cfms
COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

CFGI
COMITÉ FRANÇAIS DE GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR ET DE L'ENVIRONNEMENT

LITHOLOGIES DU SOUS-SOL PARISIEN

Synthèse lithostratigraphique et compilation de photographies de sondages carottés des projets Eole et Grand Paris Express

SEPTEMBRE
2026

Différents échantillons du sous-sol du Bassin parisien (Museum d'Histoire Naturelle)

Emmanuel Egal (Egis), le 23/06/2026
Avec la participation de Florence Quesnel (BRGM)
pour la mise à jour du découpage lithostratigraphique
et notamment la description des faciès yprésiens et montiens.

Publication septembre 2026

Responsable de publication :

CFMS (Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique)

Courriel : cfms.secretariat@geotechnique.org

Site internet : www.cfms-sols.org

Correspondance :

INSAVALOR/CFMS
66 boulevard Niels Bohr - CS52132
69603 VILLEURBANNE Cedex

Siège social :

Ecole des Ponts ParisTech
6 - 8 avenue Blaise Pascal
Cité Descartes
Champs sur Marne
77455 Marne-La-Vallée Cedex 2

Copyright :

© CFMS, Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique. En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Editeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie, 20 rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

Le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique, ses membres, ses administrateurs ou ses représentants déclinent toute responsabilité découlant d'omissions ou d'erreurs dans les documents qu'il émet et ne peuvent être tenus responsables de quelconque dommage lié à l'utilisation des informations contenues dans ces documents, en ce compris les informations fournies par des tiers, ou à l'impossibilité d'accès au site web ou à son contenu et ses documents, sauf en cas de faute grave ou délibérée de leur part.

La responsabilité du CFMS ne saurait davantage être engagée vis-à-vis des tiers, notamment dans le cas où les œuvres agréées par le Conseil après avis de la Commission Scientifique et Technique, donneraient lieu à des poursuites judiciaires sur le fondement de la loi du 11 Mars 1957 et de tous les autres textes protégeant les œuvres de l'esprit.

Conception graphique / mise en page :

Valérie SCOTTO DI CESARE - Studio Graphique VSDCom

TABLE DES MATIÈRES

Préface 4
Avant-propos 5
Remerciements 6
Glossaire des abréviations des communes d'implantation des forages pour le grand paris express 6

I. PRÉSENTATION ET OBJECTIFS DU DOCUMENT 7

II. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET LITHOSTRATIGRAPHIQUE 10
Lithostratigraphie générale de la série paléogène parisienne 11

III. LES FORMATIONS GEOLOGIQUES PARISIENNES : DESCRIPTION 15
Les formations superficielles quaternaires 16
Alluvions modernes (Am) 17
Alluvions anciennes (AA) 18
Les formations tertiaires paléogènes 19
Meulière(s) de Montmorency (MM) 19
Sables et grès de Fontainebleau (SF) 20
Marnes à huîtres (MH) 22
Calcaire de Brie (CB) 22
Argile verte (AV) 23
Marnes supragypseuses : Marnes de Pantin (MP) et Marnes d'Argenteuil (MA) 25
Masses et marnes du Gypse (MMG, Marnes infragypseuses incluses) et Calcaire de Champigny (CC) 28
Sables verts (SV) 32
Calcaire de Saint-Ouen (SO, horizons de Mortefontaine et Ducy inclus) 34
Transition SO-SB, Sables de Mortefontaine et Calcaire de Ducy (base de la formation) 36
Sables de Beauchamp (SB) 37
Marnes et Caillasses (MC) 41
Calcaire grossier (CG) 46
Ensemble sablo-argilo-ligniteux yprésien: Sables de Cuise (SC), Sables supérieurs (SS), Fausses glaises (FG) et Sables d'Auteuil (SA) 53
Argile plastique (AP) 57
Marnes à rognons (MR) 59
Calcaires et marnes de Meudon (CMM) 60
La Craie crétacée (C) 62

IV. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 63

ANNEXE 66

PREFACE

Qui n'a pas entendu parler du « Filliat » ? La question se pose tout au moins à ceux d'entre vous qui ont travaillé dans le Bassin de Paris. Pour mémoire, Georges Filliat fut à la fois le coordonnateur d'un livre de près de 1400 pages édité en 1981 par les Editions du Moniteur et intitulé « La pratique des sols et fondations », et le coauteur, avec Christian Duvauchelle, du fameux Chapitre 29 sur la « Géologie et géotechnique de la région parisienne ». C'est ce chapitre dont la notoriété a sans doute le moins faibli depuis 45 ans, notamment en raison de sa commodité d'emploi pour accéder à des informations préliminaires sur les divers horizons d'Île-de-France, de la craie en profondeur jusqu'aux dépôts récents. Mais, un peu trop seul dans son rayon chez bien des ingénieurs, ce chapitre n'a-t-il pas fini par laisser penser que ses 25 fiches résumeraient à elles seules tout ce qu'il y aurait à anticiper sur ces terrains dans l'esquisse d'un projet ?

Depuis 15 ans, singulièrement avec les importants linéaires de reconnaissances et travaux géotechniques occasionnés par l'aménagement des lignes nouvelles du Grand Paris Express, à 80 % souterraines, il semble en effet que certains aient été surpris de constater des écarts entre la « réputation » d'un horizon géologique et ce qu'ils rencontraient in situ.

Ce sera donc un mérite de la présente Synthèse, et sûrement pas le seul, que de relativiser, sans nécessairement les remplacer, les données du « Filliat ».

Emmanuel Egal, auteur de cette synthèse et géologue justement impliqué durant plusieurs années dans le projet du Grand Paris Express, aura travaillé de très nombreuses heures pour parvenir à un résultat d'ores et déjà salué comme susceptible de faire date. Au nom du CFMS et du CFGI, nous adressons nos sincères remerciements à Emmanuel Egal pour son immense travail, qui aboutit en cette année 2026.

Sa démarche de partage de l'information a été guidée par le sens de l'intérêt collectif. Sa cohérence avec les valeurs et les missions du CFMS et du CFGI ainsi que les dimensions tout à la fois géotechniques et de géologie de l'ingénieur de cette Synthèse ont incité nos deux sociétés savantes à s'associer dans un processus original d'édition et de diffusion du document. Cet engagement se justifie pleinement par l'importance de mettre à la disposition de la profession des informations capitalisées à partir d'un retour d'expérience unique, notamment celui du Grand Paris Express.

L'ampleur et la pertinence des relectures assurées par Florence Quesnel du BRGM et par le groupe d'experts mobilisé pour l'occasion par les deux comités, auront permis encore d'améliorer la grande qualité du document initial. Nous remercions également la Société des grands projets, dont le soutien et l'accord ont rendu possible cette diffusion.

Il nous reste à vous souhaiter, à vous lecteurs et selon les circonstances, bonne lecture ou bonne consultation !

Signé des présidents des Comités

Fabrice Emeriault
Président du CFMS

Jean-David Vernhes
Président du CFGI

AVANT-PROPOS

Les géologues se sont très tôt penchés sur l'étude du sous-sol parisien afin d'évaluer le potentiel d'exploitation des ressources du sous-sol destinées à la construction. Cette démarche a conduit à l'ouverture de nombreuses carrières de Calcaire grossier, de gypse et de craie autour de la capitale. Par ailleurs, d'autres enjeux, tels que la recherche de nappes phréatiques exploitables, les problématiques de stabilité du sous-sol liées à la dissolution du gypse anté-ludien, ou encore la présence d'argiles gonflantes, ont rendu indispensable l'étude approfondie des formations sédimentaires de la région parisienne.

