

Prolongement du T10 vers une gare du Grand Paris Express
Note de synthèse suite à la réalisation de la campagne d’investigation au stade DOCP

Table des matières

I.	OBJECTIFS ET ENJEUX DE LA CAMPAGNE D’INVESTIGATIONS	2
II.	CONTEXTE GEOTECHNIQUE DU PROJET	7
A.	Contexte géologique	7
B.	Contexte hydrogéologique	9
III.	Secteur 1 / Ouvrage annexe « Bois de Clamart »	11
1.	Objectifs des sondages	11
2.	Apports des investigations	12
IV.	Secteur 2 / Station Mairie de Clamart	14
1.	Objectifs des sondages	14
2.	Apports des investigations	15
V.	Secteur 3 / Station Clamart Centre	18
1.	Objectifs des sondages	18
2.	Apports des investigations	19
VI.	Secteur 4 / Jaurès	21
1.	Objectifs des sondages	21
2.	Apports des investigations	22
VII.	Secteur 5 / Ouvrage annexe « Lazare-Carnot »	23
1.	Objectifs des sondages	23
2.	Apport des investigations	24
VIII.	Secteur 6 / Ouvrage annexe « Lazare-Carnot »	26
1.	Objectifs des sondages	26
2.	Apports des investigations	27
IX.	Points d’attention supplémentaires	28

I. OBJECTIFS ET ENJEUX DE LA CAMPAGNE D'INVESTIGATIONS

Le tramway T10 est actuellement en travaux sur environ 7 km entre la Croix de Berny (Antony) et la station Jardin Parisien (Clamart). La mise en service du tramway est prévue mi-2023. Ce projet s'inscrit dans une volonté de densifier les réseaux de transport en Ile-de-France et plus particulièrement sur le Sud des Hauts de Seine (92) afin de desservir quatre villes : Antony, Chatenay-Malabry, Le Plessis-Robinson et Clamart.

Il est proposé de prolonger le Tram T10 à la gare de Clamart, en correspondance avec la future ligne 15 du métro et la ligne N, sur un linéaire d'environ 3 km.

Deux scénarios sont étudiés à ce stade :

- Un scénario en tunnel (scénario de référence)
- Un scénario en surface (scénario alternatif)

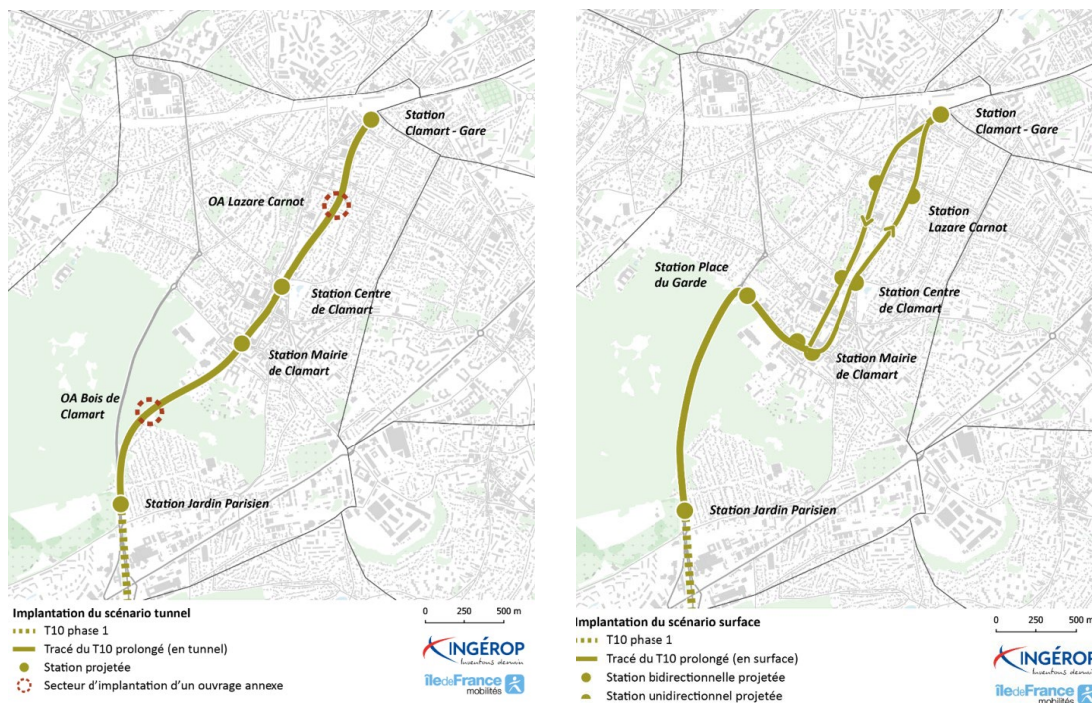


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et du scénario alternatif

Dans le cadre du prolongement de la ligne de tramway T10 de Clamart jusqu'à une gare du Grand Paris Express, Ile-de-France Mobilités a décidé de mener une campagne d'investigations géotechniques en cohérence avec l'avancement du projet pour réduire les incertitudes géologiques et géotechniques au droit des fuseaux de tracés actuels en tunnel :

- Déterminer précisément les limites des formations géologiques au droit de certains ouvrages, au droit desquels peu de données sont actuellement disponibles ; il s'agira également de d'étudier la présence d'anomalie géologique ;

- Préciser, sans exhaustivité, le risque cavités et carrières au droit du projet en déterminant la répartition de celles-ci au droit des ouvrages ;
- Etudier les différentes nappes au droit de ce projet par la mise en place de piézomètres au droit des ouvrages du projet afin de renseigner le modèle hydrogéologique.

Cette campagne vient compléter les informations collectées à l'issue d'une étude bibliographique menée par Île-de-France Mobilités. Elle vise à ce stade à réduire les incertitudes auxquelles le projet pourrait être confronté si l'option du tunnel est retenue. Elle devra être précisée par des investigations complémentaires nécessaires au dimensionnement des ouvrages lors des phases ultérieures du projet. Ces interventions ont été l'occasion de quelques mesures complémentaires (essais mécaniques) pour préciser la connaissance des terrains.

La campagne comprend plusieurs secteurs d'intervention au voisinage des ouvrages envisagés dans le cadre du scénario en tunnel.

A noter que n'ont pas fait l'objet d'investigation des secteurs suivants :

- Secteur de la gare de Clamart au terminus envisagé du prolongement du tram T10, en raison du volume d'informations géotechniques déjà disponibles dans ce secteur, investigué dans le cadre de la création de la ligne 15 du métro (données collectées auprès de la SGP).
- Secteur d'implantation de l'entrée du tunnel, car il s'inscrit dans un contexte géologique plus simple et bien connu au regard des données déjà disponibles. S'ajoutent également des difficultés d'accessibilité pour des engins de forages. Etant donné le degré d'avancement du projet et ces dernières informations, il n'a pas été jugé nécessaire d'intervenir dans ce secteur pour le moment.

Les investigations comprennent la réalisation de sondages carottés, pressiométriques, destructifs avec mesure de gamma-ray, la pose de piézomètres et la réalisation d'essais en laboratoire.

- Les sondages carottés permettent une visualisation des terrains, par la remontée de matériaux intacts, tels que présents dans le sol. Ces données sont indispensables pour définir la lithologie précise de la géologie en place. Ces sondages permettent également le prélèvement de matériaux pour pouvoir réaliser des essais en laboratoire.
- Lors des sondages destructifs, les paramètres de forages sont enregistrés (vitesse d'avancement, pression sur l'outil, couple de rotation) et permettent d'appréhender la consistance des terrains et leur caractère homogène ou hétérogène. Ces derniers renseignent également sur la présence de terrains décomprimés, très décomprimés ou vides.
- Les essais pressiométriques sont réalisés à profondeur régulière au sein de sondage de destructifs et permettent d'obtenir, par abus de langage, un sondage pressiométrique. Ces essais fournissent des caractéristiques mécaniques des terrains, permettant d'appréhender le comportement des terrains et de procéder à des dimensionnements, calculs d'ouvrages.
- Les mesures gamma-ray sont des données obtenues par l'introduction d'une sonde dans un forage préalablement réalisé et la mesure de la radioactivité naturelle des terrains. La bibliographie fournit des valeurs caractéristiques par nature de matériau voire pour certains horizons, bancs connus de la géologie parisienne. Ceci permet de préciser la lithologie et/ou aide à sa détermination, et permet également de renseigner sur la présence de gypse.

- Les piézomètres correspondent à des ouvrages laissés en place pour le relevé régulier de niveau d'une nappe spécifique, en fonction de la position de crépine mise en place. Les ouvrages sont équipés de bouches à clé ras-le-sol, ils n'impactent pas la circulation ni l'usage des terrains au droit de leur position.

Pour éclairer le lecteur sur l'objet de cette collecte d'informations et la réalisation de cette première campagne, il convient de prendre en compte les éléments suivants :

- Les résultats acquis aujourd'hui permettent d'alimenter la base de données du projet et seront exploités dans toutes les phases à venir du projet, quand bien même les sondages ne seraient pas situés exactement au droit des futurs ouvrages.

Le projet s'inscrit dans un contexte géologique régional caractérisé par des formations à la lithologie et au comportement général connus à l'échelle du Bassin Parisien et selon des variations locales. Il s'agit d'apprécier et d'augmenter notre connaissance à l'échelle du projet voire d'un ouvrage.

Pour ce type de projet, les données collectées peuvent être extrapolées (hors informations de zonage de carrière) à quelques dizaines de mètres mais toujours en tenant compte d'un niveau de fiabilité de l'information fonction de la distance au tracé ou à l'ouvrage. L'information de la distance entre le point de sondage et le tracé (ou l'ouvrage) est conservée et accessible tout au long des études, jusqu'à l'exécution.

- Les sondages géotechniques sont des données ponctuelles : les investigations réalisées aujourd'hui ne pourront pas remplacer les investigations à venir, notamment au stade faisabilité, avant-projet et projet, qui seront réalisées au droit des futurs ouvrages et devront permettre des caractérisations mécaniques des terrains pour le dimensionnement des ouvrages de génie civil et le choix des méthodologies de réalisation des travaux.

Il est important de garder à l'esprit que **le niveau d'investigations doit être adapté au degré d'avancement du projet pour que les campagnes restent pertinentes** : elles doivent être adaptées aux risques résiduels géologiques, hydrogéologiques et géotechniques réévalués en fin de chaque phase du projet et aux ouvrages prévus (positionnement, méthodes, géométrie, ...).

