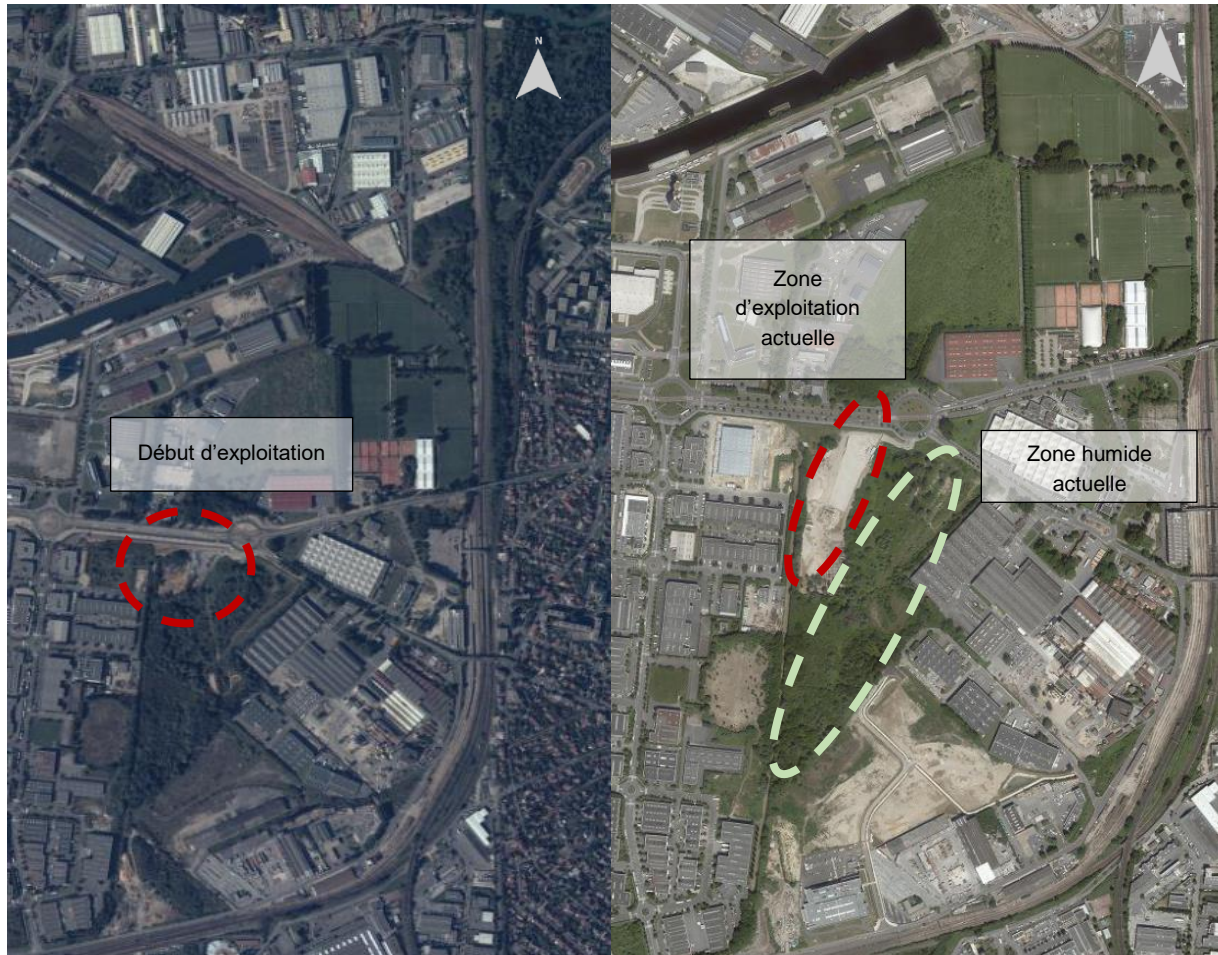


Figure 14 : Photos aériennes de la zone du projet en 2007 et 2021 (source : IGN "Remontées dans le temps »)

Les principaux aménagements remontent aux années 1960-1970, période marquée par l'apparition de nombreuses carrières de type ballastière. L'étude historique a également révélé d'importantes zones de remblais, témoignant de la nature très hétérogène du terrain. On peut donc s'attendre à ce que les remblais reflètent cette hétérogénéité, en cohérence avec l'évolution du site.

Un schéma synthétique réalisé par le CEREMA regroupe ces informations :

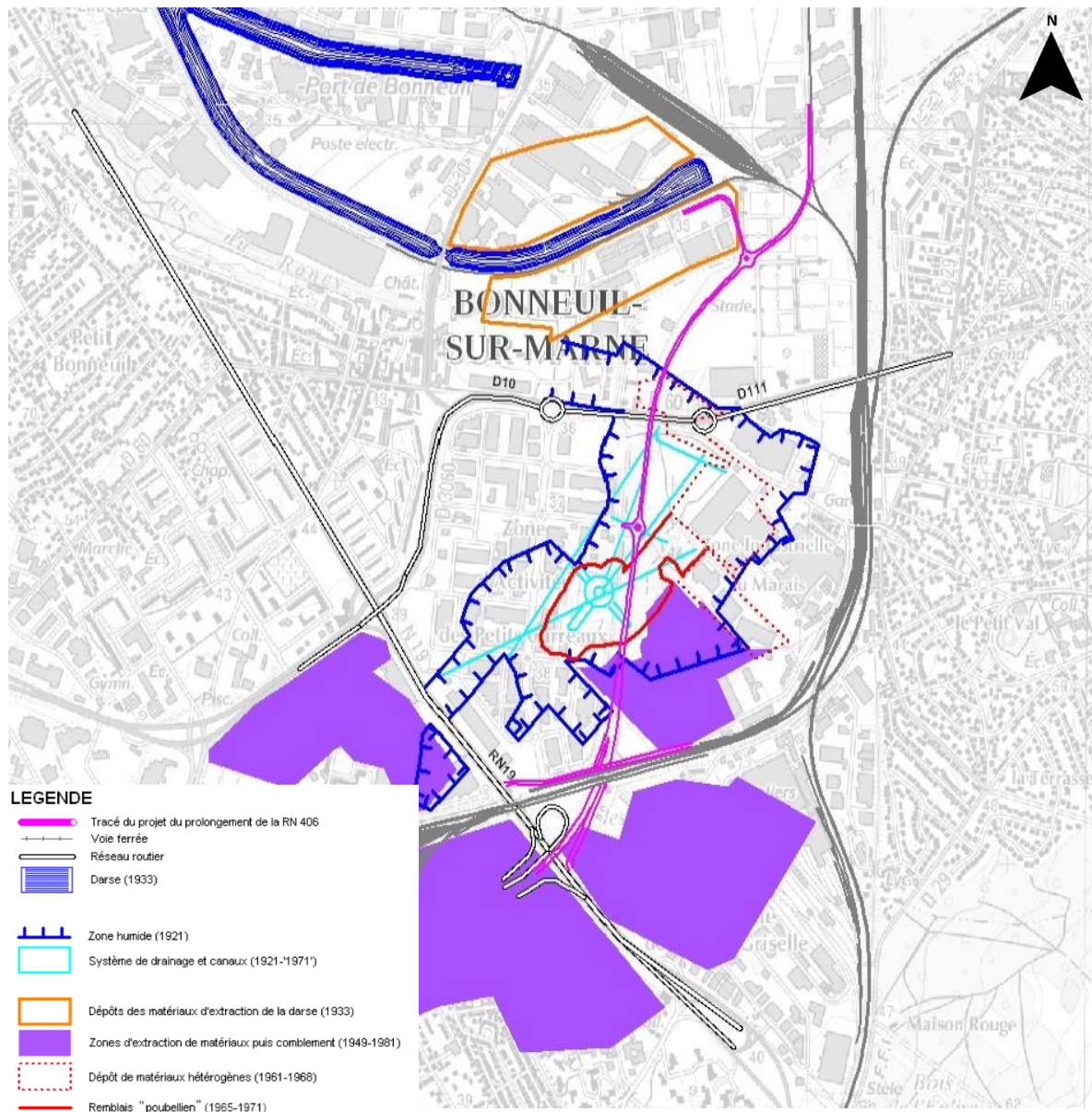


Figure 15 : Schéma de synthèse des différentes zones d'interprétations liés à l'histoire du site (source : CEREMA)

2.4.1. Contexte hydrogéologique générale

Du point de vue hydrogéologique, plusieurs nappes phréatiques et circulations d'eaux sont envisageables sur le site, on note la présence de :

- La nappe superficielle alluviale, connectée à la Marne. Ses variations piézométriques sont directement liées aux fluctuations du cours d'eau et dépendent également de la pluviométrie ainsi que des circulations d'eaux superficielles dans les remblais. Son niveau se situe vers la cote +33.5m NGF et son niveau maximum est vers +35.5m NGF.
- La nappe semi-profonde du Marno-Calcaire de Saint-Ouen inférieur, en charge sous les Alluvions. D'après les relevés piézométriques disponibles, son niveau statique se situe vers +33m NGF dans le secteur des voies SNCF. Le mur imperméable de cet aquifère

est constitué par les Sables de Beauchamp supérieurs et médians, formation à base argileuse, le sommet de cette formation peut être baignée par cette nappe.

- La nappe du Lutécien : elle circule dans les Marnes et Caillasses ainsi que dans le Calcaire Grossier, profitant des réseaux de fractures. Elle peut également atteindre les Sables de Beauchamp en traversant leur écran médian argileux.

2.4.2. Contexte sismique

Selon le zonage sismique de la France en vigueur (décret n°2010-1255 du 22/10/2010), la commune de BONNEUIL-SUR-MARNE est classée en zone de sismicité 1 (aléa très faible).
L'application des règles parasismiques n'est pas obligatoire.

2.4.3. Risques naturels

Les cartes des aléas (inondation, sismicité, cavité, glissement, retrait/gonflement) et/ou les plans de prévention des risques et le plan local d'urbanisme indiquent les informations listées ci-après :

- Le terrain est situé en **zone d'exposition moyenne** vis-à-vis du retrait-gonflement des sols argileux d'après le portail Géorisques,

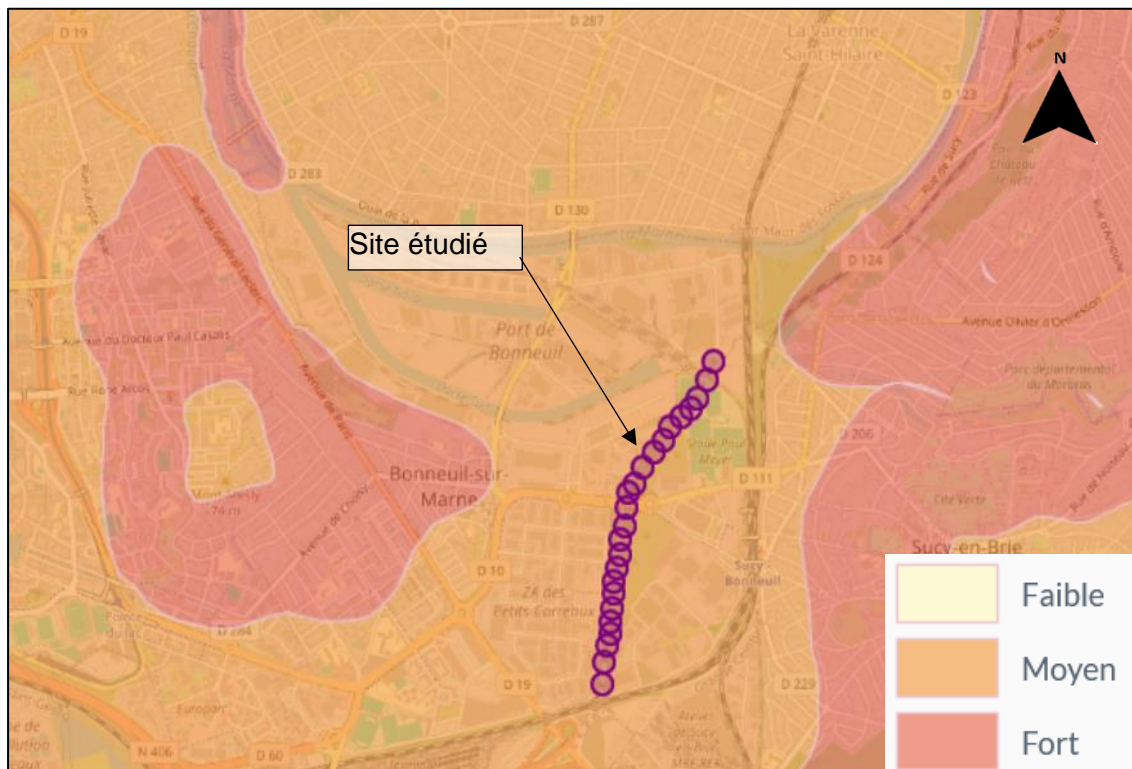


Figure 16 : Extrait carte d'exposition vis-à-vis du retrait et gonflement des sols argileux (Source : www.geoportail.gouv.fr)

- La carte de sensibilité aux remontées de nappes établie par le BRGM indique que le terrain **est situé en zone potentiellement sujette aux remontées de nappe**,

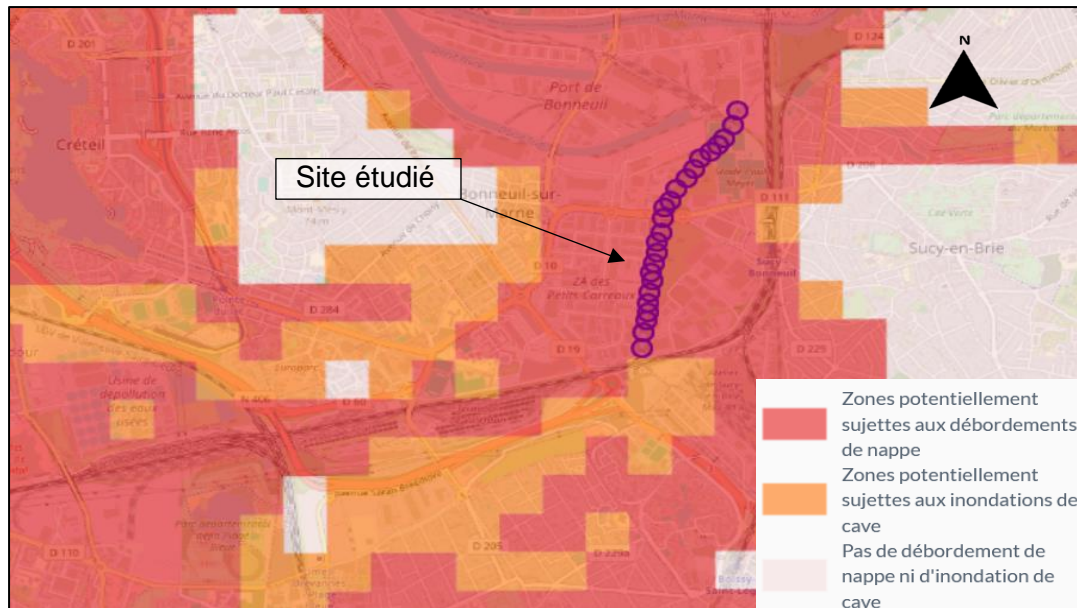


Figure 17 : Extrait carte des zones sensibles aux remontées de nappes (Source : www.geoportail.gouv.fr)

- La carte des aléas du Plan de Prévention des Risques Inondations du département du Val de Marne, indique un **risque d'inondation fort** au droit du projet avec un débordement de cours d'eau supérieure à +2.0 m de hauteur à prévoir au nord du site (illustrations ci-dessous). On retiendra un **niveau de crue centennale à +36.40 NGF à proximité du projet**.

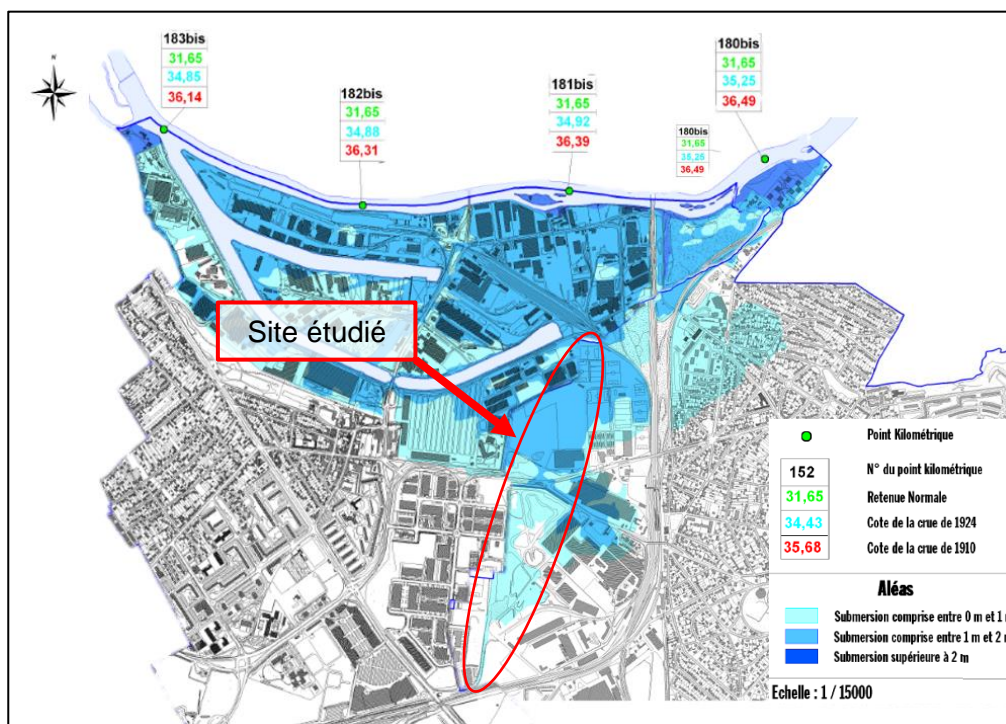


Figure 18 : Extrait carte aléa Bonneuil - PPRI Val de Marne

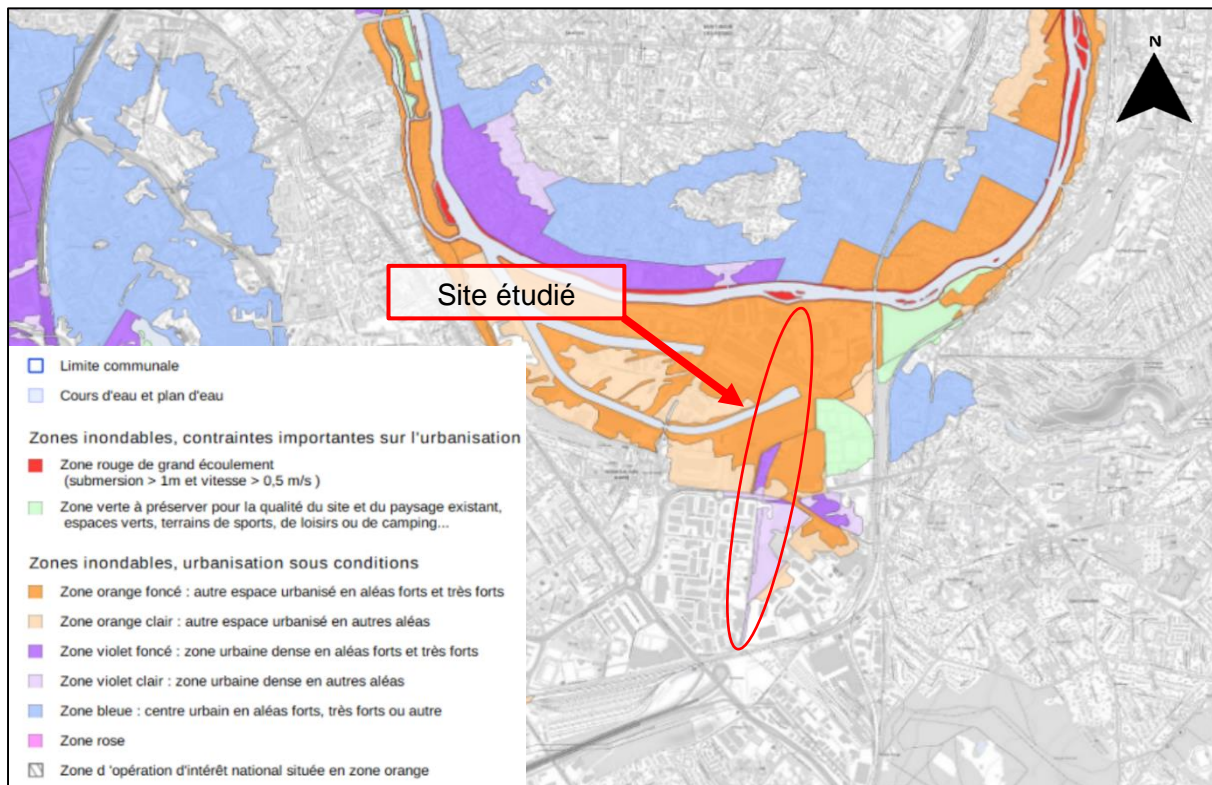


Figure 19 : Extrait de la cartographie des aléas – PPRi Val de marne 07/12/2023

La synthèse des risques mis en avant par le portail georisques et le site de la préfecture de Val de Marne sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Tableau de risques (Source : georisques.gouv.fr)

Risques / Aléa	Intensité
Cavité	Non répertoriée à 500 m autour du projet
Mouvement de terrain	Non répertorié à 500 m autour du projet
Sismicité	Zone de sismicité 1 (très faible)
Classe d'exposition retrait/gonflement	Zone d'exposition moyenne
Remontées de nappe ou inondation de cave	Zone potentiellement sujette aux remontées de nappe
Débordements de cours d'eau	>+2.0 m de hauteur d'eau à prévoir au droit du projet
Inondations	Ville soumis à un PPRi, zone aléa forte à très forte Cote de crue centennale à proximité fixée à +36.40 m NGF
Radon	Potentiel faible (1)

3. Investigations géotechniques

3.1. Investigations in-situ

Les moyens de reconnaissance et d'essais ont été définis par GINGER CEBTP en accord avec le client et mis en œuvre par l'entreprise INFRANEO.

Ces nouvelles données sont venues compléter l'analyse des investigations précédemment réalisées sur le site par les entreprises FONDASOL, HYDROGEOTECHNIQUE, ESIRIS et SEMOFI. Ces investigations antérieures ont été conduites dans le cadre de missions de types G12, G2 AVP et G2 PRO.

L'implantation des sondages et essais in situ de l'ensemble des campagnes exploitées dans cette étude est la suivante.

Secteur Trémie :



Figure 20 : Extrait du plan d'implantation des sondages au droit du secteur de la Trémie (source : GINGER CEBTP)

Secteur OA RD10 :



Figure 21 : Extrait du plan d'implantation des sondages au droit du secteur OA RD10 (source : GINGER CEBTP)

Secteur OA Port :

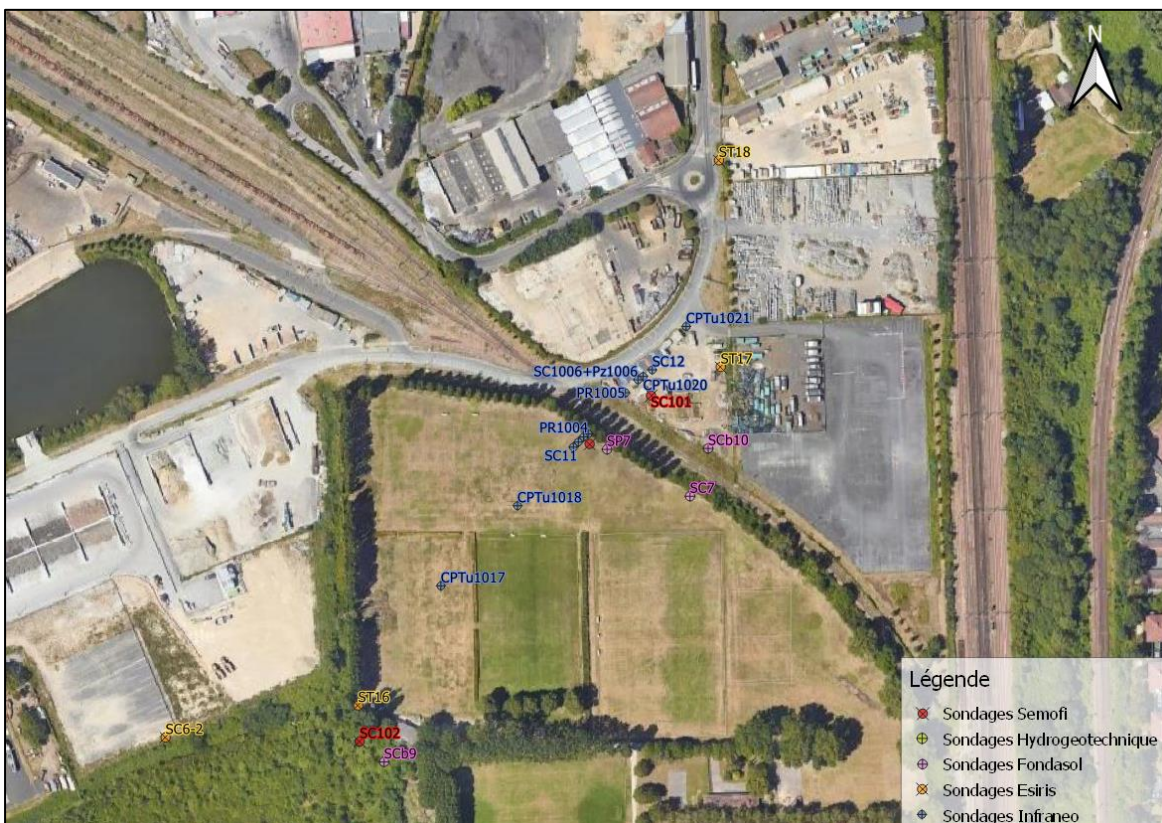


Figure 22 : Extrait du plan d'implantation des sondages au droit du secteur OA Port (source : GINGER CEBTP)

Secteur du giratoire sud :



Figure 23 : Extrait du plan d'implantation des sondages au droit du secteur du giratoire sud (source : GINGER CEBTP)

Secteur du giratoire intermédiaire :



Figure 24 : Extrait du plan d'implantation des sondages au droit du secteur du giratoire intermédiaire (source : GINGER CEBTP)

Entreprise Date Mission	Type de sondage	Qté	Noms	Prof. / TA (en m)	Altitude NGF de la tête (en m)	Secteur/ Ouvrage
GINGER CEBTP / INFRANEO 2024-2025 G5-G2PRO	Sondage destructif au tricône Ø 66 mm avec enregistrement des paramètres en continu	5	PR1001	30.5	+37.1	OA RD10
			PR1002	30.5	+35.8	
			PR1003	30.5	+35.4	OA Port
			PR1004	30.4	+34.3	
			PR1005	30.0	+35.3	
	Exécutions d'essais pressiométriques Norme NF EN ISO 22 476-4	5x27				
	Sondage carotté	16	SC1001 + Pz	15 m ou 6m	+37.7	Trémie nord
			SC1002 + Pz		+38.8	OA RD10
			SC1003 + Pz		+36.9	
			SC1004 + Pz		+35.7	OA Port
			SC9		+37.1	
			SC10		+36.1	Giratoire sud Giratoire intern.
			SC1005 + Pz		+34.3	
			SC1006 + Pz		+35.5	
	Essai au pénétromètre statique lourd avec pointe piézocône Norme NF P94-119	18	SC11		+34.4	
			SC12		+35.5	
			SC1007 + Pz		+37.2	
			SC1008 + Pz		+34.2	
			CPTu1010	10m ou refus	+37.2	OA RD10
			CPTu1011		+37.5	
			CPTu1012		+37.0	
			CPTu1013		+36.0	
			CPTu1014		+33.9	
			CPTu1024		+37.2	
			CPTu1025	10m ou refus	+36.6	OA Port
			CPTu1026		+36.0	
			CPTu1017		+34.5	
			CPTu1018		+34.3	
			CPTu1019	10m ou refus	+34.3	Giratoire intern.
			CPTu1020		+35.4	
			CPTu1021		+35.4	
			CPTu1015	10m ou refus	+34.4	Giratoire sud
			CPTu1016		+34.4	
			CPTu1027		+34.2	
			CPTu1022	10m ou refus	+37.2	
			CPTu1023		+37.1	
	Essai au pénétromètre statique lourd avec pointe électrique NF EN ISO 22476-1	9	CPT1001	20m ou refus	+36.5	Trémie nord
			CPT1002		+38.2	
			CPT1003		+38.8	
			CPT1004		+38.5	
			CPT1005	10m ou refus	+38.7	Giratoire sud
			CPT1006		+37.4	
			CPT1007		+36.0	
			CPT1008		+37.0	
	Fouille à la pelle mécanique	6	CPT1009		+36.2	
			PM1001	5m ou 3m	/	Trémie nord
			PM1002			
			PM1003			
			PM1004			
			PM1005			
			PM1006			
			PM1007			

Entreprise Date Mission	Type de sondage	Qté	Noms	Prof. / TA (en m)	Altitude NGF de la tête (en m)	Secteur/ Ouvrage
GINGER CEBTP / INFRANEO 2024-2025 G5-G2PRO			PM1008	3m ou 4m	+35.9	Giratoire sud
			PM1009		+36.4	
			PM1010		+36.7	
			PM1011		+37.5	
			PM1012		+36.6	
			PM1013		+39.1	
			PM1014		+37.2	
			PM1015		+37.3	
			PM1016	3m ou 4m	+36.7	OA RD10
			PM1017		+34.2	
			PM1018		+34.2	

Les coupes des sondages et les résultats des essais INFRANEO sont présentés dans le rapport Rp-PA20 4849-23-2 indice C.

Un tableau récapitulatif des campagnes antérieures est présenté en Annexe 4. Les coupes des sondages et les résultats des essais de ces études sont censés être connus du lecteur.

3.2. Piézométrie

Lors de la réalisation des investigations d'INFRANEO, les équipements suivants ont été mis en place :

Equipement piézométrique	Nom	Prof. m/ TA	Altitude NGF de la tête (en m)
Tube piézométrique avec protection par capot métallique	PZ1001	15.0	+37.8
	PZ1002		+38.8
	PZ1003		+37.0
	PZ1004		+35.7
	PZ1005		+34.3
	PZ1006		+35.5
	PZ1007		+37.3
	PZ1008		+34.3

Par ailleurs, une étude de suivi piézométrique a été effectuée par le CEREMA, suite à la mission hydrogéologique réalisée ALTHEA de 2018 dans la zone de la trémie sud. Nous nous appuierons sur les conclusions de ce rapport lors de notre analyse hydrogéologique.

3.3. Essais en laboratoire - Identification des sols

Les essais suivants ont été réalisés en laboratoire par INFRANEO :

Identification des sols	Nombre	Norme	Entreprise
Classification des sols (GTR) : <ul style="list-style-type: none"> Teneur en eau pondérale W Analyse granulométrique par tamisage Valeur au bleu du sol (VBS) ou Limites d'Atterberg 	84	NF P11-300 ISO 17892-1 ISO 17892-4 NF P94-068 NF P94-051	G5-G2PRO INFRANEO
Caractéristiques mécaniques	Nombre	Norme	Entreprise
Indice de Portant immédiat (IPI)	18	NF P94-093	G5-G2PRO INFRANEO
Essai d'aptitude au traitement	18	NF P94 100	
Compressibilité à l'œdomètre (chargement par paliers) avec mesure du coefficient de consolidation Cv	8	XP P 94-090-1	
Essais de cisaillement boîte de Casagrande (UU)	40	NF P 94-074 & NF EN ISO 17892-9	
Essai triaxial consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle (CU + u)	22	NF P94-074	

Les résultats des essais en laboratoire sont présentés dans le rapport d'investigations d'INFRANEO : Rp-PA20 4849-23-2 indice C.

3.4. Essais en laboratoire - Agressivité chimique du milieu

Les essais suivants ont été réalisés sur les matériaux du site :

Agressivité du sol	Nombre	Norme
Acidité Baumann Gully	60	DIN 4030-2
Dosage en sulfates	60	NF EN 196-2
Agressivité de l'eau	Nombre	Norme
Analyse chimique	20	NF EN 206-1

Les résultats des essais d'agressivité sont présentés dans le rapport d'investigations d'INFRANEO : Rp-PA20 4849-23-2 indice C.

4. Modèle géotechnique, hydrogéologique et sismique

4.1. Lithologie

L'analyse et la synthèse des résultats des investigations réalisées ont permis de dresser la coupe géotechnique schématique suivante de haut en bas. À noter que la profondeur des formations est donnée par rapport au niveau du terrain actuel (TA) tel qu'il était au moment des reconnaissances pour les différentes campagnes d'investigations.

Formation n°0 : Remblais : matériaux d'origine diverse et hétérogène. Ces remblais sont hétérogènes et présentent une compacité assez variable. Les remblais observés incluent principalement :

- Sables, argiles, limons, marne et graviers. Présence fréquente de grains calcaires, cailloux ou cailloutis divers ;
- Teintes variables : beige, marron, grisâtre, ou ocre ;
- Débris anthropiques : béton, mâchefers, briques, enrobés et déchets divers, souvent mélangés avec des matériaux naturels, dépôts végétaux avec traces d'hydrocarbures.

Origine des remblais :

- Complements d'anciennes exploitations de matériaux en lien avec l'historique du site (anciennes ballastières) ;
- Aménagements pour assécher des zones marécageuses ;
- Dépôts issus du creusement des darses du port de Bonneuil ;
- Pollution de la zone humide par des dépôts de déchets ;
- Aménagement divers : démolition, construction, etc.

Les remblais sont donc d'origine diverses et principalement anthropiques, particulièrement présents dans la zone humide où leur épaisseur peut dépasser 10 mètres (notamment au niveau de la trémie nord et du giratoire sud). Au droit de la trémie sud, une zone dite « poubellienne » a été identifiée, caractérisée par une couche de déblais pollués aux hydrocarbures et contenant une grande quantité de déchets divers. Les ouvrages au nord du site ne sont pas concernés par la présence de remblais dit pollués dus à des dépôts de matériaux anthropiques. Les remblais sont dans cette zone Nord principalement issus du rehaussement des zones marécageuses, ils n'excèdent pas 2.5 m d'épaisseur.

De façon générale, on rencontre les épaisseurs suivantes par ouvrage :

Analyse lithologique		Trémie sud	Trémie nord	Giratoire sud	OA RD10	Giratoire interm.	OA du Port
n°0 : Remblais	Ep. min	1.9	1.0	2.2	1.8	0.1	0.3
	Ep. Max	>9.0	9.8	9.8	6.2	2.5	2.0
	Cote base min	31.7	29.0	26.7	29.1	31.8	32.5

De manière générale, les remblais sont situés au sud du tracé, entre la trémie et l'OA RD10. Ils présentent une granulométrie plutôt grossière, avec de gros éléments et des déchets d'origine anthropique. Entre le giratoire intermédiaire et l'OA du Port, leur épaisseur reste limitée avec une matrice davantage limoneuse et argileuse. Une analyse détaillée descriptive des remblais est réalisée au chapitre 4.2.

Formation n°1 : Alluvions modernes à tendance limoneuse/argilo-sableuse. À travers les sondages, on observe une formation hétérogène en termes de nature, constituée de :

- Argiles : sableuses, limoneuses, tourbeuses et coquillères (ocre, brunes gris, marron).
- « Marnes » : argileuses, sableuses ou limoneuses (beige, gris, marron). La dénomination « Marnes » dans les descriptions est alors probablement erronée puisque les alluvions modernes contiennent en général peu de carbonates.
- Limons : argileux, sableux, tourbeux (marron, gris, noirâtre).
- Sables : fins, limoneux, argileux ou graveleux (beige, marron, gris, ocre).
- Autres éléments : débris coquilliers, calcaires, graviers et cailloutis.

Au niveau de la trémie nord, les alluvions modernes ont une faible épaisseur, s'expliquant par l'exploitation de cette zone notamment avec la présence de grande hauteur de remblais. Au niveau de l'OA RD10 et OA du Port, un faciès à tendance plus tourbeuse d'environ quelques mètres d'épaisseur est observée.

L'étude lithologique par zone, donne les résultats suivants :

Analyse lithologique		Trémie sud	Trémie nord	Giratoire sud	OA RD10	Giratoire interm.	OA du Port
n°1 : Alluvions modernes	Prof. base min (m/TA)	5.5	4.5	3.6	4.1	2.1	5.7
	Prof. base max (m/TA)	7.4	9.3	8.4	>8.0	11.0	10.6
	Cote base min (m NGF)	+34.4	+29.2	+29.8	+28.1	+24.7	+24.9

Caractéristiques mécaniques : très faibles à faibles.

Formation n°2 : Alluvions anciennes à tendance sablo-graveleuse. À travers les sondages, on observe une formation constituée de :

- Sables : fins à grossiers, limoneux, argileux ou graveleux (beige, marron, ocre), avec des cailloux et cailloutis.
- « Marnes » : sableuses ou sablo-argileuses (beige, gris, marron).
- Graviers : sableux ou argileux, souvent calcaires.
- Autres éléments : cailloux, cailloutis et gravillons calcaires.

L'épaisseur moyenne de cette formation se trouve généralement autour de 6- 8 m. Néanmoins, l'exploitation des ballastières sur le site a réduit sur certaines zones son épaisseur. On observe parfois des niveaux supérieurs marneux, limoneux ou argileux, tandis que les couches inférieures sont souvent plus sableuses. Cependant, certains sondages révèlent la présence d'épisodes marno-argileux à la base, rendant la distinction entre les faciès plus complexe. Le contact avec le substratum marneux, constitué des Marnes et Calcaires de Saint-Ouen, peut se faire par l'intermédiaire d'une zone de mélange ou de remaniement d'une épaisseur qui peut atteindre 2 m.