Depuis la mise en service de la première ligne du métropolitain parisien en 1900, à l'occasion de l'Exposition universelle, le réseau de transport de la capitale n'a cessé de se développer. Le métro de Paris compte aujourd'hui 16 lignes, en incluant la ligne 7 bis ouverte en 1911, et dessert 303 stations réparties sur environ 225 km de voies. Chaque jour, ce réseau assure le transport de près de quatre millions de voyageurs.

Plusieurs géologues majeurs du XXe siècle, parmi lesquels Auguste DOLLOT, Émile VALLET, Robert SOYER ou encore André CAILLEUX, ont conduit des travaux rigoureux et systématiques, en particulier dans le cadre du suivi des chantiers du métropolitain parisien et de l'établissement de la carte géologique de France. Ils ont ainsi procédé à l'inventaire et à l'analyse des observations issues des fouilles et des fronts de taille des ouvrages souterrains associés. Ces recherches ont constitué une part prépondérante de l'activité scientifique et professionnelle de ces éminents géologues et ingénieurs des travaux publics. Il est à cet égard particulièrement notable qu'une nouvelle phase d'aménagements souterrains d'envergure soit actuellement engagée avec le projet du Grand Paris Express, lequel prévoit la réalisation de plus de 200 km de lignes nouvelles, 68 gares, et une fréquentation quotidienne estimée à près de 3 millions de voyageurs. Ce document s'attache également à l'étude des sondages réalisés dans le cadre du projet EOLE.

Il s'inscrivait ainsi dans la logique des travaux antérieurs qu'un géologue expert contemporain, Emmanuel EGAL, poursuive l'œuvre de ses prédécesseurs, en mobilisant sa rigueur scientifique, ses compétences techniques et sa persévérance, à travers l'analyse lithologique et stratigraphique des principaux sondages de ces projets d'envergure. Au-delà d'une géologie régionale relativement bien documentée depuis plusieurs décennies, l'attention s'est portée de manière plus approfondie sur l'identification des marqueurs caractéristiques des différentes unités lithostratigraphiques et sur leurs spécificités locales. Ce travail a été rendu possible grâce à de nombreuses heures consacrées au dépouillement des coupes des sondages carottés, à l'analyse détaillée des photographies de carottes, ainsi qu'aux multiples consultations de la carothèque de la Société des grands projets.

Grégory Meyer
Géotechnicien, Egis

Remerciements

L'auteur tient à exprimer sa gratitude envers les différents organismes ayant contribué à l'aboutissement de cet ouvrage. Il remercie en premier lieu le Comité Français de Mécanique des Sols et de géotechnique (CFMS) et le Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement (CFGI), qui ont assuré la prise en charge des frais d'édition et la large diffusion du document, et qui ont par ailleurs manifesté un intérêt immédiat pour la réalisation de ce travail. L'auteur remercie particulièrement Florence Quesnel (BRGM) pour sa relecture fine du document et par les compléments ou les mises à jour qu'elle a proposés en tant que spécialiste experte de la lithostratigraphie du Tertiaire du Bassin parisien. L'auteur remercie également les relecteurs du CFGI et Fabien Binet (géologue chez Terrasol) pour la qualité de leurs révisions, à la fois attentive et techniquement éclairée, ainsi que son employeur Egis qui lui a accordé du temps de valorisation scientifique pour mener à bien le document.

Enfin, ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'autorisation de publication accordée par la Société des grands projets et la SNCF.

Glossaire des abréviations des communes d'implantation des forages pour le Grand Paris Express

ANT = Antony
AUB = Aubervilliers
AUL = Aulnay
BLM = Le Blanc Mesnil
BOB = Bobigny
BOI = Bois-Colombes
BON = Bondy
CHA = Champigny/Marne
CHL = Chelles
CLI = Clichy-sous-Bois
CSM = Champs-sur-Marne
GOU = Gournay-sur-Marne
GUY = Guyancourt
ISS = Issy-les-Moulineaux
FSB = Fontenay-sous-Bois
LCO = La Courneuve
LIG = Livry-Gargan
MAL = Maisons-Alfort
MLH = Magny-les-Hameaux
MOF = Montfermeil
NLG = Noisy-le-Grand
NSM = Nogent-sur-Marne
PAL = Palaiseau
PAN = Pantin
PAR = Paris
RSB = Rosny-sous-Bois
SEV = Sevran
STD = Saint-Denis

I. PRESENTATION ET OBJECTIFS DU DOCUMENT

La géologie du sous-sol parisien a pu être largement explorée dans le passé à partir du creusement et l'exploitation de carrières, de la construction progressive du réseau du métropolitain et du levé des cartes géologiques à 1/50 000 et, spécifiquement à Paris, à 1/25 000 (références en bibliographie). Cette géologie est bien connue dans les grandes lignes mais présente cependant une variabilité assez forte qui ne permet pas de prévoir précisément la nature du sous-sol en dehors des zones reconnues.

Les nouveaux grands projets de métropolitains lancés ces dernières années (à partir des années 2010) à proximité de Paris (Eole = prolongement Ouest du RER E et de la ligne 14, nouvelles lignes 15 à 18 du Grand Paris Express = GPE) ont permis de réaliser de nouvelles reconnaissances poussées du sous-sol parisien à l'aide notamment de très nombreux sondages carottés (plusieurs milliers pour le GPE). Une quantité considérable de nouvelles données géologiques est ainsi disponible.

L'objectif ici est de proposer une nouvelle synthèse lithostratigraphique illustrée du sous-sol de Paris et de sa banlieue à partir de l'observation d'une grande partie de ces sondages carottés : l'auteur a pu regarder tous les sondages carottés réalisés pour les études du projet Eole, de l'ensemble des lignes 15 Est, 15 Sud-Ouest et 16 du GPE et une sélection de carottes des sondages concernant le prolongement de la ligne 14, et les lignes 15 Sud, 17 et 18 (Figure 1).

Cette synthèse présente sous forme de texte les différentes formations du sous-sol parisien à partir des nouvelles observations de carottes (voir aussi Egal, 2023 pour les terrains éocènes) mais aussi des synthèses et descriptions existantes (voir références bibliographiques). Chaque formation est également agrémentée d'une sélection représentative de photographies de carottes permettant de visualiser les faciès ou lithotypes des différentes formations géologiques. L'ensemble constituant une synthèse lithostratigraphique de la géologie du sous-sol parisien sans équivalent jusqu'à présent. Toutes les carottes sont photographiées dans leurs caisses de rangement d'une longueur standardisée de 1 m. Les photographies sont référencées par un identifiant comprenant le numéro de la ligne concerné et l'identifiant SGP du forage. Une description des carottes est fournie, en légende : généralement courte, cette description est parfois plus étoffée en cas de besoin. Les couleurs visibles