- Comme précisé au premier tiret, le projet s'inscrit dans un contexte géologique régional, les données collectées traduisent une histoire géologique commune avec toute la cohérence qu'elle implique. Il est important de confronter les données collectées aux données bibliographiques, collectées dans les phases ultérieures et enfin d'apprécier la cohérence de notre interprétation avec le contexte géologique global.

- La présence et localisation des carrières est largement renseignée par les services de l'Inspection Générale des Carrières (IGC) et font l'objet de mise à jour si nécessaire. Toutefois, de par la nature et l'histoire de ces exploitations, il est possible de trouver en limite extérieure des zones de carrières, des espaces remblayés, objet d'une ancienne exploitation, d'une salle avortée, ...

Il s'agit d'un point de vigilance et des sondages ont été réalisés dans ce sens lors de cette campagne, en vue de savoir si nous étions ou non au droit d'une zone d'ancienne exploitation. Concernant ce « paramètre », les données ne peuvent être extrapolées et devront faire l'objet de reconnaissances dès lors que le tracé sera arrêté.

La présente note a pour objectif de fournir un avis sur les éléments apportés par les reconnaissances au regard des incertitudes et risques qui avaient été identifiés, et d'indiquer dans quelles mesures ils permettent de réduire ou préciser ces incertitudes.

Les sondages réalisés sont les suivants :

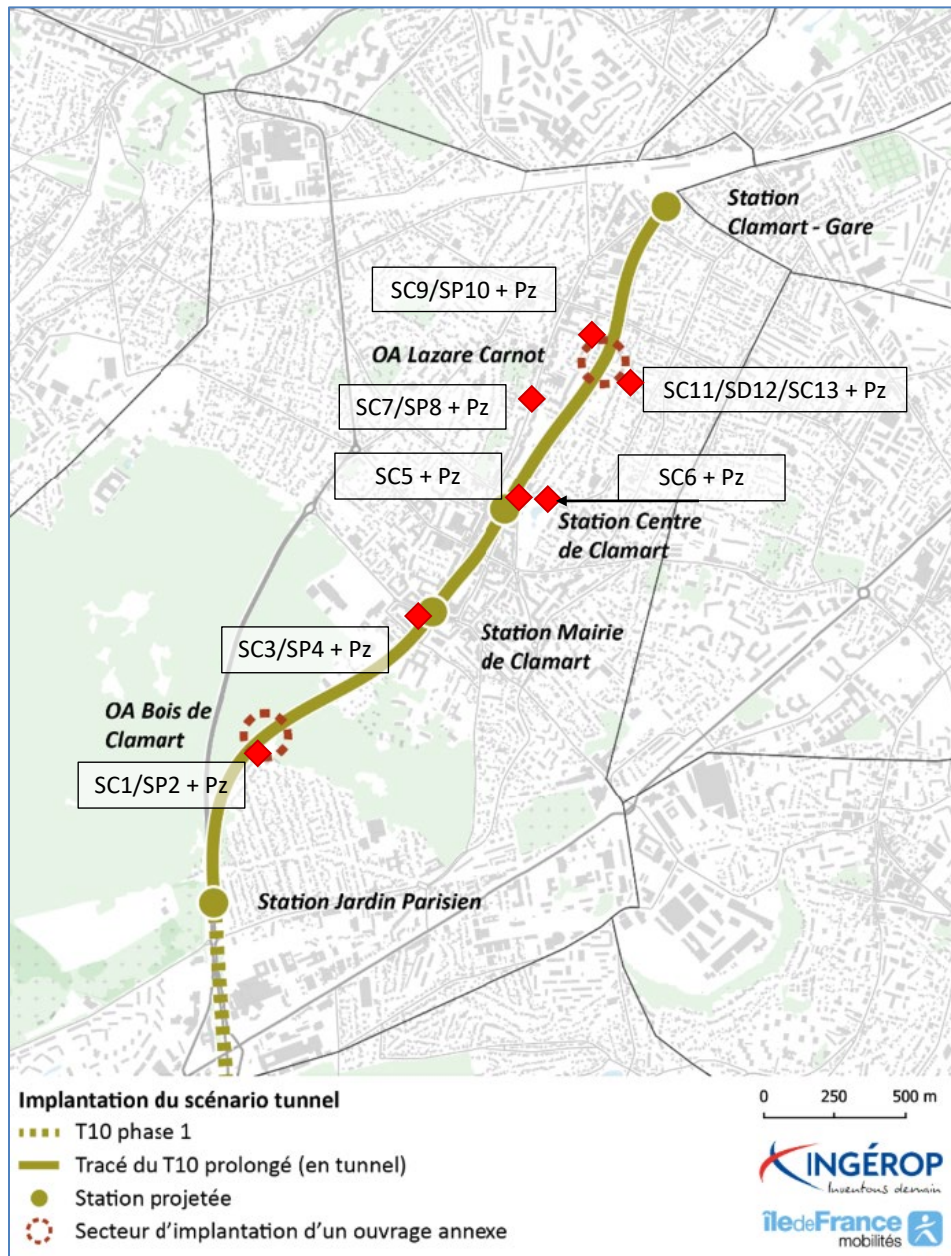


Figure 2 : Implantation des sondages par rapport au scénario en tunnel

La campagne sur site s'est déroulée entre janvier et mai 2022.

L'ensemble des sondages se situent sur la commune de Clamart.

Il est rappelé que la localisation et les conditions d'insertion des ouvrages du scénario en tunnel devront faire l'objet d'approfondissements ultérieurs si ce scénario est retenu. Les sondages ne sont pas nécessairement positionnés strictement au droit des ouvrages pour le scénario en tunnel. A ce stade, leur localisation vise à fournir des données représentatives du sous-sol sur les secteurs à enjeux identifiés pour le scénario en tunnel, tout en tenant compte des contraintes d'occupation de l'espace pour l'installation des sondages.

Les réflexions et analyses issues des investigations réalisées sont présentées dans la suite du document.

II. CONTEXTE GEOTECHNIQUE DU PROJET

A. Contexte géologique

La zone d'étude qui concerne majoritairement Clamart et le Sud d'Issy les Moulineaux se trouve au cœur du bassin de Paris. La géomorphologie est héritée de l'érosion de la Seine (qui circule au nord), qui a mis à l'affleurement l'ensemble de la série tertiaire depuis les Argiles de Montmorency et les Sables de Fontainebleau présents sur le plateau de Clamart, jusqu'à la Craie du Campanien (Ere secondaire), à l'affleurement sous les alluvions dans la vallée de la Seine.

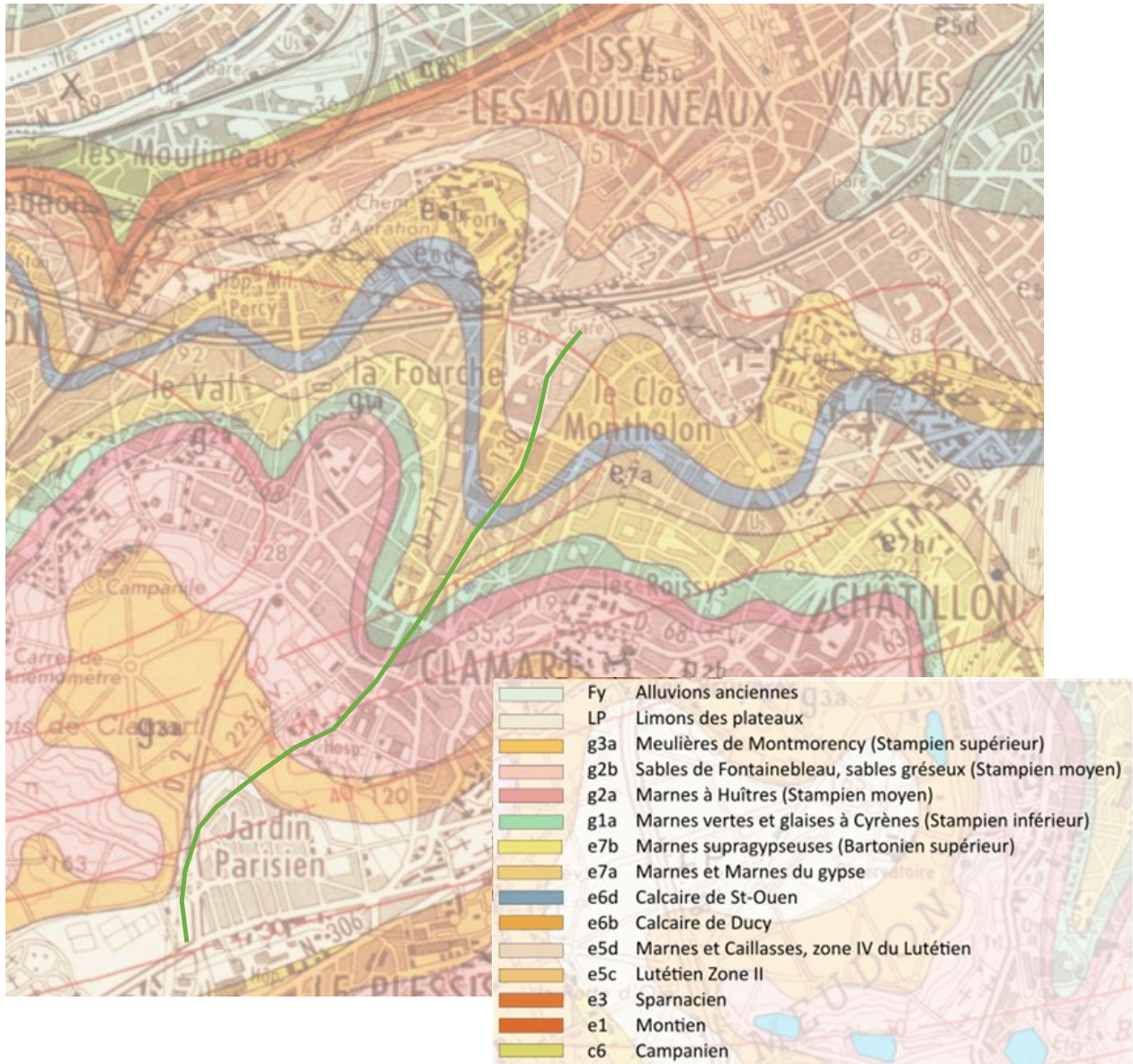


Figure 3 : Extrait de la carte géologique de la zone d'étude (Carte n°183, BRGM) et position approximative du scénario de référence (tunnel)

Sur l'ensemble des tracés projetés et plus généralement le fuseau d'étude, les couches géologiques sont recouvertes d'une couche de remblai d'épaisseur variable et d'éboulis ou dépôts de pente.