Analyse lithologique		Trémie sud	Trémie nord	Giratoire sud	OA RD10	Giratoire interm.	OA du Port
n°2 : Alluvions anciennes	Prof. base min (m/TA)	10.2	9.1	12.5	12.00	4.8	8.80
	Prof. base max (m/TA)	14.2	12.7	15.0	16.50	8.7	13.95
	Cote base min (m NGF)	27.8	25.8	21.5	17.60	25.7	21.55

Caractéristiques mécaniques : moyennes à bonnes, avec une amélioration progressive du haut vers le bas.

Formation n°3 : Marnes et calcaires de St-Ouen

La formation est constituée d'une alternance de marnes crème (généralement beiges rosées) et de bancs calcaireux (voir blocs de calcaires). Elle contient également des feuillets argileux, à travers nos sondages nous avons distingué :

- Marnes : +/- argileuses avec présence de rognons calcaires (blanche, rosâtre, beige et ocre)
- Calcaires +/- altérés et facturés (blanc, beige)
- Argiles marneuses / limoneuses (beige, ocre)

A la suite de notre analyse, la formation présente généralement un faciès argileux marneux peu plastique en surface tandis que son faciès inférieur présente une tendance de marno-calcaires raides. Toutefois, cette répartition demeure très hétérogène sur l'ensemble du tracé, avec des variations de sous-formations difficilement discernables. Nous considérons par la suite un horizon marno-calcaire unique en sein de la même formation.

Le Calcaire de Saint-Ouen présente une épaisseur moyenne de 7-10 m. À sa base, l'horizon de Ducy (voir description de la formation n°4).

Analyse lithologique		Trémie sud	Trémie nord	Giratoire sud	OA RD10	Giratoire interm.	OA du Port
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	Prof. base min (m/TA)	23.5	19.8	>15.0	17.90	>15.0	20.00
	Prof. base max (m/TA)	>25.0	24.0	23.0	25.70	20.0	24.00
	Cote base min (m NGF)	16.4	13.2	13.5	11.50	14.3	10.30

Caractéristiques mécaniques : moyennes à bonnes.

Formation n°4 : Calcaire de Ducy

Formation à la base des marnes et calcaires de Saint-Ouen, qui présente aussi une alternance marneuse avec des petits bancs de calcaire très durs, bien lités. Elle peut comporter des feuillets d'argiles brunes à noires (dolomie rocheuse) et notamment des faciès gypseux. Elle a été observée seulement au niveau de la zone du l'OA du Port. Les sondages des autres zones du site n'ont pas réussi à déceler cette formation, qui n'est pas toujours évidente à observer. Généralement le calcaire de Ducy a une épaisseur entre 1 à 3m.

Analyse lithologique		OA du Port
n°4 : Calcaire de Ducy	Prof. base min (m/TA)	23.00
	Prof. base max (m/TA)	25.35
	Cote base min (m NGF)	10.15

Caractéristiques mécaniques : bonnes à très bonnes.

Formation n°5 : Sables de Beauchamp sur une faible épaisseur.

Formation avec un faciès sableux et un faciès argilo-sableux plutôt compact, elle peut renfermer également des niveaux gréseux. A travers nos sondages elle est caractérisée par :

- des argiles sableuses gris-bleu,
- des limons argileux gris à gris-bleu, parfois à passages calcaires,
- des calcaires blanc-beige altérés avec des niveaux gris-bleu.

Son épaisseur se trouve entre 8 et 12m d'épaisseur dans notre zone.

Analyse lithologique		Trémie sud	Trémie nord	Giratoire sud	OA RD10	Giratoire interm.	OA du Port
n°5 : Sables de Beauchamp	Prof. base min (m/TA)	28.0	25.3	25.0	21.70	25.0	32.00
	Prof. base max (m/TA)	30.0	>27.0	>25.0	32.80	>25.0	32.70
	Cote base min (m NGF)	11.4	10.2	11.5	4.40	9.3	2.30

Caractéristiques mécaniques : moyennes à bonnes.

Formation n°6 : Marnes et caillasses

Cette formation du Lutétien, comporte une alternance de niveaux gypseux et de marnes/dolomies +/- tendre. A sa base des bancs de calcaires siliceux (caillasses) sont présents.

À travers les sondages, on observe une formation constituée de :

- Marnes : gypseuses (beige et blanche),
- Gypse +/- en blocs, cailloutis gypseux,
- Calcaires marneux.

Les marnes et caillasses observées, contenant des bancs gypseux, sont exposées à un risque de dissolution, celui-ci étant influencé par les conditions hydrogéologiques locales (gradient d'écoulement, propriétés physicochimiques de la nappe, etc.).

La campagne de sondages réalisée en 2017 par SEMOFI a mis en évidence ce risque à travers les investigations menées sur les sondages SC101 (carotté) et SD101 (destructif) dans la zone de l'OA du Port. En effet, on distingue des faciès diaclasés et déstructurés de gypse, comme en témoigne la photo de la caisse du carotté SC101 entre 39 et 42m.

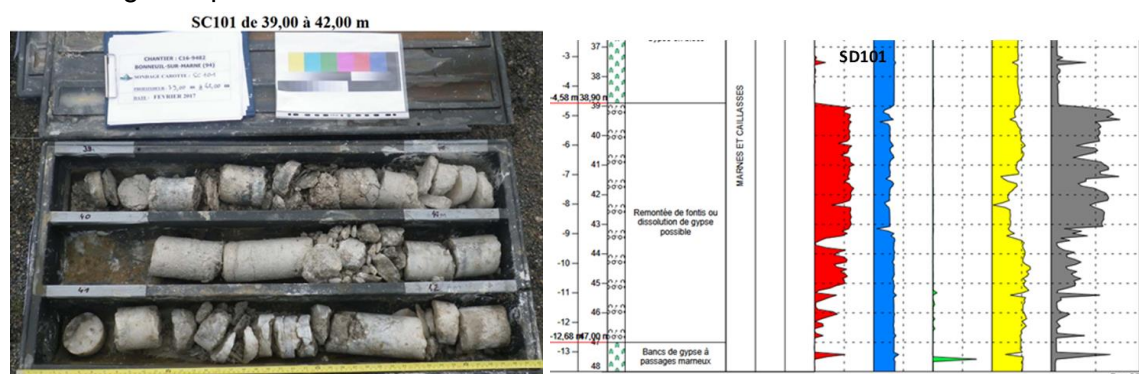


Figure 25 : Extrait du sondage carotté SC101 entre 39 et 42 m

Le sondage destructif SD101 (à droite) indique une vitesse élevée de l'outil de forage et une forte pression de retenue, associé à une baisse de la pression sur l'outil et du couple de rotation. N'ayant pas d'étalonnage à vide du destructif, il reste difficile de confirmer la présence d'un

vide/ quasi-vide à cette profondeur (par dissolution du gypse) ou d'une décompression moyenne ou faible du faciès à cette profondeur.

En conséquence, une campagne de sondages complémentaires est à réaliser afin de mieux identifier ce risque. Des injections pourraient être envisagées si le risque était confirmé avant la mise en place des pieux de l'OA du Port.

L'épaisseur de cette formation est autour de 20-25m dans notre zone d'étude.

Analyse lithologique		Trémie sud	OA RD10	OA du Port
n°6 : Marnes et caillasses	Prof. base min (m/TA)	>35.0	>30.5	>50.4
	Prof. base max (m/TA)	>41.0	51.0	50.5
	Cote base min (m NGF)	<+0.3	-13.8	-16.1

Caractéristiques mécaniques : très bonnes en générale (sauf bien entendu au droit de la dissolution de gypse).

Formation n°7 : Calcaire grossier

Autre formation du Lutétien, on la distingue par ses grands bancs de calcaire siliceux très durs et lités séparés par des horizons sableux et marneux et des bancs coquilliers. À travers les sondages, on observe une formation constituée de :

- Banc de calcaires +/- marneux,
- Calcaires bioclastiques en profondeur.

D'après la notice géologique de paris, le calcaire grossier supérieur et inférieur a une puissance moyenne de 20m.

Analyse lithologique		OA RD10	OA du Port
n°7 : Calcaire grossier	Prof. base min (m/TA)	>62.2	>60.0
	Prof. base max (m/TA)	>62.2	>63.1
	Cote base min (m NGF)	<-25.0	<-28.8

Caractéristiques mécaniques : très bonnes.

Une étude lithologique par sondage a été menée, les résultats sont présentés en Annexe 3.

4.2. Analyse descriptive des remblais

Lors de l'analyse des sondages réalisés à la pelle mécanique, les remblais situés entre la trémie nord et le giratoire sud présentent un faciès grossier, composé d'une matrice sableuse à graveleuse avec une faible proportion de fines. Des blocs de calcaires sont également observés sur des sondages situés entre la trémie nord et la giratoire sud. La majorité de ces remblais sont d'origine anthropique et contiennent en surface des déchets inertes tels que des briques, et des résidus de démolition.

Par ailleurs, certains remblais présentent des traces noirâtres visibles sur certaines pelles mécaniques, suggérant une possible pollution (ou des matières organiques). Toutefois, notre mission ne traite pas d'une étude environnementale, notre analyse se limitera aux observations géotechniques et géologiques.

A l'approche du secteur du giratoire sud, les remblais comportent des horizons sableux avec une proportion de fines plus importante, en témoignent les pelles PM1010 et PM1012.

Les observations décrites sont visibles sur les photos suivantes :

Zone Trémie nord à Giratoire sud



PM1002, PM1004 et PM1005

Remblais sableux et graveleux avec des déchets anthropiques (briques, blocs béton, etc.)



PM1003

Remblais argilo-sableux brun noirâtre avec une odeur d'hydrocarbure



PM1007

Présence de racines, bloc de béton, brique, et autre élément anthropique



PM1008

Présence de gros blocs de calcaire, graviers et cailloux avec quelques éléments anthropiques



PM1010 et PM1012

Remblais sableux argileux à quelques cailloutis calcaire



Entre la zone du giratoire sud et du giratoire intermédiaire (en passant par l'OA RD10), on constate des remblais marno-argileux +/- sableux. Ces remblais contiennent moins de déchets anthropiques et de blocs visibles et ont une proportion de fines importantes.

Zone Giratoire sud - OA RD10 – Giratoire intermédiaire



PM1015

Remblais marno-argileux sableux brun à marron foncé (présence d'éléments d'origine anthropique : brique, tissus...) en surface essentiellement

PM1016

Remblais marno-argileux sableux brun à marron foncé (présence de racine et d'éléments d'origine anthropique)

Vase argileux noir (présence de matière organique en profondeur (2.5-4.0m /TA)

PM1017

Remblais argile marron grisâtre (calcaire, ciment, ferraille et autres éléments anthropiques)
Argile sableuse marron à tache de réoxydation

PM1018

Sables graveleux et argileux beige très humide

4.3. Analyse alluvions modernes

Dans le cadre de l'analyse des faciès des alluvions modernes, il apparaît que les remblais présentent parfois un comportement similaire à celui des alluvions, rendant leur distinction difficile. Afin de garantir une cohérence dans l'interprétation des comportements des sols, nous avons choisi d'assimiler, dans cette analyse, certains faciès argileux ou limoneux de remblais à ceux des alluvions modernes. L'objectif étant ici d'analyser le comportement mécanique des sols, indépendamment de leur origine géologique précise.

De façon général, la formation d'alluvions modernes comporte des faciès hétérogènes au sein même de sa couche. En effet, il apparaît lors des sondages et des essais in-situ un faciès tourbeux compressible avec présence de matière organique avec une épaisseur variable le long du linéaire. De plus, un faciès à tendance sableuse est aussi décelé dans les dépouillements. De façon générale, les alluvions modernes du site ont un comportement limoneux sur toute leur hauteur.

L'étude stratigraphique menée autour des ouvrages OA RD10 et OA du Port distingue ainsi trois faciès caractéristiques des alluvions modernes :

- Faciès n°1a : alluvions modernes à dominante limono-argileuse ;
- Faciès n°1b : alluvions modernes à caractère tourbeux ;
- Faciès n°1c : alluvions modernes à dominante argilo-sableuse.

L'étude lithologique au droit de chaque ouvrage d'art est le suivant :

OA RD10

Entreprise		INFR ANEO	SE MO FI	FOND ASOL	FOND ASOL	FOND ASOL	SEM OFI	INFR ANEO	INFRA NEO	INFR ANEO	INFR ANEO	INFR ANEO	INFR ANEO	FOND ASOL	FOND ASOL	INFRA NEO	INFR ANEO	INFR ANEO	INFR ANEO	INFR ANEO	Modèle choisie	
SECTEUR	Girato ire sud	PS OA P	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Pile	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	TA : 37 m NGF		
Sondage	CPTu 1011	SC1 03	SCb6	SC4	SD102	PZ10 1	CPTu 1025	SC100 3+Pz	SC9	CPTu 1012	PR10 01	PR10 02	SC5	SCb7	SC100 4+Pz	SC10	PR10 03	CPTu 1013	CPTu 1026			
(cote NGF de la tête en m)	(+37.5)	(+36 .7)	(+37.0)	(+37.1)	(+37.2)	(+37. 2)	(+36.7)	(+37.0)	(+34.1)	(+37.0)	(+37.2)	(+35.8)	(+35.6)	(+34.3)	(+35.7)	(+36.1)	(+35.6)	(+36.1)	(+36.1)			
Formati on	Sous-Formatio n	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA (altitude NGF correspondante en m)																				
n°0 : Remblais	/	3.0 (+34.5)	4.0 (+32 .7)	3.5 (+33.5)	3.1 (+34.0)	2.1 (+35.1)	2.2 (+35. 1)	1.8 (+34.9)	2.3 (+34.7)	2.5 (+31.7)	2.4 (+34.6)	1.8 (+35.4)	1.8 (+34.0)	2.5 (+33.1)	0.4 (+33.9)	2.6 (+33.1)	2.6 (+33.5)	2.0 (+33.6)	1.1 (+35.0)	2.0 (+34.1)	/	
n°1 : Alluvions modernes	Limoneux/argileux (n°1a)	4.9 (+32.6)	5.0 (+31 .7)	4.1 (+32.9)	NO	3.5 (+33.7)	4.0 (+33. 2)	3.5 (+33.2)	3.5 (+33.5)	4.0 (+30.1)	4.3 (+32.7)	3.0 (+34.2)	3.8 (+32.0)	NO	2.5 (+31.8)	3.1 (+32.6)	3.0 (+33.1)	2.4 (+33.2)	2.8 (+33.3)	2.8 (+33.3)	2.8 (+34.2)	
	Tourbeux (n°1b)	6.9 (+30.6)	6.3 (+30 .5)	5.0 (+32.0)		6.2 (+30.9)	5.5 (+31.7)	4.6 (+32. 6)	5.4 (+31.3)	5.2 (+31.8)	5.7 (+28.4)	5.7 (+31.3)	5.9 (+31.3)		5.8 (+30.0)	3.5 (+32.1)	NO	4.0 (+31.7)	4.1 (+32.0)	4.5 (+31.1)	4.3 (+31.8)	4.8 (+31.3)
	Argilo-sableux (n°1c)	9.4 (+28.1)	> 8.0 (+28. 7)	> 6.0 (+31.0)	6.7 (+30.4)	6.0 (+31.2)	5.3 (+31. 9)	5.8 (+30.9)	5.9 (+31.1)	> 6.0 (+28. 1)	6.2 (+30.8)	NO	6.0 (+29.8)	6.8 (+28.8)	> 6.0 (+28. 3)	4.5 (+31.2)		5.8 (+30.3)	6.3 (+29.3)	6.6 (+29.5)	6.3 (+29.8)	8.9 (+28.1)
	n°2 : Alluvions anciennes	/	> 10.1 (+20. 1)	NA	NA	> 15.0 (+22. 1)	12.6 (+37.2)	> 10.4 (+26. 8)	> 10.0 (+26. 7)	14.4 (+22.6)	NA		> 9.6 (+27. 4)	14.0 (+23.2)	12.0 (+23.8)	14.9 (+20.7)	NA	13.0 (+22.7)	> 6.0 (+30. 1)	13.2 (+22.4)	9.4 (+26.7)	7.7 (+28.4)

NO : Non observé /// NA : Non atteint

OA du Port

Entreprise		INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO	FONDA SOL	INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO	SEM OFI	INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO	FONDA SOL	Modèle choisie
SECTEUR		PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	
Sondage		CPTu1 018	SC11	SC100 5+Pz	SC7	CPTu1 019	PR100 4	PR100 5	SC10 1	SC100 6+Pz	CPTu1 020	SC12	CPTu1 021	SCb10	
(cote NGF de la tête en m)		(+34.4)	(+34.5)	(+34.3)	(+34.7)	(+34.3)	(+34.3)	(+35.4)	(+35.5)	(+35.5)	(+35.5)	(+35.5)	(+35.4)	(+35.7)	
Forma tion	Sous- Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA													
		(altitude NGF correspondante en m)													
n°0 : Remblais	/	0.6	1.5	1.5	1.0	0.7	1.8	0.3	2.0	0.5	1.5	1.4	1.1	1.5	/
		(+33.8)	(+33.0)	(+32.8)	(+33.7)	(+33.6)	(+32.5)	(+35.1)	(+33.5)	(+35.0)	(+34.0)	(+34.2)	(+34.3)	(+34.2)	
n°1 : Alluvions modernes	Limoneux/a rgileux 1 (n°1a)	5.7	2.0	3.0	3.5	5.8	3.0	4.4	3.7	3.7	5.2	2.8	5.2	4.5	3.7
		(+28.7)	(+32.5)	(+31.3)	(+31.2)	(+28.5)	(+31.3)	(+31.0)	(+31.8)	(+30.3)	(+32.7)	(+30.2)	(+31.2)	(+31.8)	
	Tourbeux (n°1b)	NO	3.0	4.0	5.0	7.2	5.0	5.9	4.8	5.0	6.3	5.3	5.3	> 6.0	6.2
		(+31.5)	(+30.3)	(+29.7)	(+27.1)	(+29.3)	(+29.5)	(+30.7)	(+30.5)	(+29.2)	(+30.2)	(+28.9)	(+29.7)	(+29.3)	
	Argilo- sableux (n°1c)	NO	> 5.9	6.0	7.0	10.1	6.2	8.0	6.0	8.3	7.1	> 6.0	8.8	NA	7.4
		(+28.6)	(+28.3)	(+27.7)	(+24.2)	(+28.1)	(+27.4)	(+29.5)	(+27.2)	(+28.4)	(+26.6)	(+29.5)	(+26.6)	NA	(+28.1)
Limoneux/a rgileux 2 (n°1a)	NO	NA	7.0	NO	NO	7.5	10.4	8.4	10.6	> 10.1	NA	> 10.1	NA	10.5	
	(+27.3)	(+26.8)	(+25.0)	(+27.1)	(+24.9)	(+25.4)	NA	(+25.3)	NA	(+25.0)					
n°2 : Alluvions anciennes	/	> 9.5	NA	10.9	11.7	> 10.1	12.0	13.7	13.6	14.0	NA	NA	NA	NA	14.0
		(+24.9)		(+23.4)	(+23.0)	(+24.2)	(+22.3)	(+21.7)	(+21.9)	(+21.6)					(+21.6)

NO : Non observé /// NA : Non atteint

Cette distinction des sous-formations sera intégrée lors de l'analyse des essais triaxiaux et œdométriques, afin d'assurer une évaluation complète des comportements mécaniques des sols. Cette approche permettra d'affiner l'étude des remblais et alluvions modernes, notamment en termes de stabilité et de tassement.

4.4. Analyse des sondages pressiométriques

L'analyse statistique des essais pressiométriques disponibles aboutit aux valeurs suivantes :

Formation	pf* (Mpa)						pl* (Mpa)						EM (Mpa)				
	Nb	min	max	Ecart Type	Moy Géométrique	Moy-0.5ECT*	Nb	min	max	Ecart Type	Moy Géométrique	Moy-0.5ECT*	Nb	min	max	Ecart Type	Moy Harmonique
n°0 : Remblais	40	0.1	2.5	0.7	0.4	0.3	40	0.2	2.7	0.8	0.7	0.3	40	1.1	63.8	12.0	4
n°1 : Alluvions modernes	37	0.0	0.6	0.1	0.2	0.2	37	0.1	0.6	0.1	0.3	0.3	37	0.9	10.2	2.1	3
n°2 : Alluvions anciennes	70	0.2	5.0	1.3	1.5	1.2	70	0.4	5.7	1.4	2.3	2.0	70	3.4	161.2	26.0	14
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	108	0.2	5.0	0.9	1.1	0.9	108	0.6	5.0	1.0	1.7	1.5	108	3.9	87.9	13.1	11
n°4 : Calcaire de Ducy	10	1.1	4.1	0.9	2.1	1.6	10	2.6	4.6	0.7	3.4	3.1	10	16.7	84.2	22.8	27
n°5 : Sables de Beauchamp	32	0.4	4.8	1.4	1.3	1.0	32	0.6	5.2	1.3	2.2	1.8	32	3.8	190.7	44.8	13
n°6 : Marnes et caillasses	40	0.7	5.0	1.6	2.6	2.3	40	2.6	5.0	1.1	3.8	3.4	40	6.8	460.2	105.9	34

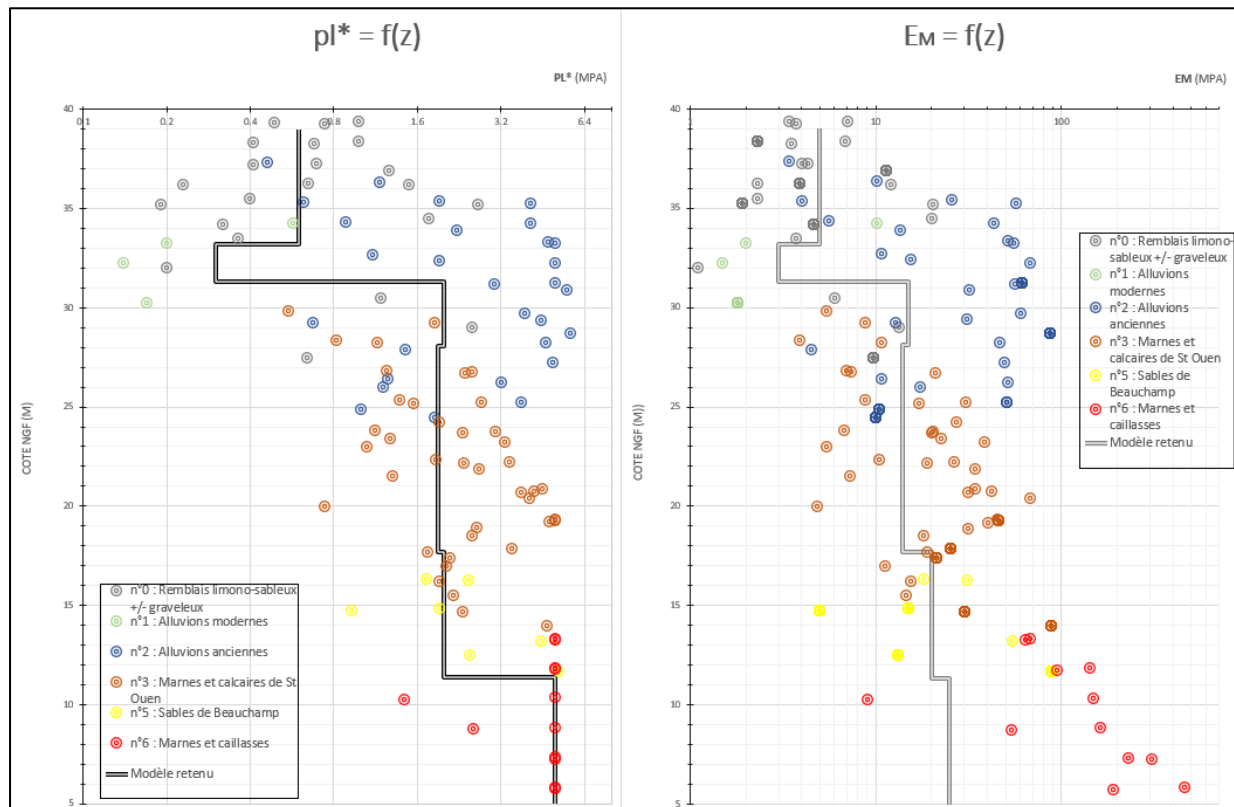
* Moy-0.5ECT : moyenne arithmétique -0.5xEcart type /// pf* : pression de fluage pl* pression limite EM : module pressiométrique

Ces données représentent l'analyse globale des essais pressiométriques sur l'ensemble du site, une analyse par zone est ensuite présentée dans la suite.

Une analyse graphique et statistique a été effectuée en fonction des sondages pressiométriques les plus proches des zones étudiées. Sur chaque graphique, le modèle retenu est celui défini à partir des modèles géotechniques établis dans la partie 4.8.

Zone Trémie :

Sondages analysés : SP1, SP2, SP3, SP3-2 (FONDASOL), SD1/SC2 et SD2/SC2 (HYDROGEOTECHNIQUE)



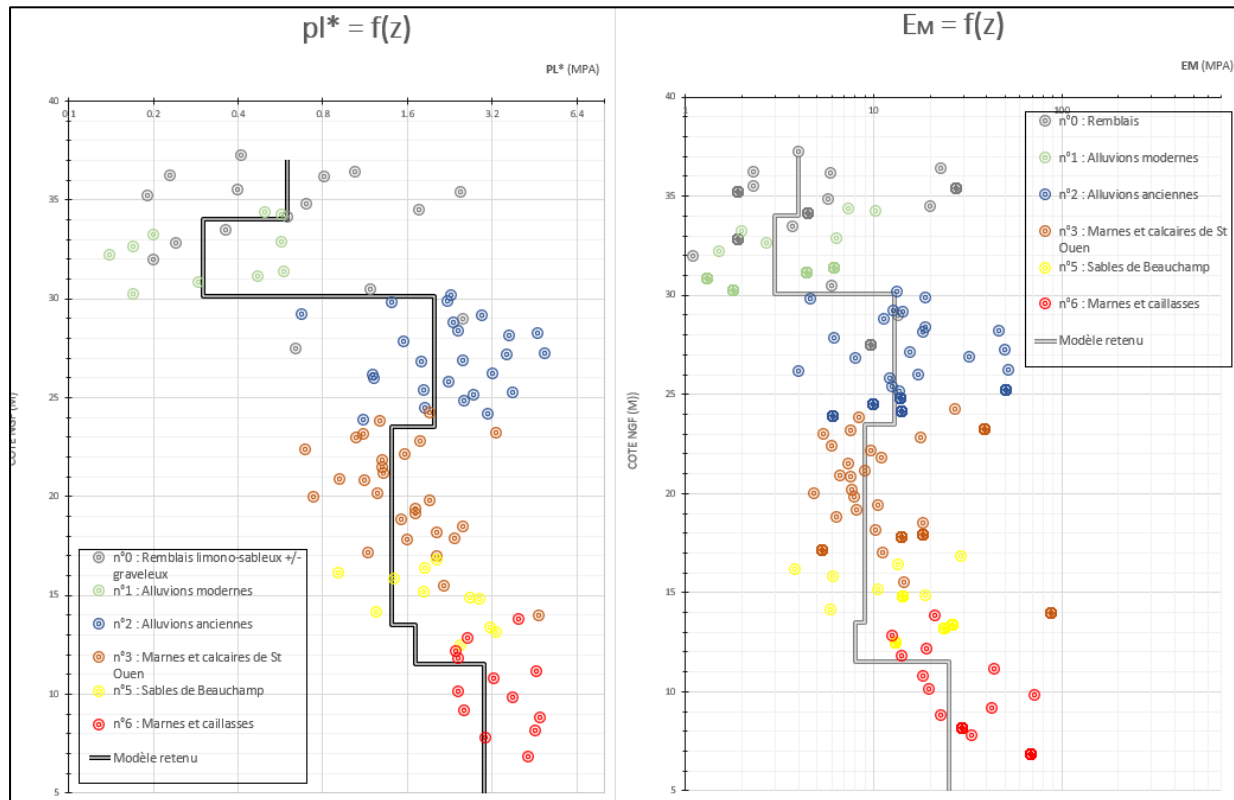
Formation	p_r^* (MPa)		p_l^* (MPa)		E_M (MPa)
	M-0.5ECT	MG	M-0.5ECT	MG	MH
n°0 : Remblais	0.4	0.4	0.6	0.7	4
n°1 : Alluvions modernes	0.1	0.1	0.2	0.2	2
n°2 : Alluvions anciennes	1.4	1.6	2.0	2.3	15
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	1.2	1.4	1.9	2.2	14
n°5 : Sables de Beauchamp	1.1	1.5	2.0	2.4	15
n°6 : Marnes et caillasses	3.9	4.2	4.1	4.5	73

M-0.5ECT : moyenne arithmétique -0.5xEcrat type /// MG : moyenne géométrique /// MH : moyenne harmonique /// p_f^* : pression de fluage p_l^* : pression limite E_M : module pressiométrique

Remarque : On note des données pressiométriques en surface très hétérogènes, s'expliquant par la forte présence de remblais et une exploitation importante de ballastière dans cette zone. Par ailleurs, on observe que la formation des marnes et calcaires de St- Ouen est très disparate lié à son alternance argileuse/marneuse et calcaires.

Zone Giratoire sud :

Sondages analysés : SP3, SP4 (FONDASOL), PR1001, PR1002 (INFRANEO) et SP3-2 (ESIRIS)



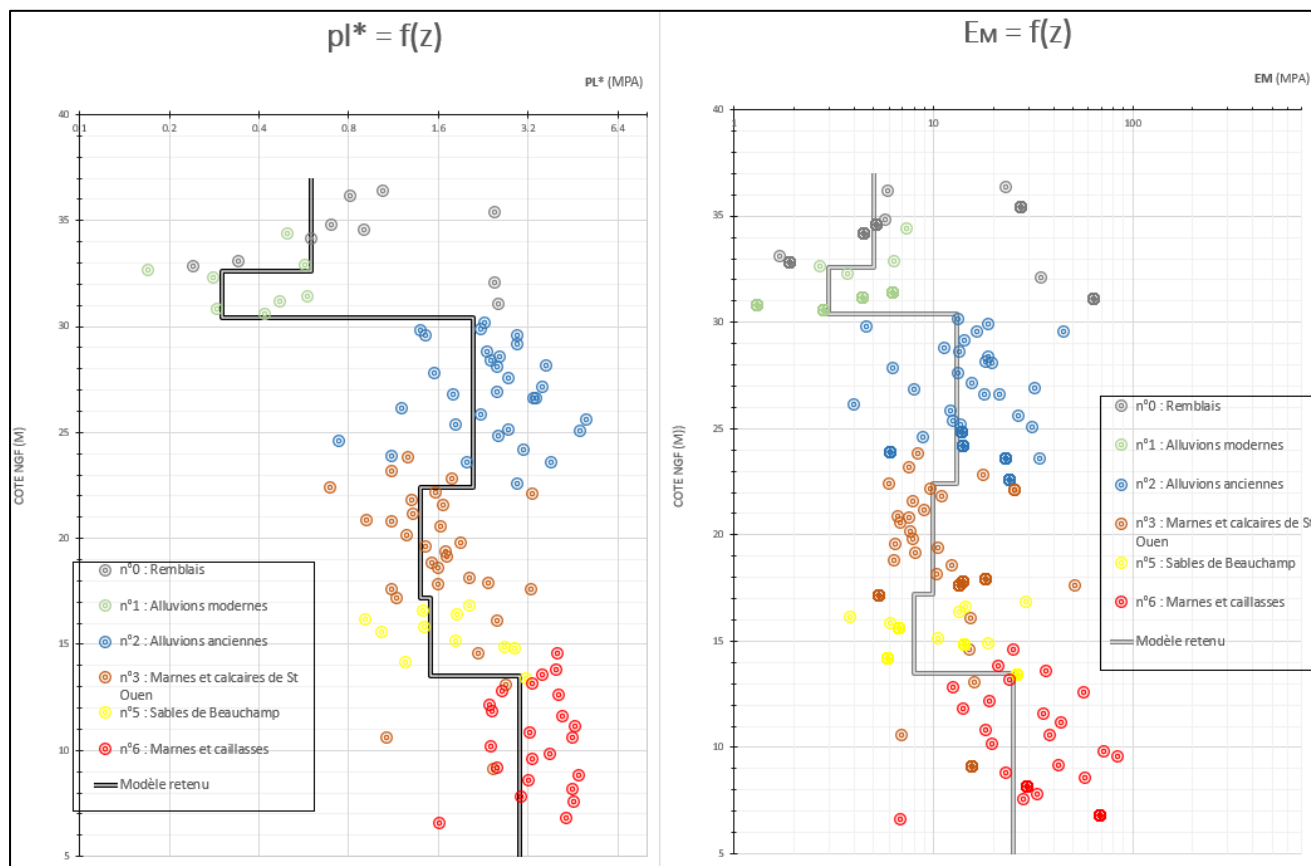
Formation	p_l^* (MPa)		p_l^* (MPa)		E_M (MPa)
	M-0.5ECT	MG	M-0.5ECT	MG	MH
n°0 : Remblais	0.3	0.4	0.5	0.6	4
n°1 : Alluvions modernes	0.1	0.2	0.3	0.3	2.7
n°2 : Alluvions anciennes	1.1	1.3	1.9	2.2	12
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	0.7	1.0	1.3	1.6	9
n°5 : Sables de Beauchamp	0.7	0.9	1.8	2.0	10
n°6 : Marnes et caillasses	1.5	1.7	3.0	3.3	24

M-0.5ECT : moyenne arithmétique -0.5xEcrat type /// MG : moyenne géométrique /// MH : moyenne harmonique /// p_l^* : pression de fluage p_l^* pression limite E_M : module pressiométrique

Remarque : La présence d'essais pressiométriques moins profonds dans cette zone a conduit à compléter l'analyse avec les essais pressiométriques les plus proches, notamment ceux de la zone OA RD10. Par conséquent, la limite entre les marnes et calcaires de Saint-Ouen et les sables de Beauchamp n'est pas clairement identifiable graphiquement à partir des essais pressiométriques réalisés.

Zone OA RD10 :

Sondages analysés : SP4, SP5 (FONDASOL), PR1001, PR1002 et PR1003 (INFRANEO)



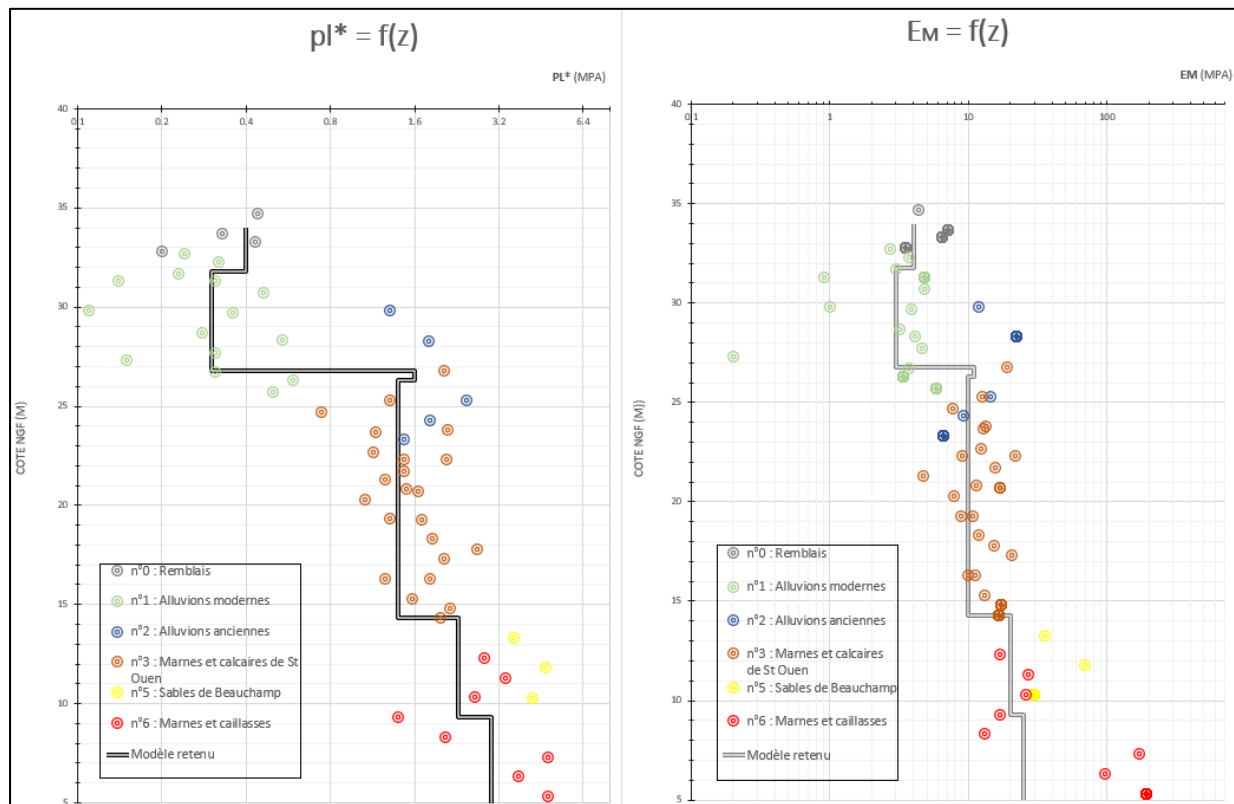
Formation	p_r^* (MPa)		p_l^* (MPa)		E_M (MPa)
	M-0.5ECT	MG	M-0.5ECT	MG	
n°0 : Remblais	0.5	0.6	0.8	0.9	5
n°1 : Alluvions modernes	0.2	0.2	0.3	0.4	3
n°2 : Alluvions anciennes	1.2	1.4	2.1	2.4	13
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	0.8	1.0	1.4	1.6	9
n°5 : Sables de Beauchamp	0.7	0.9	1.5	1.7	9
n°6 : Marnes et caillasses	1.6	1.8	3.1	3.4	25

M-0.5ECT : moyenne arithmétique -0.5xEcrat type /// MG : moyenne géométrique /// MH : moyenne harmonique /// p_f^* : pression de fluage p_l^* : pression limite E_M : module pressiométrique

Remarque : Les données par formation, autour de l'OA RD10, sont globalement homogènes, on n'observe pas de variations particulières.