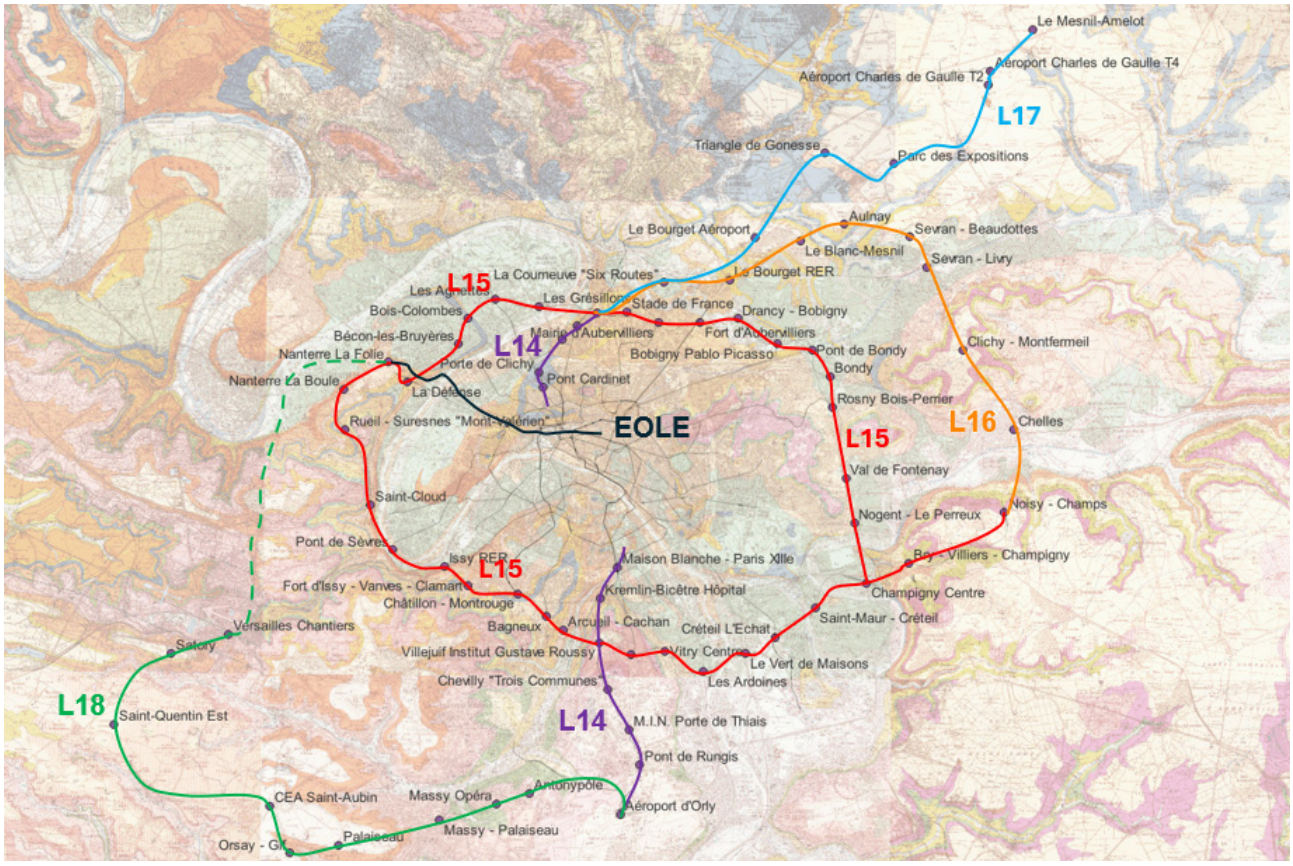


Figure 1 - Plan des lignes en projet du Grand Paris Express. La partie souterraine en tunnel du projet Eole relie Saint Lazare à Nanterre la Folie sur le fond des cartes géologiques à 1/50 000 du BRGM.

sur les photographies sont en partie dépendantes des conditions d'éclairage existant lors de la prise des photographies. Elles donnent donc une indication sur la teinte réelle des terrains traversés mais ne constituent cependant pas une référence absolue.

Ce document vise donc à décrire et illustrer la géologie parisienne dans toute sa diversité sans proposer de corrélations géométriques entre les lignes du GPE et sans en faire d'interprétation globale en termes d'histoire sédimentaire ou géodynamique. Il est d'abord à destination des ingénieurs en géotechnique travaillant dans le sous-sol parisien. Toutefois ce document peut sans doute également fournir des éléments utiles au monde académique, afin d'améliorer la connaissance et la compréhension de ce secteur du Bassin parisien.

En complément de cette synthèse et compilation, quelques photographies de fronts d'excavation, d'affleurements et d'un fond de fouille sont rassemblés en annexe du document.

La grande majorité des forages carottés réalisés pour les projets Eole et Grand Paris Express sont d'une longueur comprise entre 50 et 70 m. Ils peuvent localement descendre jusqu'à 100 m de profondeur.

II. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET LITHOSTRATIGRAPHIQUE

La ville de Paris (et sa banlieue, même lointaine), est installée sur une série d'âge tertiaire, plus précisément paléogène, d'une épaisseur maximale de 150 m à plus de 200 m (au droit des plateaux et des buttes témoins les plus élevés) et le plus souvent d'au moins 70-80 m. La craie d'âge Crétacé, qui représente le soubassement de cette série tertiaire, n'affleure que localement sur le territoire parisien à la faveur de la combinaison de plis (d'ondulations) tectoniques et de l'érosion (vallée de la Seine au SW de Paris). Des formations superficielles naturelles et anthropiques recouvrent très fréquemment, voire régulièrement, la série tertiaire sur des épaisseurs métriques à plurimétriques.

Les infrastructures souterraines parisiennes existantes ou en projet sont implantées quasi exclusivement dans les terrains tertiaires, localement dans les formations superficielles quaternaires (parties hautes des infrastructures ou ouvrages ouverts en surface) et, plus rarement, dans la craie.

Les traits principaux de la série tertiaire parisienne et la succession générale des couches sont bien connus depuis longtemps, à la suite des travaux de recherche et d'exploitation en carrières de certains terrains, puis à l'occasion des levés cartographiques de surface et enfin (surtout) dans le cadre de la réalisation des infrastructures souterraines existantes, notamment du réseau actuel de métropolitain déjà bien développé sous Paris intra-muros. Ces sondages et travaux ont permis de mettre en évidence la forte variabilité verticale (succession de couches relativement peu épaisses), mais aussi, dans une moindre mesure, latérale (variations de faciès).

L'état des connaissances sur le sous-sol parisien a été consigné au fil du temps dans les notices de cartes géologiques (listées dans la bibliographie de ce document) ou au sein de différents ouvrages ou publications de référence (Soyer, 1953 ; Soyer et Cailleux, 1960 ; Filliat et Duvauchelle, 1981). Une mise à jour de ces connaissances a été proposée récemment par l'auteur de ces lignes (Egal, 2023). En parallèle, de très nombreux travaux universitaires spécialisés ont été réalisés sur l'ensemble du Bassin de Paris et ont été publiés à travers des thèses ou des publications scientifiques. On peut citer notamment les thèses récentes de Justine Briais (2015) sur le Cénozoïque du Bassin de Paris et de Julien Talon (2025) plus spécifiquement sur l'Eocène du Bassin de Paris (et du Bassin de Mons en Belgique).