D'un point de vue structural, le secteur d'étude se trouve dans l'axe de l'Anticlinal de Meudon. Cette structure bien référencée, permet la mise à l'affleurement de la Craie dans la vallée de la Seine. La figure suivante présente une coupe géologique entre Meudon et Montmartre.

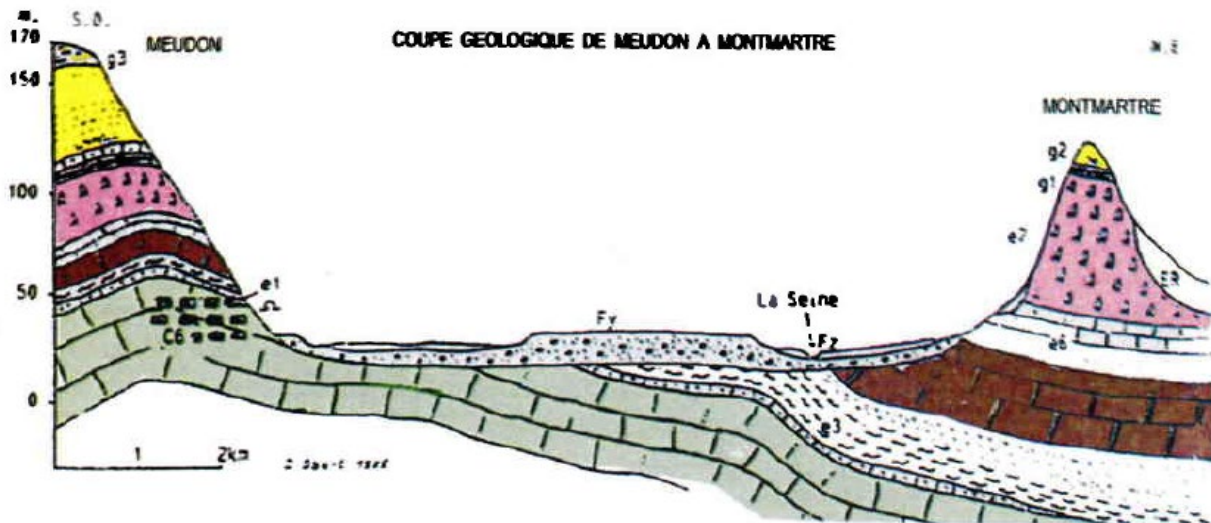
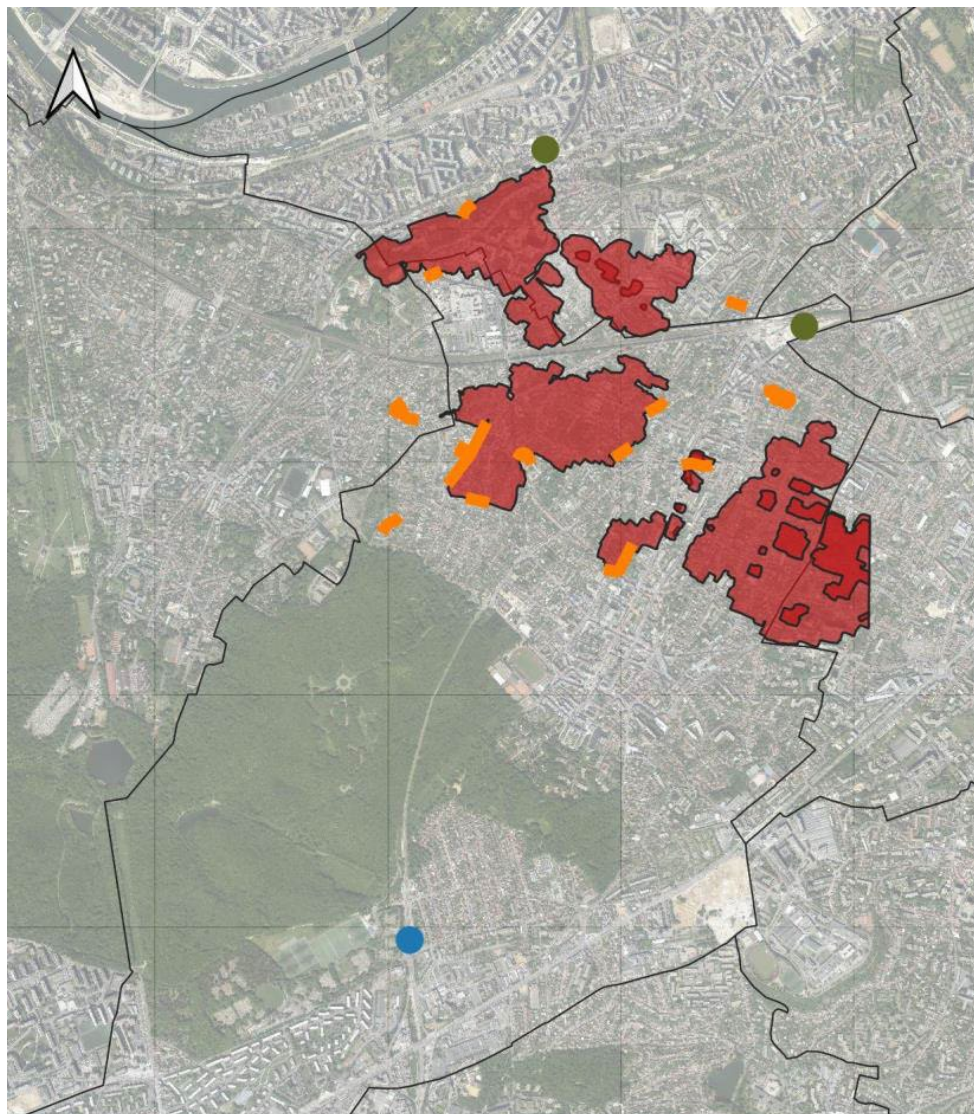


Figure 4: Coupe géologique entre Meudon et Montmartre (modifiée par M. Colchen 2003, d'après D. Obert, 1989).

L'échelle des hauteurs est multipliée par 25. c6 : Campanien ; e1 à e7 : succession des strates du Paléocène et de l'Éocène et g1 à g3, de l'Oligocène

L'ensemble du secteur d'étude est concerné par la présence de carrières. La présence de ces exploitations anciennes aujourd'hui abandonnées et plus ou moins surveillées sont une problématique majeure pour le prolongement du Tramway T10.



Carrières du secteur d'étude

- Gare GPE
- Gare du T10
- Carrières
- Limites de carrières incertaines

0 250 500 m



B. Contexte hydrogéologique

L'hydrogéologie du projet se caractérise par l'existence de quatre nappes aquifères distinctes, soit :

- Nappe des Alluvions Anciennes de la Seine,
- Nappe de l'Oligocène (Sables de Fontainebleau, Marnes à Huître et Calcaire de Brie),
- Nappe de l'Eocène supérieur (Calcaire de Saint-Ouen et Sable de Beauchamp). Cette nappe est retenue par le niveau médian argileux des Sables de Beauchamp lorsqu'il existe. Dans le secteur

d'étude, cette nappe semble désaturée et donc non présente. Des arrivées d'eau très localisées peuvent apparaître au toit du niveau argileux des Sables de Beauchamp si celui-ci est continu,

- Nappe de l'Eocène moyen et inférieur (Marnes et Caillasses et Calcaire grossier), au vu de l'exploitation intense du Calcaire grossier dans la zone d'étude, une grande partie du Calcaire grossier semble désaturé,
- Nappe de la Craie.

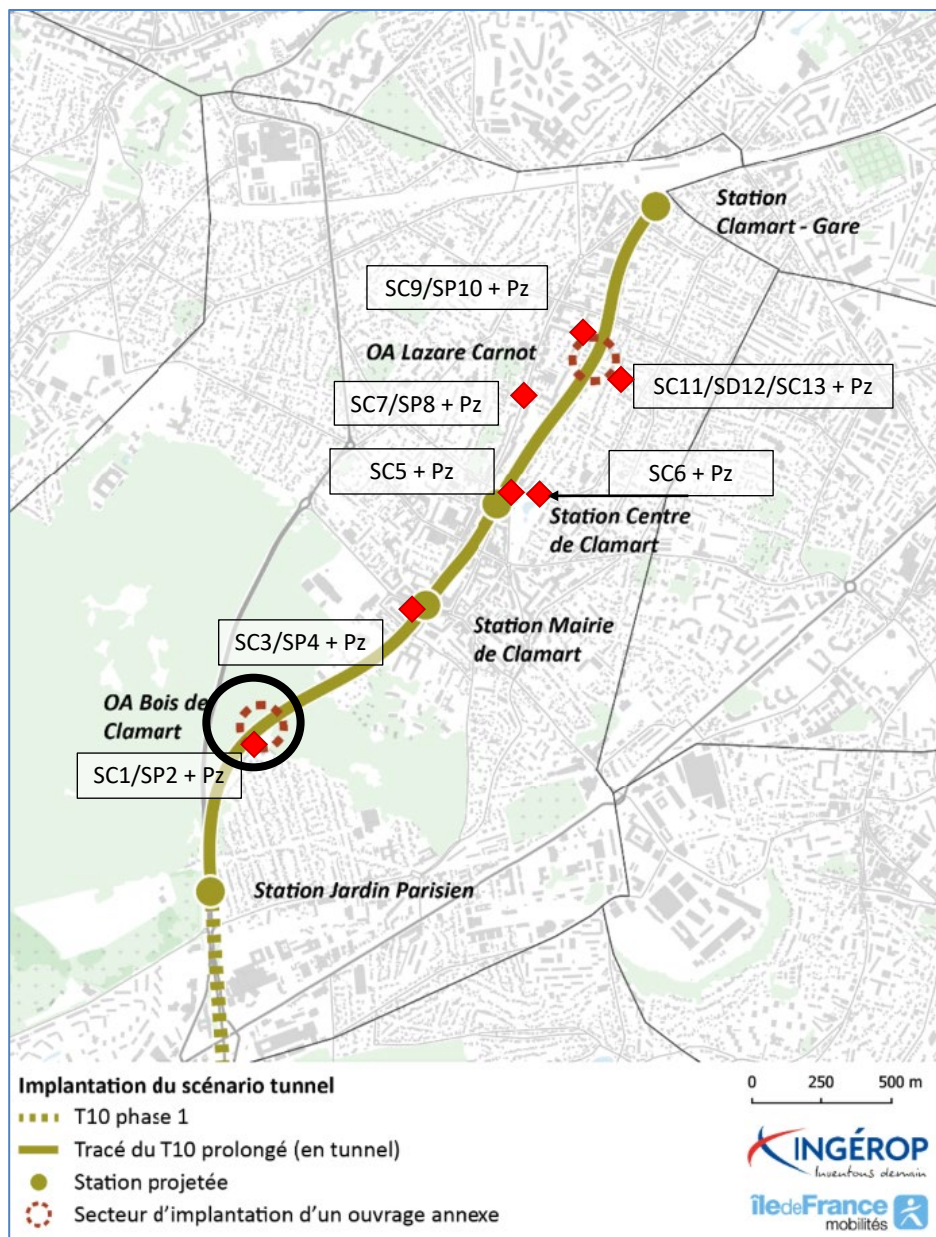
III. Secteur 1 / Ouvrage annexe « Bois de Clamart »