Zone Giratoire intermédiaire :

Sondages analysés : SP6(FONDASOL), PR1004 (INFRANEO), SP6-2 (ESIRIS)



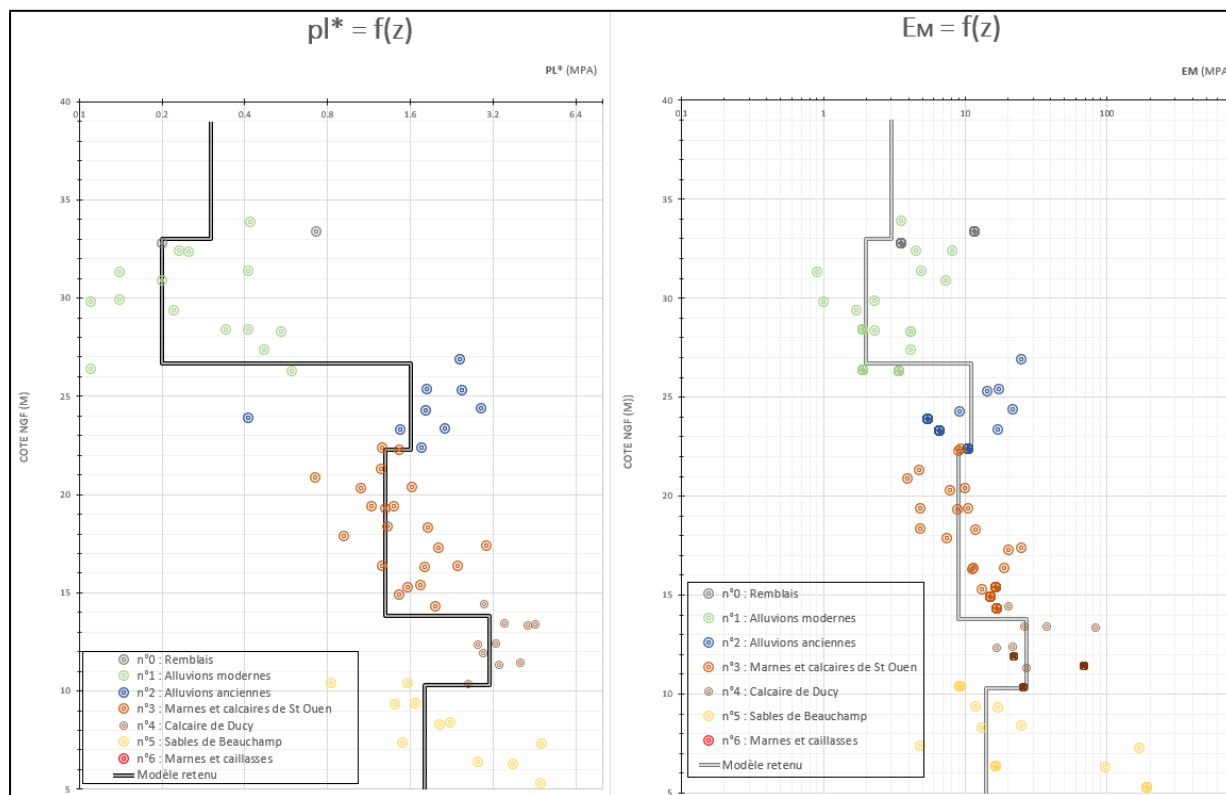
Formation	p_r^* (MPa)		p_l^* (MPa)		E_M (MPa)
	M-0.5ECT	MG	M-0.5ECT	MG	MH
n°0 : Remblais	0.2	0.2	0.3	0.3	5
n°1 : Alluvions modernes	0.2	0.2	0.2	0.3	1.4
n°2 : Alluvions anciennes	0.7	0.8	1.5	1.7	11
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	0.9	0.9	1.5	1.6	11
n°5 : Sables de Beauchamp	2.7	3.2	3.9	4.2	39
n°6 : Marnes et caillasses	1.6	1.9	2.6	3.0	27

M-0.5ECT : moyenne arithmétique -0.5xEcrat type /// MG : moyenne géométrique /// MH : moyenne harmonique /// p_f^* : pression de fluage p_l^* : pression limite E_M : module pressiométrique

Remarque : On observe une forte présence d'alluvions modernes qui surmontent une faible couche d'alluvions anciennes, lié probablement à des anciennes ballastières.

Zone OA du Port :

Sondages analysés : SP 7(FONDASOL), PR1004 et PR1005 (INFRANEO)



Formation	p_l^* (MPa)		p_i^* (MPa)		E_M (MPa)
	M-0.5ECT	MG	M-0.5ECT	MG	
n°0 : Remblais	0.2	0.3	0.3	0.4	5
n°1 : Alluvions modernes	0.2	0.2	0.2	0.3	2
n°2 : Alluvions anciennes	0.8	0.9	1.6	1.7	11
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	0.7	0.8	1.3	1.5	9
n°4 : Calcaire de Ducy	1.8	2.1	3.1	3.4	27
n°5 : Sables de Beauchamp	1.1	1.4	1.8	2.2	14

M-0.5ECT : moyenne arithmétique -0.5xEcrat type /// MG : moyenne géométrique /// MH : moyenne harmonique /// p_l^* : pression de fluage p_i^* : pression limite E_M : module pressiométrique

Remarque : Même observation qu'au droit de la zone du giratoire intermédiaire : cette zone est caractérisée par une forte présence d'alluvions modernes (environ 7m d'épaisseur). Par ailleurs, la présence du calcaire de Ducy a pu être observée, reconnaissable par des valeurs pressiométriques plus élevés.

4.5. Analyse graphique des sondages CPT et CPTu

Les sondages CPT et CPTu permettent de caractériser les horizons en fonction de la profondeur notamment à l'aide des paramètres comme le frottement latéral (f_s), la résistance en pointe (q_c) et le rapport de frottement (R_f). Les sondages ont permis d'analyser les trois premières formations du site : les remblais (n°0), les alluvions modernes (n°1) et les alluvions anciennes (n°2).

A l'aide de la méthode de Robertson, on a pu comparer les différents essais CPT et CPTu avec le type de comportement des sols. L'indice du comportement de sol I_c , défini par Robertson, fournit une indication sur le type de sol en fonction de la profondeur (sable, limon, argile, etc.), il dépend de la résistance de pénétration du cône Q_t et du rapport de frottement normalisé Fr .

$$I_c = ((3.47 - \log Q_t)^2 + (\log Fr + 1.22)^2)^{0.5}$$

Avec :

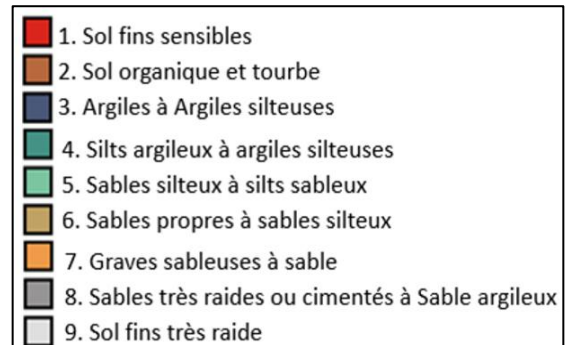
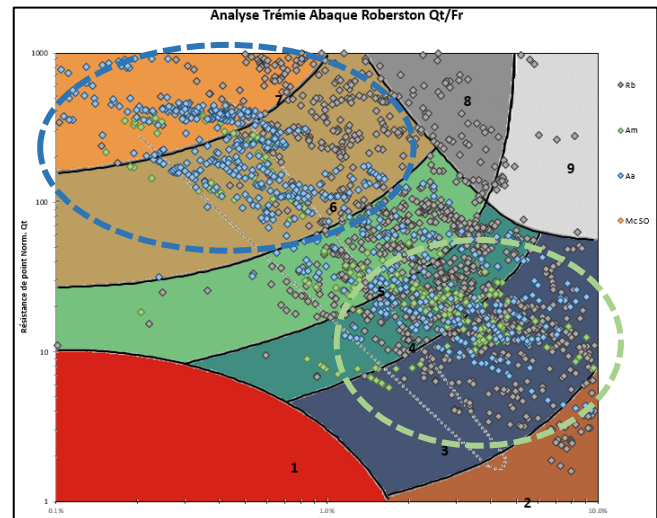
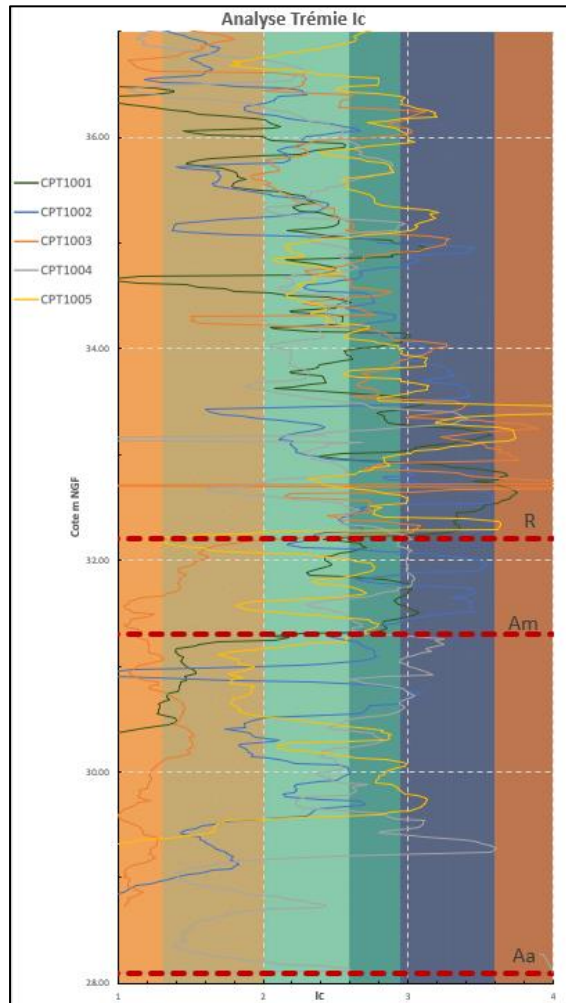
- Q_t : La résistance de pointe normalisée
- Fr : Le rapport frottement normalisé $Fr = f_s / (q_t - \sigma_{v0}) * 100$, exprimé en %,

De plus, les sondages au pénétromètre statique seront analysés à l'aide des deux abaques de Robertson :

- L'abaque Q_t en fonction de Fr
- L'abaque Q_t en fonction de B_q (rapport de pression interstielle) utilisable pour les CPTu.

Zone Trémie :

Sondages analysés : CPT1001, CPT1002, CPT1005, CPT1004, CPT1005 (INFRANEO)



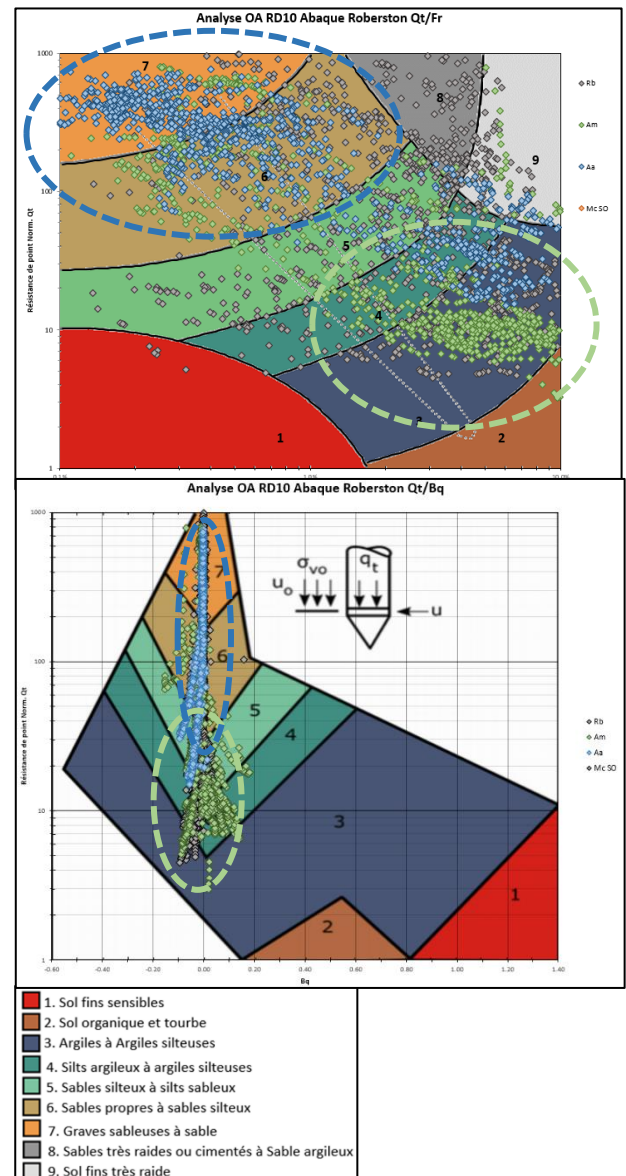
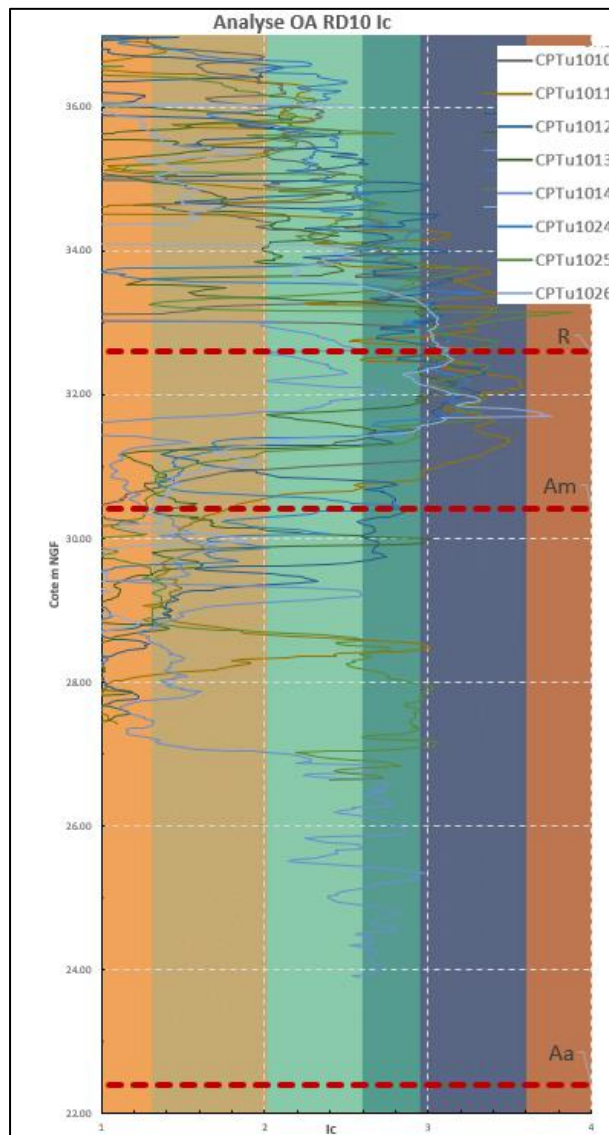
Remarque : Les limites des formations correspondent au modèle lithologique retenu pour la zone (voir partie 4.9) Les sondages au pénétromètre statique ne permettent pas toujours de distinguer la présence de remblais. En revanche, les sondages à la pelle et les sondages carottés facilitent cette identification, notamment en révélant la présence d'hydrocarbures dans cette zone. C'est pourquoi une disparité est observée dans l'analyse graphique au niveau de la base des remblais.

On observe dans cette zone :

- La formation remblais présentent un comportement très hétérogène, variant de sableux à argileux,
- Les alluvions modernes se composent principalement d'argiles +/- silteuses (limoneuses),
- Tandis que les alluvions anciennes affichent un comportement sableux et graveleux, avec des horizons supérieurs constitués majoritairement de sables silteux.

Zone OA RD10 :

Sondages analysés : CPTu1010, CPTu1011, CPTu1012, CPTu1013, CPTu1014, CPTu1024, CPTu1025 et CPTu1026 (INFRANEO)



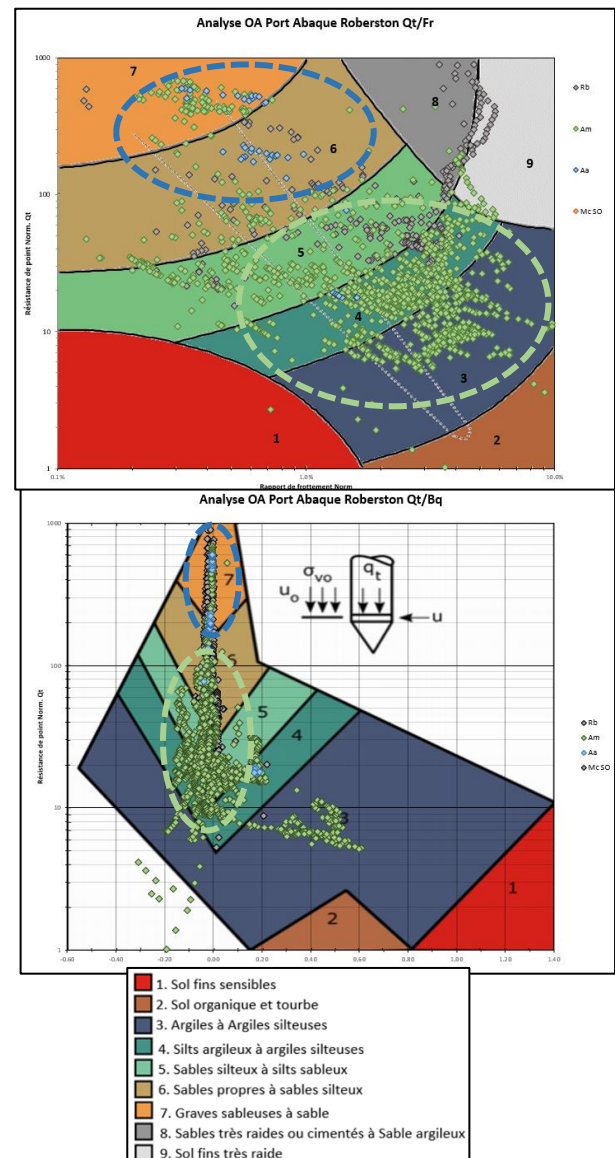
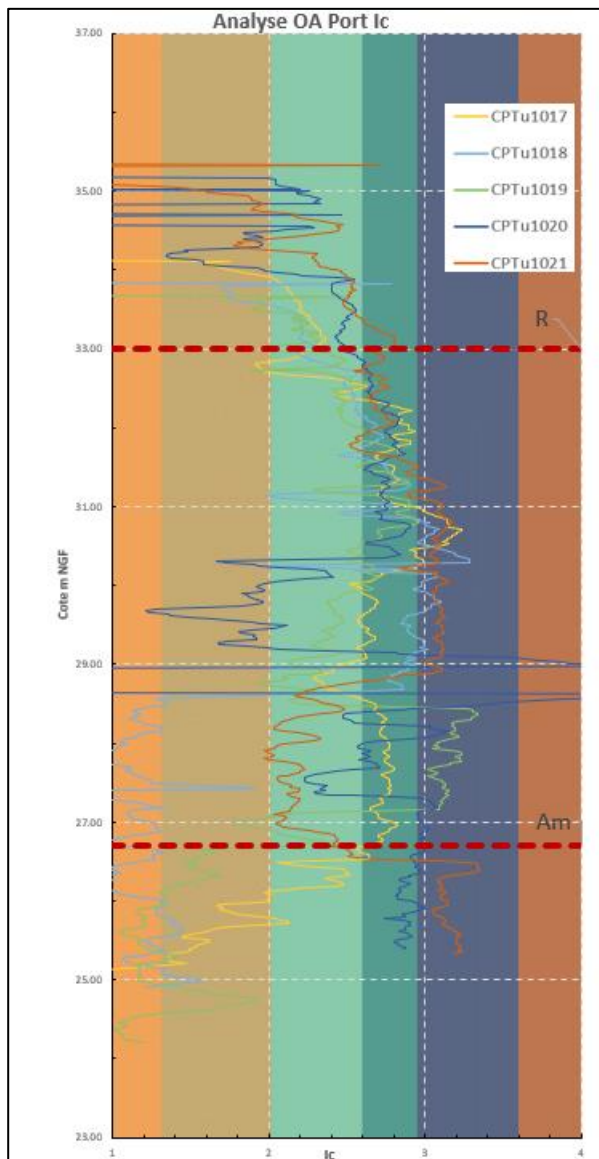
Remarque : Les limites des formations correspondent au modèle lithologique retenu pour la zone (voir partie 4.9) Les sondages au pénétromètre statique ne permettent pas toujours de distinguer la présence de remblais.

On observe dans cette zone :

- La formation remblais présentent un comportement très hétérogène, variant de sableux à argileux,
- Les alluvions modernes se composent principalement d'argiles +/- silteuses avec une légère tendance sableuse,
- Tandis que les alluvions anciennes affichent un comportement sableux et graveleux, avec un horizon limono-sableux sur quelques mètres.

Zone OA du Port :

Sondages analysés : CPTu1010, CPTu1011, CPTu1012, CPTu1013, CPTu1014, CPTu1024, CPTu1025 et CPTu1026 (INFRANEO)



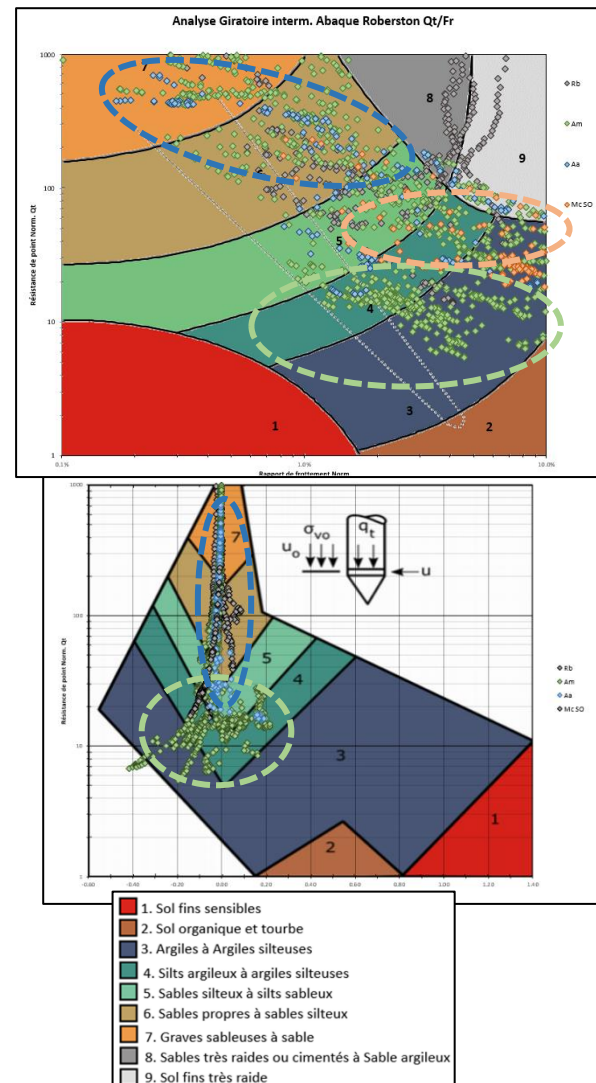
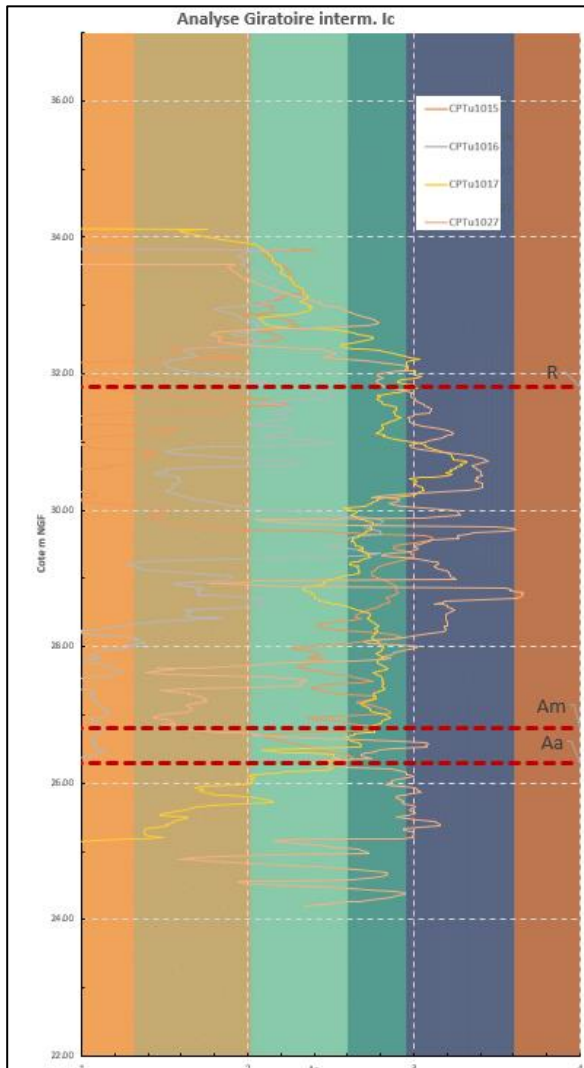
Remarque : Les limites des formations correspondent au modèle lithologique retenu pour la zone (voir partie 4.9) Les sondages au pénétromètre statique ne permettent pas toujours de distinguer la présence de remblais.

On observe dans cette zone :

- La formation remblais présentent un comportement de sableux à silteux,
- Les alluvions modernes sont présentes sous une grande hauteur (environ 7m) et se composent principalement d'argiles +/- silteuses avec une légère tendance sableuse à sa base,
- Tandis que les alluvions anciennes ont peu été investigués dans cette zone et affichent un comportement sableux et graveleux.

Zone Giratoire intermédiaire :

Sondages analysés : CPTu1015, CPTu1016, CPTu1017, CPTu1027 (INFRANEO)



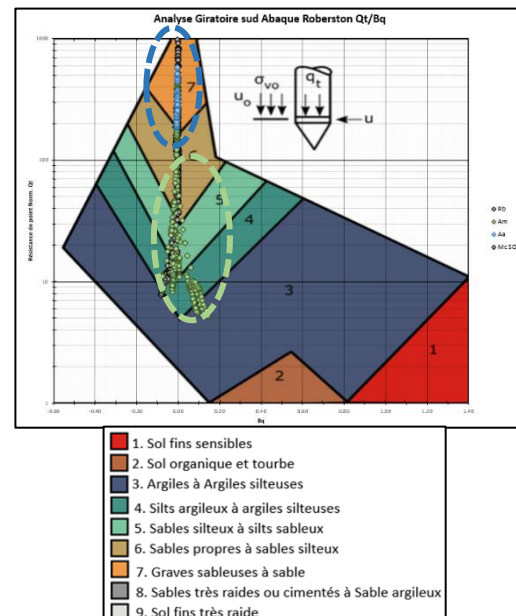
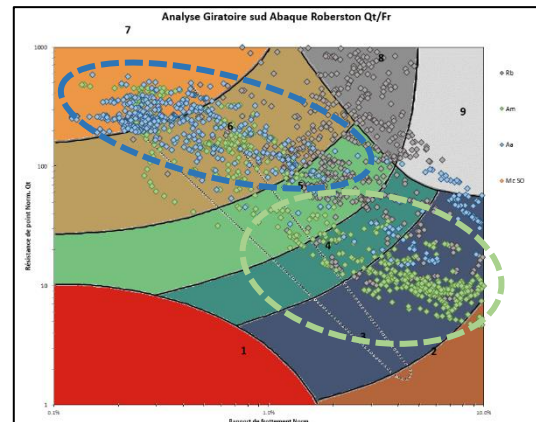
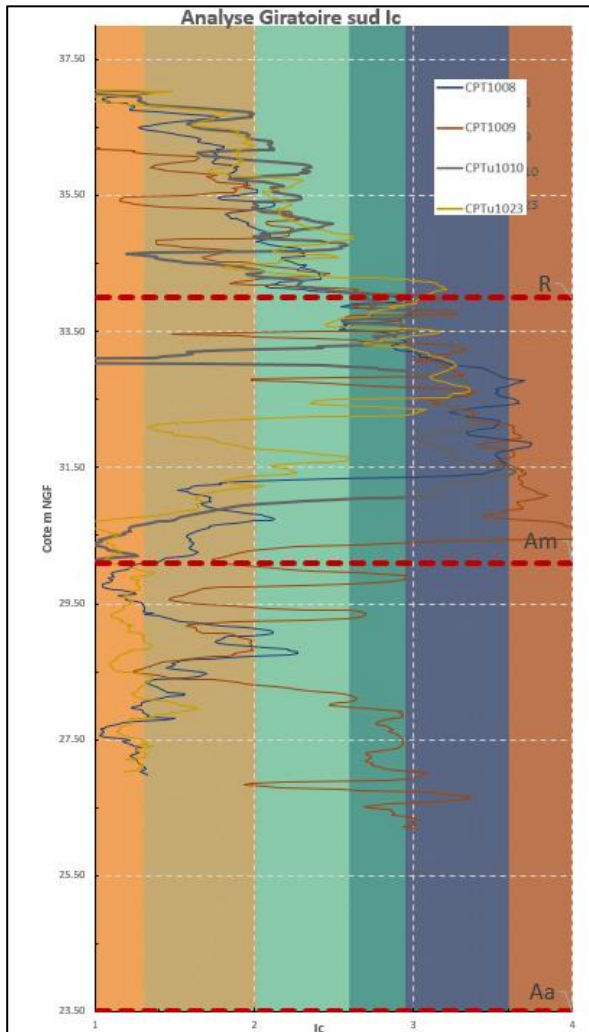
Remarque : Les limites des formations correspondent au modèle lithologique retenu pour la zone (voir partie 4.9) Les sondages au pénétromètre statique ne permettent pas toujours de distinguer la présence de remblais.

On observe dans cette zone :

- La formation remblais présentent un comportement de sableux à silteux,
- Les alluvions modernes sont présentes sous une hauteur d'environ 5m et se composent principalement d'argiles +/- silteuses avec une légère tendance sableuse à sa base,
- Tandis que les alluvions anciennes ont peu été investigués dans cette zone et affichent un comportement sableux et graveleux légèrement silteux.

Zone Giratoire sud :

Sondages analysés : CPT1008, CPT1009, CPTu1010, CPTu1023 (INFRANEO)



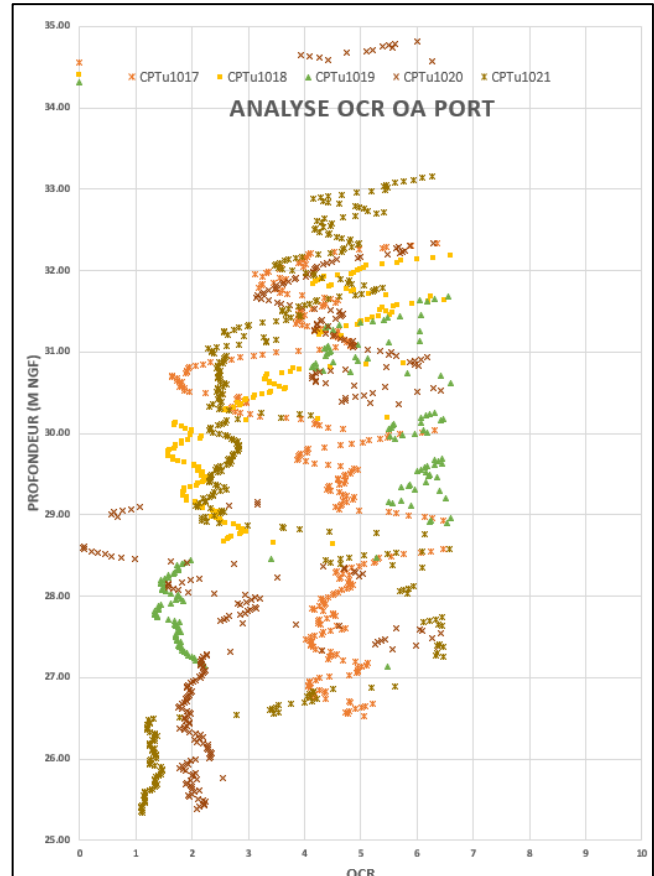
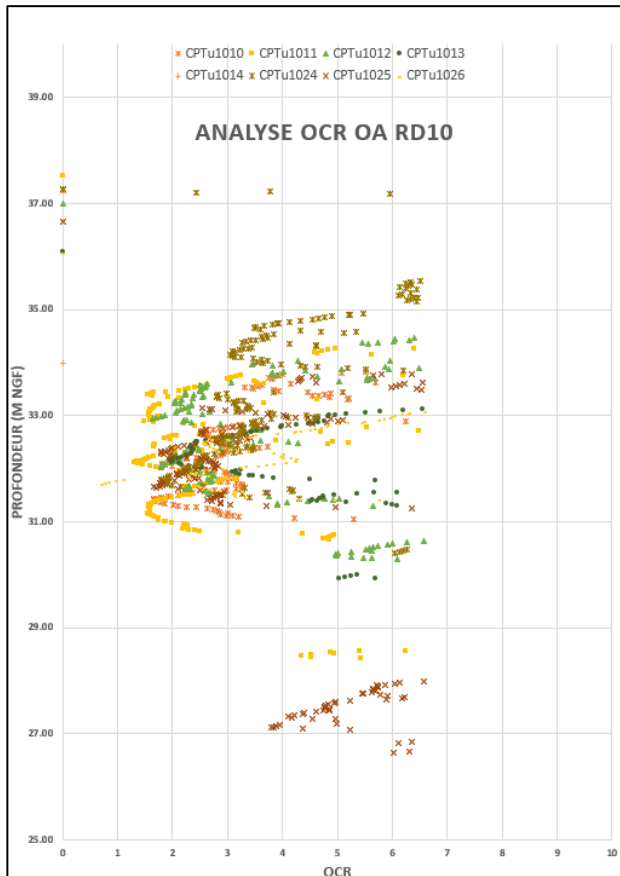
Remarque : Les limites des formations correspondent au modèle lithologique retenu pour la zone (voir partie 4.9) Les sondages au pénétromètre statique ne permettent pas toujours de distinguer la présence de remblais.

On observe dans cette zone :

- La formation remblais présentent un comportement de sableux à silteux sur une épaisseur de 3m,
- Les alluvions modernes sont présentes sous une hauteur d'environ 4-5m et se composent principalement d'argiles avec des passages tourbeux,
- Les alluvions anciennes dans cette zone affichent un comportement sableux et graveleux.

Les graphiques ci-après présente les OCR calculés sur les zones OA RD10 et OA du Port selon Robertson. Dans la majorité des cas, les alluvions modernes à tendance « argileuses » ont un OCR entre 1.0 à 1.5, dans un domaine dit normalement consolidé à surconsolidé.

Nous retiendrons dans la suite de notre étude des sols **normalement consolidé**.



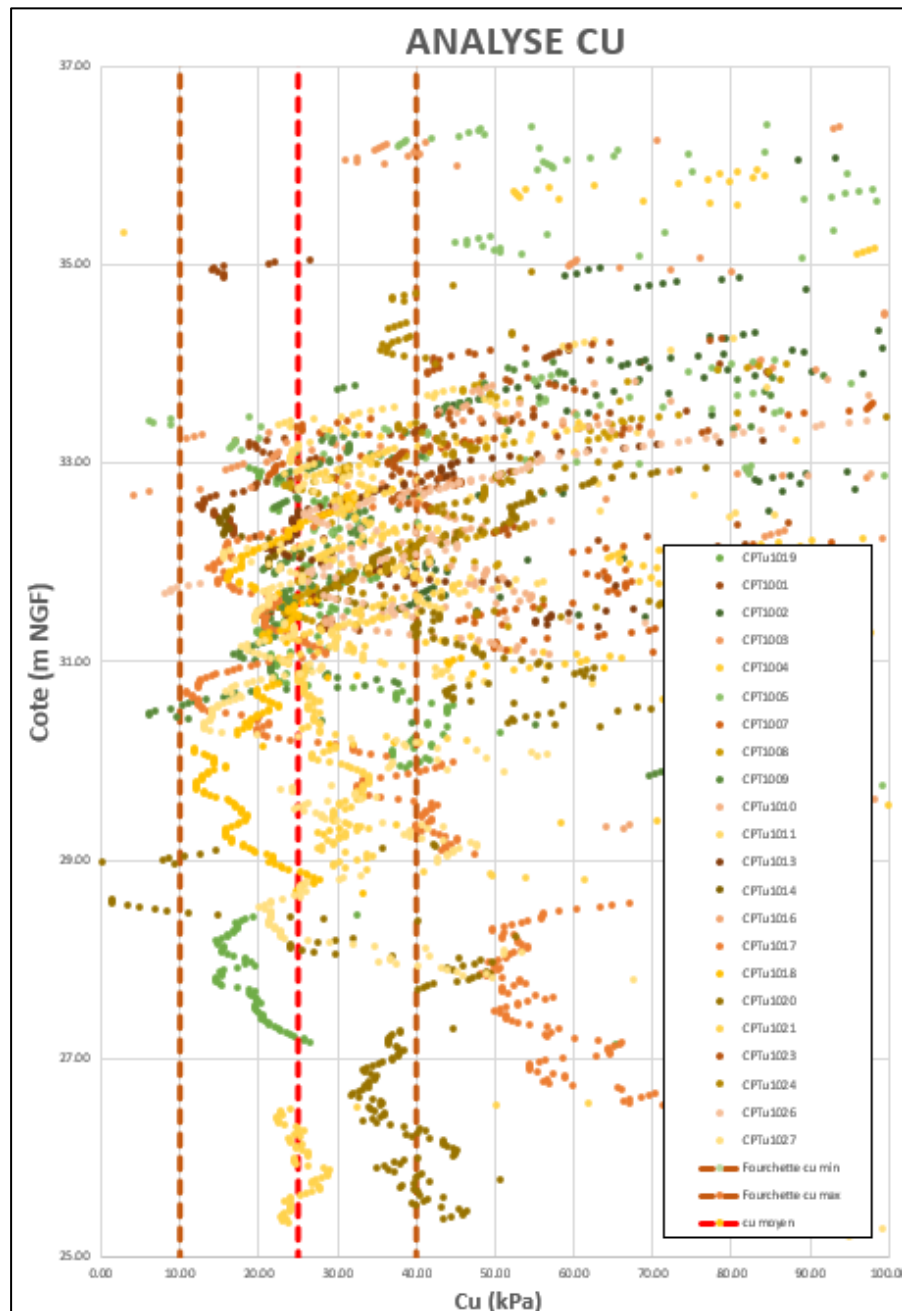
A partir des mesures du CPT et du CPTu, il est possible, via des corrélations, d'approcher pour des sols fins :

- La cohésion non drainée :

$$c_u = \frac{q_t - \sigma_v}{N_{kt}}$$

Avec N_{kt} un coefficient fixé à 14 (mesure calée en fonction des résultats des essais triaxiaux UU).