Les nouvelles reconnaissances réalisées dans le cadre des projets Eole et Grand Paris Express ont permis d'étendre la connaissance des terrains parisiens, surtout dans des zones plus périphériques et de préciser leur variabilité. Les observations géologiques des carottes de sondages sont en grande partie cohérentes avec celles déjà consignées dans les documents de synthèse, mais elles montrent également des différences non négligeables et des caractéristiques parfois spécifiques. Elles confirment ainsi la variabilité de la série tertiaire sous Paris et sa banlieue. Les effets de l'altération superficielle, et de la dissolution « profonde » du gypse (par les eaux souterraines), jouent un rôle important dans cette variabilité.

Lithostratigraphie générale de la série paléogène parisienne

L'essentiel des terrains traversés par les infrastructures souterraines parisiennes se rapporte à la partie inférieure du Tertiaire ou Paléogène, c'est-à-dire du Paléocène, de l'Eocène et de l'Oligocène (Tableau 1). Les terrains plus récents du Néogène (Miocène et Pliocène) ne sont que très peu représentés. La série paléogène parisienne s'est déposée dans un contexte sédimentaire changeant, en relation avec les cycles de transgression-régression (voir Briais, 2015, pour une analyse séquentielle récente du Tertiaire du Bassin de Paris). Le milieu de dépôt est majoritairement littoral ou lagunaire avec quelques incursions franchement marines ou des phases de retrait en contexte continental (fluviatile à lacustre). Des lacunes de sédimentation associées à une émersion sont identifiées à plusieurs niveaux de la série.

La succession lithostratigraphique présentée dans le Tableau 1 selon une échelle des temps actualisée est celle communément admise depuis de longues années par les géologues du sous-sol parisien (notamment Robert Soyer qui a réalisé les premières éditions des cartes géologiques de Paris et ses alentours dans les années 1940 et 1950, et signé un grand nombre de publications, voir par exemple Soyer et Cailleux, 1964). La succession lithostratigraphique a été récemment actualisée à travers une carte géologique simplifié de Paris et ses environs (Charles et al., 2020).

PERIODE	Age (Ma)	SERIE ou EPOQUE	ETAGE	Sous-étage ou équivalent	Formation géologique	Milieu de dépôt
	5,3	PLIOCENE		***Emersion et lacune*** *(sauf localement : Sables fluviatiles de Lozère, Alluvions très anciennes...)*		
	23	MIOCENE				
PALEOGENE		OLIGOCENE	CHATTIEN	***Emersion et lacune***		
			RUPELIEN (Stampien)	*Stampien s.s.*	**Meulière de Montmorency)* (MM)**	*Lacustre (à lagunaire ?)*
					Sables de Fontainebleau (pp grésifiés)*** (SF)**	*Marin à éolien (sommet)*
					Marnes à huîtres (MH)	*Laguno-marin*
				Emersion		
				Sannoisien	**Calcaire de Brie (CB)**	*Lacustre (+/- laguno-marin)*
	34				**Argile verte (AV)**	*Lagunaire*
		EOCENE	PRIABONIEN	*Ludien*	**Marnes de Pantin (MP)**	*Lacustre*
					Marnes d'Argenteuil (MA)	*Lagunaire à marin*
					Masses et marnes du Gypse (MMG) / Calcaire de Champigny (CC) M. à *Pholadomya* à la base	*Laguno-lacustre à palustre*
				Emersion		
			BARTONIEN	*Marinésien*	**Sables verts (SV)**	*Saumâtre - marin*
					Calcaire de Saint-Ouen *s.l*. (SO)	*Laguno-lacustre (à marin)*
				Emersion		
				Auversien	**Sables de Beauchamp (SB)**	*Littoral (plage) à marin*
				Emersion		
				Bartonien inf. - Lut. Sup.	**Marnes et Caillasses (MC)**	*Laguno-saumâtre*
			LUTETIEN	Lutétien inf. à sup.	**Calcaire grossier (CG)** (Glauconie grossière à la base)	*Marin (laguno-lacustre pdt une courte période)*
			YPRESIEN	***Emersion et lacune (2 Ma)***		
				Faciès cuisiens	***Yprésien sablo-argileux*** — **Sable supérieurs (SS) et Sables de Cuise (SC)**	*Fluviatile à estuarien (SS) et marin littoral (SC)*
				Faciès sparnaciens	**Fausses glaises (FG)**	*Laguno-continental*
					Sables d'Auteuil (SA)	*Littoral à continental*
	56				**Argile plastique (AP)**	*Fluviatile (+/- lacustre ?)*
					Marnes à rognons (MR)	*Calcrètes (paléosols)*
		PALEOCENE	SELAN.-THAN.	***Emersion et lacune du Sélandien et du Thanétien au niveau de Paris***		
			DANIEN	*Dano-Montien*	**Calcaires et marnes de Meudon (CMM)**	*Lacustre*
					Calcaire pisolithique	*Marin*
	65			***Emersion, altération, érosion et ravinement de la craie***		
	84	CRETACE SUPERIEUR	CAMPANIEN		**Craie à silex (C)**	*Marin*
			** La Meulière de Montmorency résulte de l'altération du Calcaire d'Etampes au cours du Néogène alors que les Sables de Fontainebleau sont en partie silicifiés en grès (quartzites)*			

Tableau 1 - Lithostratigraphie de la série parisienne (hors dépôts superficiels) recalée dans l'échelle des temps géologiques actuelle : nom d'usage des formations, initiales (entre parenthèses : initiales alternatives fréquemment utilisées), notation stratigraphique actualisée (BRGM) ; phases d'émersion et milieux de dépôt (d'après les notices de la carte géologique à 1/50 000, Merle et al., 2008 et Briais, 2015, voir également Charles et al., 2020 et F. Quesnel, inédit).

La partie supérieure de la série paléogène, de l'Eocène supérieur (Priabonien) à l'Oligocène n'est observée, de manière plus ou moins complète, que sur les parties hautes des buttes-témoins et plateaux (butte de Montmartre, Mont Valérien, plateau de Clichy, rebord du plateau briard, plateaux du Sud-Ouest du Paris, Figure 2). Le sous-sol des zones basses de plaine présente une série paléogène largement tronquée (érodée) et d'âge essentiellement ante Priabonien : le Calcaire de St-Ouen ou des terrains résiduels des Masses et marnes du Gypse représentent généralement le sommet de la pile tertiaire dans ces zones de plaine au Nord et à l'Est de Paris. Localement, les terrains bartoniens voire lutétiens sont eux-mêmes érodés à la faveur de structures anticlinales.

Sous la surface d'érosion quaternaire, la partie préservée de la série tertiaire est généralement complète (sans lacune) à l'exception notable de la série sablo-argileuse de l'Yprésien (+/- Cuisien) qui surmonte l'Argile plastique et s'avère largement absente au Sud de Paris notamment à l'aplomb des lignes 14 Sud et 15 Sud. Le Calcaire grossier repose alors sur l'Argile plastique le long d'une partie du linéaire de ces lignes.

En général, les couches tertiaires montrent une bonne continuité lithologique dans le sous-sol parisien avec cependant des variations d'épaisseur parfois importantes à l'échelle de Paris et sa banlieue (Figure 2). Il existe cependant au sein de chacune des formations des variations latérales subtiles ou plus franches, d'origine sédimentaire ou en relation avec des phénomènes d'altération et de dissolution (pas ou peu en relation directe avec les phénomènes tectoniques).