1. OBJECTIFS DES SONDAGES

Programme d'investigations :

- ✓ 1 sondage carotté descendu à 45 m – SC1
- ✓ 1 sondage pressiométrique descendu à 45 m – SP2
- ✓ 1 piézomètre : équipement du sondage SC1 jusqu'à 45 m – PZ1
- ✓ Essais en laboratoire
- ✓ Diagraphie gamma-ray au sein de SP2

Localisation des sondages réalisés : rue des Marronniers à Clamart



Objectifs des sondages :

Le début du tracé se trouve assez dépourvu d'informations géologiques précises, l'objectif du couple de sondage est de fournir des informations sur la lithologie, des informations sur les caractéristiques mécaniques des terrains, exploitables pour l'ouvrage annexe.

Le piézomètre doit permettre de collecter des informations sur la nappe des Sables de Fontainebleau.

La profondeur des sondages est définie en fonction de la cote rail du tracé envisagé : Zrail = -28 // -39 m/TN.

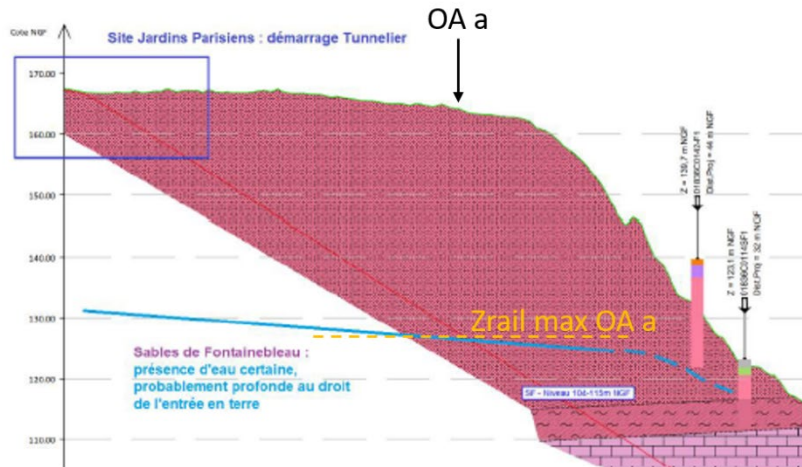


Figure 5 : Extrait de maquette géologique

2. APPORTS DES INVESTIGATIONS

Les sondages ont été réalisés depuis le plateau avec une cote de tête de sondage à 166 – 167 m NGF.

La lithologie mise en évidence comprend :

- **Matériaux de remblais** sur une faible épaisseur, au maximum 1,5 m (profondeur de l'avant-trou réalisé à l'aspiratrice ne permettant pas une caractérisation/visualisation des terrains),
- **Les Argiles à meulière** présentent jusqu'à -5,25 m/TN soit 161 m NGF, à noter que des blocs de meulière ont été traversés en tête de la formation sur 0,5 m, on les retrouve ensuite avec une fréquence importante et des épaisseurs de 10 à 30 cm. Les sondages carottés ne permettent pas d'appréhender la taille de ces blocs. Dans le cadre du projet de prolongement du T10, la formation n'est pas concernée par des terrassements sur le plateau, il n'est pas nécessaire de caractériser plus finement cette formation.
- **Les Sables de Fontainebleau** ont été identifiés jusqu'à la base du sondage soit la cote 121 m NGF. La coupe du sondage carotté précise que les matériaux extraits sont humides, témoignant de circulations d'eau au sein de la formation.
On note que l'horizon est plus limoneux entre 144 et 132 m NGF.

Il n'a pas été reconnu d'élément gréseux, même sur de faible épaisseur. Cependant cela reste une information ponctuelle, elle ne permet pas d'écarter la présence de dalles gréseuses au sein de la formation.

Les caractéristiques pressiométriques de la formation sont homogènes et on note une amélioration avec la profondeur : cette amélioration est progressive jusqu'à 140 m NGF (-26 m/TN), puis les valeurs de pressions limites mesurées sont élevées, systématiquement supérieures à 5 MPa (critère d'arrêt de l'essai pressiométrique) à partir de 134 m NGF (-32,5 m/TN).

La diagraphie gamma-ray fournit des résultats en cohérence avec la lithologie mise en évidence. Quelques pics sont observés au sein des Sables de Fontainebleau vers -21 m/TN, susceptibles d'être en lien avec la présence de passage argileux/limoneux.

Au 26/04/2022, le piézomètre était sec.

Les investigations confirment la présence de Sables de Fontainebleau au-delà de 121 m NGF et fournissent des caractéristiques mécaniques de la formation, à proximité immédiate de l'ouvrage annexe.

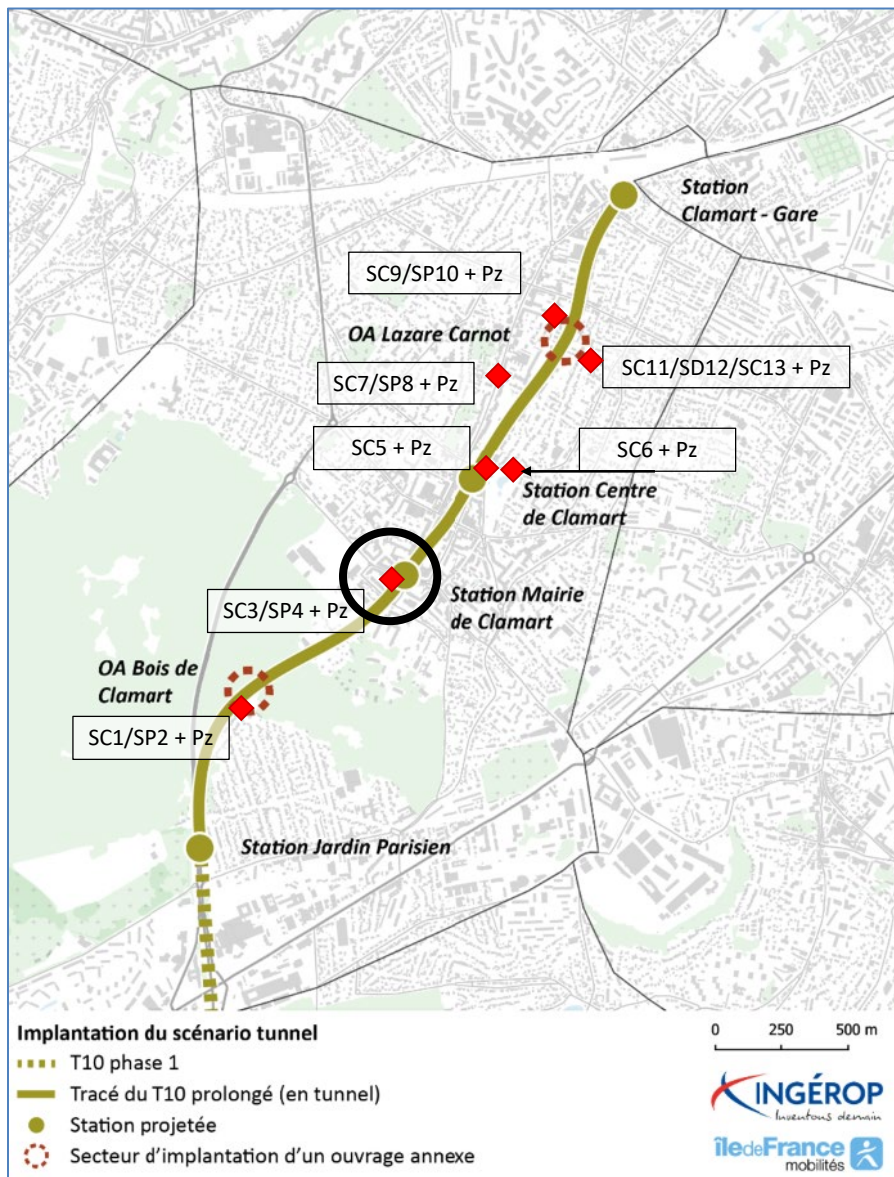
IV. Secteur 2 / Station Mairie de Clamart

1. OBJECTIFS DES SONDAGES

Programme d'investigations :

- ✓ 1 sondage carotté descendu à 30 m – SC3
- ✓ 1 sondage pressiométrique descendu à 30 m – SP4
- ✓ 2 piézomètres :
 - création d'un ouvrage descendu à 10 m – PZ2,
 - équipement du sondage SC3 jusqu'à 30 m – PZ3.
- ✓ Diagraphie gamma-ray au sein de SP4
- ✓ Essais en laboratoire

Localisation des sondages réalisés : rue René Samuel à Clamart



Objectifs des sondages :

Situé en pied de coteau, le secteur présente une forte variabilité de lithologie et des données de sondages qui ont pu sembler contradictoire, notamment sur les cotes et épaisseurs des formations des Argiles vertes et des Masses et Marnes du gypse. Les sondages ont pour objet de préciser la lithologie en place et de resituer les limites des formations géologiques en place.