A partir de ces corrélations, les valeurs de cohésion non drainée obtenues ont été tracées pour quelques CPT/CPTu :



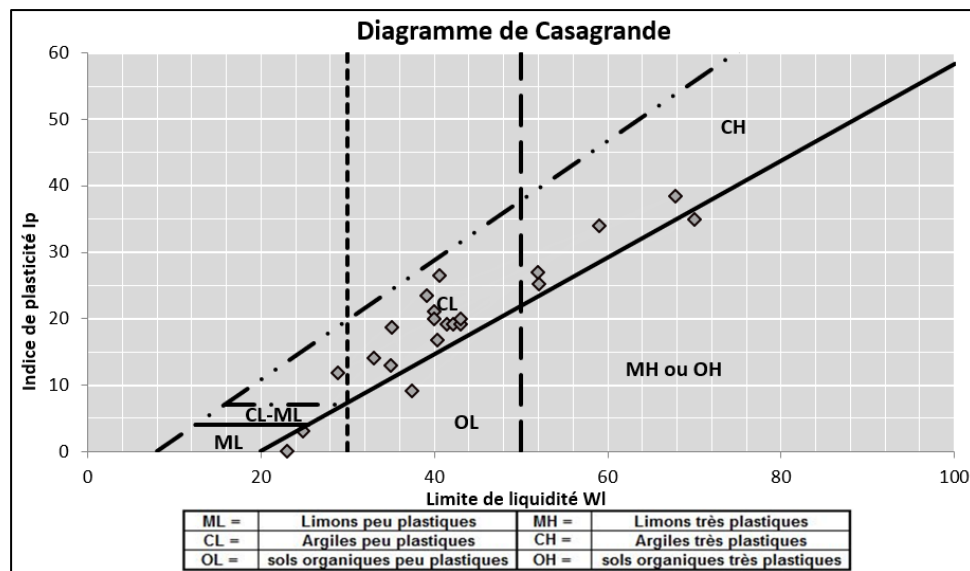
On constate des cohésions non drainées c_u entre **10 et 40 kPa** dans les faciès argileux/limoneux du site. La moyenne de c_u se trouve autour de **25 kPa**, cette valeur est retenue dans la suite de l'étude.

4.6. Caractéristiques physiques des sols

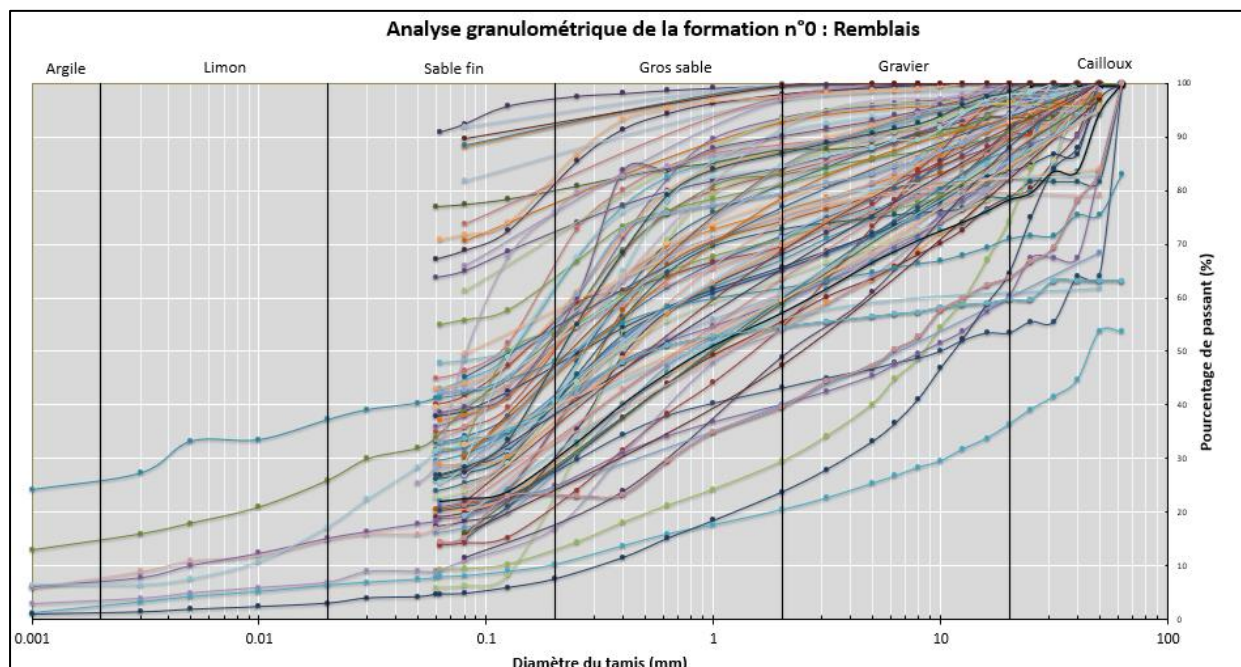
4.6.1. Diagramme de Casagrande et analyse granulométrique/sédimentométrique

Les résultats des essais de laboratoire réalisés sont détaillés dans les tableaux suivants par formation :

Remblais :

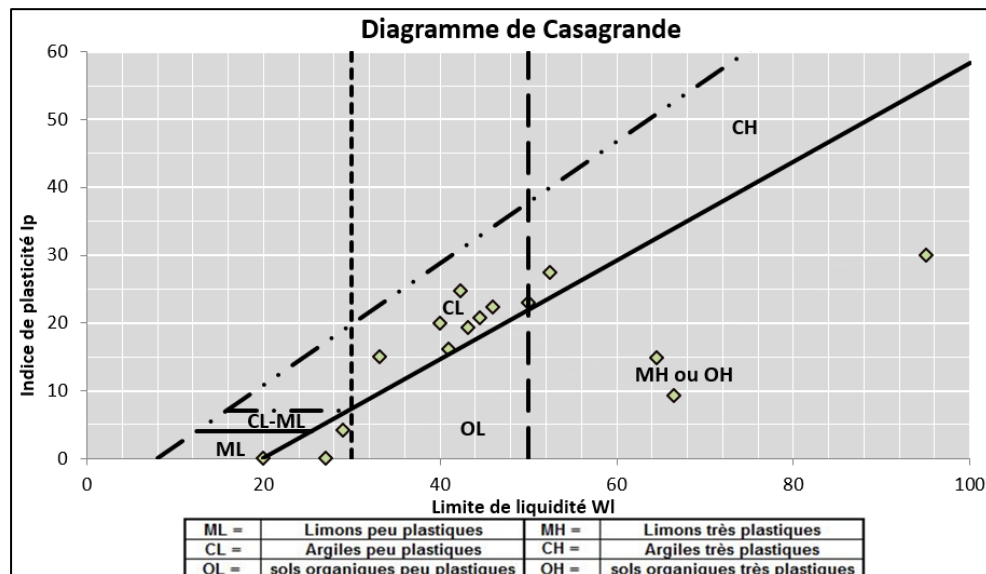


Légende : WL : Limite de liquidité /// IP : Indice de Plasticité

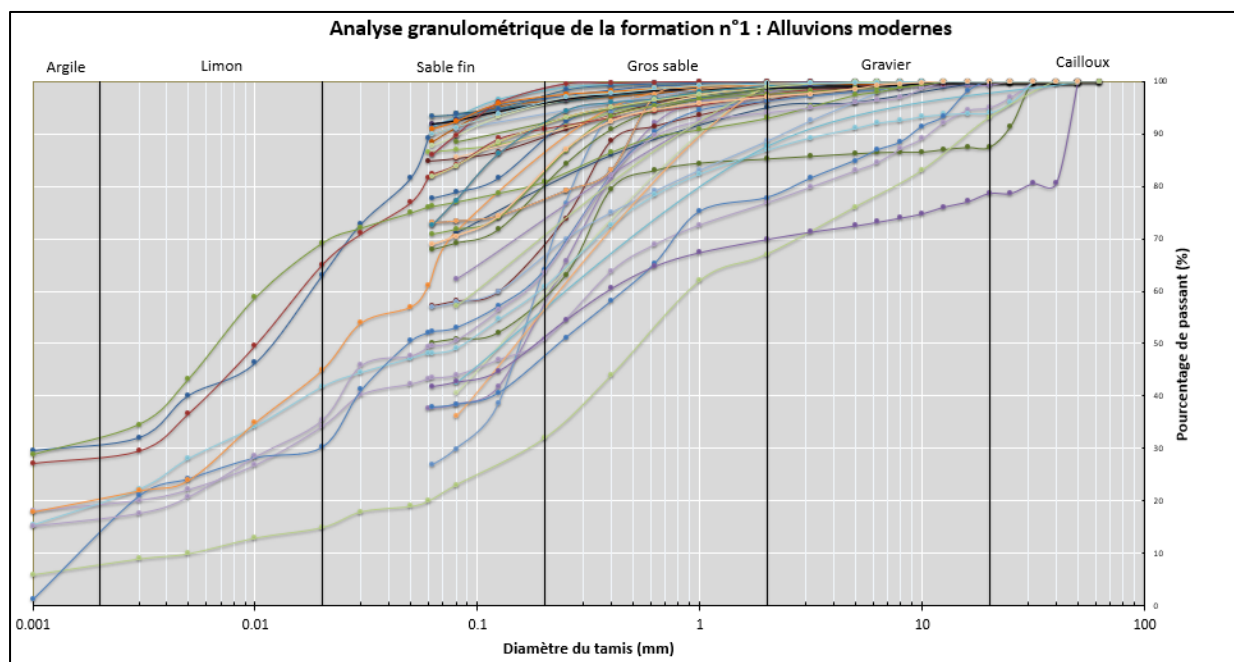


On note des remblais très hétérogènes avec des courbes granulométriques / sédimentométriques à tendance principalement sableux fins, et argilo-limoneux. La proportion d'argile et de limon est variable dans les remblais, ils ont essentiellement un comportement « d'argiles peu plastiques » selon l'abaque de Casagrande.

Alluvions modernes :

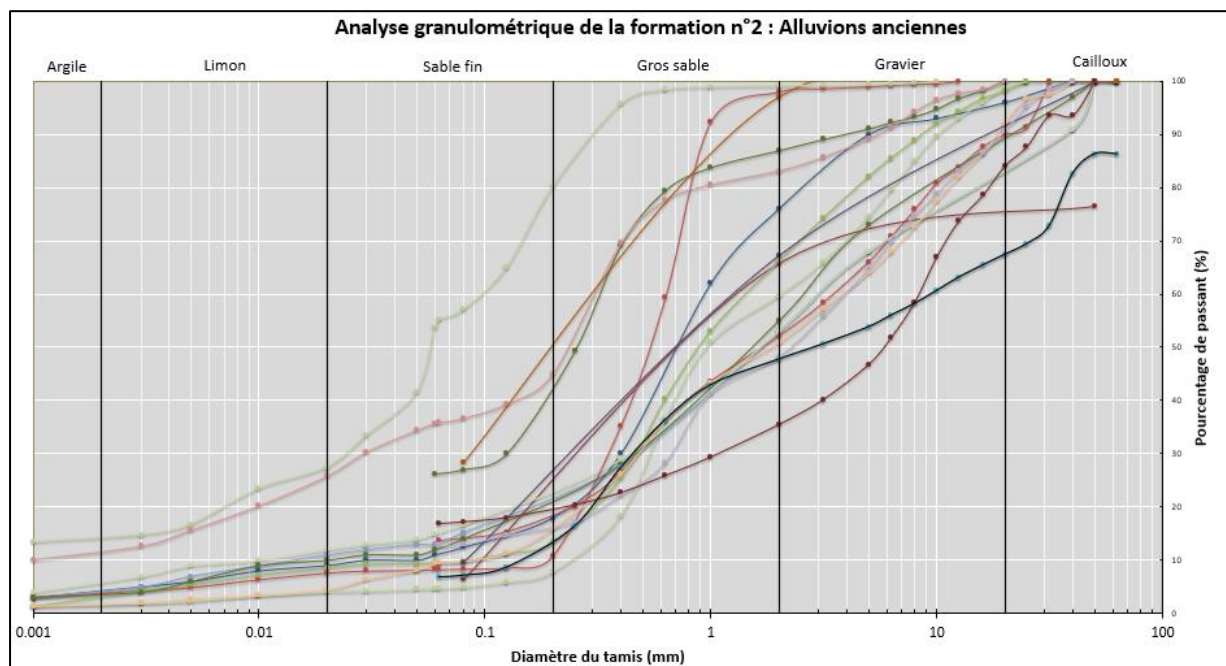


Légende : WL : Limite de liquidité /// IP : Indice de Plasticité



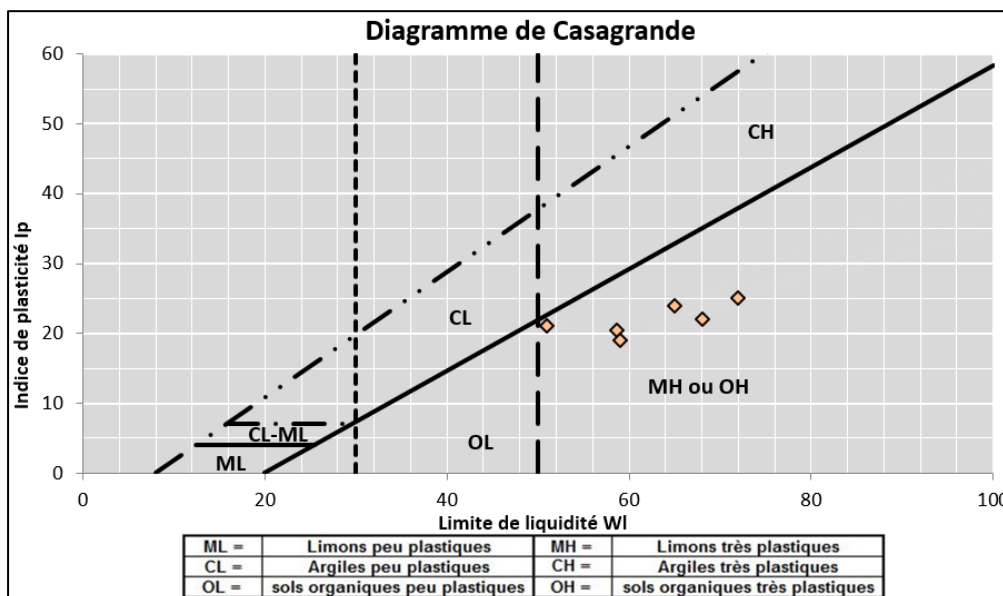
Les courbes granulométriques/sédimentométriques confirment le caractère argileux/limoneux des alluvions modernes. L'abaque de Casagrande nous informe sur un comportement argileux/limoneux « peu plastique » de ces sols.

Alluvions anciennes :

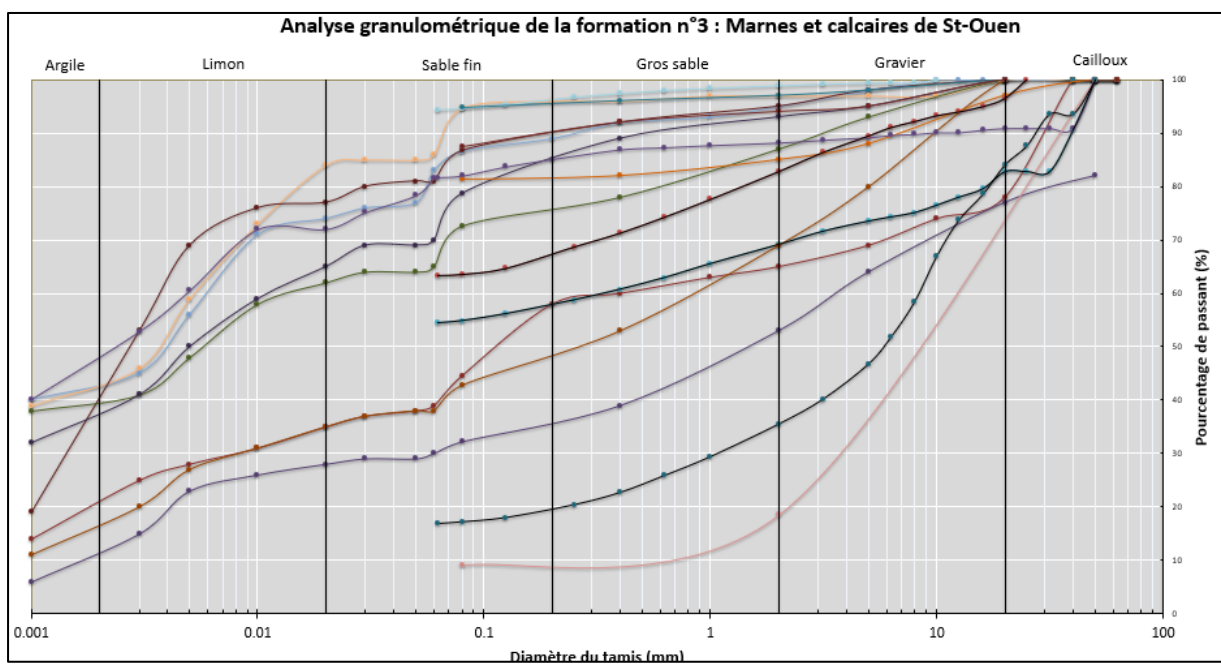


L'analyse granulométrique des alluvions anciennes nous renseigne sur leur structure principalement sableuse et graveleuse.

Marnes et calcaires de St-Ouen :

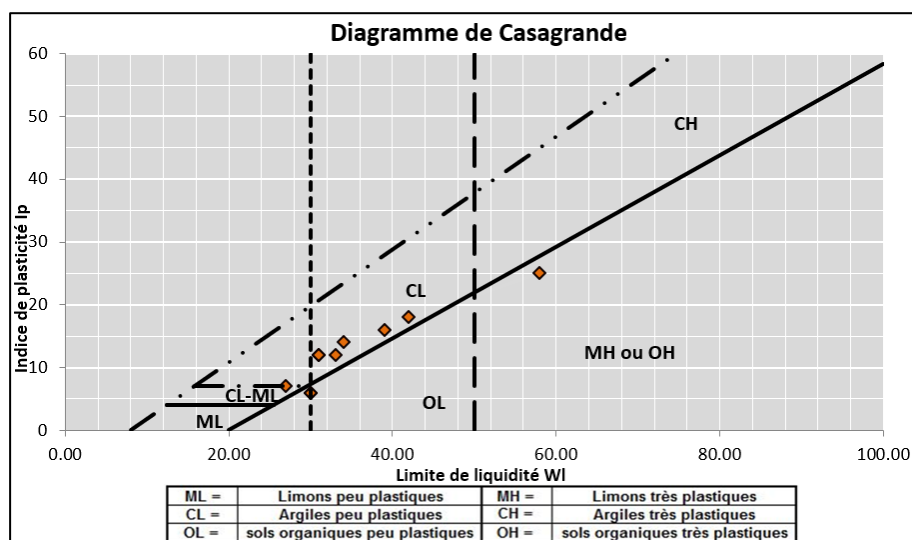


Légende : W_L : Limite de liquidité /// I_p : Indice de Plasticité

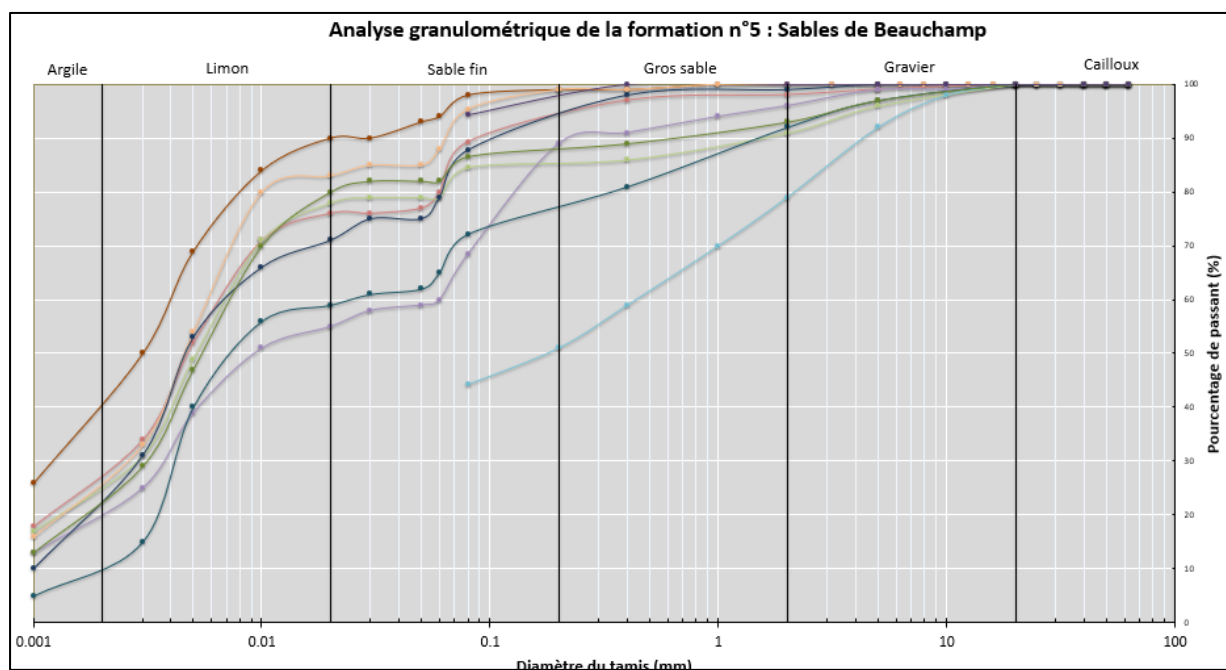


Les marnes et calcaires de St-Ouen montrent des sols principalement limoneux peu plastiques dans les faciès marneux. On note que les marnes ont une structure argilo-limoneuse au niveau des courbes granulométriques.

Sables de Beauchamp :



Légende : Wl : Limite de liquidité /// IP : Indice de Plasticité



Les sables de Beauchamp sont constitués principalement d'argiles et limons peu plastiques selon l'abaque de Casagrande et l'analyse granulométrique.

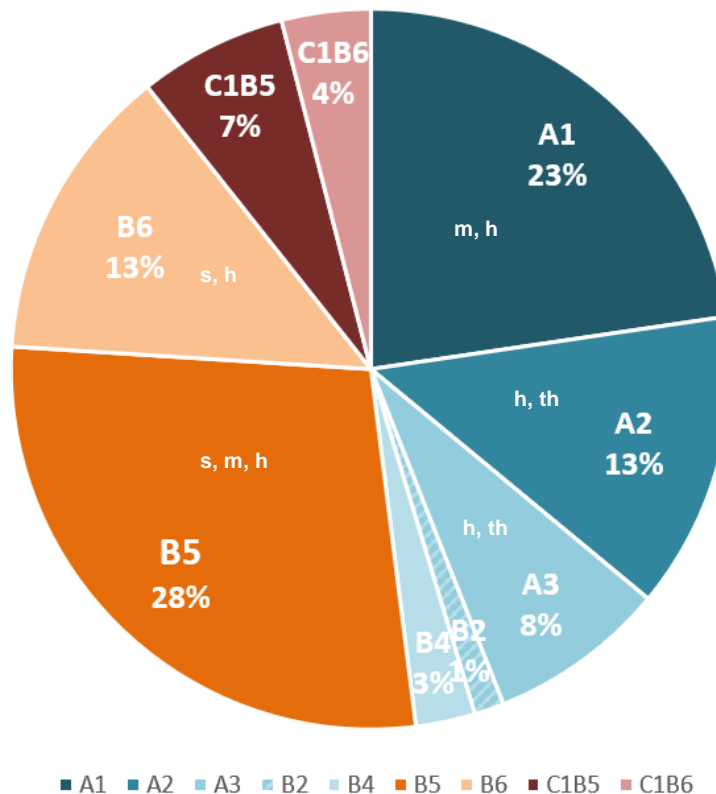
4.6.2. Analyse GTR

Une analyse GTR a été effectuée au droit de chaque formation investiguée selon la norme NF P 11-300.

Formation n°0 : Remblais

L'analyse à l'échelle globale du projet, souligne l'hétérogénéité de cette couche.

Formation n°0 - 75 Classifications selon le GTR



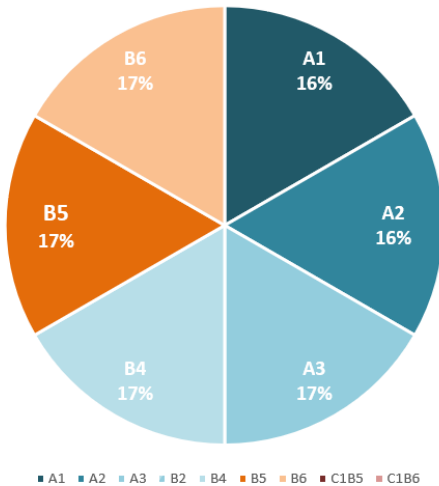
Avec :

- **A1** : Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques, ...
- **A2** : Sables fins argileux, limons argileux et marnes peu plastiques, arènes, ...
- **A3** : Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques, ...
- **B1** : Sables silteux, ...
- **B2** : Sables argileux (peu argileux), ...
- **B3** : Graves silteuses, ...
- **B4** : Graves argileuses (peu argileuses), ...
- **B5** : Sables et graves très silteux, ...
- **B6** : Sables et graves argileux à très argileux
- **C1B5/C1B6** : Argiles à silex, argiles à meulrières, éboulis, moraines, alluvions grossières, ... avec $D_{max} > 50 \text{ mm}$
- **Etat hydrique** : **ts** : très sec, **s** : sec, **m** : moyen, **h** : humide, **th** : très humide

Les sols ont des états hydriques allant de sec à très humide, en particulier les fines sont dans un état hydrique majoritairement humide à très humide, les sols sableux ont un état hydrique moyen et sec.

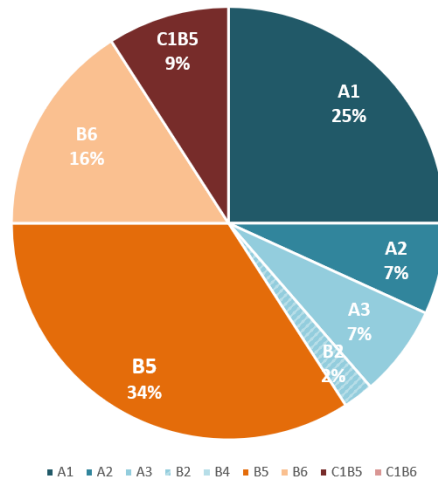
En décomposant par zone l'horizon de remblais, on trouve les résultats ci-dessous :

Formation n°0 - 6 Classifications selon le GTR



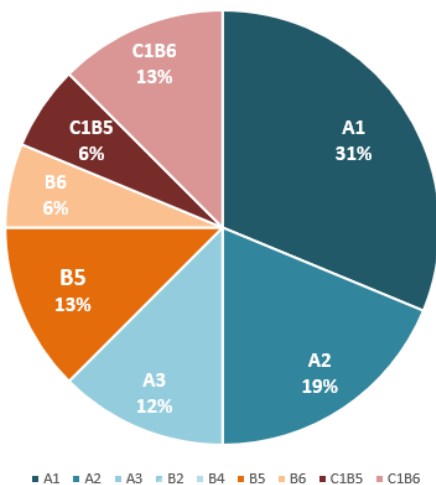
Trémie sud

Formation n°0 - 44 Classifications selon le GTR



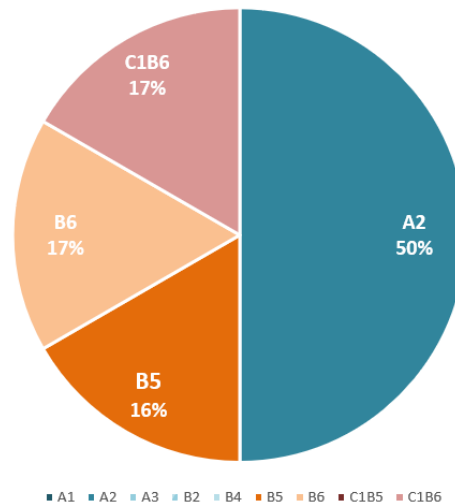
Trémie nord et Giratoire sud

Formation n°0 - 16 Classifications selon le GTR



OA RD10

Formation n°0 - 6 Classifications selon le GTR



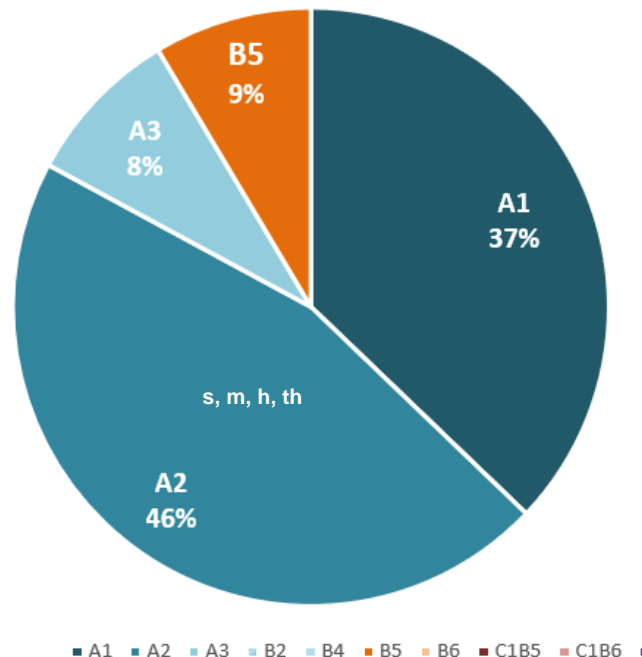
OA du port et giratoire intermédiaire

Au niveau de la trémie nord et du giratoire sud, on s'aperçoit que la majorité des remblais ont un comportement B5 et B6 se traduisant par des faciès sableux très limoneux ou argileux.

Formation n°1 : Alluvions modernes

Les alluvions modernes sont essentiellement constituées d'éléments fins regroupés dans les classes GTR A1, A2 et A3. L'état hydrique de cette formation a été observé dans des conditions humides à très humides.

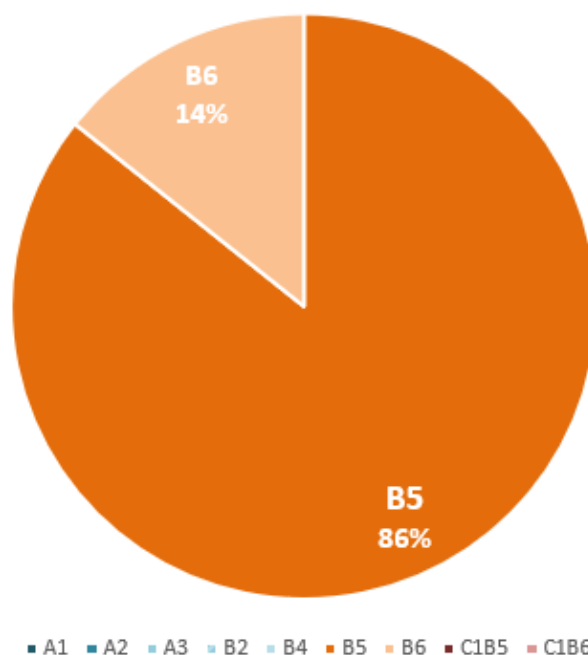
Formation n°1 - 35 Classifications selon le GTR



Formation n°2 : Alluvions anciennes

Les alluvions anciennes sont principalement constitués d'éléments sableux et graveleux avec une proportion +/- importantes de fines, la classe GTR majoritaire est **B5**.

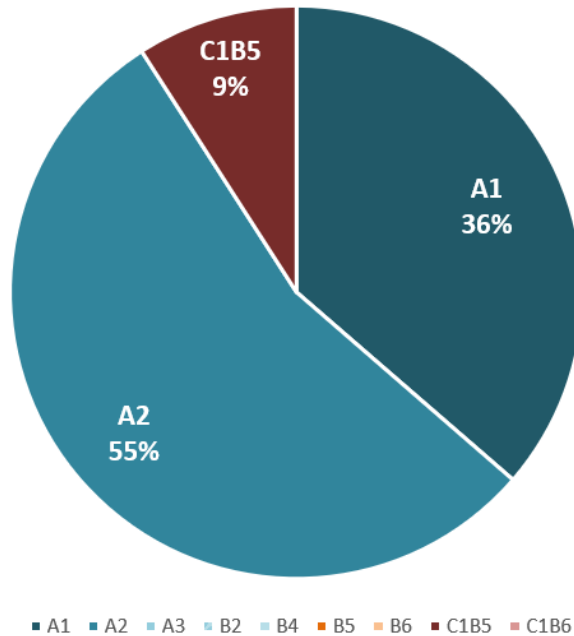
Formation n°2 - 7 Classifications selon le GTR



Formation n°3 : Marnes et calcaires de St-Ouen

Dans cette formation, la partie marneuse révèle une classification A2, A1, traduisant un comportement de sols fins à sols sableux fins.

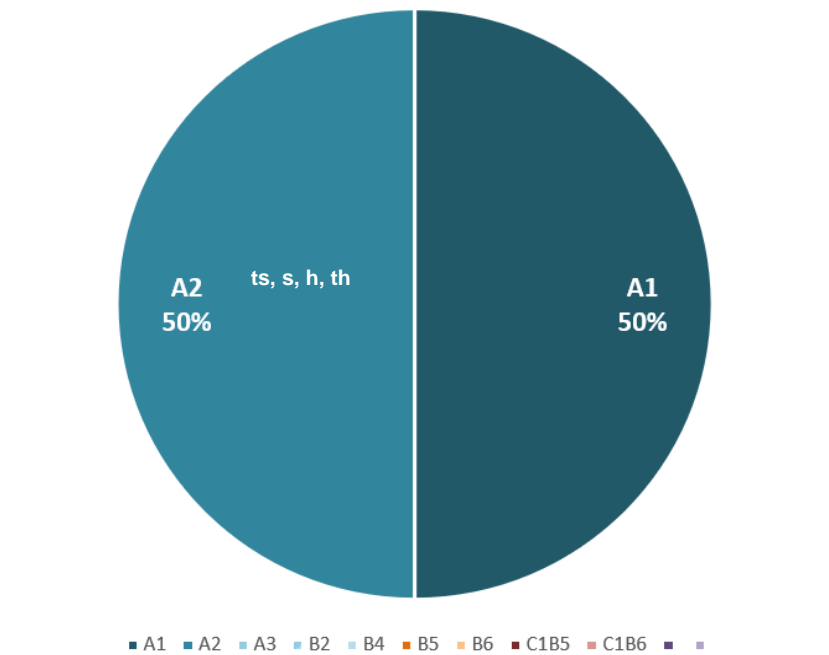
Formation n°3 - 11 Classifications selon le GTR



Formation n°5 : Sables de Beauchamp

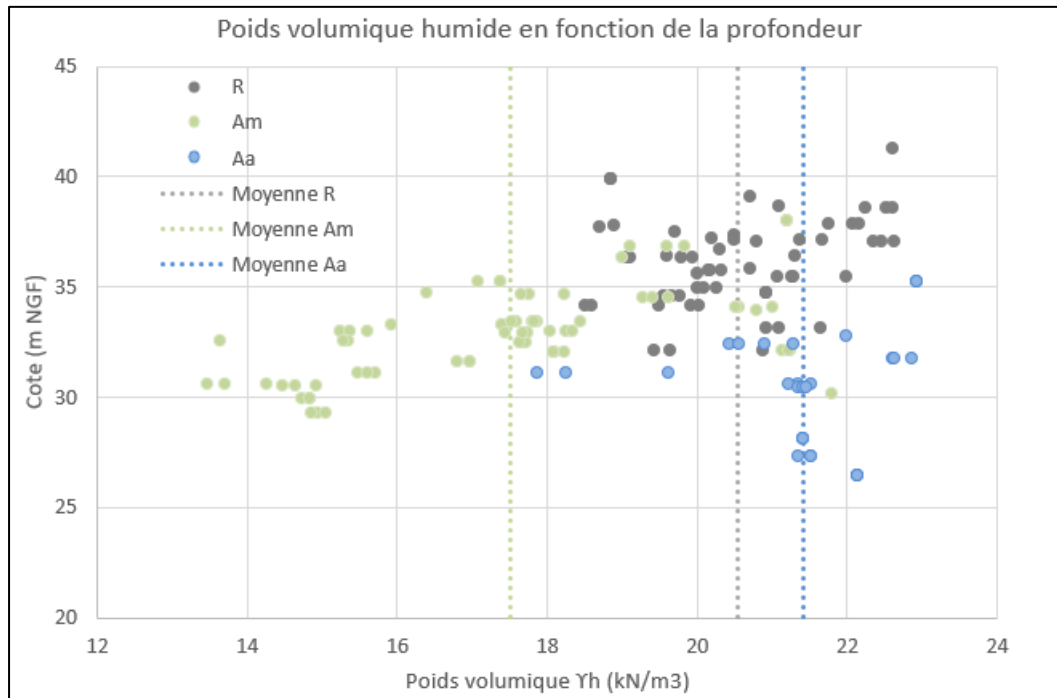
Les sables de Beauchamp ont un comportement à sols fins argileux à limoneux classés en A2 et A1 selon le GTR.