Les formations tertiaires présentent généralement un pendage subhorizontal, mais sont cependant affectées de plis ou d'ondulations tectoniques parfois assez « marquées » (par rapport à la structure générale très peu perturbée). Des plissements de très grande longueur d'onde sont classiquement identifiés à l'échelle parisienne (fosse de St-Denis, anticlinal de Meudon, etc.). Toutefois les profils en long géologiques réalisés pour les différentes lignes du GPE amènent à préciser ou remettre partiellement en cause ce schéma structural classique et une nouvelle synthèse globale de la géométrie des couches tertiaires mériterait d'être proposée par ailleurs.

Les couches tertiaires peuvent être affectées et mobilisées par des phénomènes gravitaires en bordure de relief actuel. Ce phénomène peut se marquer par des dépôts de versants colluviaux « classiques », par d'éventuels glissements en masse (cas de l'Argile verte), ou, plus localement, par la fragmentation et le glissement de blocs rocheux de grande dimension (Calcaire grossier) sur une semelle d'Argile plastique. Ce dernier phénomène est bien reconnu et bien documenté dans le Sud-Ouest de Paris (Filliat et Duvauchelle, 1981) et reporté le long de la ligne 15 Ouest.

Figure 2 - Représentation schématique de quelques successions ou colonnes lithostratigraphiques mises en évidence le long des lignes en projet du Grand Paris Express. Voir le Tableau 1 pour la signification des initiales sauf AM = Alluvions modernes et AA = Alluvions anciennes. Les remblais ne sont pas représentés.

III. LES FORMATIONS GEOLOGIQUES PARISIENNES : DESCRIPTION

Les descriptions synthétiques qui suivent sont issues des observations faites sur les carottes des projets Eole et Grand Paris Express, complétées de descriptions issues de la littérature sur la géologie parisienne (références précédemment citées).

Ces descriptions s'accompagnent d'une sélection de photographies de carottes compilées. Il n'est pas fait de renvoi précis aux photographies de carottes dans ce qui suit mais les différents faciès décrits dans une même formation sont, sauf exceptions, visibles sur les photographies de carottes.

Dans ce document, les formations géologiques sont distinguées selon le découpage « lithostratigraphique » habituel et les appellations classiques (cf. par exemple Filliat et Duvauchelle, 1981). Ce découpage est cohérent avec celui proposé récemment pour la carte géologique simplifiée de Charles et al. (2020) mais les appellations sur cette dernière peuvent être légèrement différentes ou « étendues » dans quelques cas.

Les descriptions des formations sont basées uniquement sur des observations macroscopiques. Elles reprennent partiellement et complètent les descriptions antérieures provenant en partie de secteurs différents du sous-sol parisien (et de l'Ile-de-France). Les différences notables avec les descriptions « classiques » sont relevées (voir également Egal, 2023). Elles illustrent parfois une « interprétation » différente des faciès traversés, mais témoignent plus généralement de la variabilité géographique des formations.

Les formations sont décrites du haut vers le bas de la série, des plus jeunes aux plus anciennes comme il est d'usage dans le monde du génie civil parisien.

Par ailleurs, les faciès altérés superficiels des formations « mères » sont décrits avec celles-ci. *Les appellations présentent un caractère de nom propre justifiant l'utilisation d'une majuscule en tête comme il est d'usage (voir les cartes géologiques ou Filliat et Duvauchelle, 1981). Nous avons maintenu par ailleurs l'appellation au singulier quand celui-ci est historiquement employé (Argile verte, Calcaire grossier, Argile plastique, etc.) même si le pluriel est maintenant fréquemment utilisé. Pour chaque formation, les appellations alternatives usitées sont mentionnées).*

LES FORMATIONS SUPERFICIELLES QUATERNAIRES

Les remblais anthropiques, par nature de composition variable et potentiellement hétérogène ne sont pas présentés ici, d'autant que leur identification en sondage n'est pas toujours claire du fait de similitudes avec certaines formations superficielles ou des faciès altérés. Leur limite inférieure notamment est souvent imprécise. Il s'agit de dépôts meubles et c'est la présence de débris anthropiques (fragments de poteries, briques, céramique, etc.) qui permet de bien caractériser les remblais, même si en toute rigueur de tels débris peuvent également être rencontrés dans les alluvions modernes.

De même, des « **éboulis** », **colluvions** ou autres **dépôts de pente** sont décrits en sondages mais ne sont généralement pas caractéristiques sur les carottes et leur interprétation est souvent sujette à caution. Ils ne sont pas présentés ici.

Les « **Limons des Plateaux** » cartographiés dans la région parisienne regroupent des dépôts hétérogènes d'origine différente et souvent remaniés observés sur les plateaux et les buttes témoins (cf. notice de la carte géologique de Paris à 1/50 000). Cet ensemble peut inclure des terrains altérés. Le lœss (limons éoliens) constitue une partie de cet ensemble et certains auteurs (Filliat et Duvauchelle, 1981) ont circonscrit ces Limons des Plateaux à ces lœss et à leur sommet décalcifié (lehm). En sondage, les terrains identifiés en tant que Limons de plateaux ne présentent généralement pas de caractéristiques bien définies et un aspect similaire aux remblais ou aux alluvions modernes. De ce fait, nous ne proposons pas ici de présentation spécifique des Limons des plateaux.

Seules les **alluvions** clairement identifiées sont donc présentées dans ce chapitre des formations superficielles. Essentiellement observées au niveau, et de part et d'autre des lits actuels de la Seine et de la Marne, elles représentent dans ces secteurs un volume de terrain non négligeable. Elles sont classiquement divisées en Alluvions modernes et en Alluvions anciennes.

Alluvions modernes (Am)

Les Alluvions modernes sont récentes à actuelles (Holocène), elles correspondent aux alluvions notées Fz sur la carte géologique à 1/50 000. Leur dépôt s'est produit selon une hydrographie similaire à celle que l'on observe actuellement.

Ces alluvions sont à dominante argilo-limoneuse à finement sableuse et peu graveleuse (éventuellement graviers peu abondants, mais pas de galets), de teinte variable, mais principalement beige à brune ou, plus localement, d'un gris plus ou moins sombre. Elles sont généralement assez cohésives et « serrées » en caisse. Elles se localisent principalement au niveau des lits actuels de la Marne et de la Seine sur des épaisseurs parfois plurimétriques à décamétriques mais sont également rapportées plus localement sur de faibles épaisseurs de manière plus incertaine (confusion possible avec d'autres dépôts superficiels non alluvionnaires).

L15W_ISS-FAI-SC0227_Alluvions modernes essentiellement argileuses

L15E_RSB-AVP-SC04219_Alluvions modernes argileuses

L15E_RSB-AVP-SC4290_Alluvions modernes argileuses très compactes

L15E_CHA-AVP-SC04268 (sous la Marne)_Alluvions modernes argileuses

Alluvions anciennes (AA)

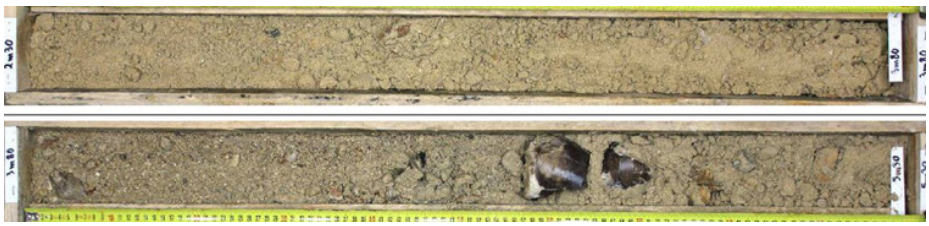
Les Alluvions anciennes se sont déposées avant les Alluvions modernes. Elles regroupent les alluvions notées Fy, Fx et/ou Fw sur la carte géologique à 1/50 000 et se sont donc déposées au cours d'un intervalle de temps assez étendu du Quaternaire, dans un contexte hydrographique différent (et évolutif) par rapport à l'actuel, avec des débits plus élevés. Elles s'organisent en plusieurs terrasses étagées d'âge et d'altitude spécifiques.