La réalisation de forages dans ce secteur a été exploitée avec la mise en œuvre de mesures gamma-ray permettant de préciser la présence de gypse ou non au sein des Masses et Marnes du gypse.

Par ailleurs les sondages réalisés permettent d'apporter des éléments en profondeur sur les terrains, au-delà du Zrail envisagé, à savoir -22,9 m/TN.

Les piézomètres en place doivent permettre de collecter des informations sur les nappes circulant au sein des formations de Brie et du Calcaire de Saint-Ouen.

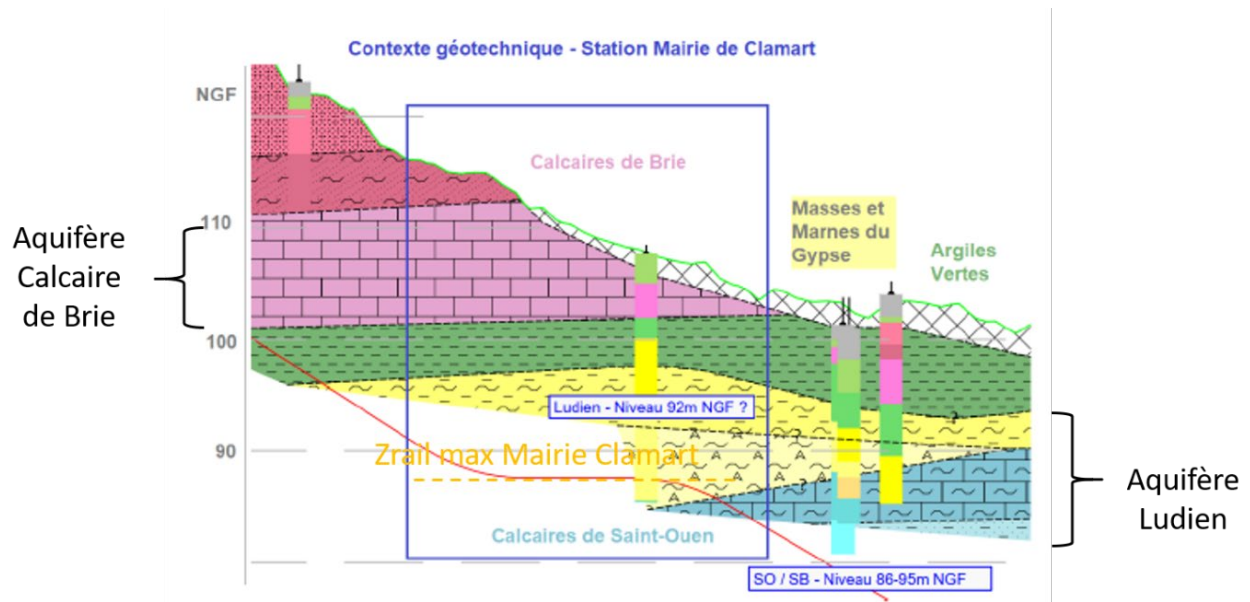


Figure 6 : Extrait de maquette géologique

2. APPORTS DES INVESTIGATIONS

Les cotes de sondage sont de 112,34 et 111,30 m NGF respectivement pour le sondage carotté et le sondage pressiométrique. Ils se situent en pied de coteau, légèrement plus en amont des sondages représentés sur la figure ci-dessus.

A noter que les descriptions et l'attribution des matériaux à des formations géologiques demandent une connaissance fine des horizons. A titre d'illustration, quelques éléments de réflexion que nous avons pu avoir sur le sondage carotté réalisé par Hydrogéotechnique :

- La coupe du sondeur a attribué les matériaux de 1,9 à 16,55 m aux Marnes supragypseuses. Ces dernières comprennent en tête les Marnes de Pantin, de couleur blanchâtre. Elles surmontent les Marnes d'Argenteuil qui présentent une couleur gris bleue et sont très argileuses. La photographie des matériaux correspondrait avec ces horizons.

- A noter que la description des matériaux indique de 8,40 à 16,55 m de matériaux de couleur verte. Il pourrait également être attribué cette succession de matériaux au calcaire de Brie sur les Argiles vertes.
- Cependant, on note la présence de gypse, notamment entre 1,9 et 3,5 m, susceptible de correspondre au banc du « Marabet », présent au sein des Marnes de Pantin.
- La notice géologique de Paris précise que les Marnes d'Argenteuil comprennent des « bancs successifs de marne bleue ou brune argileuse feuilletée et des marnes plus calcaires verdâtres ou jaunâtres ». La moitié inférieure renferme 3 à 5 bancs de gypse saccharoïde impur, nommés « bancs de Chiens » : on retrouve ces éléments dans les descriptions et photographies. L'argile verte est exempte de gypse.
- Sous les formations des Marnes Supragypseuses, on retrouve les Masses et Marnes du gypse avec la présence d'un premier banc franc et de plusieurs petits bancs fracturés. A -26,80 m/TN, le changement de faciès est franc et brutal. On retrouve une argile grise compacte qui en termes d'aspect (photo) s'approche des Sables de Beauchamp. Les éléments gypseux indiqués dans la description permettent d'écarter cette hypothèse, de même que la succession lithologique.

Ces éléments montrent que l'identification de l'organisation du sous-sol dans le secteur (transition entre différents horizons, pied de coteau, présence de matériaux colluvionnés, ...) doit faire l'objet d'une analyse fine, avec l'exploitation de l'ensemble des données disponibles (photographies, description fine des prélèvements, données bibliographiques) : une erreur d'interprétation peut facilement être faite. Ceci peut expliquer les contradictions constatées entre les différents résultats de sondages disponibles dans le Cahier A.

Dans cette configuration, seul l'ensemble des données issues d'un sondage carotté, avec une bonne exploitation permet de statuer sur la coupe lithologique à retenir et présente dans le secteur. En l'occurrence, la coupe du carotté est confirmée et ce sondage a effectivement permis d'arrêter la lithologie en place.

Parmi les sondages disponibles dans le Cahier A, la précision et la complétude des données varient. Pour ces raisons, on attachera davantage de poids et de « valeur » au sondage réalisé dans la présente campagne, disposant effectivement de la coupe avec description fine, des photos natives avec définition suffisante pour revenir sur les descriptions, des retours des différents intervenants ayant réalisés ces documents.

Il en découle que le profil géologique proposé avec le Cahier B présente une incohérence avec ces derniers résultats, les informations de certains sondages sont remises en question.

La lithologie retenue est la suivante, à modérer compte tenu des éléments indiqués précédemment :

- **Des Matériaux de remblais et Argile à meulière** jusqu'à une profondeur de l'ordre de -1,9 m/TN soit 110,4 m NGF.
- **Les Marnes Supragypseuses**, présentent jusqu'à 95,8 m NGF, elles comprennent les Marnes de Pantin jusqu'à 103,9 m NGF puis les Marnes d'Argenteuil. Les Marnes de Pantin sont présentes avec un faciès relativement foncé pour la formation, le banc du « Marabet » est identifié jusqu'à - 3 5 m/TN (108,8 m NGF). Les Marnes d'Argenteuil sont de couleur, bleue mais également verdâtre avec la présence de cailloux gypseux.

- **Les Masses et marnes du gypse**, reconnues jusqu'à la fin du sondage. Les bancs de gypse déstructuré sont présents sur des épaisseurs variant entre 0,30 à 1,50 m.

Le sondage pressiométrique montre des caractéristiques représentatives des formations identifiées. Elles sont relativement hétérogènes au sein des Masses et Marnes du gypse, en cohérence avec les alternances de faciès et la présence de bancs rocheux. Elles sont particulièrement élevées à partir de -26,5 m/TN (84,8 m NGF), profondeur à partir de laquelle a été reconnu l'horizon argileux, gris compact.

Au sein du piézomètre PZ3, couplé au sondage carotté, un niveau d'eau a été relevé au 26/04 à -24,6 m/TN soit 87,7 m NGF.

Le piézomètre PZ2 (10 m/TN) a été équipé en sonde automatique, relevé en cours.

Les investigations mettent en évidence la présence des Marnes Supragypseuses sur une épaisseur plus conséquente initialement attendue et lèvent le doute sur la lithologie en place. Elles remettent en cause certaines informations du profil géotechnique établi sur la base des données bibliographiques.

Ces investigations confirment également que l'analyse des terrains dans ce secteur est relativement complexe, source d'erreur et par conséquent d'incohérence dans les interprétations de sondages disponibles : elles ont montré la nécessité d'être vigilant dans l'interprétation des sondages à venir lors des phases ultérieures du projet dans le secteur.

Outre la stratigraphie en place, les investigations fournissent des caractéristiques mécaniques des terrains, exploitables pour les études à venir.