Formation n°5 - 8 Classifications selon le GTR



4.6.1. Poids volumique

Une analyse statistique a été réalisée sur les poids volumique au droit de chaque formation, les résultats sont les suivants :



	Formation	n°0 : R	n°1 : Am	n°2 : Aa	n°3 : McSo	n°4 : SB
γ_h (kN/m ³)	min	18.5	13.5	17.87	14.0	18.8
	max	22.6	21.8	22.9	23.7	18.8
	moyenne	20.5	17.5	21.4	17.9	-
γ_d (kN/m ³)	min	14.2	6.0	12.55	8.1	13.1
	max	20.6	19.2	21.2	21.3	19.3
	moyenne	17.5	12.8	18.6	13.9	17.4

Avec : γ_h : Poids volumique humide /// γ_d : Poids volumique sec

4.6.2. Teneur en eau

Les teneurs en eau naturelle des échantillons sont regroupés dans le tableau suivant par formation :

Teneur en eau naturelle w_N (%)					
Formation	Nb	Moyenne	Ecart type	Min	Max
R	127	19.4	10.4	3.3	66.3
Am	92	39.4	27.0	7.7	130.0
Aa	33	14.1	8.6	6.6	42.3
McSo	30	38.0	12.3	18.6	81.1
SB	16	20.7	3.4	15.2	27.1
Mc	2	28.1	4.0	25.2	30.9

4.6.3. Essais triaxiaux et de cisaillement direct à la boîte

Pour rappel, les essais laboratoire effectués lors de cette étude sont :

- Essai triaxial CU+u : consolidé et drainé (court et long terme),
- Essai triaxial UU : non consolidé et non drainé (court terme),
- Cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande CD : consolidé et drainé (long terme).

Dans les paragraphes suivants, les résultats de chaque éprouvette ont été représentés sur un diagramme s'-t' (ou s-t) pour chaque formation.

$$\text{Nota : } s' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} ; t' = t = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}.$$

ϕ_u / C_u : Angle de frottement et cohésion apparents,

ϕ' / C' : Angle de frottement et cohésion effectifs,

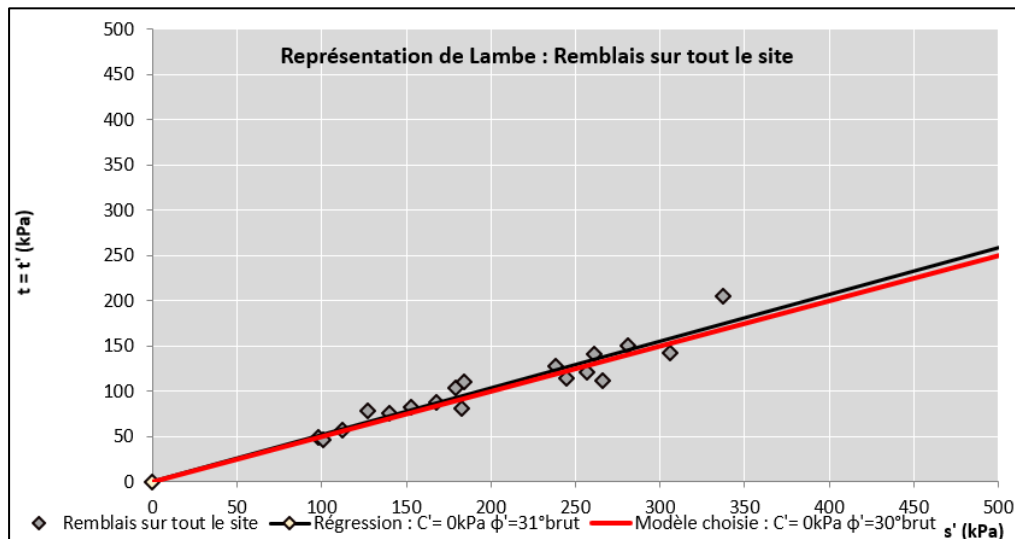
λ_{cu} : Angle d'accroissement de la cohésion non drainée en fonction de la pression de consolidation.

4.6.3.1. Remblais

Essai triaxial CU+u

Entreprise	Zone	Sondage	Description détaillée	Profondeur de l'essai (m/TN)	Cote de l'essai (NGF)	c' (kPa)	ϕ' (°)	λ_{Cu}	Cu_0 (kPa)	σ'_{v0}	GTR
INFRANEO	Giratoire sud	SC10 07	Remblai limoneux graveleux	1	36.266	0	33	0.39	15	29	C1B5
INFRANEO	Giratoire sud	SC10 07	Sable et graviers légèrement argileux marron jaunâtre	3.5	33.766	0	33	0.58	20	71	C1B5
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC4	Sables +/- argileux ocre	3.85	32.11	0	36.1	-	-	65.5	
INFRANEO	OA RD10	SC10 03	Remblai argileux grisâtre à cailloux et blocs divers	3.5	33.461	37	19	0.21	54	67	C1A2s
INFRANEO	OA RD10	SC10 03	Vase grisâtre avec racines végétales	0	36.961	0	34	0.42	19	9	A2h
INFRANEO	Trémie nord	SC10 01	Remblai sablo argileux à cailloutis divers	4	33.78	23	23	0.3	52	97	A1
INFRANEO	Trémie nord	SC10 01	Remblai sablo limoneux marron à nombreux silex	2	35.78	7	23	0.33	14	50	A3h
INFRANEO	Trémie nord	SC10 02	Sable limoneux marron noirâtre à silex	3	35.841	0	35	0.65	13	77	B5
INFRANEO	Trémie nord	SC10 02	Remblai sableux marron noirâtre avec cailloux	4	34.841	12	31	1.27	0	99	B6

L'analyse des essais triaxiaux CU+u est représentée sur le graphique de Lambe ci-contre pour la formation n°0 de remblais :

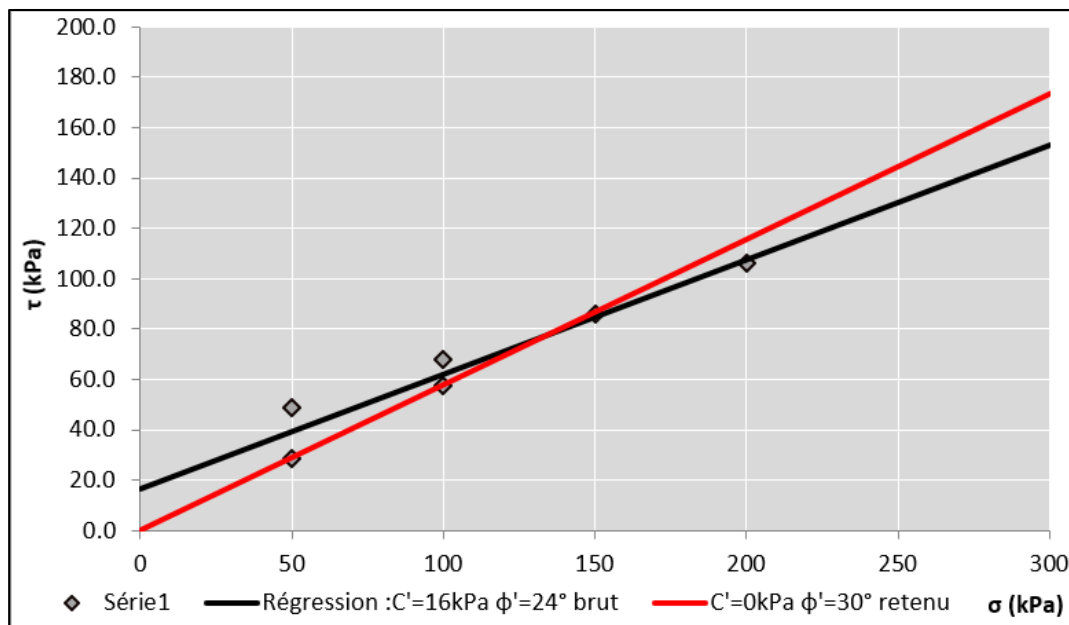


La droite intrinsèque de résistance de cisaillement dans la représentation de Lambe, permet d'obtenir par son angle θ' et son ordonnée à l'origine t'_0 , les caractéristiques c' et ϕ' suivantes :

- $\sin \phi' = \tan \theta'$
- $c' = \frac{t'_0}{\cos \phi'}$

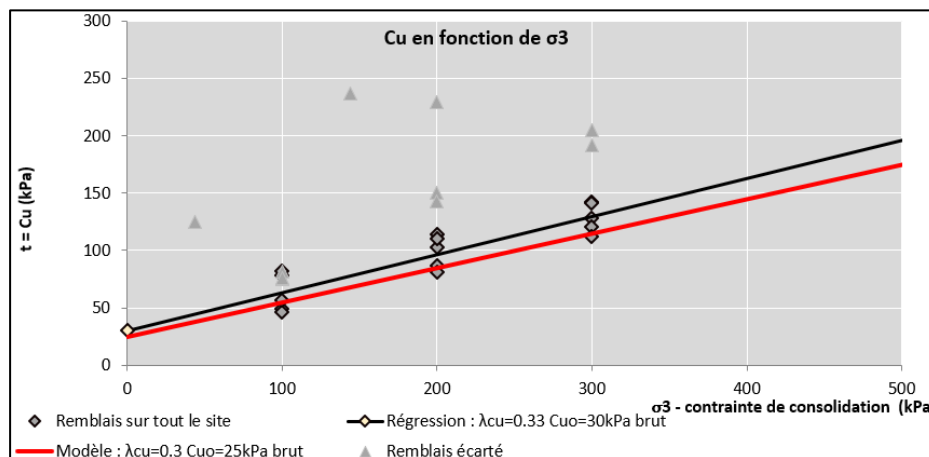
Par analyse graphique, nous trouvons une cohésion effective **c' de 0 kPa** et un angle de frottement **ϕ' de 30°** dans les remblais du site, en moyenne.

L'analyse des essais de cisaillement rectiligne à la boîte CD donnent les résultats suivants pour la formation n°0:



Les essais de cisaillement rectiligne à la boîte CD, montrent de la cohésion dans les remblais. Pour une approche sans cohésion (courbe rouge), les résultats sont cohérents avec nos hypothèses.

Une analyse graphique de c_{u0} et de λ_{cu} est réalisée ci-dessous :



La disparité des valeurs de cu s'explique par le comportement hétérogène des remblais. Un sol à tendance sableuse, en raison de sa structure granulaire, présente un angle d'accroissement de λ_{cu} plus élevé qu'un sol argileux, dont la consolidation plus lente et le drainage limité réduisent cette évolution. La régression linéaire des essais CU+u a été réalisée sur les remblais à tendance argileuse ; les remblais à tendance sableuse ont été écartés.

4.6.3.2. Alluvions modernes

Essai triaxial CU+u

L'analyse des essais à l'appareil triaxial est conduite par sous-formation limons/argiles :

- Comportement argilo-limoneux ;
- Comportement argilo-sableux ;
- Comportement tourbeux.

Entreprise	Zone	Sondage	Description détaillée	Profondeur de l'essai (m/TN)	Cote de l'essai (NGF)	c' (kPa)	ϕ' (°)	λ_{Cu}	Cu_0 (kPa)	σ'_{v0}	Comportement	GTR
INFRANE O	OA du Port	SC10 05	Limon marron gris clair	1.5	32.834	14	29	0.73	0	23	Argileux/li-moneux	A2th
INFRANE O	OA du Port	SC10 06	Sable vasard marron grisâtre à débris végétaux et coquilles	5.5	30.002	30	20	0.26	25	74	Tourbeux	A1
INFRANE O	OA du Port	SC10 06	Marne argileuse marron grisâtre	2.1	33.402	6	30	0.5	10	42	Argileux/li-moneux	A2th
INFRANE O	OA du Port	SC10 06	Marne vasarde marron clair à débris coquilliers	3.5	32.002	11	27	0.31	22	64	Tourbeux	A2th
INFRANE O	OA RD10	SC10 03	Argile sableuse marron grisâtre	2.6	34.361	2	34	0.54	11	44	Argilo-sableux	A2th
INFRANE O	OA du Port	SC10 05	Vase tourbeuse marron noirâtre	3	31.334	14	38	0.52	0	51	Tourbeux	A1
INFRANE O	OA RD10	SC10 04	Argile sablo-marneuse brunâtre	2	33.712	21	21	0.33	39	42	Argileux/li-moneux	A2th
INFRANE O	Giratoire interm	SC10 08	Sable limoneux fin beige	2	32.289	2	33	0.57	15	46	Argilo-sableux	A2th
INFRANE O	Giratoire interm	SC10 08	Argile sablo-marneuse beige grisâtre	1.1	33.189	20	19	0.29	37	27	Tourbeux	A2th
INFRANE O	OA RD10	SC10 04	Limon marron gris clair très fin	3	32.712	4	34	0.6	19	68	Argileux/li-moneux	A1

L'analyse des essais triaxiaux CU+u est représentée sur le graphique ci-contre pour la formation n°1 d'alluvions modernes en fonction de leur comportement :

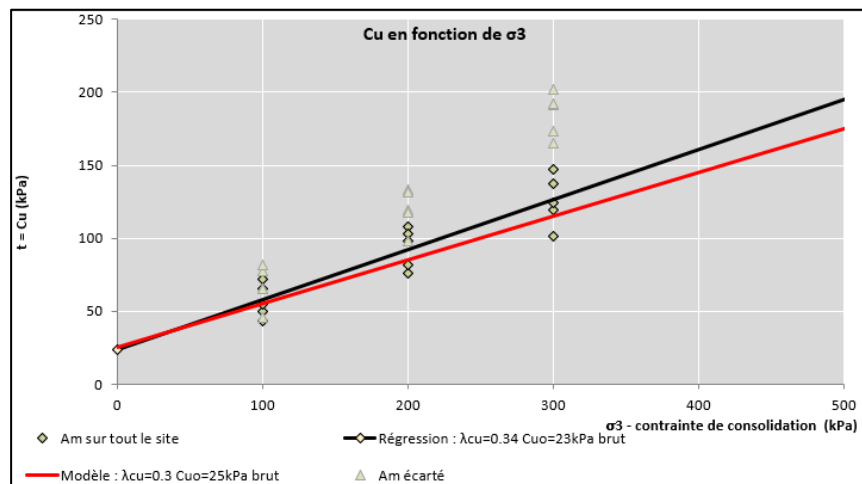


La droite intrinsèque de résistance de cisaillement dans la représentation de Lambe, permet d'obtenir par son angle θ' et son ordonnée à l'origine t'_0 , les caractéristiques c' et ϕ' suivantes :

- $\sin\phi' = \tan\theta'$
- $c' = \frac{t'_0}{\cos\phi'}$

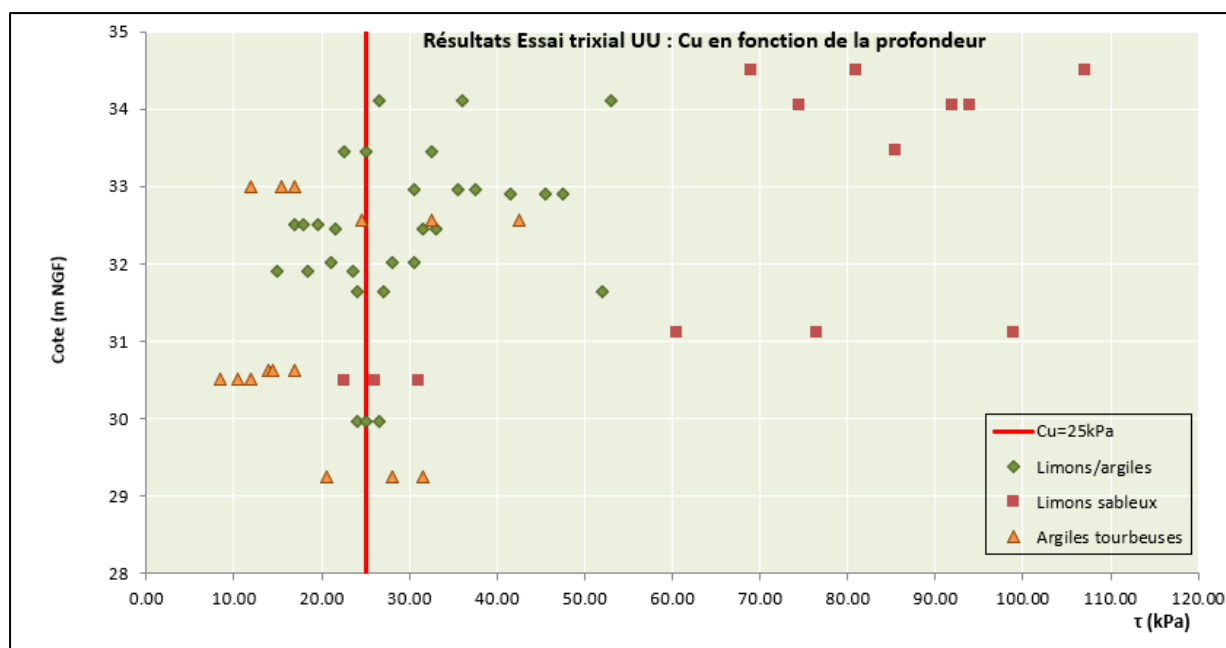
Comme pour les remblais, la formation d'alluvions modernes est à l'échelle du site assez hétérogène avec des faciès plus sableux et d'autres plus tourbeux, en distinguant par sous-formation, on arrive à distinguer des régressions par comportement.

Une analyse graphique de cu_0 et de λ_{cu} des alluvions modernes est réalisée ci-dessous :



Les données de certains essais UU ont été écartées (partie sablo-limoneuse des alluvions) dans l'analyse de la régression linéaire. On retiendra par la suite un $cu_0=25$ kPa et $\lambda_{cu}=0.3$ dans la formation d'alluvions modernes.

L'analyse des essais triaxiaux non consolidés non drainés donne les résultats suivants pour la formation n°1 :



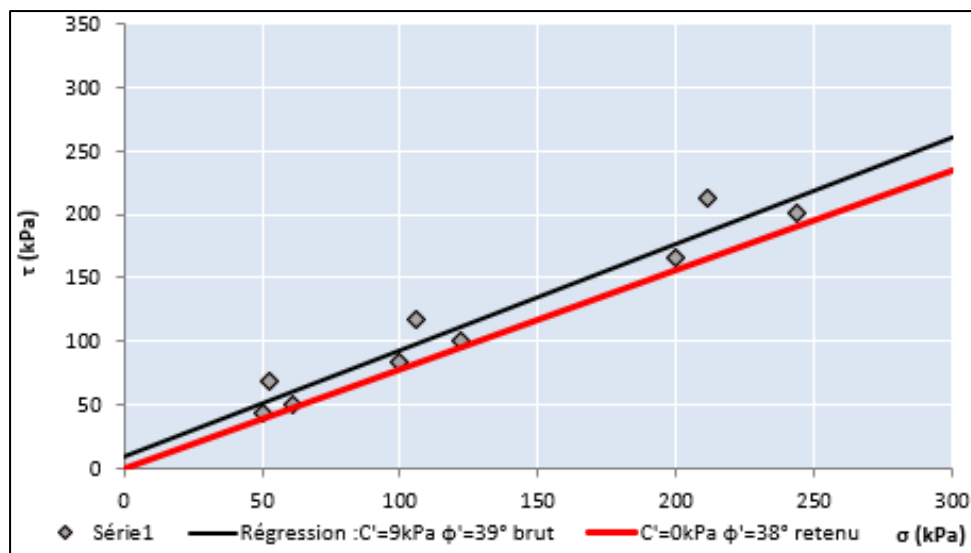
L'analyse de la cohésion non drainée c_u est corrélée selon les faciès des alluvions modernes. On trouve des c_u plus faibles dans la formation tourbeuse que dans les passages sableux.

En faisant une moyenne sur la hauteur de la formation d'alluvions, on obtient une cohésion drainée c_u autour de **25 kPa**.

4.6.3.1. Alluvions anciennes

CD boîte rectiligne

Entreprise	Zone	Sonda ge	Description détaillée	Profondeu r de l'essai (m/TN)	Cote de l'essai (NGF)	c' (kPa)	φ' (°)
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC3	Sables grossiers ocre à cailloux et cailloutis	5.25	35.25	3	39
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC3	Sables grossiers ocre à cailloux et cailloutis	5.25	35.25	3	39
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC3	Sables grossiers ocre à cailloux et cailloutis	5.25	35.25	3	39
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC4	Sables +/- argileux beiges à nombreux cailloux et cailloutis divers	7.85	28.11	21	42
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC4	Sables +/- argileux beiges à nombreux cailloux et cailloutis divers	7.85	28.11	21	42
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC4	Sables +/- argileux beiges à nombreux cailloux et cailloutis divers	7.85	28.11	21	42
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC4	Sables +/- limoneux beiges à cailloux et cailloutis	9.5	26.46	0	40
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC4	Sables +/- limoneux beiges à cailloux et cailloutis	9.5	26.46	0	40
HYDROGEOTECHNIQUE	Hors zone	SC4	Sables +/- limoneux beiges à cailloux et cailloutis	9.5	26.46	0	40



La droite intrinsèque de résistance de cisaillement dans la représentation de Lambe, permet d'obtenir par son angle θ' et son ordonnée à l'origine t'_0 , les caractéristiques c' et ϕ' suivantes :

- $\sin \phi' = \tan \theta'$
- $c' = \frac{t'_0}{\cos \phi'}$

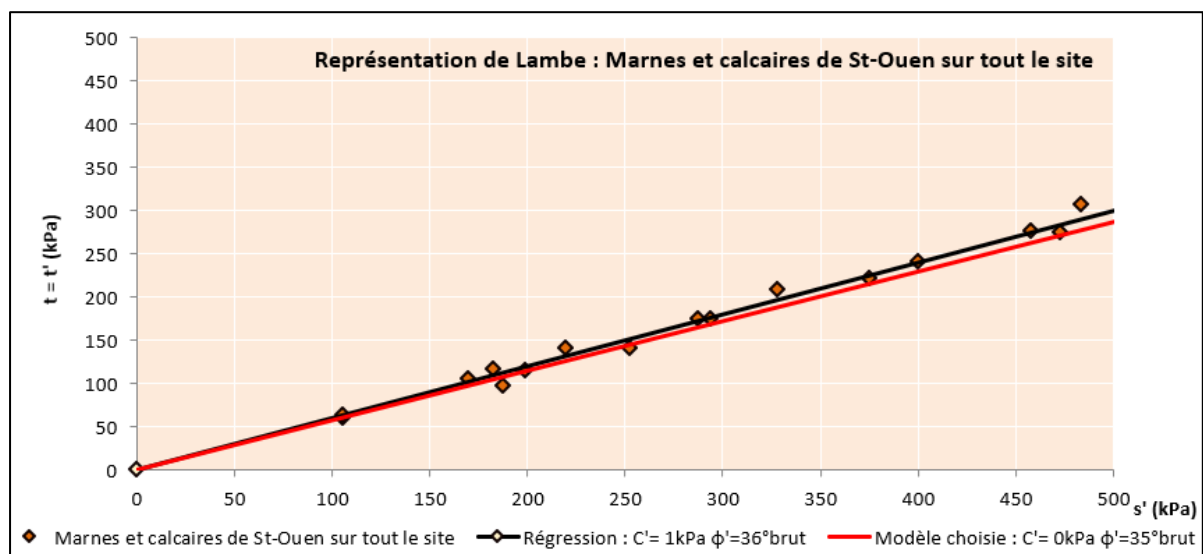
Compte tenu de la plage de contrainte testée relativement réduite et du faible nombre de valeurs, il est difficile d'estimer un angle de frottement avec précision. On retient donc une valeur prudente de 38°.

4.6.3.1. Marnes et calcaires de St-Ouen

Essai triaxial CU+u

Entreprise	Zone	Sonda ge	Description détaillée	Profondeur de l'essai (m/TN)	c' (kPa)	φ' (°)	λCu	Cu0 (kPa)	σ'v0	GTR
HYDROGEOTECH NIQUE	Trémie sud	SC1	Argiles marneuses beige-ocre	40	28	29			211.5	
HYDROGEOTECH NIQUE	Trémie sud	SC2	Argiles limoneuses beige	34.2	17	32			230	
HYDROGEOTECH NIQUE	Hors zone	SC3	Argiles limoneuses beige-ocre à quelques cailloux calcaireux	40.5	13	33			145	
HYDROGEOTECH NIQUE	Hors zone	SC3	Argiles limoneuses beige-ocre	40.5	7	33			152	
HYDROGEOTECH NIQUE	Hors zone	SC4	Calcaires blanc-beige très altérés	25	7	36			169	
INFRANEO	OA du Port	SC1005	Marne sableuse gris clair	15	0	32	0.52	0	152	B5
INFRANEO	Trémie nord	SC1002	Marne argilo-limoneuse beige (présence d'argile sépiolitique)	15	0	37	0.58	2	156	A4
INFRANEO	Trémie nord	SC1001	Marne beige	15	13	30	0.37	28	216	A1

L'analyse des essais triaxiaux CU+u est représentée sur le graphique ci-contre pour la formation n°3 de marnes et calcaires de St Ouen :



La droite intrinsèque de résistance de cisaillement dans la représentation de Lambe, permet d'obtenir par son angle θ' et son ordonnée à l'origine t'_0 , les caractéristiques c' et ϕ' suivantes :

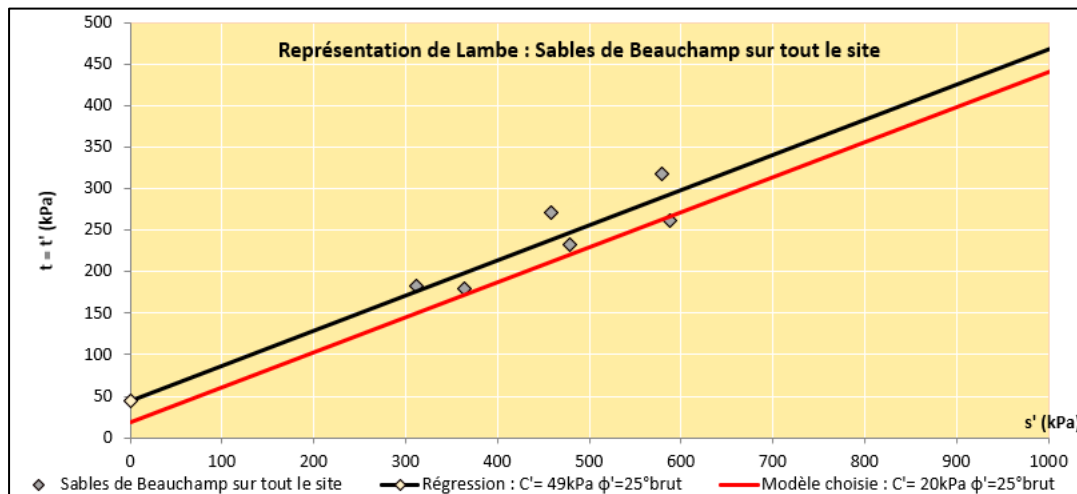
- $\sin \phi' = \tan \theta'$
- $c' = \frac{t'_0}{\cos \phi'}$

4.6.3.1. Sables de Beauchamp

Essai triaxial CU+u

Entreprise	Zone	Sonda ge	Description détaillée	Profondeur de l'essai (m/TN)	Cote de l'essai (NG F)	c' (kPa)	φ' (°)
HYDROGEOTECH NIQUE	Trémie sud	SC1	Argiles +/-sableuses gris-bleu	25.1	16.16	26	28.6
HYDROGEOTECH NIQUE	Trémie sud	SC2	Argiles +/-sableuses gris-bleu	24.8	16.55	42	21.8

L'analyse des essais triaxiaux CU+u est représentée sur le graphique ci-contre pour la formation n°5 de sables de Beauchamp :



La droite intrinsèque de résistance de cisaillement dans la représentation de Lambe, permet d'obtenir par son angle θ' et son ordonnée à l'origine t'_0 , les caractéristiques c' et ϕ' suivantes :

- $\sin \phi' = \tan \theta'$
- $c' = \frac{t'_0}{\cos \phi'}$

4.6.3.2. Conclusion

Suite à l'analyse des essais en laboratoire nous retiendrons les caractéristiques suivantes au sein de la formation d'alluvions modernes.

Formation	cu (kPa)	c' (kPa)	φ (°)
n°0 Remblais	20	0	30
n°1 Alluvions modernes :		10	25
• Limoneux/argileux		8	25
• Tourbeux	20	15	20
• Argilo-sableux		2	30
n° 2 : Alluvions anciennes	-	0	38
n°3 : Marnes et calcaires de St-Ouen	-	0	35
N°5 Sables de Beauchamp	-	20	25

4.6.4. Essais œdométriques

Un total de 20 essais œdométriques à drainage vertical a été exploité.

Conformément à la norme PR NF EN ISO 17892-5 (ancienne norme XP P94-090-1), l'essai œdométrique permet de déterminer les paramètres suivants :

- Les paramètres de compressibilité des sols (C_c = indice de compression et C_s = indice de recompression)
- Le coefficient de consolidation (C_v)
- La contrainte verticale effective de préconsolidation (σ'_p)
- Le coefficient de compression secondaire (C_α = coefficient de fluage)
- Les paramètres de gonflement (C_g = indice de gonflement)

Les résultats de l'essai œdométrique interviennent dans le dimensionnement des préchargements des remblais et notamment dans le calcul des tassements.

Les paramètres calculés ci-dessous permettent qualifier les sols :

- $C_c / (1+e_0)$: compressibilité des sols :
- $C_c / (1+e_0) < 0.015$: sol incompressible
- $0.015 < C_c / (1+e_0) < 0.05$: sol peu compressible
- $0.05 < C_c / (1+e_0) < 0.2$: sol moyennement compressible
- $C_c / (1+e_0) > 0.2$: sol très compressible

OCR (Over Consolidation Ratio) = σ'_p / σ'_{v0} : état de consolidation

- OCR < 1 : sol sous consolidé
- OCR = 1 : sol normalement consolidé
- OCR > 1 : sol sur consolidé

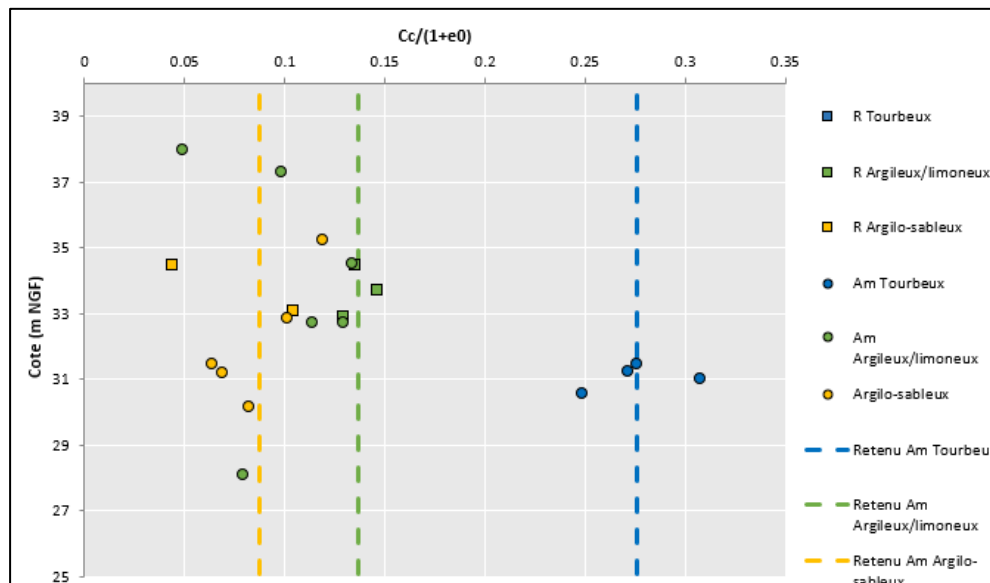
Par ailleurs, il est possible d'apprécier la qualité de l'échantillon testé (critère NGI) à partir des paramètres mesurés (OCR, indice des vides initial « e_i » et indice des vides après reconsolidation « e_0 »). Cela permet de repérer les échantillons remaniés lors du prélèvement et si nécessaire exclure certains résultats :

OCR	$(e - e_0)/e_i$			
1-2	< 0.04	0.04-0.07	0.07-0.14	> 0.14
2-4	< 0.03	0.03-0.05	0.05-0.10	> 0.10
Qualité	très bon à excellent	bon à satisfaisant	mauvais	très mauvais
Indice	1	2	3	4

Les courbes œdométriques ont été réinterprétées par Ginger CEBTP. Les valeurs de $\sigma'v_0$ et $\sigma'p$ sont mises en gras lorsque des modifications ont été apportées par rapport aux PVs initiaux. En revanche, les essais œdométriques réalisés par FONDASOL n'ont pas pu être réinterprétés. Les résultats obtenus sont fournis dans le tableau ci-dessous.

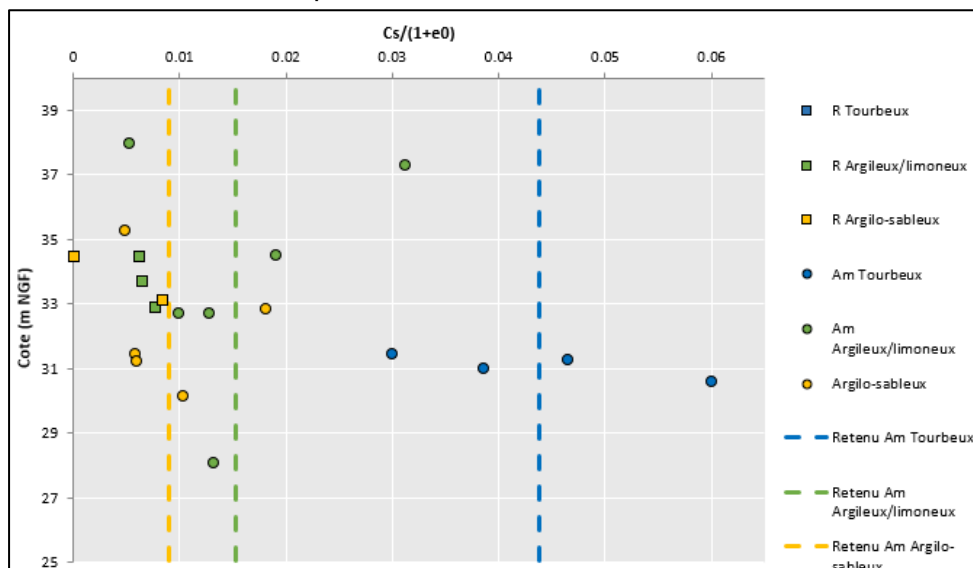
Sondage	Réf couche	Sous formation	Secteur	Cc	Cs	e0	$\sigma'v_0$ (kPa)	$\sigma'p$ (kPa)	OCR	POP	Remanié ?	Palier 0-Palier 1 (kPa)	Cv1 (m²/s)	Palier 1-Palier 2 (kPa)	Cv2 (m²/s)	Palier 2-Palier 3 (kPa)	Cv3 (m²/s)	GTR
SC1004 - 1.25m INFRANEO	R	Argilo-sableux	OA RD10	0.064	0.000	0.458	25	44	1.77	19	très bon à excellent	50-99	2.02E-07	99-198	1.15E-07	198-396	7.08E-08	B6s
SC1 - 2m FONDASOL	Am	Argileux/limoneux	Trémie sud	0.077	0.008	0.571	42	54	1.28	12	-	-	-	-	-	-	-	-
SC1004 - 4.25m INFRANEO	Am	Argilo-sableux	OA RD10	0.090	0.008	0.408	71	80	1.12	9	bon à satisfaisant	179-358	1.24E-07	358-716	5.50E-07	716-1432	2.23E-07	A2th
SC1006 - 4.25m INFRANEO	Am	Tourbeux	OA du Port	1.066	0.183	2.926	50	47	0.93	-3	bon à satisfaisant	114-228	1.96E-08	228-456	4.89E-08	456-913	2.19E-08	A1
SC1003 - 5.75m INFRANEO	Am	Argilo-sableux	OA RD10	0.101	0.009	0.466	56	54	0.97	-2	bon à satisfaisant	234-468	8.69E-08	468-937	1.71E-07	937-1873	9.52E-08	A1
SC4 - 5.8m HYDROGÉOTECHNIQUE	Am	Argilo-sableux	Hors zone	0.112	0.014	0.364	70	69	0.99	-1	mauvais	104-208	2.33E-03	208-416	2.08E-03	416-832	2.10E-03	-
SC1005 - 6.25m INFRANEO	Am	Argileux/limoneux	OA du Port	0.125	0.021	0.577	70	51	0.73	-19	mauvais	250-500	1.66E-07	500-999	2.47E-08	999-1998	8.35E-08	-
SC4 - 3.1m HYDROGÉOTECHNIQUE	Am	Argilo-sableux	Hors zone	0.154	0.028	0.520	43	60	1.40	17	bon à satisfaisant	104-208	3.51E-03	208-416	2.12E-03	416-832	1.95E-03	-
SC1003 - 3.875m INFRANEO	R	Argilo-sableux	OA RD10	0.159	0.013	0.525	62	61	0.98	-1	bon à satisfaisant	154-308	7.66E-08	308-615	1.08E-07	615-1230	1.15E-07	C1A2s
SC1 - 2.65m FONDASOL	Am	Argileux/limoneux	Trémie sud	0.168	0.054	0.713	55	100	1.82	45	-	-	-	-	-	-	-	-
SC2 - 6.1m HYDROGÉOTECHNIQUE	Am	Argilo-sableux	Trémie sud	0.169	0.007	0.418	73	72	0.98	-1	mauvais	104-208	6.10E-04	208-416	8.70E-04	416-832	9.90E-04	-
SC1006 - 2.8m INFRANEO	Am	Argileux/limoneux	OA du Port	0.201	0.018	0.771	53	110	2.08	57	très bon à excellent	107-214	3.62E-08	214-427	2.78E-08	427-855	2.40E-07	-
SC5 - 2.7m FONDASOL	R	Argileux/limoneux	OA RD10	0.257	0.015	0.988	46	18	0.39	-28	-	-	-	-	-	-	-	-
SC1003 - 2.5m INFRANEO	R	Argileux/limoneux	OA RD10	0.266	0.012	0.975	48	147	3.06	99	très bon à excellent	95-190	1.24E-07	190-380	1.07E-07	380-760	2.56E-07	A2th
SC7 - 2-3.5m FONDASOL	Am	Argileux/limoneux	OA du Port	0.285	0.028	1.210	43	49	1.15	7	-	-	-	-	-	-	-	A2
SC2 - 3m FONDASOL	Am	Argileux/limoneux	Trémie nord	0.290	0.041	1.170	63	121	1.92	58	-	-	-	-	-	-	-	-
SCb9 - 0.5-1.5m FONDASOL	R	Argileux/limoneux	Giratoire interm	0.303	0.014	1.077	22	150	6.75	128	-	-	-	-	-	-	-	A2
SC1005 - 3.75m INFRANEO	Am	Tourbeux	OA du Port	0.640	0.155	1.578	39	36	0.93	-3	mauvais	110-220	5.29E-08	220-440	9.20E-08	440-881	9.46E-08	A1
SC101 - 4.05m CEREMA	Am	Tourbeux	OA du Port	0.910	0.099	2.297	46	52	1.14	6	très bon à excellent	-	-	-	-	-	-	-
SC101 - 4.51m CEREMA	Am	Tourbeux	OA du Port	1.284	0.161	3.179	49	52	1.07	3	bon à satisfaisant	-	-	-	-	-	-	-

Une analyse graphique entre $C_c/(1+e_0)$ en fonction de la profondeur a permis de déterminer les valeurs par sous-formation, afin d'étudier le comportement œdométrique dans la formation d'alluvions modernes.