Les Alluvions anciennes sont composées essentiellement d'un sable +/- graveleux, beige à jaunâtre ou ocre-orangé, meuble et lâche (non cohésif) dans les caisses de carottes. La fraction sableuse est généralement dominante, elle contient des graviers (rarement des galets) parfois très abondants, subanguleux à +/- arrondis, constitués de silex dominants ou plus rarement de calcaire. Les éléments les plus fins ont pu parfois être lavés par les opérations de forage et ne laisser place qu'aux graviers et galets.

Comme les Alluvions modernes, les Alluvions anciennes sont principalement observées au niveau des lits majeurs de la Marne et de la Seine, sur des distances parfois importantes (kilométriques) de part et d'autre du lit mineur actuel de ces cours d'eau. Leur épaisseur est fréquemment plurimétrique à décamétrique.

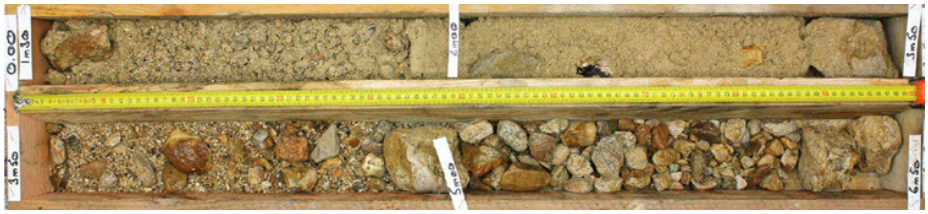
Un approfondissement local des Alluvions anciennes au niveau de chenaux est parfois observé. Tous les chenaux ne sont vraisemblablement pas repérés par les sondages.

EOLE_SC8200_Alluvions anciennes sableuses et plus ou moins graveleuses



L15E_CHA-AVP-SC02336_Alluvions anciennes sableuses avec graves (fragments) de silex brun

EOLE_SC7500_Alluvions anciennes sablo-graveleuses



L15S_CHA-FAI-SC0111_Alluvions anciennes très sableuses puis très graveleuses (silex beige-brun)

L15O_ISS-FAI-SC0227_Alluvions anciennes sablo-graveleuses

Les formations tertiaires paléogènes

Meulière(s) de Montmorency (MM)

Autres appellations : Travertin supérieur, Argiles à meulières

Cette formation est la plus « haute » (la plus jeune) de la série tertiaire sur l'emprise du Grand Paris Express, elle est localisée principalement à l'Ouest et au Sud-Ouest de Paris au niveau de la plate-forme ou plateau du Hurepoix (incluant le plateau de Saclay) dont elle constitue l'entablement sommital (voir carte géologique simplifiée de Paris et ses environs, N. Charles et al., 2020). Elle ne concerne donc que la ligne 18 du réseau GPE. Son épaisseur dépasse régulièrement 10 m pour atteindre localement 25 m. Bien qu'incomplète, puisque soumise à l'érosion des sommets de plateaux, cette épaisseur s'avère nettement plus importante que celle indiquée par Filliat et Duvauchelle (3 à 8 m).

Les Meulières (*ou Meulière au singulier)* de Montmorency sont essentiellement constituées dans leur configuration actuelle de terrains argileux (à marneux) comprenant des « accidents » siliceux très durs et très fortement abrasifs ou « meulières » , compactes à vacuolaires ou caverneuses, largement exploitées pour la construction. Ces passées ou « blocs » de meulières, parfois de petite taille, ont été recoupés sur des épaisseurs pluridécimétriques à métriques le long de la L18, mais des blocs de plusieurs mètres cubes sont décrits par ailleurs (cf. Filliat et Duvauchelle, 1981).

Des fragments ou rognons de calcaire (résiduel) sont également observés en forage.

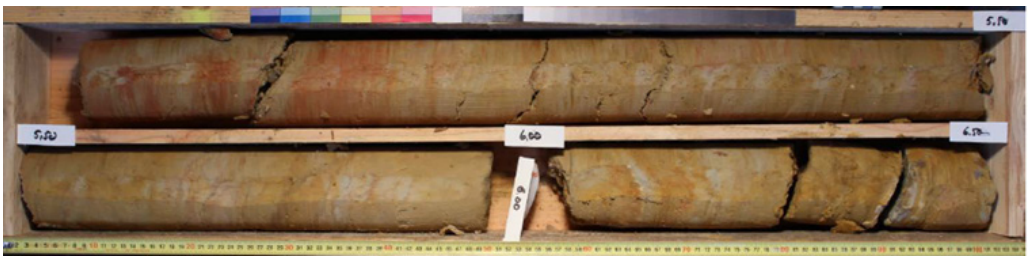
Des lentilles sableuses et des « granulés siliceux » sont également décrits par Filliat et Duvauchelle, mais n'ont pas été rencontrés au droit de la L18. Il s'agit de dépôts sableux ou argilo-sableux rapportés à la formation miocène des Sables de Lozère qui « ravinent » le sommet de la Meulière.

Les argiles et meulières sont issues de processus de transformation (d'altération) par décalcification de terrains carbonatés (Calcaire d'Etampes préservé plus au Sud) et constituent ainsi une formation altérée résiduelle. Divers processus de désilicification et (re)silicification ont été décrits au sein des meulières de ces profils d'altération par Ménillet (1986). L'âge de cette formation est Miocène-Quaternaire sans être connu plus précisément (F. Quesnel, correspondance écrite par mail reportée ici).

Les faciès argileux des Meulières de Montmorency présentent un aspect lité et bariolé (beige, ocre, rougeâtre) et une plasticité qui évoquent clairement les argiles de la formation de l'Argile plastique rencontrées en base de la série tertiaire (Yprésien). Cette convergence de faciès s'explique par le fait qu'il s'agit dans les 2 cas de paléosols formés dans des argiles (F. Quesnel, communication écrite).

L18_GUY-AVP-SC03111_Meulière vacuolaire sur près d'un mètre dans encaissant marno-argileux résiduel

L18_GUY-AVP-SC03111_Passée de 40 cm de meulière siliceuse (non vacuolaire) en haut à droite, dans marnes et argiles résiduelles "déstructurées"



L18_MLH-AVP-SC02578_Faciès bariolé (similaire à celui de l'Argile plastique) de la formation des Meulières de Montmorency

Sables et grès de Fontainebleau (SF)

Cette formation occupe une vaste zone à l'Ouest et au Sud de Paris en sommet de plateau ou sous le Calcaire d'Etampes et/ou les Meulières de Montmorency et concerne la ligne 18 du Grand Paris Express (au niveau du plateau de Saclay). D'une épaisseur pluridécamétrique (généralement 50 à 60 m, localement 70 m), elle se caractérise par des sables siliceux majoritaires renfermant des lentilles de grès silicifiés très durs (quartzites) localisées préférentiellement dans la partie haute de la formation (par exemple Lozouet et al., 2012). Ces grès ont été largement exploités pour le pavage des rues de Paris. Ils sont également bien connus pour les blocs d'escalade qu'ils constituent dans le secteur de Fontainebleau. Les sables siliceux pour leur part ont été exploités pour l'industrie du verre.