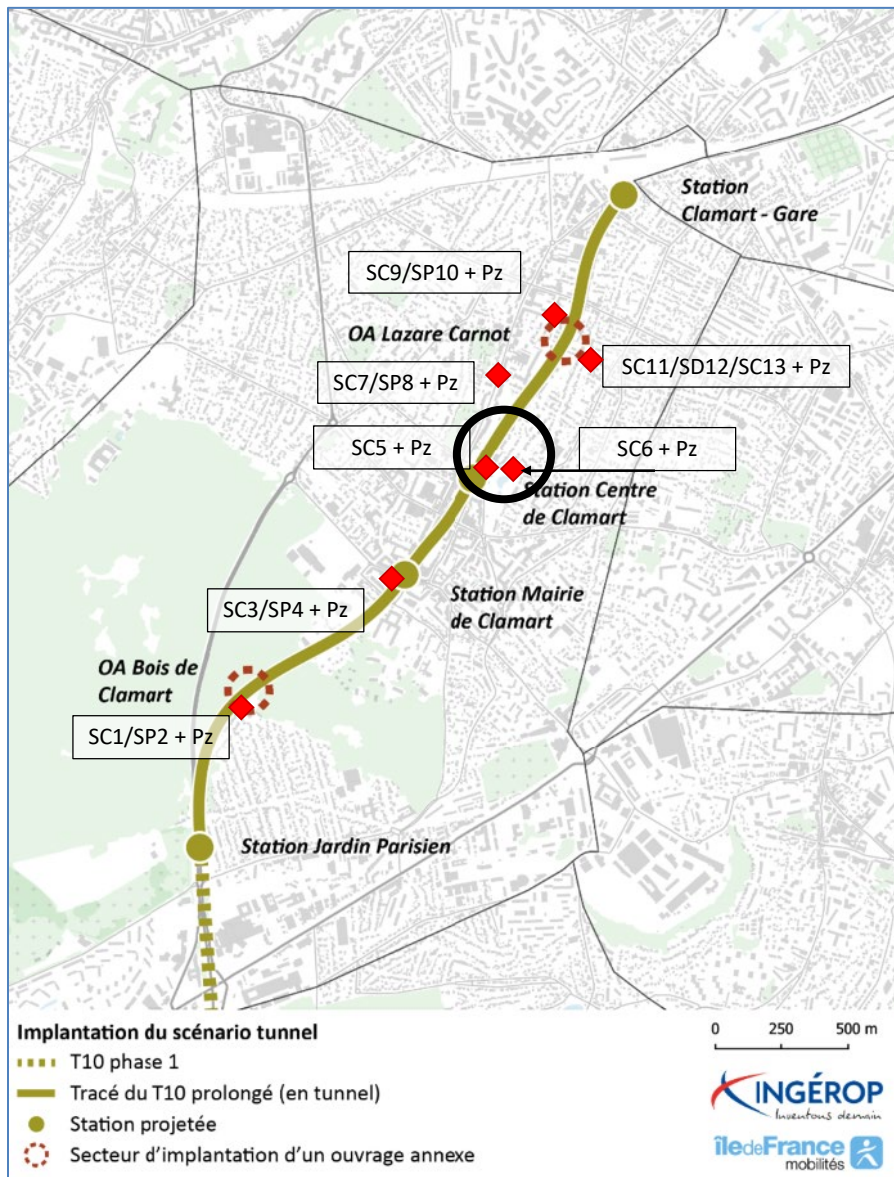
V. Secteur 3 / Station Clamart Centre

1. OBJECTIFS DES SONDAGES

Programme d'investigations :

- ✓ 2 sondages carottés descendus à 40 m – SC5 et SC6
- ✓ 3 piézomètres :
 - création d'un ouvrage descendu à 10 m – PZ4,
 - création d'un ouvrage descendu à 15 m – PZ5,
 - équipement du sondage SC5 jusqu'à 40 m – PZ6.
- ✓ Essais en laboratoire

Localisation des sondages réalisés : 18/20 rue Louis Dupont à Clamart



Objectifs des sondages :

Les données disponibles dans ce secteur mettent en évidence une épaisseur d'éboulis qu'il convient de confirmer et préciser. Les sondages carottés permettront de préciser la nature de ces terrains et caler les limites entre les formations géologiques au droit de la future station.

Le Zrail étant situé à -28 m/TN, les sondages ont été descendus à 40 m/TN.

Les piézomètres en place doivent permettre de collecter des informations sur les circulations d'eau dans les Eboulis et formations superficielles, sur la nappe du Calcaire de Saint-Ouen et sur la nappe du Calcaire grossier.

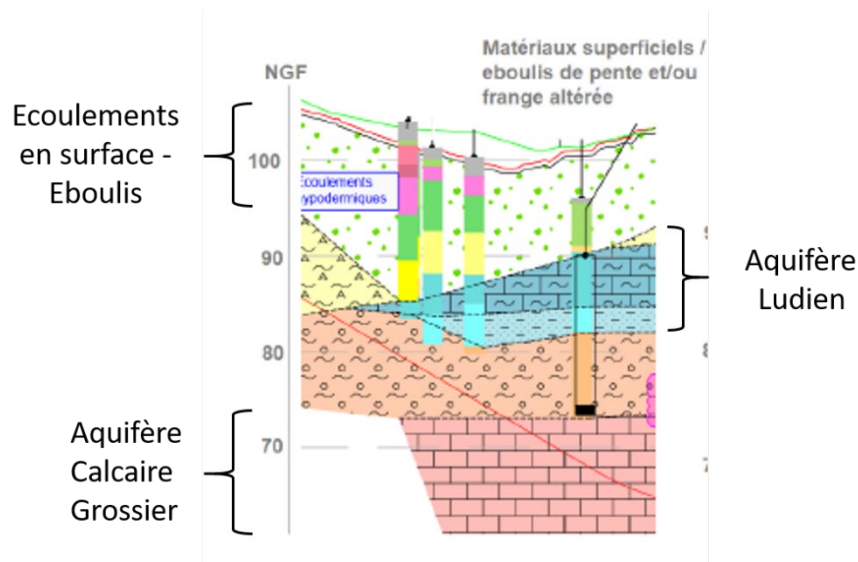


Figure 7 : Extrait de maquette géologique – Station Clamart Centre

2. APPORTS DES INVESTIGATIONS

Les cotes des têtes des sondages carottés sont 97,78 et 96,95 m NGF, correspondant au point bas du tracé/profil.

La description des sondages carottés, analysée avec le profil géologique du secteur, peut être interprétée de la façon suivante :

- Depuis le TN jusqu'à 7- 8 m/TN, (environ 90 NGF), les matériaux correspondent à une alternance de matériaux argileux, marne argileuse, marne argilo-sableuse, de couleur vert, gris ou blanchâtre. On retrouve des éléments susceptibles d'appartenir aux Marnes d'Argenteuil, de Pantin (voire d'Argile Verte). Les épaisseurs de chacun des horizons sont très faibles. Ces terrains correspondent vraisemblablement à des Eboulis.
- Les terrains semblent ensuite plus structurés, correspondant principalement à une argile marneuse, blanche, puis des horizons sableux. On note la présence de bancs de gypse fracturé de faibles épaisseurs et des éléments gypseux entre 14,50 et 15,70 m/TN. Cet horizon est associé aux Masses et Marnes du gypse puis Marnes et Caillasses.

- La limite stratigraphique entre les Masses et Marnes du gypse et les Marnes et Caillasses sous-jacentes n'est pas clairement identifiable.
- Vers 28,5 – 28,9 m/TN selon le sondage carotté, on note la présence de passages argileux lités, de couleur marron/gris. Ces éléments peuvent correspondre à la base des Marnes et Caillasses. Cette information est à compléter par le fait qu'au-delà de cette profondeur, les descriptions ne mettent plus en évidence de présence de gypse. Les terrains reconnus sont des calcaires et sables calcaireux induré principalement, fossilifères, et des marnes calcaires.
Nous considérons que cet horizon correspond au Calcaire grossier.

Les piézomètres PZ4 et PZ5, crépinés respectivement jusqu'à 10 et 15m/TN ont été équipés en sonde automatique, relevé en cours.

Le piézomètre PZ6, crépiné jusqu'à 45 m/TN, indiquent un niveau d'eau vers 28 m/TN au 26/04/2022.

Les investigations confirment la présence d'Eboulis sur une épaisseur conséquente. La position des limites stratigraphiques reste mal définie, notamment entre les Masses et Marnes du gypse et les Marnes et Caillasses. On dispose cependant d'une caractérisation mécanique des terrains grâce à ces dernières investigations.

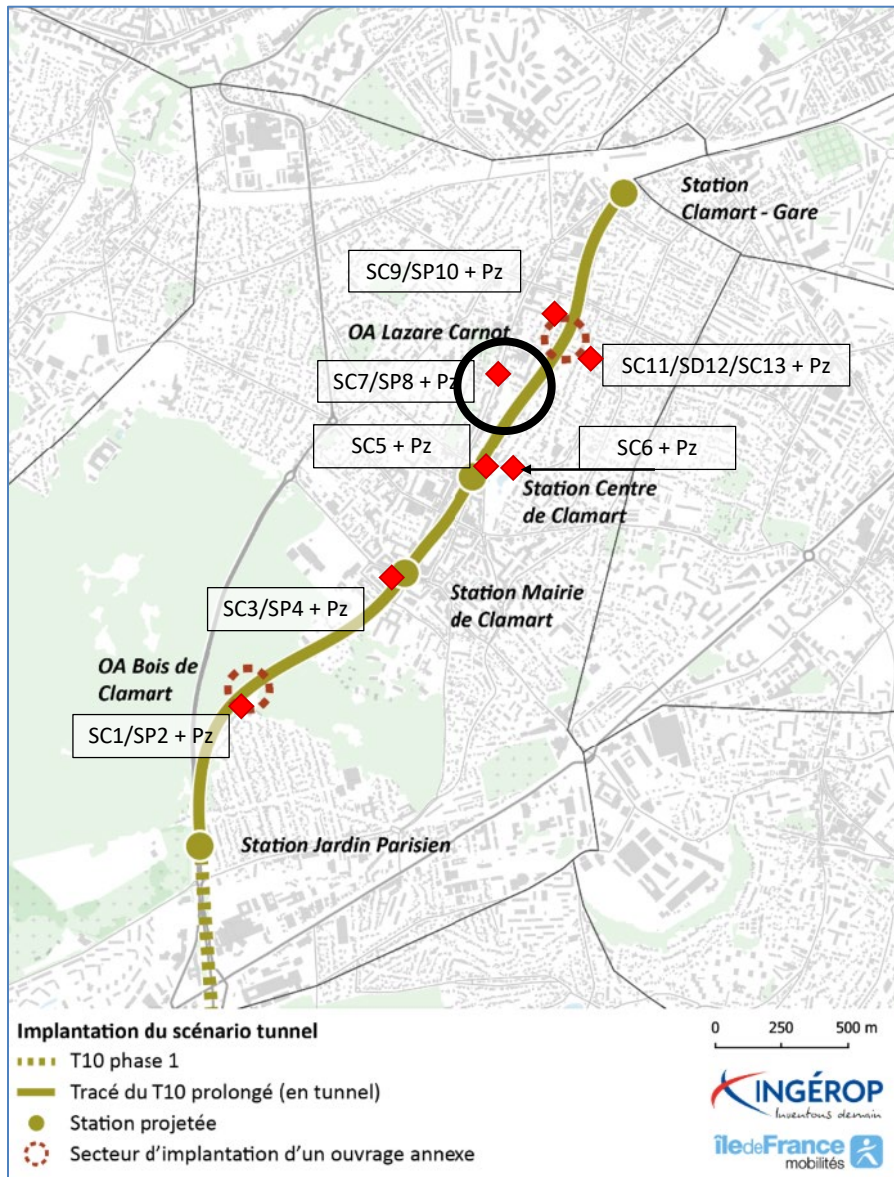
VI. Secteur 4 / Jaurès

1. OBJECTIFS DES SONDAGES

Programme d'investigations :

- ✓ 1 sondage carotté descendu à 45 m – SC7
- ✓ 1 sondage pressiométrique descendu à 45 m – SP8
- ✓ 1 piézomètre :
 - équipement du sondage SC7 jusqu'à 45 m – PZ7.
- ✓ Diagraphies gamma-ray au sein de SP8
- ✓ Essais en laboratoire

Localisation des sondages réalisés : 93/95 avenue Jean Jaurès à Clamart



Objectifs des sondages :

Ce secteur n'est pas concerné par un ouvrage en particulier mais correspond à une zone à proximité du fuseau envisagé pour le tunnel.