Cette analyse met en évidence les faciès tourbeux des alluvions modernes avec des valeurs plus compressibles.

De la même manière, une analyse graphique entre $C_s/(1+e_0)$ en fonction de la profondeur a permis de déterminer les valeurs par sous-formation :

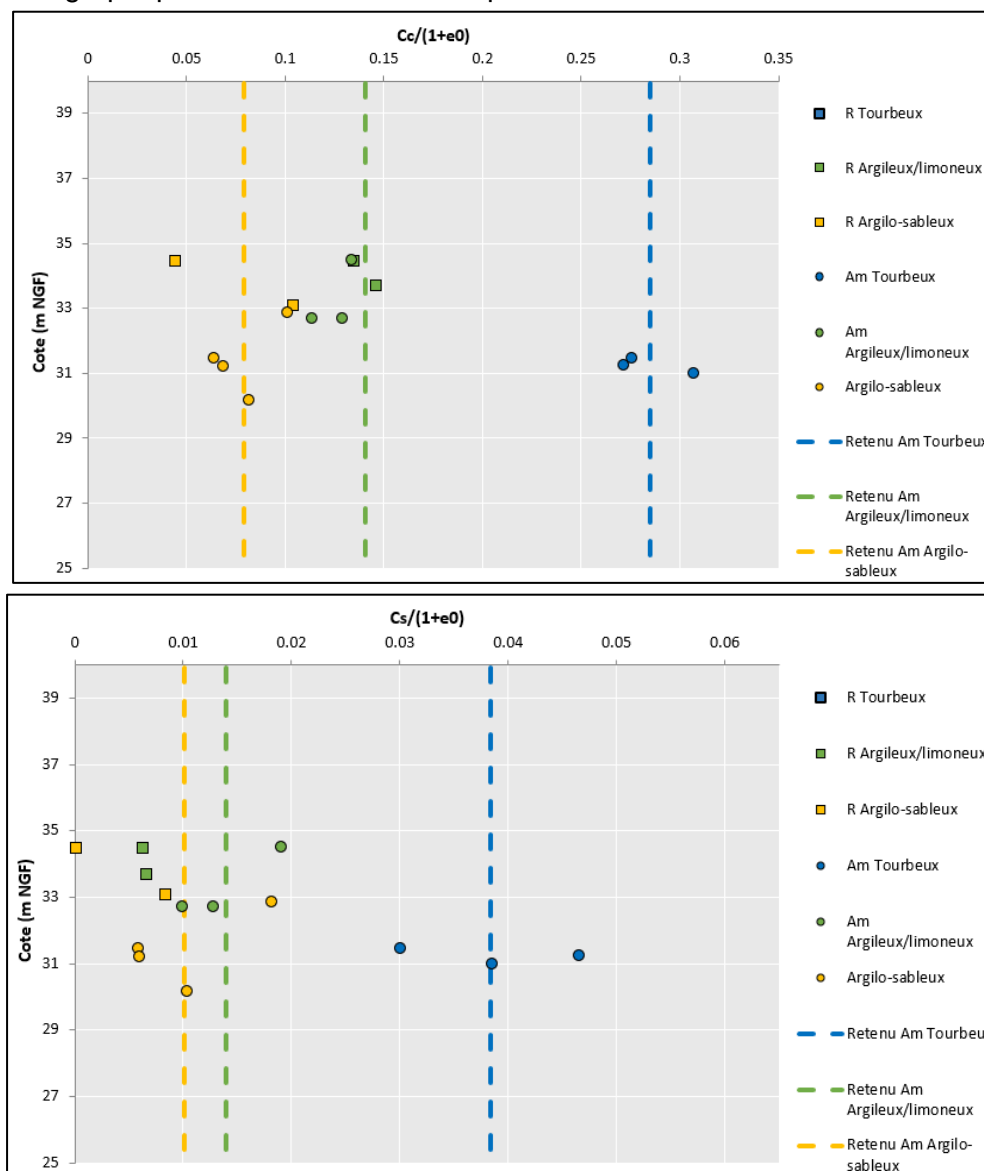


Après analyse, nous avons exclu les données dont les résultats nous semblaient remaniés ou erronés, les rendant non pertinents pour notre étude. Ces essais, indiqués en grisé dans le tableau des résultats des essais œdométriques, sont écartés pour les raisons ci-dessous :

- SC1 - 2m FONDASOL : essais en surface (cote +37.9 m NGF) non pertinent pour l'étude des alluvions modernes,
- SC1005 - 6.25m INFRANEO : essai à priori remanié, OCR anormal,

- SC1 - 2.65m FONDASOL : essais en surface (cote +37.3 m NGF) non pertinent pour l'étude des alluvions modernes, essai à priori remanié,
- SC2 - 6.1m HYDROGEOTECHNIQUE : essai à priori remanié,
- SC5 - 2.7m FONDASOL : OCR anormal,
- SC1005 - 3.75m INFRANEO : essai à priori remanié.

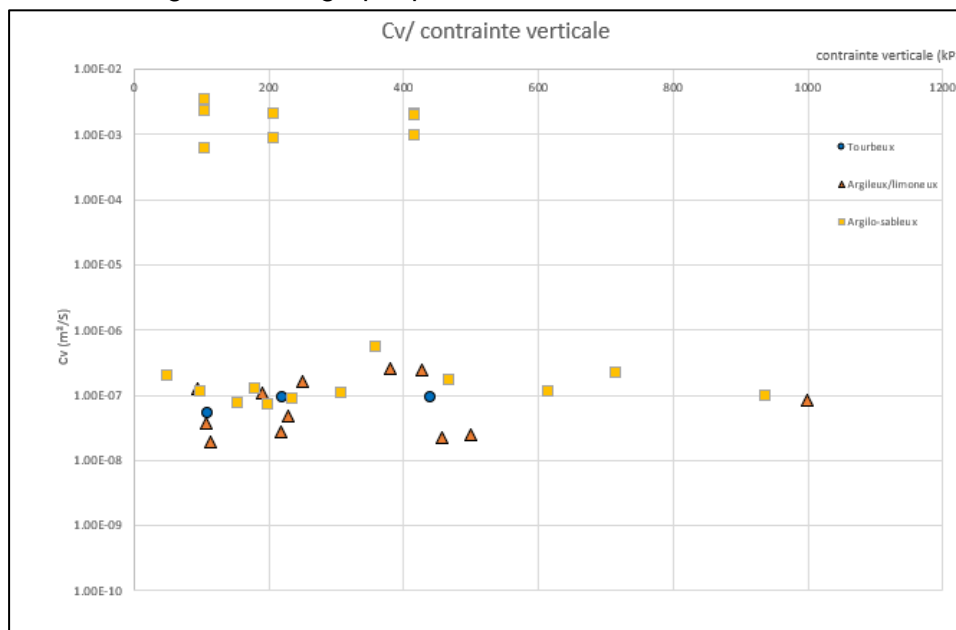
Les résultats graphiques des essais retenus après sélection sont les suivants :



On retiendra les valeurs suivantes dans la suite de l'étude :

Sous-formation	$C_c/(1+e_0)$	$C_s/(1+e_0)$
Tourbeux	0.28	0.038
Argileux/limoneux	0.14	0.014
Argilo-sableux	0.08	0.010

L'étude de la contrainte verticale (des essais œdométriques) en fonction de consolidation verticale C_v est renseignée sur le graphique suivant :



Le faciès à dominante sableuse présente des valeurs de C_v avoisinant $1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour certains essais, indiquant une consolidation plus rapide dans ces zones.

De manière générale, les valeurs de C_v varient entre 1.10^{-7} et $2.10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. Les faciès tourbeux et argileux semblent présenter des ordres de grandeur similaires au sein des alluvions modernes.

Pour la suite de l'étude, on retiendra une valeur moyenne de **$5.10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$** pour C_v dans ces alluvions.

4.6.5. Essais de fluage

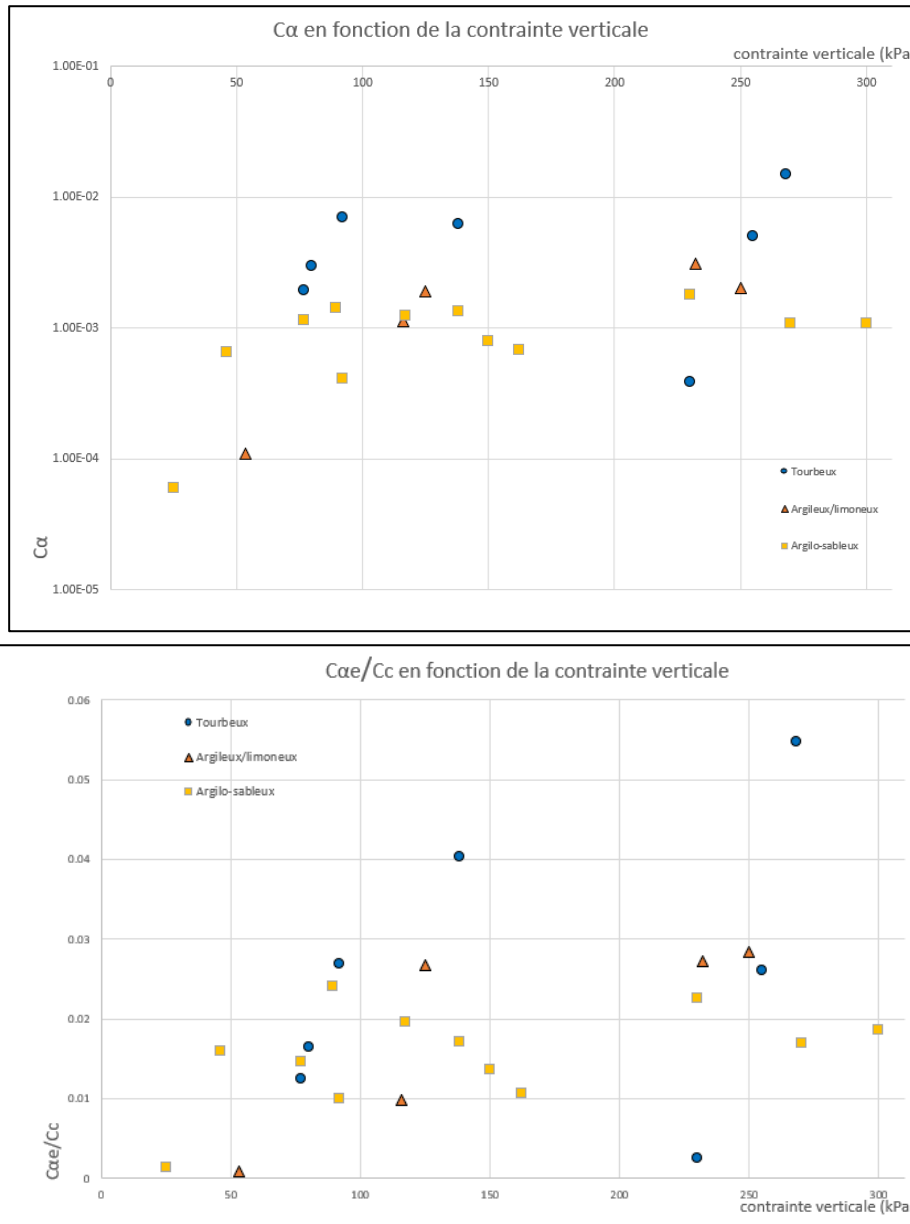
Un total de 8 essais œdométriques long-terme (fluage à l'œdomètre) a été exploité.

Entreprise	Sondage	Profondeur toit échantillon (m/TA)	Cote échantillon (m NGF)	Réf couche	Secteur	Palier 1 fluage (kPa)	c_α	$c_{\alpha e}$	Palier 2 fluage (kPa)	c_α	$c_{\alpha e}$	Palier 3 fluage (kPa)	c_α	$c_{\alpha e}$
INFRANEO	SC1004	1-2	34.7	R	OA RD10	25.000	0.0001	0.0001	46	0.0007	0.0010	92	0.0004	0.0007
INFRANEO	SC1003	3.75-4	33.2	R	OA RD10	76.900	0.0012	0.0021	138	0.0013	0.0025	230	0.0018	0.0033
INFRANEO	SC1006	2.6-3	32.9	Am	OA du Port	53.400	0.0001	0.0002	116	0.0011	0.0020	232	0.0031	0.0054
INFRANEO	SC1005	3-3.5	31.3	Am	OA du Port	76.900	0.0020	0.0076	138	0.0063	0.0246	230	0.0004	0.0015
INFRANEO	SC1006	4-4.5	31.5	Am	OA du Port	57.000	0.0048	0.0201	114	0.0155	0.0652	228	0.0126	0.0532
INFRANEO	SC1005	6-6.5	28.3	Am	OA du Port	125.000	0.0019	0.0032	250	0.0020	0.0034	750	0.0008	0.0014
INFRANEO	SC1004	4-4.5	31.7	Am	OA RD10	89.500	0.0014	0.0022	150	0.0008	0.0012	300	0.0011	0.0017
INFRANEO	SC1003	5.5-6	31.5	Am	OA RD10	117.100	0.0013	0.0020	162	0.0007	0.0011	270	0.0011	0.0017

En traçant graphiquement les valeurs de c_α à différentes contraintes on observe une augmentation de ce coefficient avec la contrainte appliquée. Le coefficient c_α de la formule de Magnan est à utiliser pour une contrainte proche de celle étudiée, on trouve les valeurs de c_α suivante selon les contraintes :

- De 50 à 250 kPa :
 - Argileux/limoneux : $c_\alpha = 2.10^{-3}$;
 - Tourbeux : $c_\alpha = 1.10^{-2}$;
 - Argilo-sableux : $c_\alpha = 1.10^{-3}$;
- De 250 à 300 kPa : $c_\alpha = 3.10^{-2}$.

Les résultats graphiques sont les suivants (selon la contrainte verticale totale des essais œdométriques):



Nota : D'après les recommandations ASIRI [4 Asiri 2012], les valeurs de $C_{\alpha e}/C_c$ peuvent être assimilés à des **argiles molles, avec localement des passages tourbeux**.

Type de sol	$C_{\alpha e}/C_c$
Argiles molles	0,03 à 0,05
Vases	0,03 à 0,05
Tourbes	0,05 à 0,10

4.6.6. Essais de dissipation

Lors de la réalisation des essais au piézocône, des essais de dissipation ont également pu être mis en œuvre. Ces derniers consistent à mesurer le temps nécessaire pour atteindre la moitié de la surpression interstitielle u_2 créée au passage de la pointe jusqu'à la pression d'eau de la nappe captée u_0 .

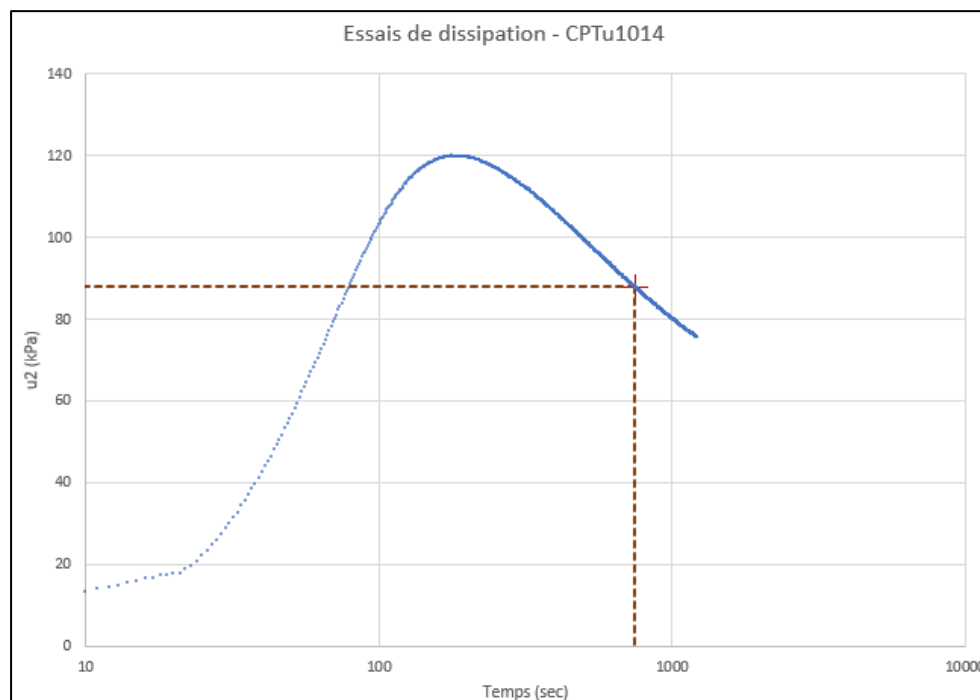
A titre d'indication, on considère que plus la durée t_{50} mesurée est grande, plus le sol met du temps à dissiper les pressions et donc moins le sol est perméable (sol argileux).

Nous avons par la suite utilisé l'abaque de Parez afin d'estimer une perméabilité k pour chaque essai. Dans certains cas, il est également possible de déterminer si les sols ont un caractère contractant (sensible) ou dilatant.

Voici un exemple de trois interprétations d'essais de dissipation :

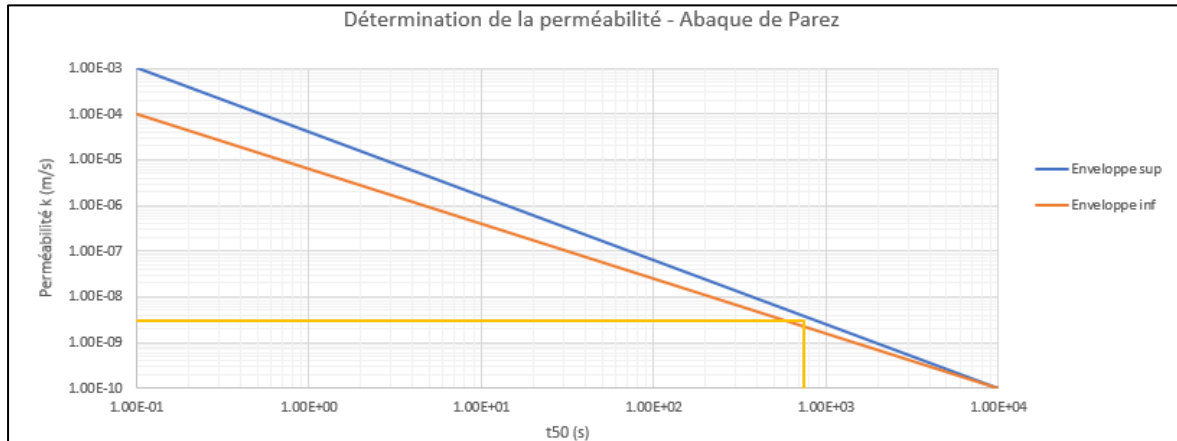
- Un sol sableux
- Un sol limoneux
- Un sol argileux

CPTu_1014 : 7.1m/TA : faciès limoneux

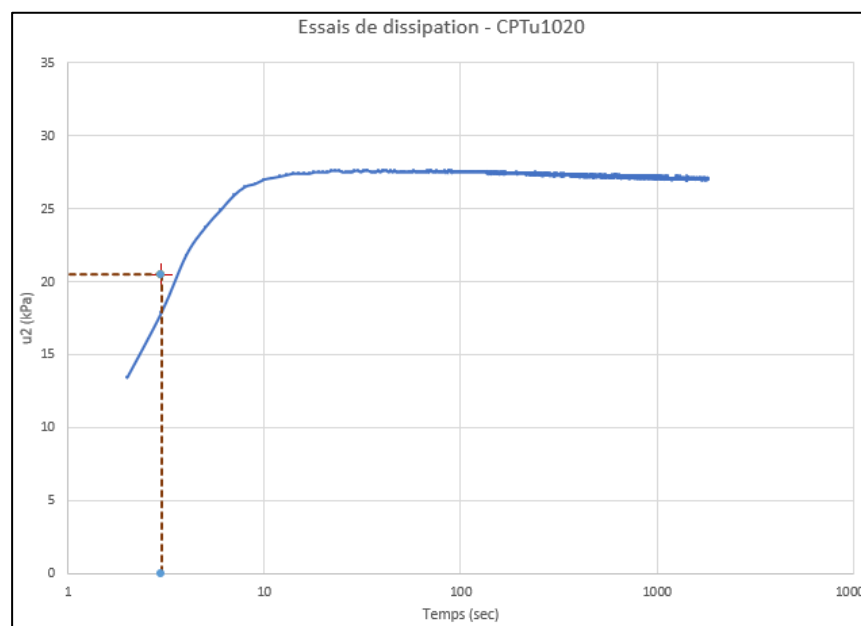


Nappe considérée à +32.5 m NGF

La courbe de l'essai nous permet de trouver un t_{50} égal à 748 s. En utilisant l'abaque de Parez, on trouve une perméabilité équivalente à **2.10^{-9} m/s**. L'allure de la courbe présente d'abord une surpression positive, suivie d'une diminution progressive tendant vers un palier : le niveau u_0 ; ce comportement est caractéristique d'un sol limoneux dilatant.

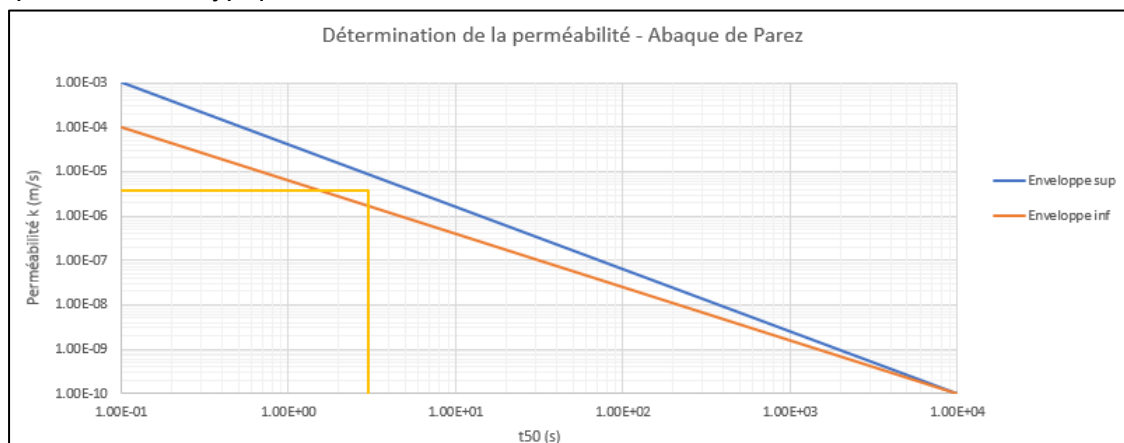


CPTu_1020 : 5.5 m/TA : faciès sableux

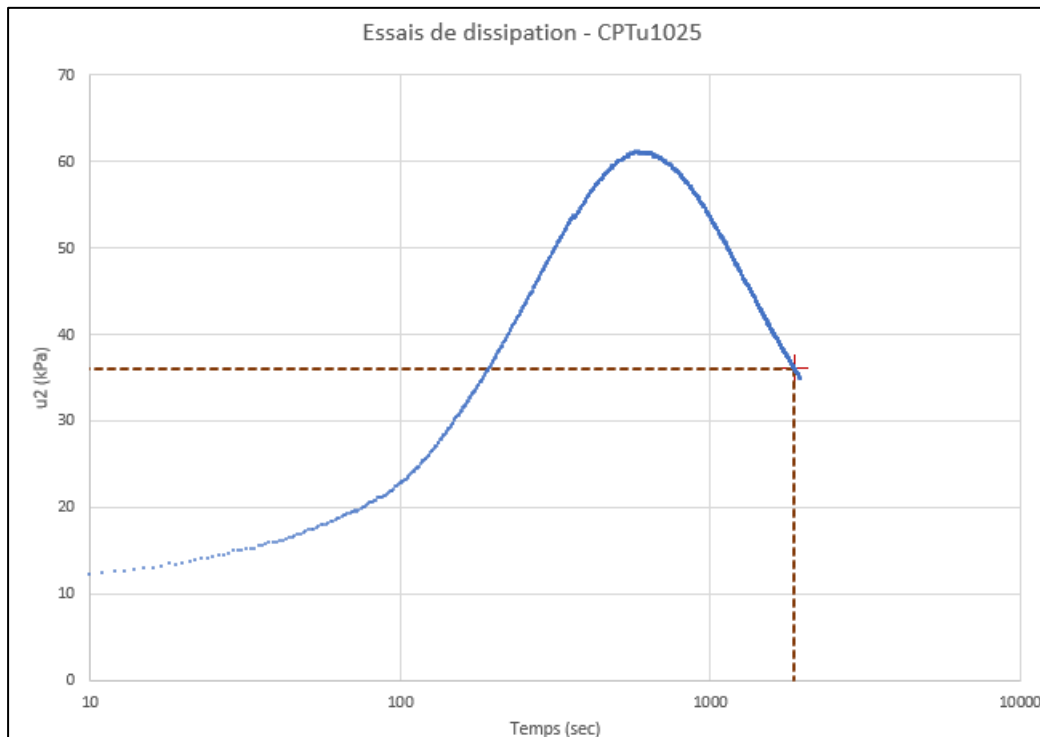


Nappe considérée à +32.7 m NGF

L'analyse de la courbe de l'essai indique un t_{50} de 3 secondes. En utilisant l'abaque de Parez, on trouve une perméabilité équivalente à **4.10^{-6} m/s**. L'allure de la courbe montre une augmentation rapide de u_2 suivie d'une stabilisation vers un palier, le niveau u_0 . Ce comportement est typique d'un sol sableux dense.

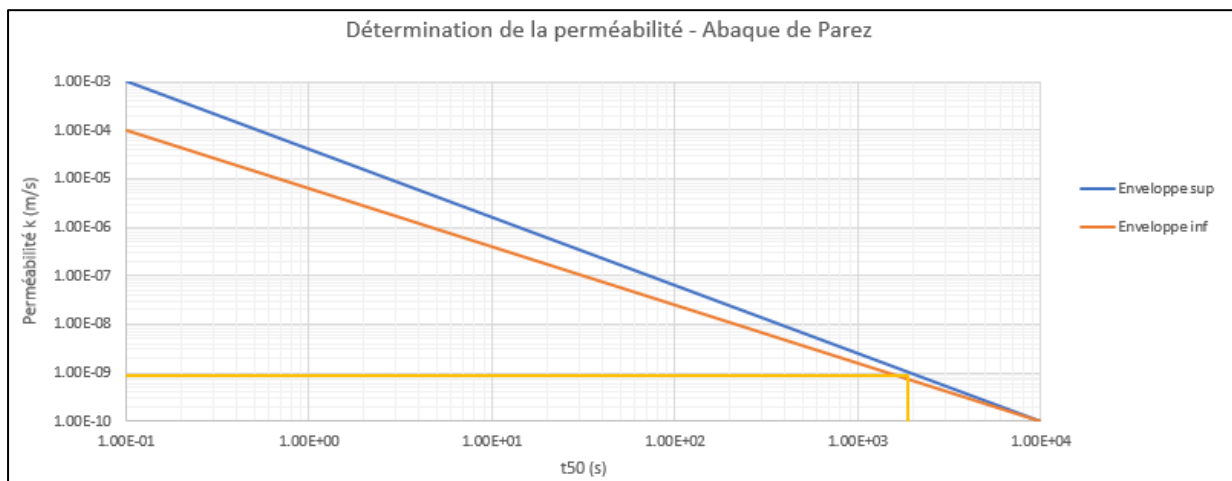


CPTu_1025 : 5.5 m/TA : faciès argileux



Nappe considérée à +32.8 m NGF

L'analyse de la courbe de l'essai indique un t_{50} de 1869 secondes. En utilisant l'abaque de Parez, on trouve une perméabilité équivalente à 9.10^{-10} m/s. L'allure de la courbe présente d'abord une surpression positive, suivie d'une diminution progressive tendant vers un palier : le niveau u_0 ; ce comportement est caractéristique d'un sol argileux dilatant.



Les tableaux ci-dessous présentent les résultats obtenus sur l'ensemble des essais de dissipation réalisés lors de la campagne de sondages.

Essai	CPTu1010	CPTu1011	CPTu1012	CPTu1013	CPTu1014	CPTu1015	CPTu1016	CPTu1017	CPTu1018
Cote z (m NGF)	37.241	37.529	37.023	36.095	33.99	34.4	34.401	34.553	34.398
Prof. essai (m)	4.8	5.5	5	4.1	7.08	4.9	4.6	4.5	4.03
t50 (sec)	1674	504	3630	1805	748	291	1249	355	981
Résultats perméabilité k avec Abaque de Parez	k enveloppe min (m/s)	8.5E-10	3.6E-09	3.4E-10	7.8E-10	2.2E-09	7.0E-09	1.2E-09	5.5E-09
	k enveloppe max (m/s)	1.2E-09	6.6E-09	4.1E-10	1.1E-09	3.8E-09	1.4E-08	1.8E-09	1.1E-08
	k moyenne (m/s)	1.0E-09	4.9E-09	3.7E-10	9.3E-10	2.9E-09	9.9E-09	1.5E-09	7.7E-09
Nature	Argiles	Argiles	Argiles	Argiles	Limons argileux	Limons argileux	Limons argileux	Limons argileux	Argiles
Comportement	Douteux	Douteux	Contractant	Contractant	Dilatant	Contractant	Dilatant	Contractant	Dilatant
Cr (m ² /s)	2E-06	5E-06	8E-07	2E-06	4E-06	9E-06	2E-06	8E-06	3E-06

Essai	CPTu1019	CPTu1020	CPTu1021	CPTu1022	CPTu1023	CPTu1024	CPTu1025	CPTu1026	CPTu1027
Cote z (m NGF)	34.316	35.472	35.436	37.297	37.121	37.269	36.65	36.058	34.293
Prof. essai (m)	5.68	5.51	5.2	9.96	3.48	4.2	5.01	4.19	3.6
t50 (sec)	100	3	301	139	1827	3600	1869	2316	2251
Résultats perméabilité k avec Abaque de Parez	k enveloppe min (m/s)	2.5E-08	1.7E-06	6.7E-09	1.7E-08	7.7E-10	3.4E-10	7.5E-10	5.8E-10
	k enveloppe max (m/s)	6.3E-08	8.6E-06	1.3E-08	4.0E-08	1.1E-09	4.2E-10	1.0E-09	7.8E-10
	k moyenne (m/s)	4.0E-08	3.8E-06	9.5E-09	2.6E-08	9.1E-10	3.8E-10	8.8E-10	6.7E-10
Nature	Sables limoneux	Sables	Argiles limoneux	Sables limoneux	Argiles limoneux	Argiles limoneux	Argiles	Argiles	Argiles
Comportement	Dilatant	Dilatant	Contractant	Dilatant	Contractant	Contractant	Dilatant	Dilatant	Contractant
Cr (m ² /s)	3E-05	9E-04	9E-06	2E-05	2E-06	8E-07	1E-06	1E-06	1E-06

La consolidation radiale Cr a été estimée à l'aide la formule de *Juran, Canou (Symposium de Paris 1983)* : $C_r = \frac{5.7r^2}{t_{50}}$ avec r le rayon du pénétromètre ici égal à 22mm.

4.6.1. Essais Proctor

18 essais de compactage à l'essai Proctor Normal ont été réalisés, les résultats sont les suivants :

Sondage	Description	Prof. (m/TA)	Formation	W _N (%)	W _{OPN} (%)	ρ _{d, OPN} (kN/m ³)	IPI à OPN
PM1001	Sable argileux marron verdâtre	1-2.7	R	23.0	16.1	17.6	3
PM1002	Limon marron	3-4	Am	53.3	44.1	11.1	3
PM1003	Remblais argilo-sableux marron beige	3-5	R	19.5	12.3	18.7	3
PM1004	Remblai gravelo-sableux marron	1.8-5	R	15.2	10.9	20	5
PM1005	Remblais sablo-graveleux marron	0-3.5	R	12.9	12.2	19.4	6
PM1006	Remblais sablo-graveleux à matrice argileuse marron grisâtre	0-2	R	16.2	16.1	17.6	3
PM1007	Remblais sablo-graveleux marron	0-2.5	R	7.4	9.5	20.5	8
PM1008	Sable argileux marron beige avec quelques cailloutis calcaires	3.5-4	Aa	17.2	10.4	19.5	11
PM1009	Sable graveleux légèrement argileux marron beige	1.7-2.4	R	21.3	14.8	17.9	6
PM1010	Remblais graveleux beige	1.2-1.8	R	15.7	12.6	18.6	20
PM1011	Remblais argilo-sableux beige légèrement graveleux	0-2	R	24.0	17.7	17	12
PM1012	Remblais sablo-marneux graveleux marron beige	0-3	R	19.5	13	18.7	11
PM1013	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	0-3	R	16.7	14.6	19.1	2
PM1014	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	0-3.5	R	15.1	13.8	18.5	6
PM1015	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	0-0.5	R	19.5	11.7	19.2	8
PM1016	Remblais graveleux sableux et argileux marron	0-0.4	R	23.9	16.3	17.7	6
PM1017	Argile sableuse marron verdâtre	0-2.7	R	27.2	21.5	15.8	8
PM1018	Argile sableuse marron	0.1-1	R	28.4	24.3	15.2	3

4.6.2. Aptitude au traitement

Plusieurs essais d'aptitude au traitement ont été réalisés, les principaux résultats des essais sont reportés dans le tableau suivant :

Descripti on détaillée	Réf couch e	Description détaillée	Profon deur de l'essai (m/TN)	Profon deur de l'essai (NGF)	Dosage traitement	W _{matéri au traité} (%)	γ _{apparente/hu mide} (kN-m ³)	Gv (%)	Rt (MPa)	Aptitude au traitemen t
PM1001	R	Sable argileux marron verdâtre	1-2.7	37.7	1.5%CaO +7% CEM III C32,5R	18.9	19.1	0.91	0.23	Adapté
PM1002	Am	Limon marron	3-4	34.7	1.5%CaO +7% CEM III C32,5R	48.3	15.6	4.34	0.04	Inadapté
PM1003	R	Remblais argilo-sableux marron beige	3-5	35.8	1%CaO +7% CEM III C32,5R	12.8	19.7	0.59	0.27	Adapté
PM1004	R	Remblai gravelo-sableux marron	1.8-5	37.0	1%CaO +7% CEM III C32,5R	12.4	19.9	1.31	0.35	Adapté
PM1005	R	Remblais sablo-graveleux marron	0-3.5	38.6	1%CaO +7% CEM III C32,5R	10.1	20.4	0.94	0.25	Adapté
PM1006	R	Remblais sablo-graveleux à matrice argileuse marron grisâtre	0-2	37.7	1%CaO +7% CEM III C32,5R	13.4	18	0.69	0.22	Adapté
PM1007	R	Remblais sablo-graveleux marron	0-2.5	36.3	1.5%CaO +7% CEM III C32,5R	7.9	20.7	1.6	0.28	Adapté
PM1008	Aa	Sable argileux marron beige avec quelques cailloutis calcaires	3.5-4	32.4	1.5%CaO +7% CEM III C32,5R	14	20.3	1.96	0.23	Adapté
PM1009	R	Sable graveleux légèrement argileux marron beige	0-1.7	36.4	1.5%CaO +7% CEM III C32,5R	16.6	19.2	2.53	0.31	Adapté
PM1010	R	Remblais graveleux beige	1.2-1.8	35.57	1%CaO +7% CEM III C32,5R	12.5	19.6	3.52	0.57	Adapté
PM1011	R	Remblais argilo-sableux beige légèrement graveleux	0-2	37.5	2%CaO +7% CEM III C32,5R	19.4	18.9	4.63	0.29	Adapté
PM1012	R	Remblais sablo-marneux graveleux marron beige	0-3	36.6	1%CaO +7% CEM III C32,5R	11.9	19.6	1.26	0.37	Adapté
PM1013	R	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	0-3	39.1	1.5%CaO +7% CEM III C32,5R	14.3	20.1	0.97	0.39	Adapté
PM1014	R	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	0-3.5	37.2	1.5%CaO +7% CEM III C32,5R	13.4	19.1	2.26	0.23	Adapté

Descripti on détaillée	Réf couch e	Description détaillée	Profon deur de l'essai (m/TN)	Profon deur de l'essai (NGF)	Dosage traitement	W _{matéri au traité} (%)	yappar ente/hu mide (kN-m³)	Gv (%)	Rt (MPa)	Aptitude au traitemen t
PM1015	R	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	0-0.5	37.3	1%CaO +7% CEM III C32,5R	8.5	20.2	1.11	0.36	Adapté
PM1016	R	Remblais sableux et argileux marron	0.4-1.1	36.3	1%CaO +7% CEM III C32,5R	14.9	18.4	5.9	0.09	Inadapté
PM1017	R	Argile sableuse marron verdâtre	0-2.7	34.1	2%CaO +7% CEM III C32,5R	22.5	18.3	5.15	0.25	Douteux
PM1018	R	Argile sableuse marron	0.1-1	34.1	1.5%CaO +7% CEM III C32,5R	23.4	18.2	0.74	0.22	Adapté

Trois essais sont inadaptés ou douteux sur les 18 essais réalisés.