Une lithostratigraphie fine des Sables de Fontainebleau, a été proposée pour certains secteurs à partir de variations de granulométrie et de teinte (cf. coupe proche d'Etampes par Lozouet et al., 2012), mais elle n'est a priori pas généralisable.

Les sables des carottes des sondages de reconnaissances de la Ligne 18 d'aspect très homogène présentent une teinte ocre à brun dans la partie supérieure et plus grise dans la partie basale. Ces sables sont fins, peu cohésifs à lâches dans les caisses de carottes. Ils sont constitués quasi exclusivement de quartz (une composition à 99% de quartz est proposée dans le cas général), mais dans le secteur de Saclay (ligne 18), la partie inférieure grisâtre de la formation serait un peu plus argileuse et un niveau d'argile est décrit localement. Des graviers ou galets (silex) sont décrits par ailleurs mais n'ont pas été observés dans le secteur.

En surface, les sables présentent une teinte claire à blanche résultant d'une décoloration par l'altération superficielle.

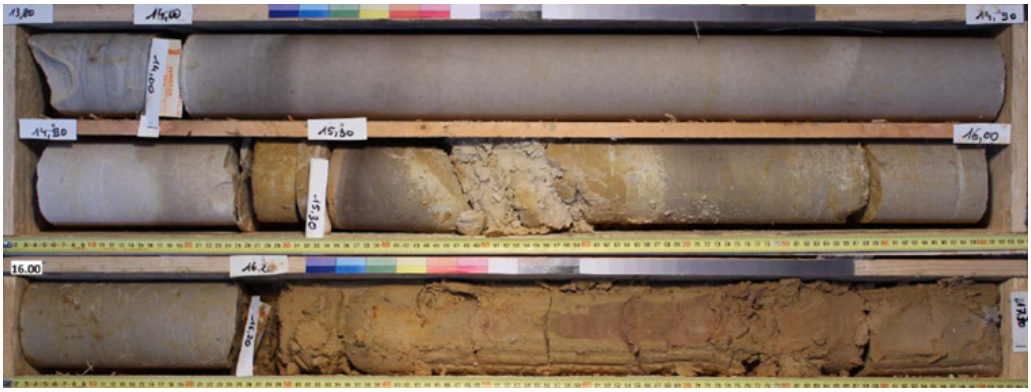
Les sables se seraient déposés en milieu marin pour une large partie inférieure, puis en contexte éolien (dunes) pour la partie supérieure moins épaisse (Lozouet et al. 2012, Thiry, 2017).

Les grès siliceux intercalés dans les sables constituent des lentilles potentiellement de dimension importante (longueur plurikilométrique, largeur pluridécamétrique à plurihectométrique et épaisseur de 1 à 10 m, Missenard et al., 2017). Elles sont recoupées sur une épaisseur maximale de 3,5 m au maximum dans les sondages pour la L18. Très dures et d'une couleur gris clair, ces lentilles sont parfaitement individualisées au sein des sables. Elles sont constituées des grains de quartz du sable postérieurement cimentés par de la silice. Ces lentilles sont principalement localisées dans la partie supérieure de la formation, mais elles peuvent exister de manière éparse dans la partie inférieure. La silicification principale des grès est considérée comme postérieure à la sédimentation des sables.

Elle est rapportée principalement au Miocène inférieur ou moyen, avant la tectonique du Miocène supérieur menant à la formation de grands plis très ouverts et d'une fracturation régionale, mais une silicification récente (moins de 300 000 ans) formée en conditions froides et localisée dans des incisions est considérée comme possible (Missenard et al., 2017).

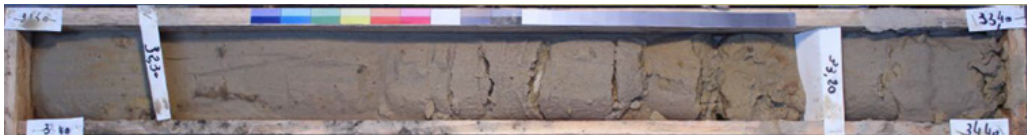
L'origine de la silicification a fait l'objet de nombreuses études, elle résulte de circulations d'eau souterraine mais les processus et conditions (localisation) de formation des grès sont encore discutés dans le détail (voir Missenard et al., 2017 et références incluses ou Thiry, 2017). A ce titre le développement et la répartition des lentilles ou bancs silicifiés dans les sondages (L18) par rapport à la géologie et à la géomorphologie sus-jacente reste encore à préciser.

L18_GUY-AVP-SC03111_Sable fin



L18_MLH-AVP-SC02578_Grès très siliceux gris très induré ("grès quartzite") et sable fin

L18_MLH-AVP-SC02578_Sable très fin



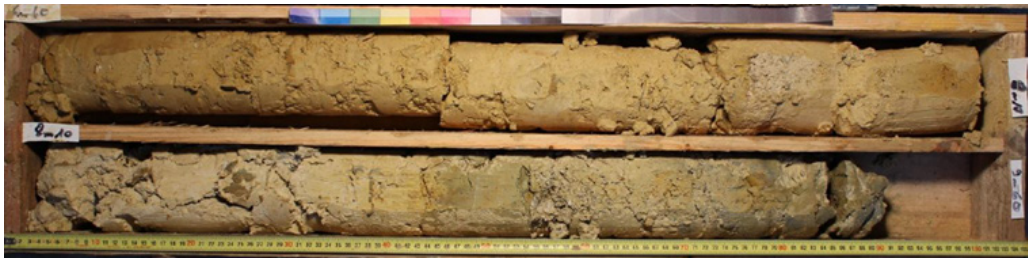
L18_MLH-AVP-SC02578_Sable gris à la base de la formation

Marnes à huîtres (MH)

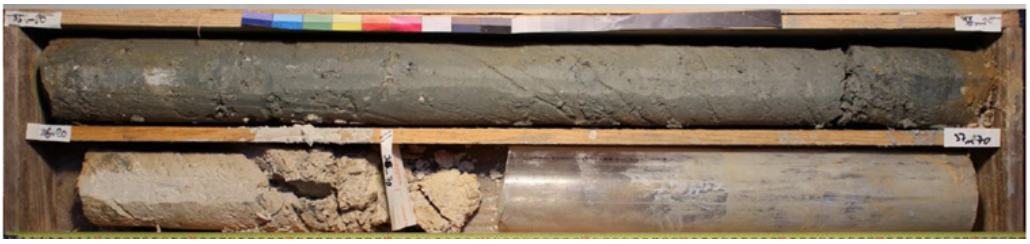
Les Marnes à Huîtres sont également localisées à l'Ouest et au Sud-Ouest de Paris sous les sables de Fontainebleau. Elles concernent la ligne 18 du Grand Paris Express (GPE) où leur épaisseur est de 2,5 à 3 m.

Cette formation ne présente pas des caractéristiques très marquées (à part leur contenu fossilifère) et ne se différencie pas toujours aisément à l'œil des formations encaissantes (limites non tranchées).