L'objectif des sondages est de caractériser la carrière sous-jacente et de préciser la limite des formations géologiques en place.

Les informations des sondages carottés et pressiométriques sont complétées par un diagraphie gamma-ray (au droit de SP8) destinée à renseigner sur la présence de gypse ou d'horizons de dissolution.

Le piézomètre doit permettre de collecter des informations sur la nappe circulant dans le Calcaire grossier.

La profondeur des sondages est définie en fonction de la cote rail du tracé envisagé : Zrail = -45 m/TN.

2. APPORTS DES INVESTIGATIONS

La cote des têtes des sondages est à 91,9 m NGF.

La description des sondages, les résultats des diagraphies, analysés avec le profil géologique du secteur, peuvent être interprétée de la façon suivante :

- **Jusqu'à 4,8 m/TN**, on retrouve un ensemble de terrains argileux, de marnes argileuses, des cailloutis calcaires, associés à des **Remblais ou Eboulis**.
- Associés aux **Sables de Beauchamp**, les matériaux sont ensuite plus sableux : sables fins argileux, bloc siliceux **jusqu'à 9 m/TN** environ.
- On note ensuite un contraste de caractéristiques mécaniques via les essais pressiométriques, des pressions limites plus élevées. En termes de lithologie, les terrains correspondent à des limons argileux, des argiles marneuses, des blocs calcaires. On note la présence de passages gypseux, fragmentés, de gypse saccharoïde sur des épaisseurs de 10 à 40 cm.
Cet horizon est associé aux **Marnes et Caillasses jusqu'à 15,70 m/TN (76 m NGF)**, après le passage lité argileux, de couleur marron, associés à la base de la formation.
Le positionnement de la limite stratigraphique à cette cote est également conforté par la présence de calcaire coquillier puis fossilifère à partir de cette profondeur, matériaux associés au Calcaire grossier.
- **A partir de 15,70 m/TN, le Calcaire grossier est présent** : les caractéristiques mécaniques (essais pressiométriques), sont très élevées (pressions limites supérieures à 5 MPa, et module pressiométrique à plus de 150 MPa). Etant donné ces valeurs, on se situe au droit du sondage pressiométrique hors zone de carrière, ou zone remblayée.
Cet horizon est présent jusqu'à 38 m/TN.
- **A 38 m/TN (54 m NGF), les formations de l'Yprésien sont présentes** : argile plastique, gris violacée en tête puis grise, bariolée, ocre, marbrée bleue et lie de vin.
- La transition est franche, nettement visible sur le sondage carotté à **44,50 m/TN** (fin du sondage à 45 m/TN), on trouve un calcaire gris blanc ou une marne grise, correspondant au **Montien**.

Les investigations ont permis de positionner les limites stratigraphiques jusqu'au toit du Montien, permettant de compléter la maquette géotechnique. Les cotes de toit des Marnes et Caillasses et Calcaire grossier sont en cohérence avec les informations du profil.

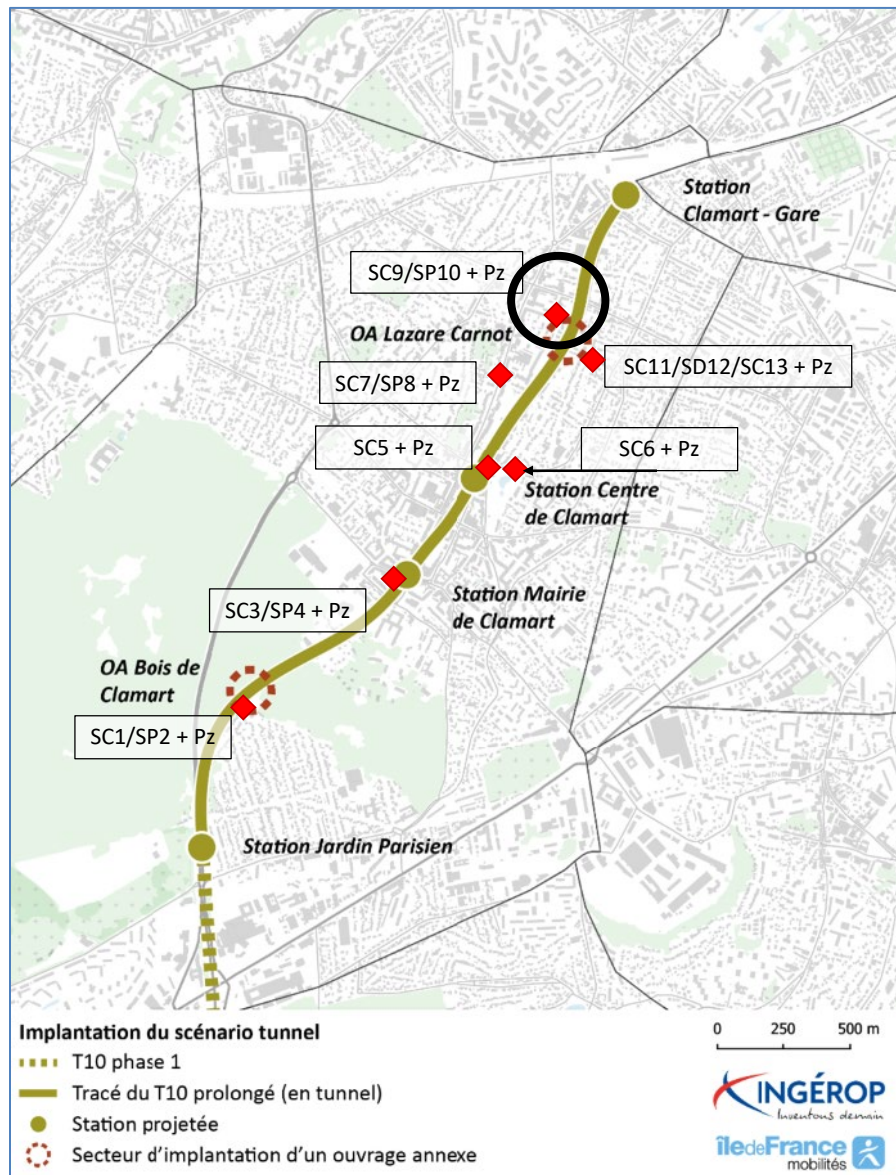
VII. Secteur 5 / Ouvrage annexe « Lazare-Carnot »

1. OBJECTIFS DES SONDAGES

Programme d'investigations :

- ✓ 1 sondage carotté descendu à 40 m – SC9
- ✓ 1 sondage pressiométrique descendu à 40 m – SP10
- ✓ 2 piézomètres :
 - création d'un ouvrage descendu à 15 m – PZ8
 - équipement du sondage SC9 jusqu'à 35 m – PZ7.
- ✓ Diagraphies gamma-ray au sein de SP8
- ✓ Essais en laboratoire

Localisation des sondages réalisés : 10 rue Jules Ferry à Clamart



Objectifs des sondages :

Les données disponibles indiquent la présence d'une couche de remblais de plusieurs mètres. Les sondages de la présente campagne permettent de préciser son épaisseur et sa nature.

Ils permettent également de fournir des informations plus en profondeur, de positionner le toit des Argiles plastiques de l'Yprésien, informations non disponibles avec les données actuelles.

Les informations des sondages carottés et pressiométriques sont complétées par un diagraphie gamma-ray (au droit de SP10) destinée à renseigner sur la présence de gypse ou d'horizons de dissolution.

Les piézomètres doivent permettre de collecter des informations sur les éventuelles circulations d'eau au sein du Calcaire grossier et sur la nappe circulant au sein du Calcaire de Saint-Ouen.

La profondeur des sondages est définie en fonction de la cote rail du tracé envisagé : Zrail = -31 m/TN.

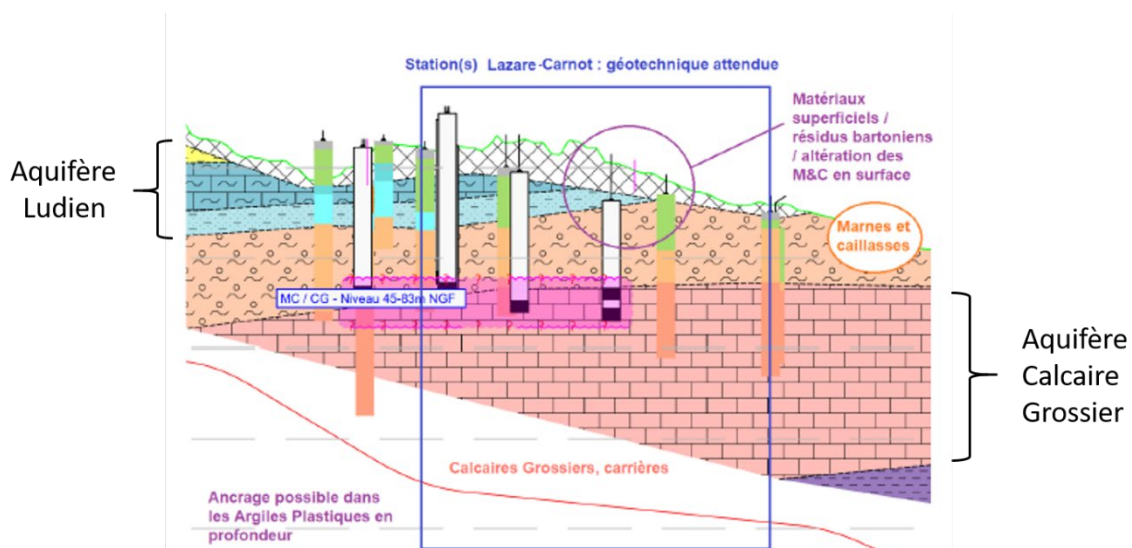


Figure 8 : Extrait de maquette géologique – Station Lazare Carnot Est

2. APPORT DES INVESTIGATIONS

La cote des têtes des sondages est à 83,2 m NGF.