4.6.1. Teneur en CaCO₃

Un total de 34 mesures en carbonates a été réalisé. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Description détaillée	Zone	Réf couch e	Description détaillée	Prof. (m/TA)	CaCO ₃ (%)	Classification
PM1008	Giratoire sud	Aa	Sable graveleux marron beige	2.5-3.5	38	Marne
PM1008	Giratoire sud	Aa	Sable argileux marron beige avec quelques cailloutis calcaires	3.5-4	27	Argiles/limons marneux
PM1017	OA RD10	Am	Argile sableuse marron	2.7-4	47	Marne
PM1018	OA RD10	Am	Sable graveleux marron légèrement argileux	1-3	41	Marne
SC1006	OA du Port	Am	Limon marneux marron clair	2.6-3	55	Marne
SC1006	OA du Port	Am	Marne vasarde marron clair à débris coquilliers	3.5-4	74	Marne
SC1001	Trémie nord	McSo	Marne beige	10-10.5	85	Marne
PM1001	Trémie nord	R	Remblais sableux marron	0-1	41	Marne
PM1001	Trémie nord	R	Sable argileux marron verdâtre	1-2.7	23	Argiles/limons marneux
PM1003	Trémie nord	R	Remblais argilo-sableux marron beige	3-5	13	Argiles/limons marneux
PM1003	Trémie nord	R	Remblais sableux marron	0-1.4	34	Marne
PM1004	Trémie nord	R	Remblais sablo-graveleux marron	0-1.8	16	Argiles/limons marneux
PM1004	Trémie nord	R	Remblai gravelo-sableux marron	1.8-5	29	Argiles/limons marneux
PM1005	Trémie nord	R	Remblais sablo-graveleux marron	0-3.5	23	Argiles/limons marneux
PM1006	Trémie nord	R	Remblais sablo-graveleux à matrice argileuse marron grisâtre	0-2	29	Argiles/limons marneux
PM1007	Trémie nord	R	Remblais sablo-graveleux marron	0-2.5	21	Argiles/limons marneux
PM1008	Giratoire sud	R	Remblais marneux, sableux et graveleux beige	0-2.5	67	Marne
PM1009	Giratoire sud	R	Sable graveleux légèrement argileux marron beige	0-1.7	48	Marne
PM1009	Giratoire sud	R	Sable graveleux légèrement argileux marron beige	1.7-2.4	35	Marne
PM1010	Giratoire sud	R	Remblais graveleux beige	1.2-1.8	46	Marne
PM1010	Giratoire sud	R	Sable argileux beige à grains calcaires	0-1.2	38	Marne
PM1011	Giratoire sud	R	Remblais argilo-sableux beige légèrement graveleux	0-2	37	Marne
PM1011	Giratoire sud	R	Remblais sablo-graveleux beige	2-3	25	Argiles/limons marneux

Description détaillée	Zone	Réf couche	Description détaillée	Prof. (m/TA)	CaCO ₃ (%)	Classification
PM1012	Giratoire sud	R	Remblais sablo-marneux graveleux marron beige	0-3	26	Argiles/limons marneux
PM1013	Giratoire sud	R	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	0-3	14	Argiles/limons marneux
PM1014	Giratoire sud	R	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	0-3.5	21	Argiles/limons marneux
PM1014	Giratoire sud	R	Remblais sablo-graveleux argileux marron beige	3.5-4	18	Argiles/limons marneux
PM1016	OA RD10	R	Remblais sableux et argileux marron	0.4-1.1	46	Marne
PM1016	OA RD10	R	Remblais graveleux sableux et argileux marron	0-0.4	28	Argiles/limons marneux
PM1017	OA RD10	R	Argile sableuse marron verdâtre	0-2.7	42	Marne
PM1018	OA RD10	R	Argile sableuse marron	0.1-1	39	Marne
SC1007	Giratoire sud	R	Remblai gravelo-limoneux	1-2	35	Marne
PM1010	Giratoire sud	R	Remblais graveleux beige	1.8-3	51	Marne
PM1003	Trémie nord	R	Remblais argilo-sableux brun noirâtre	1.4-2.4	27	Argiles/limons marneux

Les teneurs en carbonates des échantillons testés sont comprises entre 10 et 30 % ou entre 30 et 70%. Selon la classification LCPC et selon la classification des normes NF P94-261 (fondations superficielles), ces matériaux se classent respectivement dans la catégorie des « argiles/limons marneuses » et des « marnes » en termes de comportement mécanique.

TENEUR EN CaCO ₃ ^a	CLASSE DE SOL
0 – 10 %	Argile ou limon
10 – 30 %	Argile marneuse ou limon marneux
30 – 70 %	Marne
70 – 90 %	Calcaire marneux
90 – 100 %	Calcaire (ou craie ^b)
<p>a teneur en CaCO₃ déterminée conformément à la norme NF P 94-048.</p> <p>b la dénomination craie désigne les formations sédimentaires de couleur claire, généralement blanchâtre à jaunâtre, poreuses et légères sur lesquelles certains essais de laboratoire spécifiques, tels que, par exemple, les limites d'Atterberg, peuvent être effectués.</p>	

4.7. Teneur en matière organique

Les résultats de teneur en matière organique ont été obtenus par les essais de perte au feu en matière sèche (les résultats en mg/kg de MS ont été divisés par 10000 pour obtenir les pourcentages) :

Sondage	PM1002	PM1008	PM1009	PM1011	PM1014	PM1016	PM1016	PM1017	PM1017	PM1018	PM1018	PM1018
Prof. (m/TA)	3.0-4.0	3.5-4.0	2.4-3.0	0.0-2.0	3.5-4.0	0.0-1.0	1.0-3.0	0.0-2.7	2.7-4.0	3.0-4.0	0.1-1.0	1.0-3.0
Teneur en MO (%)	3.2	1.4	6.1	1.4	5.1	2.0	3.8	3.6	4.6	18.0	4.0	4.9

On observe des teneurs autour de 1 à 6 % en MO dans la formation d'alluvions modernes. Un essai présente une teneur à 18 %, il caractérise le passage tourbeux dans cette formation.

4.8. Essais d'agressivité du milieu (eau et sols) vis-à-vis des bétons

Dans le tableau ci-dessous sont reportés les résultats de l'essai d'agressivité chimique des sols et de l'eau vis-à-vis des bétons (selon la norme NF EN 206 + A1) détails dans le rapport Rp-PA20 4849-23-2 indice C d'INFRANEO.

60 Résultats d'agressivité sol

Sondage	SC1	PM1008	PM1012	PM1018	PM1009	PM1011	PM1013	PM1010	PM1011	PM1018	PM1003	PM1010	PM1009	PM1017	PM1017	PM1004	PM1012	PM1003	PM1004	PM1007
Campagne	HYDROGEOTECHNIQUE	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO
Profondeur essai (m/TA)	0.5-1.0	0-2.9	0-2.7	1-3	1.7-2.4	0-2	0-2	0-1.2	2-3	0-1	3-5	1.2-1.8	2.4-3	0-2.7	2-4	0-1.8	2.7-4	0-1.4	1.8-5	0-2.5
Degré d'acidité Baumann-Gully (ml/kg)		9	9	10	7	14	9	10	13	19	12	12	20	23	11568	11	9	12	15	8
SO4- (mg/kg)	481	8800	6000	940	6000	27000	8700	1900	75000	2300	5800	3800	4600	12000	2800	1300	6500	2800	28000	2700
Norme	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206
Classe d'agressivité sol	<XA1	XA2	XA2	<XA1	XA2	>XA3	XA2	<XA1	>XA3	XA1	XA2	XA2	XA2	XA2	>XA3	<XA1	XA2	XA1	>XA3	XA1

Sondage	PM1014	PM1008	PM1005	PM1006	PM1013	PM1001	PM1007	PM1014	PM1016	PM1015	PM1016	PM1002	PM1008	PM1005	PM1002	PM1006	PM1001	PM1015	SC1007	SC1001
Campagne	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO
Profondeur essai (m/TA)	0-3.5	3.5-4	3.5-5	2-5	2-3	1-2.7	2.5-4	3.5-4	0.4-1.1	0.5	0-0.4	3-4	2.5-3.5	0-3.5	0-1	0-5	0-1	1-4	1-2	4-5
Degré d'acidité Baumann-Gully (ml/kg)	12	12	11	9	8	9	14	14	20	<5	10	14	<5	9	8	7	8	14	23	14
SO4- (mg/kg)	7600	<450	1100	3100	8600	830	550	8100	32000	1500	13000	9000	740	5500	3400	6100	8800	24000	6600	950
Norme	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206
Classe d'agressivité sol	XA2	<XA1	<XA1	XA2	XA2	<XA1	<XA1	XA2	>XA3	<XA1	XA3	XA2	<XA1	XA2	XA2	XA2	XA2	XA3	XA2	<XA1

Sondage	SC1001	SC1002	SC1002	SC1002	SC1003	SC1003	SC1003	SC1004	SC1004	SC1005	SC1005	SC1005	SC1006	SC1007	SC1008	SC1008	SC1004	SC1006	SC1006	SC1006
Campagne	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO
Profondeur essai (m/TA)	11.5-12	3.7-4	4.2-4.7	10.3-10.8	2-3	0.5-0.9	3.5-3.75	3-3.5	6.2-6.8	1.5-2	3-3.5	7-7.5	5.5-6	3-4	1.1-1.6	2.5-3	02-mars	2.3-3	3.5-4	4-4.5
Degré d'acidité Baumann-Gully (ml/kg)	<6	16	9	11	13	22	16	14	<5	8	14	10	19	<5	6	23	20	16	25	19
SO4- (mg/kg)	2000	24000	660	4300	4400	1000	<450	1500	690	2300	4600	1900	1700	5500	1000	1500	1400	2200	7900	4500
Norme	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206	NF-EN-206
Classe d'agressivité sol	XA1	XA3	<XA1	XA2	XA2	<XA1	<XA1	<XA1	<XA1	XA1	XA2	<XA1	<XA1	XA2	<XA1	<XA1	<XA1	XA1	XA2	XA2

20 Résultats d'agressivité eau

Sondage	PZ04	PZ03	PZ02	PZ01	SD11	SD09	SD10	SD06	SD07	SD08	PU	SD05	PZ 1004	PZ1008	PZ 1007	PZ 1003	PZ 1002	PZ 1001	PZ 1005	PZ 1006
Profondeur essai (m/TA)	2.9-9.8	1.7-8.7	2.2-9.5	3.8-9.5	6.8-11.4	7.2-11.9	8.55-23.2	7.3-7.7	9.2-9.7	8.7-12.2	7.1-12.4	7.2-12.5	2.97-15.0	1.5-13.1	3.8-13.0	3.8-9.1	5.1-13.0	3.6-11.4	1.9-13.8	
Date prélèvement	25.09.2024	25.09.2024	25.09.2024	25.09.2024	26.09.2024	26.09.2024	26.09.2024	26.09.2024	27.09.2024	27.09.2024	27.09.2024	27.09.2024	24.09.2024	24.09.2024	24.09.2024	24.09.2024	24.09.2024	24.09.2024	24.09.2024	24.09.2024
Dioxyde de carbone agressif mg/l	4.4	<1.0	12	54	110	<1.0	<1.0	<1.0		<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	4.8	<1.0	<1.0	3,3
Ammonium (NH4) mg/l	850	80	180	140	78	130	74	80		87	70	90	2.8	0.6	4.6	3.2	140	26	0.7	0.3
Sulfates (SO4) mg/l	<50	330	66	170	45	320	11	190	440	170	140	190	570	370	730	500	260	190	610	760
Magnésium (Mg) mg/l	78	29	61	51	66	56	58	58	55	42	38	38	27	67	43	26	80	33	45	37
pH	7.3	7	6.9	6.9	6.8	6.8	6.6	6.9	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9	7.2	6.8	6.9	6.8	7	7	6.8
Classe d'agressivité sol	>XA3	XA2	>XA3	>XA3	>XA3	>XA3	XA2	XA2	XA1	XA2	XA2	XA2	XA1	XA1	XA2	XA1	>XA3	XA1	XA2	XA2

L'analyse des essais d'agressivité annoncent des résultats **>XA3**.

4.9. Maquette géotechnique

Suite à l'analyse des essais laboratoire, les caractéristiques géomécaniques retenues en phase projet sont les suivantes :

Formation	Sous-formation	γ_h (kN.m ⁻³)	γ' (kN.m ⁻³)	c' (kPa)	ϕ (°)	c_u (kPa)	λ_{cu}	$C_c/(1+e_0)$	$C_s/(1+e_0)$	C_v (m ² /s)	C_r (m ² /s)	OCR	POP	C_α
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	/	20	10	0	30	/	/	/	/			/	/	/
n°1 : Alluvions modernes	Général	18	8	10	25	25	0.3	/	/	6.00E-08	6.00E-07	1	0	2.0E-03
	Argileux/limoneux	18	8	8	25	/	/	0.14	0.014	5.00E-08	5.00E-07	1	0	2.0E-03
	Tourbeux	16	6	15	20	/	/	0.28	0.038	8.00E-08	8.00E-07	1	0	1.00E-02
	Argilo-sableux	18	8	2	30	/	/	0.08	0.01	1.00E-07	1.00E-06	1	0	1.00E-03
n°2 : Alluvions anciennes	/	20	10	0	38	/	/	/	/	/	/	/	/	/
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	/	20	10	0	35	/	/	/	/	/	/	/	/	/
n°5 : Sables de Beauchamp	/	20	10	20	25	/	/	/	/	/	/	/	/	/

L'analyse des résultats des essais et sondages conduit à retenir les paramètres indiqués dans les tableaux suivants pour chaque zone. La stratigraphie retenue est également adaptée pour chaque secteur. A noter que les modèles stratigraphiques ci-dessus repose sur les cotes sélectionnées à partir des formations des sondages. Les profondeurs sont fournies à titre indicatif en fonction de la cote en tête retenue par secteur.

4.9.1. Trémie Sud

Formation / Nature du sol	(Cote base NGF (m))	Valeurs pressiométriques			α
		p_i^* (MPa)	p_l^* (MPa)	E_M (MPa)	
n°0 : Remblais anthropiques (pollués)	(+30.0)	-	-	-	2/3
n°2 : Alluvions anciennes	(+28.8)	0.7	1.1	13	1/3
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	(+14.0)	1.2	2.0	25	1/2
n°5 : Sables de Beauchamp	(<+10.0)	2.1	3.0	40	1/2

4.9.2. Trémie Nord

Formation / Nature du sol	Valeurs pressiométriques			α	E_s (MPa)
	p_i^* (MPa)	p_l^* (MPa)	E_M (MPa)		
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	0.4	0.6	5	2/3	7.5
n°1 : Alluvions modernes	0.2	0.3	3	2/3	4.5
n°2 : Alluvions anciennes	1.6	2	15	1/3	45
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	1.4	1.9	14	1/2	28
n°5 : Sables de Beauchamp	1.1	2	20	1/2	40
n°6 : Marnes et caillasses	1.6	5	25	1/2	50

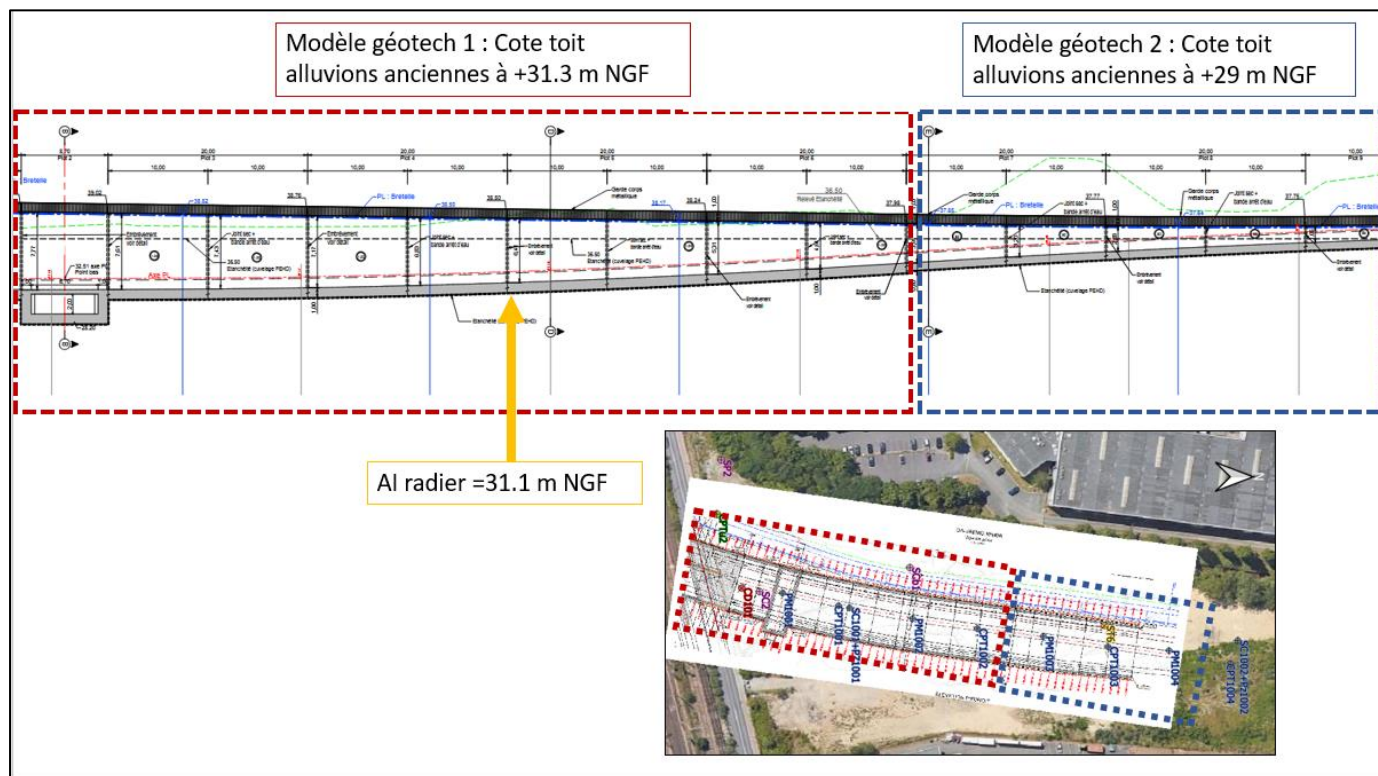
Nota : Dans les calculs du radier de la trémie nord, nous avons considéré des caractéristiques géomécaniques identiques dans les remblais et les alluvions modernes : $p_i^*=0.4$ MPa et $E_M=3$ MPa.

Compte tenu des variations lithologiques au droit de la Trémie nord, la stratigraphie retenue pour chaque secteur (profondeur et cote de la base des différents horizons) est décomposée en deux zones :

Zonage / (cote en tête retenue)	Zone 1 (+39.4)	Zone 2 (+37.8)
Formation / Nature du sol	Prof. base (m/TA) (Cote base NGF (m))	
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	7.1 (+32.2)	8.8 (+29.0)
n°1 : Alluvions modernes	8.0 (+31.3)	NO
n°2 : Alluvions anciennes	11.3 (+28.1)	9.0 (+28.8)
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	21.6 (+17.7)	20.1 (+17.7)
n°5 : Sables de Beauchamp	28.0 (+11.4)	26.5 (+11.4)

NO : Non Observé

Graphiquement, les deux zones sont limitées de la façon suivante :



Définition du zonage des deux modèles stratigraphiques de la trémie nord

4.9.3. Giratoire sud

Formation / Nature du sol	Cote (m NGF)	Valeurs pressiométriques	α
---------------------------	--------------	--------------------------	----------

	Prof. (m/TA)		p_r^* (MPa)	p_l^* (MPa)	E_M (MPa)		E_s (MPa)
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	4.0	(+34.0)	0.4	0.6	4	2/3	6
n°1 : Alluvions modernes	7.9	(+30.1)	0.2	0.3	3	2/3	4.5
n°2 : Alluvions anciennes	14.5	(+23.5)	1.2	2	13	1/3	39
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	24.5	(+13.5)	1	1.4	9	1/2	18
n°5 : Sables de Beauchamp	> 26.5	(<+11.5)	0.8	1.7	8	1/2	16
n°6 : Marnes et caillasses	-	-	1.6	3	25	1/2	50

4.9.4. OA RD10

Formation / Nature du sol	Valeurs pressiométriques			α	E_s (MPa)
	p_r^* (MPa)	p_l^* (MPa)	E_M (MPa)		
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	0.4	0.6	5	2/3	7.5
n°1 : Alluvions modernes	0.2	0.3	3	2/3	4.5
n°2 : Alluvions anciennes	1.2	2.1	13	1/3	39
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	1.0	1.4	10	1/2	20
n°5 : Sables de Beauchamp	0.8	1.5	8	1/2	32
n°6 : Marnes et caillasses	1.6	3.0	25	1/2	50

Au droit de chaque culée et pile de l'OA RD10, on retiendra la lithologie suivante :

Formation / Nature du sol	Culée C0			Pile P1			Culée C2		
	(Cote tête pieu : +36.00m NGF)			(Cote tête pieu : +34.55m NGF)			(Cote tête pieu : +35.50m NGF)		
	Prof. (m/TA)	Cote (m NGF)	Ep. (m)	Prof. (m/TA)	Cote (m NGF)	Ep. (m)	Prof. (m/TA)	Cote (m NGF)	Ep. (m)
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	3.4	(+32.6)	3.40	2.0	(+32.6)	1.95	2.4	(+33.1)	2.40
n°1 : Alluvions modernes	5.6	(+30.4)	2.20	4.8	(+29.8)	2.80	4.3	(+31.2)	1.90
n°2 : Alluvions anciennes	13.6	(+22.4)	8.00	10.8	(+23.8)	6.00	12.8	(+22.7)	8.50
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	18.8	(+17.2)	5.20	16.8	(+17.8)	6.00	17.8	(+17.7)	5.00
n°5 : Sables de Beauchamp	22.5	(+13.5)	3.70	20.6	(+14.0)	3.80	21.6	(+13.9)	3.80
n°6 : Marnes et caillasses	>61.0	(<-25.0)	>38.5	>59.6	(<-25.0)	>39.0	>60.5	(<-25.0)	>38.9

4.9.5. Giratoire intermédiaire

Formation / Nature du sol	Prof. (m/TA)	Cote (m NGF)	Valeurs pressiométriques			α	Es (MPa)
			p_f^* (MPa)	p_l^* (MPa)	E_M (MPa)		
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	2.2	(+31.8)	0.3	0.4	4	2/3	6
n°1 : Alluvions modernes	7.2	(+26.8)	0.2	0.3	3	2/3	4.5
n°2 : Alluvions anciennes	7.7	(+26.3)	0.9	1.6	11	1/3	33
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	19.7	(+14.3)	1	1.4	10	1/2	20
n°5 : Sables de Beauchamp	> 24.7	(<+9.3)	1.4	2.3	8	1/2	16
n°6 : Marnes et caillasses	-	-	1.6	3	25	1/2	50

4.9.6. OA du Port

Formation / Nature du sol	Valeurs pressiométriques			α	Es (MPa)
	p_f^* (MPa)	p_l^* (MPa)	E_M (MPa)		
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	0.2	0.3	3	2/3	4.5
n°1 : Alluvions modernes	0.1	0.2	2	2/3	3
n°2 : Alluvions anciennes	0.9	1.6	11	1/3	33
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	0.8	1.3	9	1/2	18
n°4 : Calcaire de Ducy	1.8	3.1	27	1/2	54
n°5 : Sables de Beauchamp	1.1	1.8	14	1/2	28

Au droit de chaque culée et pile de l'OA du Port, on retiendra la lithologie suivante :

Formation / Nature du sol	C0 / mur de soutènement C0 (Cote tête de pieu : + 34 m NGF)			P1 (Cote tête de pieu : + 34 m NGF)			C2 / mur de soutènement C2 (Cote tête de pieu : + 34.5 m NGF)		
	Prof. (m/TA)	Cote (m NGF)	Ep. (m)	Prof. (m/TA)	Cote (m NGF)	Ep. (m)	Prof. (m/TA)	Cote (m NGF)	Ep. (m)
n°0 : Remblais limono-sableux +/- graveleux	1.0	(+33.0)	1.0	0.5	(+33.5)	0.5	1.0	(+33.5)	1.0
n°1 : Alluvions modernes	7.3	(+26.7)	6.3	9.0	(+25.0)	8.5	9.5	(+25.0)	8.5
n°2 : Alluvions anciennes	11.7	(+22.3)	4.4	12.4	(+21.6)	3.4	12.9	(+21.6)	3.4
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	20.2	(+13.8)	8.5	21.0	(+13.0)	8.6	21.5	(+13.0)	8.6
n°4 : Calcaire de Ducy	23.7	(+10.3)	3.5	23.9	(+10.2)	2.9	24.4	(+10.2)	2.9
n°5 : Sables de Beauchamp	31.7	(+2.3)	8.0	31.2	(+2.8)	7.4	31.7	(+2.8)	7.4
n°6 : Marnes et caillasses	50.1	(-16.1)	18.4	49.0	(-15.0)	17.8	49.5	(-15.0)	17.8
n°7 : Calcaires grossiers	>62.8	(<-28.8)	>12.7	>62.8	(<-28.8)	>13.8	>63.3	(<-28.8)	>13.8

4.10. Modèle hydrogéologique

Pour rappel, trois nappes phréatiques principales sont identifiées au droit de notre site :

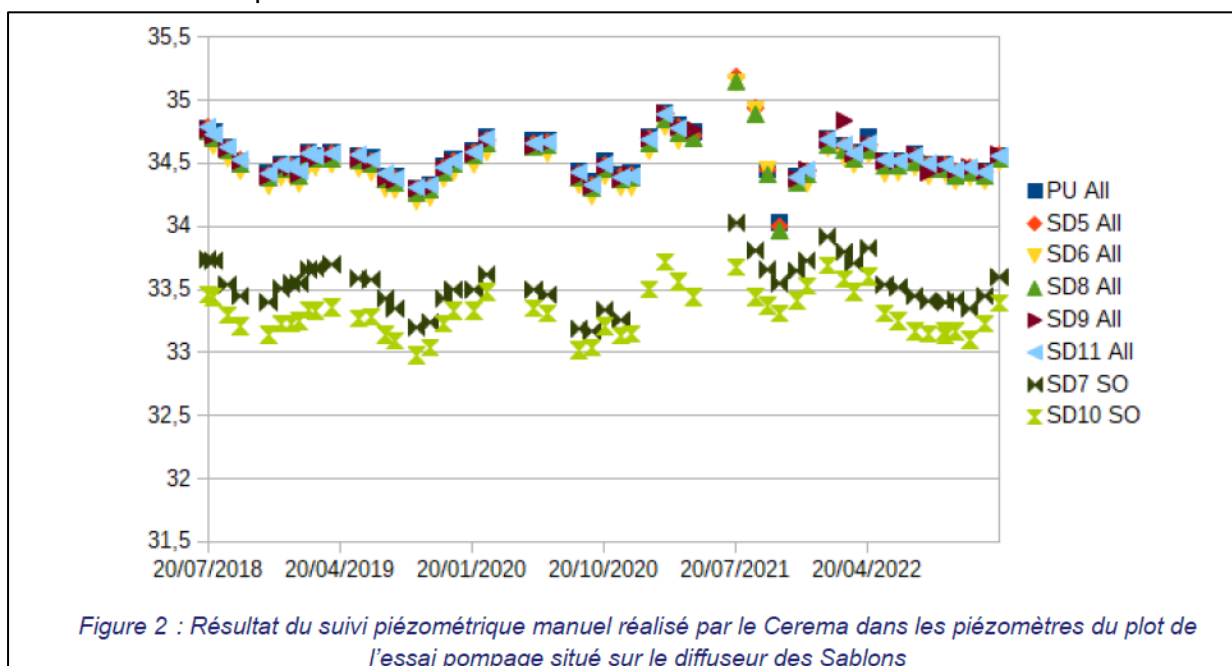
- **Nappe alluviale** : située dans les alluvions, avec des caractéristiques hydrodynamiques influencées par l'exploitation passée des gravières/sablières, et par les crues de la Marne.
- **Nappe semi-profonde du Marno-Calcaire de Saint-Ouen** : aquifère captif, étant donné la partie supérieure marneuse moins perméable.
- **Nappe profonde des Marnes et Caillasses** : présente potentiellement sous l'écran argileux et en connexion avec le Calcaire Grossier.

4.10.1. Suivi piézométrique CEREMA

Un premier suivi piézométrique du CEREMA a été réalisé entre 2018 et 2022 autour de la trémie a permis de :

- Confirmer la dissociation entre la nappe alluviale et celle du Saint-Ouen.
- Observer un gradient hydraulique vertical descendant.
- Identifier des fluctuations piézométriques en lien avec la pluviométrie et les pompages.

Le suivi piézométrique réalisé par le CEREMA entre 2018 et 2022, a permis de mesurer les niveaux suivants à proximité de la trémie :

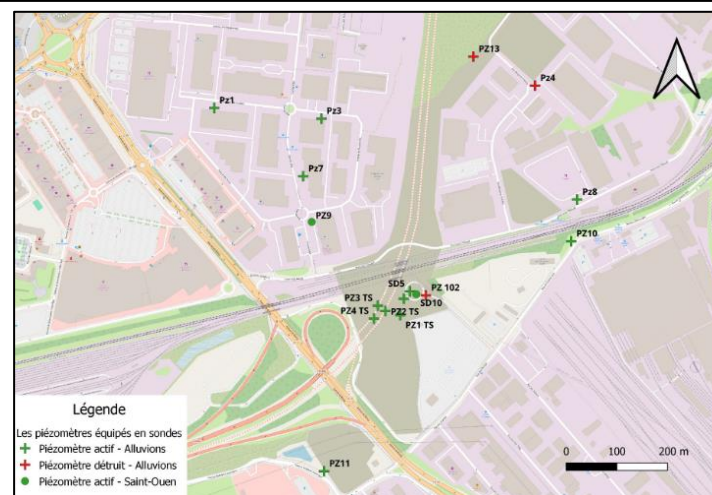
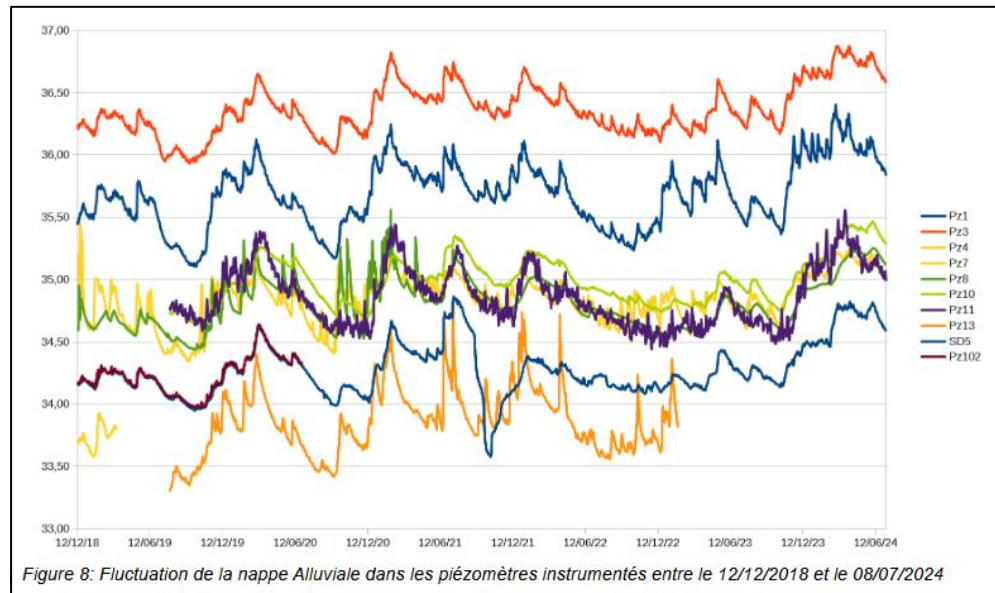


Les niveaux mesurés sont les suivants au niveau de la trémie sud :

- **Nappe alluviale** : fluctuations entre **34.3 m NGF et 35.2 m NGF**.
- **Nappe du Saint-Ouen** : niveaux plus bas, variant entre **32.9 m NGF et 33.9 m NGF**.

A titre d'information, le CEREMA explique que le pompage SNCF effectué lors de la réalisation de la trémie a impacté principalement la nappe alluviale, et il n'y a eu peu ou pas d'effet sur la nappe du Saint-Ouen.

Le dernier rapport de suivi piézométrique du CEREMA rapport N°24-IF-0126 du 31/03/2025 fournit les niveaux d'eau suivants sur la période entre 2018 et 2024 au niveau de la trémie :



L'analyse du CEREMA constate des tendances saisonnières similaires, avec des niveaux hauts généralement entre janvier et mars, et des bas entre septembre et octobre. On note que les niveaux des piézomètres Pz1 et Pz3 sont anormalement élevées, le CEREMA parle d'un dôme piézométrique qui peut être lié à l'interruption de collecteurs d'eaux pluviales. Ces piézomètres qui sont situés dans la ZAC des petits carreaux à l'ouest du projet sont à priori hors zone de nos ouvrages. Les autres niveaux sont cohérents entre eux et oscillent entre 33.5 et 35.5 m NGF. Le niveau de la nappe alluviale ne dépasse pas les 35.5 m NGF sur la période étudiée.

L'analyse des piézomètres SD5 et SD10, confirment encore une fois la dissociation de la nappe alluviale avec celle du saint Ouen, comme montre l'analyse graphique suivante :

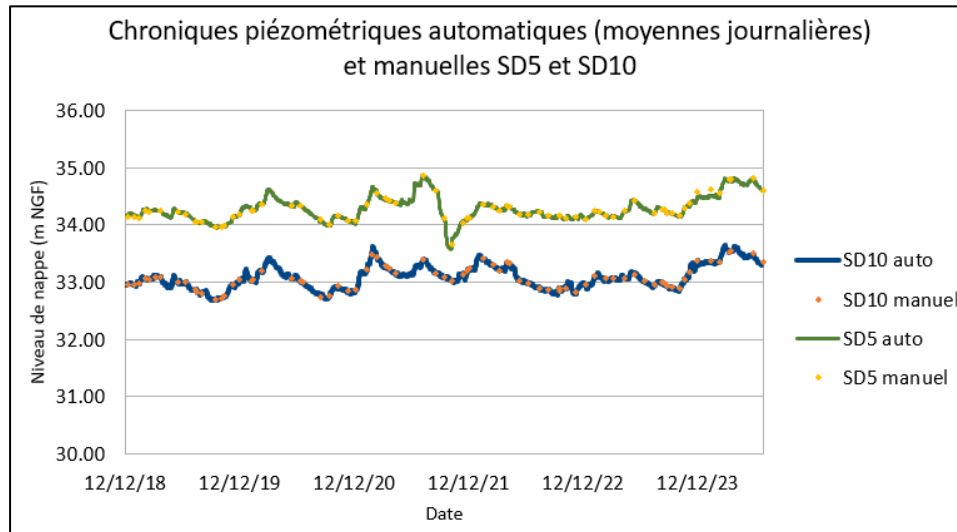


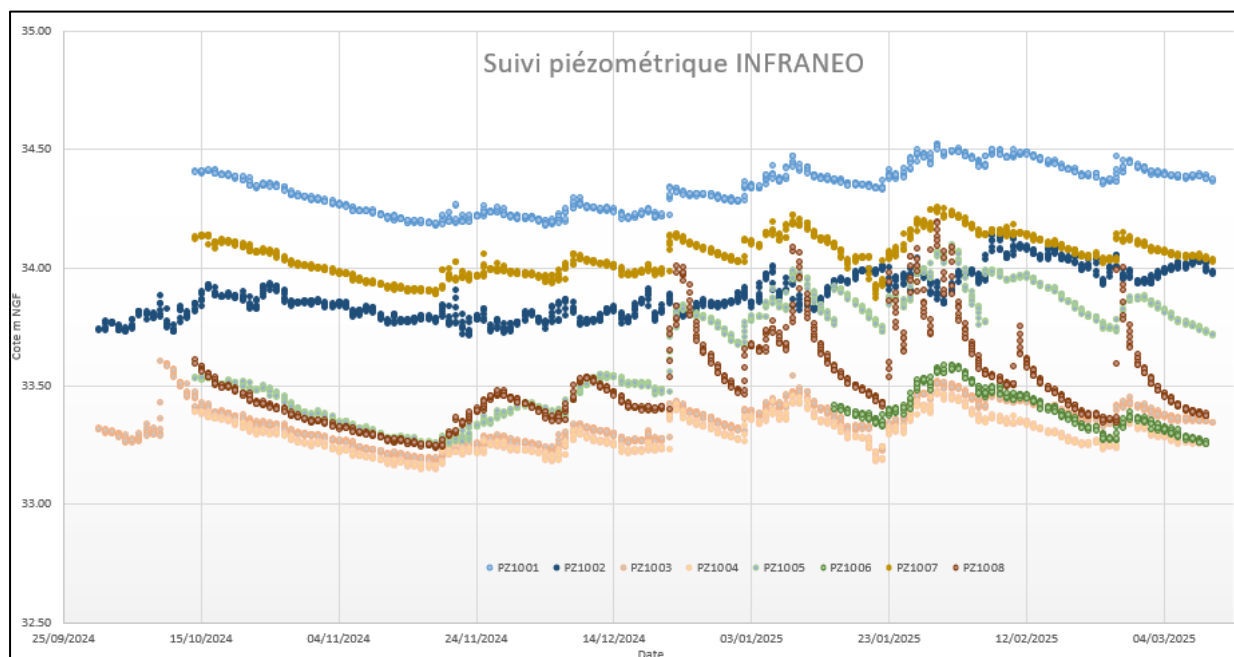
Figure 27 : Analyse graphique des piézomètres SD5 et SD10 (source : CEREMA)

En conclusion, l'étude hydrogéologique du CEREMA retient un niveau d'eau de protection à **+35.5 m NGF** dans la zone de la trémie. On retiendra cette donnée dans la suite de notre étude.

Par ailleurs, une étude hydrogéologique devra permettre de déterminer le niveau NPHE, cette étude ne fait pas partie de notre mission.

4.10.2. Suivi piézométrique INFRANEO

En complément de l'analyse hydrogéologique du CEREMA, un suivi piézométrique réalisé par INFRANEO a été réalisé depuis octobre 2024. Les résultats se présentent de la manière suivante :



Suivi piézométrique

Il est à noter que le régime hydrogéologique peut varier en fonction de la saison, de la pluviométrie. Les informations de niveau d'eau doivent donc être considérées à un instant donné.

L'analyse piézométrique montre des niveaux d'eaux suivant en fonction des secteurs :

Secteur	Cote min en m NGF (date du suivi)	Cote max en m NGF (date du suivi)
Trémie nord (PZ1001 et PZ1002)	33.7 (23/11/2024)	34.5 (30/01/2025)
Giratoire sud (PZ1007)	33.9 (21/01/2025)	34.3 (30/01/2025)
OA RD10 (PZ1003 et PZ1004)	33.1 (18/11/2024)	33.6 (09/10/2024)
Giratoire intermédiaire (PZ1008)	33.2 (18/11/2024)	34.2 (30/01/2025)
OA du Port (PZ1005 et PZ1006)	33.2 (18/11/2024)	34.1 (01/02/2025)

Les piézomètres ont été crépinés jusqu'à la formation des marnes et calcaires de St-Ouen, les nappes alluviales et de St-Ouen communiquent entre elles. Le niveau d'eau prélevé dans les piézomètres est ainsi légèrement sous-estimé dû à la communication des nappes entre elles. On ne peut donc pas faire la dissociation entre les deux nappes comme dans l'étude de CEREMA.

4.10.3. Inondabilité

Les sources consultées annoncent un risque inondation par remontées de nappe. De plus, le PPRi en vigueur annonce à proximité du projet une cote de crue centennale à +36.4 m NGF.

Des informations précises sur le risque réel d'inondation peuvent être fournies dans les documents d'urbanisme (P.L.U.) et dépendent des travaux de protection réalisés, donc susceptibles de varier dans le temps. S'agissant de données d'aménagement hydraulique et non de données hydrogéologiques, elles ne font pas partie de notre mission d'étude géotechnique.

4.10.4. Maquette hydrogéologique

L'étude du contexte hydrogéologique ne fait pas partie de la présente mission et doit faire l'objet d'une étude hydrogéologique spécifique complémentaire (cf. annexe A1 de la norme NF P 94- 500).

En amont de cette étude, nous proposons de retenir, les niveaux caractéristiques suivants pour la conception des ouvrages du projet :

Niveaux caractéristiques	Trémie – Giratoire sud	OA RD10 – OA Port
EB	+34.5 m NGF	+34.0 m NGF
EC	+35.0 m NGF	+34.5 m NGF
EH	+35.5 m NGF	+35.0 m NGF
EE (crue centennale PPRi)	+ 36.4 m NGF	+ 36.4 m NGF

4.11. Risque sismique

4.11.1. Données parasismiques réglementaires

Selon le décret n°2010-1255, les arrêtés émis entre le 15 septembre 2014 et le 8 septembre 2021, modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de classe dite "à risque normal" et la norme NF EN 1998 (Eurocode 8), les principales données parasismiques déduites des éléments du projet et des reconnaissances effectuées figurent dans le tableau ci-dessous :

Zone de sismicité	1 (aléa faible) selon le modèle français
Catégorie d'importance de l'ouvrage (Hypothèse à confirmer par le MOA)	III
Coefficient d'importance γ_i	1,2
Classe de sol	D
Paramètre de sol	-
Accélération maximale de référence (a_{gR})	0,4 m.s ⁻²

4.11.2. Liquéfaction

Le site étant classé en zone sismique 1 (aléa faible), l'étude de la liquéfaction des sols n'est pas requise d'après les arrêtés émis entre le 15 septembre 2014 et le 8 septembre 2021, modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de classe dite "à risque normal".

5. Etude projet

5.1. Analyse du contexte et principes d'adaptation

Compte-tenu de ce qui a été indiqué dans les paragraphes précédents, les points essentiels ci-dessous sont à prendre en compte et conduiront les choix d'adaptation du projet :

Contextes géotechnique, hydrogéologique et sismique :

Sous une hauteur de remblais variable hétérogène et d'origine diverse (anthropique et de grande épaisseur au sud du site), on trouve sur le futur linéaire, les formations suivantes :

- Les alluvions modernes (n°1) avec des passages tourbeux et aussi sableux d'environ 5-7m d'épaisseur,
- Les alluvions anciennes (n°2) avec des passages marneux de 3 à 7m d'épaisseur,
- Les marnes et calcaire de St-Ouen (n°3) autour d'une dizaine d'épaisseur,
- Le calcaire de Ducy (n°4) repéré essentiellement au nord du site,
- Les sables de Beauchamp (n°5) de 4-5m d'épaisseur,
- Les marnes et caillasses (n°6) et les calcaires grossiers (n°7).

Les niveaux d'eau attendus sur le site correspondent à la nappe alluviale dans les remblais et les alluvions, ainsi que la nappe du St-Ouen.

On retiendra un niveau d'eau chantier autour de **+35.0 à +34.5 m NGF**, selon les zones définies au 4.9.4.

Principes d'adaptation prévues

Compte-tenu du caractère compressible des alluvions modernes et des hauteurs de remblais projetés, il est prévu de réaliser un préchargement avec consolidation par drains verticaux sur le linéaire.

A proximité des ouvrages d'art (OA RD10 et OA du Port), il est prévu de réaliser des inclusions rigides afin de limiter le tassement différentiel au niveau des culées.

Les fondations des ouvrages d'art seront de fondations profondes type pieux forés à la tarière creuse « FTC » (avec variante en foré boue « FB »).

Au niveau de la trémie sud, le radier sera posé sur des micropieux pour fonder l'ouvrage et pour résister à la sous-pression.

Au niveau de la trémie nord, le radier sera fondé selon 3 zones :

- Zone 1 : radier posé dans les alluvions anciennes,
- Zone 2 : radier posé dans des remblais d'apports suite à une purge des remblais et alluvions modernes,
- Zone 3 : radier posé sur des inclusions rigides avec un matelas de répartition.

Tous ces ouvrages seront détaillés dans les pièces n°2 et n°3 de l'étude géotechnique de conception G2PRO.

5.2. Zone d'influence géotechnique

Nous rappelons que la ZIG des terrassements et des fondations du projet s'étend aux mitoyens (bâtiments et voiries, réseaux...). Des précautions particulières devront être prises pour garantir la pérennité de ces ouvrages, tant en phase travaux qu'au stade définitif.

Dans le cadre du projet, on note en particulier :

- La voie SNCF au niveau de la trémie,
- La zone humide au centre du projet constituée d'une zone fortement boisée et végétalisée au niveau du giratoire sud et intermédiaire),
- La route RD10,
- Le chemin de fer au droit de l'OA du Port.

Le linéaire se situe majoritairement dans une zone avec des avoisinants non sensibles principalement dans la zone humide. Les mitoyens sensibles sont identifiés au niveau des deux ouvrages d'art (OA RD10 et OA du Port) et au niveau de la trémie. Ces ouvrages sensibles seront dictés par des critères de dimensionnement.

Les autres ouvrages identifiés sont plus éloignés et/ou moins sensibles.

5.3. Aléas géotechniques résiduels

Les aléas et incertitudes résiduels identifiés sont les suivants :

- Variations lithologiques prévisibles dans l'emprise du projet, tant verticalement qu'horizontalement ;
- Hétérogénéité des caractéristiques mécaniques des différents horizons,
- Aléa de dissolution de gypse pour l'OA du Port
- Niveaux caractéristiques de la nappe alluviale pour les différentes zones du projet.

6. Cadre contractuel de la mission

6.1. Cadre de la mission

Les conclusions du présent rapport ne sont valables que sous réserve des conditions générales des missions géotechniques de l'Union Syndicale Géotechnique fournies en Annexe 1 (norme NF P94-500 de novembre 2013).

Nous rappelons que cette étude a été menée dans le cadre d'une étude géotechnique de conception de phase projet (G2 PRO), conformément à la norme NF P 94-500 de novembre 2013.

Cette étude doit être suivie de la phase G2 DCE/ACT.

Lors de la phase de réalisation des travaux, les missions G3 et G4 doivent être réalisées simultanément.

Des éléments nouveaux découverts lors de la réalisation des travaux, n'ayant pu être mis en évidence lors des investigations réalisées dans le cadre de cette mission, peuvent mettre en défaut les conclusions de la présente étude. Tout élément nouveau devra être communiqué à GINGER CEBTP afin de revoir une partie ou toutes conclusions de ce rapport.

6.2. Limites et responsabilités

Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport, et ont été obtenus conformément aux règles de l'art reconnus dans la branche.

Ginger CEBTP se fonde sur les prémisses que :

- Le donneur d'ordre ou ses représentants ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution de cette mission ;
- Les résultats de ce travail ne seront pas utilisés de manière partielle ou déconnectée du contexte ;
- Sans avoir été réexaminés, les résultats de ce travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet, ni transposés à des circonstances modifiées.

Ginger CEBTP décline toute responsabilité envers le donneur d'ordre pour les dommages, directs et indirects, qui pourraient résulter si :

- Les conditions susmentionnées ne sont pas respectées ;
- Un tiers utilise ces résultats ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci.

ANNEXE 1 – NOTES GENERALES SUR LES MISSIONS GEOTECHNIQUES

- Classification des missions types d'ingénierie géotechnique,
- Schéma d'enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique.

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique

<p>L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.</p>
<p>ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)</p> <p>Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :</p> <p><u>Phase Étude de Site (ES)</u></p> <p>Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs. <p><u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).
<p>ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)</p> <p>Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :</p> <p><u>Phase Avant-projet (AVP)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques. <p><u>Phase Projet (PRO)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités. <p><u>Phase DCE / ACT</u></p> <p>Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel). — Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)
ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)
ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

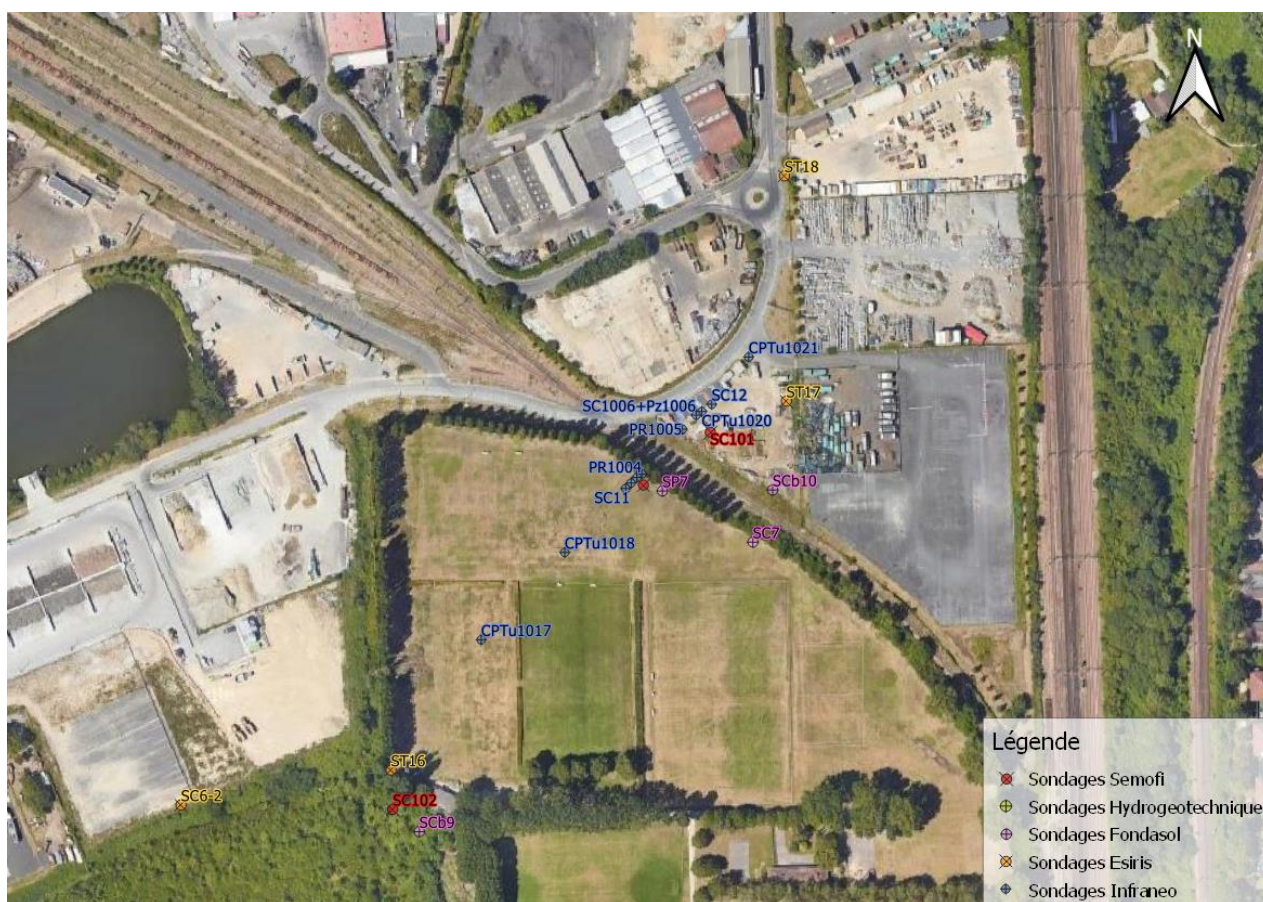
Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

ANNEXE 2 – PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES







ANNEXE 3 – ANALYSE LITHOLOGIQUE PAR SONDAGE

Entreprise	SOLInfra	ESIRIS	ALTHEA	ALTHEA	ALTHEA	ALTHEA	ALTHEA	ALTHEA	ALTHEA	ALTHEA	ALTHEA	FONDASOL	HYDROGEOLOGIE	HYDROGEOLOGIE	HYDROGEOLOGIE	FONDASOL	FONDASOL	HYDROGEOLOGIE	FONDASOL	FONDASOL	FONDASOL	SEMOFI	INFRA	INFRA	INFRA	INFRA	INFRA	ESIRIS	INFRA	
SECTEUR	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie	Trémie
Sondage	S1-S9	ST5	SD4	SD5	SD6	SD7	SD8	SD9	SD10	SD11	PU1	SC1	SD1/SC1	SD2/SC2	CPTU1	PZ102	SP1	CPTU2	SP2	SC2	SC1b1	CD101	SC1001	SC1002	CPT1001	CPT1002	CPT1003	ST6	CPT1004	
(cote NGF de la tête en m)		(+40.7)	(+42.1)	(+42.1)	(+42.0)	(+42.0)	(+42.0)	(+42.0)	(+42.1)	(+41.6)	(+41.9)	(+39.9)	(+41.3)	(+41.4)	(+41.5)	(+41.3)	(+41.4)	(+37.0)	(+37.2)	(+37.5)	(+38.5)	(+37.5)	(+37.8)	(+38.8)	(+36.5)	(+38.2)	(+38.9)	(+38.6)	(+38.5)	
Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA (altitude NGF correspondante en m)																													
n°0 : Remblais	2.2-4.3	>9.0	2.4	2.0	1.9	2.0	1.9	2.1	2.1	2.5	2.0	6.8	5.2	3.3	2.0	Pas de Pv dispo	5.5	2.8	3.5	1.0	4.5	5.3	4.5	9.8	3.0	3.2	4.0	>8.0	6.0	
	(+30.4 à +29.7)	(<+31.7)	(+39.7)	(+40.1)	(+40.1)	(+40.0)	(+40.1)	(+39.9)	(+40.0)	(+39.1)	(+39.9)	(+33.1)	(+36.1)	(+38.1)	(+39.5)		(+35.9)	(+34.2)	(+33.7)	(+36.5)	(+34.0)	(+32.2)	(+33.3)	(+29.0)	(+33.5)	(+35.0)	(+34.9)	(<+30.6)	(+32.5)	
n°1 : Alluvions modernes	NA	NA	7.1	7.4	7.1	7.0	7.2	6.0	7.4	7.0	6.6	NO	NO	7.0	5.5		NO	4.8	4.5	5.0	5.0	NO	6.0	NO	5.2	6.9	6.5	NA	9.3	
			(+35.0)	(+34.7)	(+34.9)	(+35.0)	(+34.8)	(+36.0)	(+34.7)	(+34.6)	(+35.3)			(+34.4)	(+36.0)			(+32.2)	(+32.7)	(+32.5)	(+33.5)		(+31.8)		(+31.3)	(+31.3)	(+32.4)		(+29.2)	
n°2 : Alluvions anciennes	NA	NA	12.8	>13.3	11.0	14.2	13.2	10.2	14.0	>13.1	>13.1	11.3	11.7	10.4	11.5		13.0	>5.0	9.1	11.0	>6.0	10.4	9.7	10.0	>6.6	>9.5	>10.1	NA	12.7	
			(+29.3)	(<+28.8)	(+31.0)	(+27.8)	(+28.8)	(+31.8)	(+28.1)	(<+28.5)	(<+28.9)	(+28.6)	(+29.6)	(+31.0)	(+30.0)		(+28.4)	(<+32.0)	(+28.1)	(+26.5)	(<+32.5)	(+27.2)	(+28.1)	(+28.8)	(<+29.9)	(<+28.7)	(<+28.7)		(+25.8)	
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	NA	NA	24.3	NA	>13.0	>23.7	>23.7	>13.7	>24.0	NA	NA	>15.0	23.5	23.8	>14.5		>25.0	NA	24.0	>15.0	NA	19.8	>15.0	>15.0	NA	NA	NA	NA	>17.5	
			(+17.8)		(<+28.9)	(<+18.3)	(<+18.3)	(<+28.4)	(<+18.1)			(<+24.9)	(+17.8)	(+17.6)	(<+27.0)		(<+16.4)		(+13.2)	(<+22.5)		(+17.7)	(<+22.8)	(<+23.8)					(<+21.0)	
n°4 : Calcaire de Ducy	NA	NA	NO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NO	NA		NO	NA	NO	NA	NO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
n°5 : Sables de Beauchamp	NA	NA	28.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	28.0	30.0	NA	NA	NA	>27.0	NA	NA	>25.3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
			(+14.1)										(+13.3)	(+11.4)				(<+10.2)			(<+12.2)									
n°6 : Marnes et caillasses	NA	NA	>35.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	>41.0	>41.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
			(<+7.0)										(<+0.3)	(<+0.4)																
n°7 : Calcaires grossiers	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

Entreprise	INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO	FONDA SOL	ESIRIS	FONDA SOL	FONDA SOL	FONDA SOL	FONDA SOL	ESIRIS	FONDA SOL	SEM OFI	FONDA SOL	FONDA SOL	FONDA SOL	FONDA SOL	SEM OFI	INFRA NEO	INFRA NEO	INFRA NEO
SECTEUR	Trémie	Trémie	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	Giratoir e sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud
Sondage	CPT10 05	CPT10 07	CPT100 8	CPT100 9	CPTu10 10	CPTu10 11	SC3-2	SC12	SP3	SC3	Scb4	SP3-2	SC8	SCb5	SC10 3	SCb6	SC4	SP4	SD102	PZ10 1	SC100 7+Pz	SC100 3+Pz	SC9
(cote NGF de la tête en m)	(+38.7)	(+36.1)	(+37.1)	(+36.3)	(+37.2)	(+37.5)	(+38.3)	(+38.3)	(+36.5)	(+36.5)	(+37.3)	(+38.2)	(+35.7)	(+37.1)	(+36.7)	(+37.0)	(+37.1)	(+37.4)	(+37.2)	(+37.2)	(+37.3)	(+37.0)	(+34.1)
Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA (altitude NGF correspondante en m)																						
	4.7	2.5	3.1	2.2	3.2	3.0	4.6	3.0	9.8	3.6	3.5	3.5	2.3	4.5	4.3	3.5	6.2	2.0	2.1	2.2	4.0	4.4	5.0
n°0 : Remblais	(+34.0)	(+33.6)	(+34.0)	(+34.1)	(+34.0)	(+34.5)	(+33.8)	(+35.3)	(+26.7)	(+33.0)	(+33.8)	(+34.7)	(+33.4)	(+32.6)	(+32.4)	(+33.5)	(+30.9)	(+35.4)	(+35.1)	(+35.1)	(+33.3)	(+32.6)	(+29.1)
	6.4	5.0	5.8	5.9	6.1	6.8	7.1	8.2	NO	4.7	4.7	8.4	3.6	> 6.0	> 8.0	> 6.0	6.7	7.0	6.0	5.3	7.0	5.9	>6.0
n°1 : Alluvions modernes	(+32.3)	(+31.1)	(+31.3)	(+30.4)	(+31.1)	(+30.7)	(+31.2)	(+30.1)		(+31.8)	(+32.6)	(+29.8)	(+32.1)	(<+31.1)	(<+28. 7)	(<+31.0)	(+30.4)	(+30.4)	(+31.2)	(+31.9)	(+30.3)	(+31.1)	(<+28. 1)
	>9.4	>8.2	>10.1	>10.1	>7.1	>10.1	14.0	15.0	13.0	>15.0	>6.0	12.5	>6.0	NA	NA	NO	> 15.0	15.0	12.6	>10.4	13.5	14.4	NA
n°2 : Alluvions anciennes	(<+29. 3)	(<+27. 9)	(<+27.0)	(<+26.2)	(<+30.1)	(<+27.4)	(+24.3)	(<+23.3)	(+23.5)	(<+21.5)	(<+31.3)	(+25.7)	(<+29.7)				(<+22.1)	(+22.4)	(+24.6)	(<+26. 8)	(+23.8)	(+22.6)	
	n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	NA	NA	NA	NA	NA	>15.0	NA	23.0	NA	NA	>16.0	NA	NA	NA	> 3.1	NA	20.0	25.7	NA	> 15.0	>15.0	NA
(<+23.3)							(+13.5)		(<+22.2)			(<+33.9)				(+17.4)		(+11.5)	(<+22.3)		(<+22.0)		
n°4 : Calcaire de Ducy	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NA	NA	NA	NA
n°5 : Sables de Beauchamp	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	>25.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	> 25.0	32.8	NA	NA	NA	NA
									(<+11.5)									(<+12.4)	(+4.4)				
n°6 : Marnes et caillasses	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	51.0	NA	NA	NA	NA	
																		(-13.8)					
n°7 : Calcaires grossiers	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	>62.2	NA	NA	NA	NA	

Entreprise	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	FONDASOL	FONDASOL	FONDASOL	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO
SECTEUR	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Sud	PS10 Pile	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	PS10 Nord	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter
Sondage	CPTu1025	CPTu1012	PR1001	PR1002	SC5	SP5	SCb7	SC1004+Pz	SC10	PR1003	CPTu1013	CPTu1026	CPTu1014	CPTu1015	SC1008+Pz
(cote NGF de la tête en m)	(+36.7)	(+37.0)	(+37.2)	(+35.8)	(+35.6)	(+34.1)	(+34.3)	(+35.7)	(+36.1)	(+35.6)	(+36.1)	(+36.1)	(+34.0)	(+34.5)	(+34.3)
Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA														
	(altitude NGF correspondante en m)														
n°0 : Remblais	1.8	1.9	4.2	4.8	3.5	2.6	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.0	0.2	0.2	0.1
	(+34.9)	(+35.1)	(+33.0)	(+31.0)	(+32.1)	(+31.5)	(+31.8)	(+33.1)	(+33.5)	(-2.7)	(-2.7)	(-2.0)	(-0.2)	(-0.2)	(-0.1)
n°1 : Alluvions modernes	5.8	5.7	5.9	6.0	5.0	NO	> 6.0	4.5	4.1	4.6	4.8	4.7	2.1	2.3	7.5
	(+30.9)	(+31.3)	(+31.3)	(+29.8)	(+30.6)		(<+28.3)	(+31.2)	(+32.0)	(-4.6)	(-4.8)	(-4.7)	(-2.1)	(-2.3)	(-7.5)
n°2 : Alluvions anciennes	>10.0	>9.6	14.0	12.0	14.9	16.5	NA	13.0	> 6.0	13.2	> 9.4	> 7.7	7.0	4.8	8.0
	(<+26.7)	(<+27.4)	(+23.2)	(+23.8)	(+20.7)	(+17.6)		(+22.7)	(<+30.1)	(-13.2)	(<-9.4)	(<-7.7)	(-7.0)	(-4.8)	(-8.0)
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	NA	NA	20.0	18.0	>15.0	>25.5	NA	> 15.0	NA	17.9	NA	NA	>10.1	>10.0	> 15.0
			(+17.2)	(+17.8)	(<+20.6)	(<+8.6)		(<+20.7)		(-17.9)			(<-10.1)	(<-10.0)	(<-15.0)
n°4 : Calcaire de Ducy	NA	NA	NO	NO	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NA	NA	NA	NA	NA
n°5 : Sables de Beauchamp	NA	NA	23.7	21.8	NA	NA	NA	NA	NA	21.7	NA	NA	NA	NA	NA
			(+13.5)	(+14.0)						(-21.7)					
n°6 : Marnes et caillasses	NA	NA	>30.5	>30.5	NA	NA	NA	NA	NA	>30.5	NA	NA	NA	NA	NA
			(<+6.7)	(<+5.3)						(<-30.5)					
n°7 : Calcaires grossiers	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Entreprise	INFRANEO	FONDASOL	INFRANEO	FONDASOL	FONDASOL	ESIRIS	FONDASOL	ESIRIS	FONDASOL	SEMOFI
SECTEUR	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter	Giratoire inter
Sondage	CPTu1027	SCb7	CPTu1016	SCb8	SP6	SP6-2	SC6	SC6-2	SCb9	SC102
(cote NGF de la tête en m)	(+34.3)	(+34.3)	(+34.4)	(+34.3)	(+34.3)	(+35.7)	(+34.3)	(+35.7)	(+34.2)	(+34.3)
Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA									
	(altitude NGF correspondante en m)									
n°0 : Remblais	2.1	2.5	1.0	2.4	1.0	2.0	1.0	1.5	1.5	1.8
	(-2.1)	(-2.5)	(-1.0)	(-2.4)	(-1.0)	(-2.0)	(-1.0)	(-1.5)	(-1.5)	(-1.8)
n°1 : Alluvions modernes	6.6	NO	6.0	>6.0	5.6	11.0	6.0	11.0	>6.0	>6.1
	(-6.6)		(-6.0)	(<-6.0)	(-5.6)	(-11.0)	(-6.0)	(-11.0)	(<-6.0)	(<-6.1)
n°2 : Alluvions anciennes	7.7	>6.0	8.7	NA	7.0	NO	7.1	NO	NA	NA
	(-7.7)	(<-6.0)	(-8.7)		(-7.0)		(-7.1)			
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	>10.0	NA	>10.0	NA	20.0	>16.5	20.0	>16.0	NA	NA
	(<-10.0)		(<-10.0)		(-20.0)	(<-16.5)	(-20.0)	(<-16.0)		
n°4 : Calcaire de Ducy	NA	NA	NA	NA	NO	NA	NO	NA	NA	NA
n°5 : Sables de Beauchamp	NA	NA	NA	NA	>25.0	NA	>25.0	NA	NA	NA
					(<-25.0)		(<-25.0)			
n°6 : Marnes et caillasses	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
n°7 : Calcaires grossiers	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Entreprise	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	FONDASOL	INFRANEO	INFRANEO	SEMOFI	FONDASOL	INFRANEO	SEMOFI	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	INFRANEO	ESIRIS	FONDASOL
SECTEUR	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP	PS OAP
Sondage	CPTu1017	CPTu1018	SC11	SC1005+Pz	SC7	CPTu1019	PR1004	SD101	SP7	PR1005	SC101	SC1006+Pz	CPTu1020	SC12	CPTu1021	ST17	SCb10
(cote NGF de la tête en m)	(+34.6)	(+34.4)	(+34.5)	(+34.3)	(+34.7)	(+34.3)	(+34.3)	(+34.3)	(+34.4)	(+35.4)	(+35.5)	(+35.5)	(+35.5)	(+35.5)	(+35.4)	(+35.9)	(+35.7)
Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA																
	(altitude NGF correspondante en m)																
n°0 : Remblais	2.0	0.6	1.5	1.5	1.0	0.7	1.8	1.3	1.5	0.3	2.0	0.5	1.5	1.4	1.1	2.0	1.5
	(-2.0)	(-0.6)	(-1.5)	(-1.5)	(-1.0)	(-0.7)	(-1.8)	(-1.3)	(-1.5)	(-0.3)	(-2.0)	(-0.5)	(-1.5)	(-1.4)	(-1.1)	(-2.0)	(-1.5)
n°1 : Alluvions modernes	8.1	5.7	> 6.0	7.0	7.0	7.2	7.5	7.6	7.0	10.4	9.2	10.6	> 10.1	> 6.0	6.6	> 3.0	> 6.0
	(-8.1)	(-5.7)	(<-6.0)	(-7.0)	(-7.0)	(-7.2)	(-7.5)	(-7.6)	(-7.0)	(-10.4)	(-9.2)	(-10.6)	(<-10.1)	(<-6.0)	(-6.6)	(<-3.0)	(<-6.0)
n°2 : Alluvions anciennes	> 9.5	> 9.5	NA	10.9	11.7	> 10.1	12.0	10.8	11.5	13.7	13.6	14.0	NA	NA	8.8	NA	NA
	(<-9.5)	(<-9.5)		(-10.9)	(-11.7)	(<-10.1)	(-12.0)	(-10.8)	(-11.5)	(-13.7)	(-13.6)	(-14.0)			(-8.8)		
n°3 : Marnes et calcaires de St Ouen	NA	NA	NA	> 15.0	> 15.0	NA	20.5	24.0	20.0	20.2	22.5	> 15.0	NA	NA	> 10.1	NA	NA
				(<-15.0)	(<-15.0)		(-20.5)	(-24.0)	(-20.0)	(-20.2)	(-22.5)	(<-15.0)			(<-10.1)		
n°4 : Calcaire de Ducy	NA	NA	NA	NA	NA	NA	24.0	NO	23.0	24.5	25.4	NA	NA	NA	NA	NA	NA
							(-24.0)		(-23.0)	(-24.5)	(-25.4)						
n°5 : Sables de Beauchamp	NA	NA	NA	NA	NA	NA	>30.4	32.0	> 25.0	>30.0	32.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA
							(<-30.4)	(-32.0)	(<-25.0)	(<-30.0)	(-32.7)						
n°6 : Marnes et caillasses	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	50.4	NA	NA	50.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								(-50.4)			(-50.5)						
n°7 : Calcaires grossiers	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	> 63.1	NA	NA	> 60.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
								(<-63.1)			(<-60.0)						

ANNEXE 4 – TABLEAU SONDAGES DES ETUDES ANTERIEURES

Entreprise Date Mission	Type de sondage	Qté	Noms	Prof. / TA (en m)	Altitude NGF de la tête (en m)	Secteur/ Ouvrage
FONDASOL 2011 G12	Sondage destructif paramétré au tricône de Ø 64 mm avec enregistrement des paramètres en continu	7	SP1	25	+41.4	Trémie sud
			SP2	27	+37.2	Trémie nord
			SP3	25	+36.5	OA RD10
			SP4	25	+37.4	OA RD10
			SP5	25.5	+34.1	OA RD10
			SP6	25	+34.3	Giratoire intern
			SP7	25	+34.4	OA du Port
	Exécutions d'essais pressiométriques Norme NF EN ISO 22 476-4	134				
	Sondage carotté en diamètre 114 mm ou 116 mm	7	SC1	15m	+39.9	Trémie sud
			SC2		+37.5	Trémie nord
SC3			+36.5		Giratoire sud	
SC4			+37.1		OA RD10	
SC5			+35.6		OA RD10	
SC6			+34.3		Giratoire intern	
SC7			+34.7		OA du Port	
Sondages carottés au carottier poinçonneur (SCB)	10	SCb1	6m	+38.5	Trémie nord	
		SCb2		+37.1	Trémie nord	
		SCb3		+36.8	Giratoire sud	
		SCb4		+37.3	OA RD10	
		SCb5		+37.1	OA RD10	
		SCb6		+37	OA RD10	
		SCb7		+34.3	OA RD10	
		SCb8		+34.3	Giratoire intern	
		SCb9		+34.2	Giratoire intern	
		SCb10		+35.7	OA du Port	
SEMOFI 2017 G2AVP	Sondage carotté simple ou double en diamètre 114 mm	4	SC101	60.0	+35.5	OA du Port
			SC102	8.0	+34.3	Giratoire intern
			SC103	8.0	+36.6	OA RD10
			CD101	25.4	+37.5	Trémie nord
	Sondage destructif paramétré au tricône de Ø 98 mm	2	SD101	63.0	+34.3	OA du Port
SD102			62.0	+37.1	OA RD10	
Sondage carotté double en diamètre 114 mm pour pose de piézomètre	2	PZ101	10.4	+37.2	OA RD10	
		PZ102	10.3	+41.3	Trémie sud	
HYDROGEOTEC HNIQUE 2018 G2AVP	Sondage destructif en taillant Ø 66 mm	2	SD1	41	+41.2	Trémie sud
			SD2	41	+41.3	Trémie sud
	Exécution d'essais pressiométriques Norme NF EN ISO 22476-4	58				
	Essai au pénétromètre statique lourd avec pointe piézocône Norme NF P94-119	2	CPTu1	14.5	+41.5	Trémie sud
			CPTu2	9.5	+36.9	Trémie nord
	Fouille à la pelle mécanique	5	PM1	0.8	+38.7	Hors zone
			PM2	0.8	+38.8	Hors zone
PM3			0.9	+39.2	Hors zone	
PM4			0.6	+39.3	Hors zone	
PM5			0.6	+39.0	Hors zone	

Entreprise Date Mission	Type de sondage	Qté	Noms	Prof. / TA (en m)	Altitude NGF de la tête (en m)	Secteur/ Ouvrage
	Sondage carotté en diamètre 101 mm	4	SC1 SC2 SC3 SC4	40 34.2 40.5 25	+41.2 +41.3 +40.5 +35.9	Trémie sud Trémie sud Hors zone Hors zone
ESIRIS 2020 G2PRO	Sondage semi-destructif de Ø89 mm	15	ST1	2	+38.4	Trémie sud
			ST2	2	+39.5	Trémie sud
			ST3-A	2	+40.4	Trémie sud
			ST3-B	2	+40.4	Trémie sud
			ST4-A	5	+41.1	Trémie sud
			ST4-B	10	+47.9	Trémie sud
			ST5	9	+40.7	Trémie sud
			ST6	8	+38.6	Trémie nord
			ST7	8	+38.1	Trémie nord
			ST12	/	+38.3	Giratoire sud
			ST13	3	+36.9	OA RD10
			ST14	3	+37.3	OA RD10
			ST16	/	+34.7	Giratoire interm
			ST17	3	+35.9	OA du Port
			ST18	2	+35.4	OA du Port
	Sondage carotté rotatif de Ø114 mm	4	SC3-2	15	+38.3	Giratoire sud
			SC6-2	16	+35.2	Giratoire interm
			SC8	6	+35.7	Giratoire sud
			SC12	15	+38.2	Giratoire sud
	Sondage destructif paramétré au tricône de Ø 66 mm	2	SP3-2	16	+38.2	Giratoire sud
			SP6-2	16	+35.7	Giratoire interm
	Exécution d'essais pressiométriques Norme NF EN ISO 22476-4	29				
ALTHEA 2018 G2AVP	Sondage destructif paramétré au tricône de Ø 89 mm	9	PU1	13.1	+41.9	Trémie sud
			SD4	12.0	+42.0	
			SD5	13.3	+42.0	
			SD6	13.0	+41.9	
			SD7	23.7	+42.0	
			SD8	13.2	+42.0	
			SD9	13.7	+42.0	
			SD10	24.0	+42.0	
			SD11	13.1	+41.5	



www.groupe-cebtp.com