La description des sondages, les résultats des diagraphies, analysés avec le profil géologique du secteur, apportent les informations suivantes :

- Dès le début des sondages, les matériaux reconnus comprennent des alternances rapides d'argile limoneuse, d'argile plastique, de sables plus ou moins argileux, de blocs calcaires, de blocs crayeux, de blocs de grès, d'argile sableuse, à cailloutis ou non. Les caractéristiques mécaniques des terrains sont faibles voire très faibles, autant en termes de pression limite (de 0,2 à 1,5 MPa) que de module (1 à 10 MPa). Ponctuellement, on note que quelques essais fournissent des valeurs plus élevées (pression limite autour de 2,5 MPa, module autour de 15 MPa).

Ces éléments nous invitent à penser que nous sommes au droit d'un secteur ayant fait l'objet de remblaiement, de zone de carrière. Les données ne permettent pas d'identifier de matériaux en place, ni de toit de carrière. On pressent donc qu'il s'agit d'un secteur avec exploitation à ciel ouvert, avec remblaiement.

- A partir des résultats des essais pressiométriques, on suppose que **la base de la carrière se situe vers 24 m/TN (59 m NGF)**. Les matériaux sont décrits comme des argiles sableuses, des sables limoneux de couleur gris, marron à brun. **Jusqu'à 27 m/TN (66 m NGF), on associe ces terrains au Calcaire grossier.**
- **A 27 m/TN**, la transition est marquée aussi bien au sein du sondage carotté, dans la diagraphie gamma-ray que dans les valeurs d'essais pressiométriques, **on entre dans les formations de l'Yprésien** : argile plastique grise violacée en tête, puis argile de degré de consolidation variable, et couleur diverse (marron brun, noire grise, vert violacé, lie de fin), jusqu'en fin de forage. Sur la diagraphie gamma-ray, cela se traduit par une augmentation notable et franche de la radioactivité naturelle, caractérisant l'argilosité des terrains. Les résultats des essais pressiométriques sont homogènes sur la hauteur de la formation.

Le piézomètre PZ8 (15 m/TN) a été équipé en sonde automatique, relevé en cours.

Au sein du piézomètre PZ9 (couplé à SC9, équipé jusqu'à 35 m/TN), un niveau d'eau a été relevé à 20,5 m/TN (63 m NGF).

Les sondages sont situés à proximité de zones de carrières. Bien que la retranscription des informations de la carte des carrières de l'IGC positionne les sondages réalisés hors zone de carrière, il semble qu'il s'agisse d'un secteur ayant fait l'objet d'exploitation et de remblaiement. Ces informations confirment le point de vigilance sur l'extension et la présence de carrière.

Les investigations permettent de positionner le toit de l'Yprésien via le sondage carotté. Il semble pourtant particulièrement haut par rapport aux données disponibles précédemment, vigilance à maintenir sur cette information.

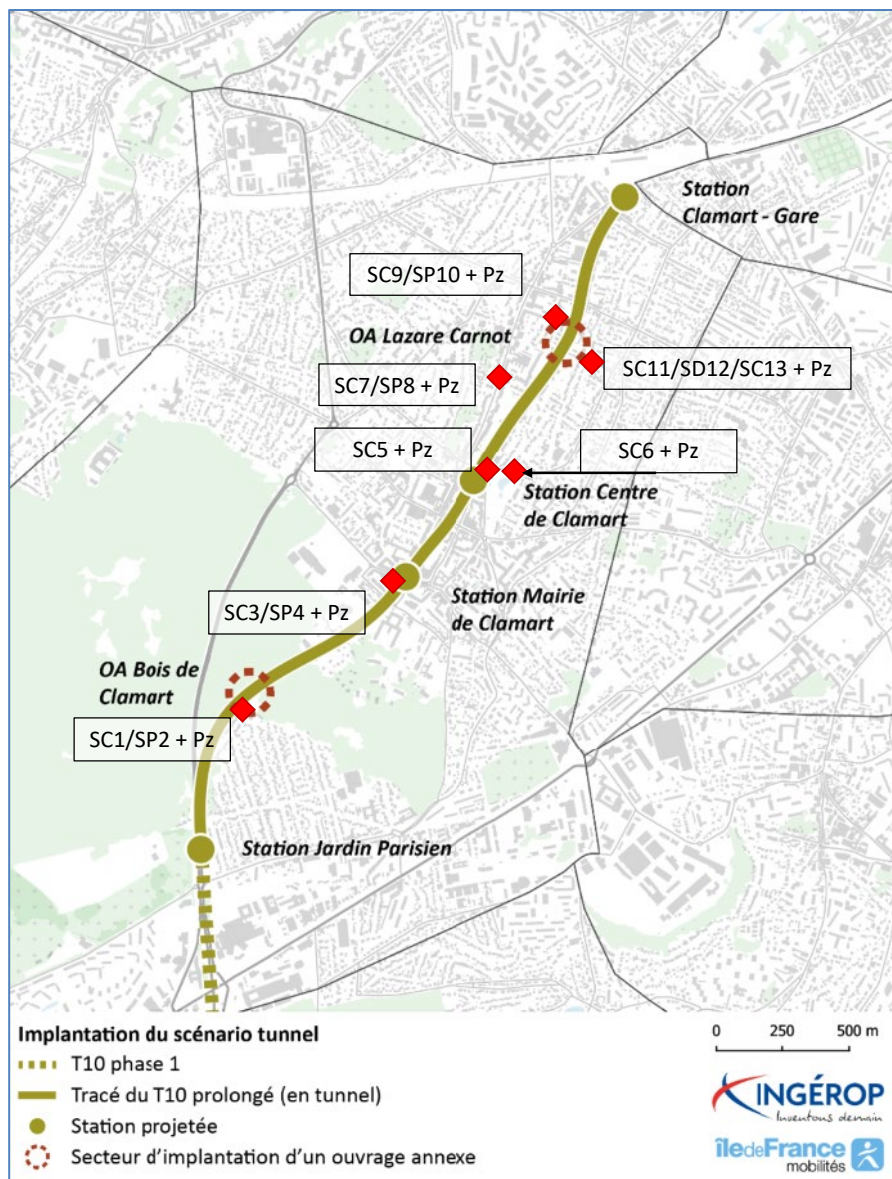
VIII. Secteur 6 / Ouvrage annexe « Lazare-Carnot »

1. OBJECTIFS DES SONDAGES

Programme d'investigations :

- ✓ 1 sondage carotté descendu à 35 m – SC11
- ✓ 2 sondages destructifs descendus à 35 m – SD12 et SD13
- ✓ 1 piézomètre :
 - équipement du sondage SC11 jusqu'à 35 m – PZ10.
- ✓ Essais en laboratoire

Localisation des sondages réalisés : rue Lazare Carnot à Clamart



Objectifs des sondages :

Sachant que l'ouvrage est positionné au droit d'une carrière, l'objectif des sondages est d'en préciser la limite en profondeur.

Par ailleurs, on dispose de peu d'information et données sur la partie Est du fuseau d'étude : ces quelques sondages permettent de fournir un minimum d'information sur la lithologie en place et les limites stratigraphiques.

Les diagraphies gamma-ray réalisées au sein des sondages destructifs permettent de caractériser les horizons susceptibles d'être concernés par la présence de gypse, le Ludien (Calcaire de Saint-Ouen) et l'Antéludien (Marnes et Caillasses et Calcaire grossier).

Le piézomètre doit permettre de collecter des informations sur les éventuelles circulations d'eau au sein du Calcaire grossier.

La profondeur des sondages est définie en fonction de la cote rail du tracé envisagé : Zrail = -29 m/TN.

2. APPORTS DES INVESTIGATIONS

La cote des têtes des sondages est à 90,5 m NGF.

La description du sondage carotté et des enregistrements des paramètres de forage des destructifs apportent les informations suivantes :

- De même que pour le secteur précédent, les matériaux identifiés en début de forage sont variés et peu cohérents avec les formations géologiques en place attendues. Ils comprennent des argiles sableuses, limoneuses, des limons, des blocs calcaires, des marnes argileuses. On note en tête de sondage un horizon de marne à cailloux calcaires entre 1,7 et 3,6 m/TN, sinon les alternances sont assez rapides.

Les logs de sondages destructifs mentionnent des horizons lâches, tendres. On ne constate pas de variations marquées des paramètres qui pourraient traduire la présence d'horizons ou bancs plus induré ou rocheux.

Ces informations sont en cohérence avec la présence d'une **en zone de carrière remblayée**, sans pouvoir statuer clairement sur la base de l'exploitation. A partir de 17 m/TN (73 m NGF), on note la présence d'un banc calcaire puis des terrains nettement plus marneux, plus homogène : on pourrait se situer dans des terrains en place, sans certitude.

- **A partir de 26 m/TN (64 m NGF)**, les matériaux identifiés correspondent à des éléments calcaires glauconieux, sables à blocs calcaire, calcaire sableux et calcaire minéral. On associe cet horizon au **Calcaire grossier**.

Au sein du piézomètre PZ10 (couplé à SC11, équipé jusqu'à 35 m/TN), un niveau d'eau a été relevé à 28 m/TN (62 m NGF). Cette information est en cohérence avec la présence d'une carrière exploitant les terrains sus-jacents et la présence de Calcaire grossier en place (non exploité) à partir de 64 m NGF.

Les investigations confirment les données disponibles (y compris données IGC), bien que peu nombreuses, sans pour autant pouvoir statuer sur la cote basse de la carrière. Des essais mécaniques pourraient alimenter la réflexion à ce sujet.

IX. Points d'attention supplémentaires

Les données collectées permettent de poursuivre la caractérisation des terrains au droit de tracés envisagés et envisageables en précisant les conditions d'exécution des travaux et les incertitudes géologiques, géotechniques et hydrogéologiques résiduelles.

En complément de l'analyse par secteur détaillée précédemment, notons que :

- Le suivi des piézomètres mis en place doit se faire sur une durée suffisamment longue.
- Sur la base de données publiques disponibles sur les piézomètres existants dans le secteur du projet, des ouvrages piézométriques identifiés comme accessibles et mesurables ont été répertoriés et pourraient compléter la base de données recueillies.