Elle est constituée de marnes et/ou d'argiles et de passées plus sableuses. Leur teinte est beige-ocre lorsqu'elles sont localisées à faible profondeur et un peu altérées (cf. ANT-AVP-SC02603) et de teinte gris-vert plus sombre à plus grande profondeur et plus à l'abri de l'altération. Dans tous les cas il s'agit de sols indurés ou de roches tendres.



L18_ANT-AVP-SC02603_Faciés superficiel altéré



L18_PAL-AVP-SC02248_Faciès profond marno-argileux pas ou peu altéré

Calcaire de Brie (CB)

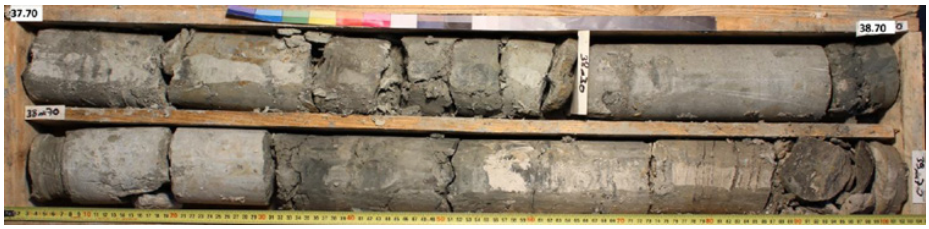
Autres appellations : Travertin de Brie, Calcaire de Brie et de Sannois

Le Calcaire de Brie est présent sous les Sables de Fontainebleau et les Marnes à huîtres à l'Ouest et au Sud-Ouest de Paris (plateau du Hurepoix) et en bordure Est de Paris (partie Ouest de la butte de Romainville - Fontenay). Plus à l'Est, il constitue l'entablement sommital de buttes-témoins diverses et surtout du plateau de Brie.

Une épaisseur maximale de 5 m est donnée dans la littérature (Filliat et Duvauchelle, 1981). Au droit de la L18, son épaisseur complète est de l'ordre de 2,5 à 3 m, rarement plus.

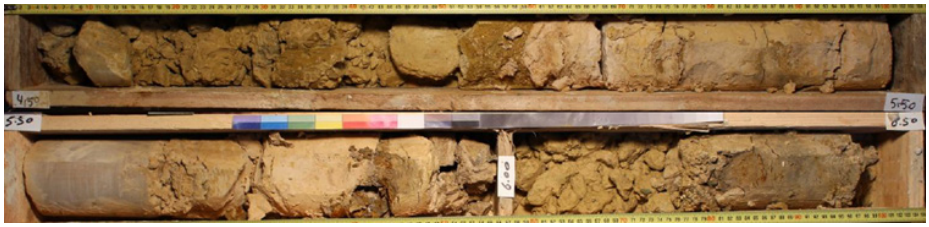
En profondeur (sous les Sables de Fontainebleau et les Marnes à huîtres), la formation est constituée de marnes gris-beige compactes et de calcaires.

En position superficielle, la formation est remaniée et altérée, on observe des marnes et argiles résiduelles peu compactes et friables, de teinte beige à franchement ocre comprenant des intercalations (bancs) de calcaire bioclastique (fossilifère) et des « accidents » siliceux très durs ou « meulières » résultant de phénomènes d'altération indurante (induration par silicification). Ces meulières ont été recoupées sur des épaisseurs ne dépassant pas quelques décimètres par les sondages réalisés dans le cadre du Grand-Paris Express, mais des « blocs » métriques ont été décrits par ailleurs (cf. Filliat et Duvauchelle, 1981).



L18_PAL-AVP-SC02248_Faciès "profond" alternativement calcaire et marneux préservé de l'altération superficielle

L18_ANT-AVP-SC02603_Faciès marneux à plus ou moins calcaire, peu altéré



L18_ANT-AVP-SC02598_Faciès altéré avec élément de 15 cm de meulière siliceuse (en bas à gauche)

L16_MOF-PRO-SC3314_Banc de calcaire dur (≠ meulière siliceuse) et marnes/argiles altérées résiduelles "déstructurées"

Argile verte (AV)

Autre appellation : Argiles vertes de Romainville, Glaises vertes, incluant les Glaises ou Marnes à Cyrènes à la base

La formation de l'Argile verte est présente sous le Calcaire de Brie à l'Ouest et au Sud de Paris, à une profondeur parfois assez importante, et en partie haute des buttes et plateaux de l'Est et du Sud-Est. Son épaisseur est souvent de 6-8 m et ne dépasse pas 10 m. En outre, dans le Sud-Ouest, au droit de la gare Versailles-Chantiers de la ligne 18, l'Argile verte n'est pas formellement identifiable et apparaît absente (Calcaire de Brie directement sur les Masses et marnes du Gypse) ou en tout cas d'épaisseur réduite.

Il s'agit d'une formation argileuse bien individualisée par rapport aux formations marneuses ou marno-calcaires qui l'encadrent. Elle est assez homogène, globalement très « serrée » et éventuellement un peu carbonatée (marneuse). Elle est principalement d'une teinte caractéristique verte ou gris-vert. Le long de la ligne 16 (butte de Clichy et rebord du plateau de Brie), elle présente un aspect +/- bariolé (jaunâtre/brun et vert) dans la partie sommitale (altération ?) et souvent sur les 1-2 m de la base de la formation (également grisâtre dans certains sondages). Un litage discret est irrégulièrement visible. Des éléments calcaires (graviers et ou nodules) de taille millimétrique à centimétrique sont régulièrement signalés sur les coupes de sondages mais semblent peu abondants à rares.

Le gypse est observé dans certains sondages sous forme de cristallisations éparses ou de petites inclusions ou passées centimétriques à pluricentimétriques.

Des fragments siliceux peuvent être rencontrés : un fragment pluricentimétrique a été observé de manière exceptionnelle dans un sondage de la L14 Sud.

D'après la littérature, la base bariolée de la formation (< 2m), à séquences sableuses, comprend (entre autres) des coquilles de « Cyrènes », d'où le nom de « Glaises ou Marnes à Cyrènes » pour cet horizon.

L'Argile verte constitue avec la formation yprésienne de l'Argile plastique une des deux « couches » considérées comme très peu perméables dans la série tertiaire parisienne et à fort potentiel de gonflement.

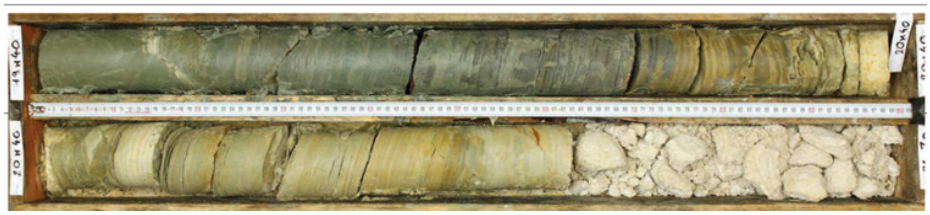
Du fait de sa plasticité, cette formation est également susceptible de glisser en masse sur les rebords et versants des plateaux.

L16_CSM-AVP-SC0809_Argile verte très légèrement bariolée

L16_MOF-AVP-SC2190_ Argile vert-gris homogène

L18_ANT-AVP-SC02603_Argile grise homogène

L16_CSM-AVP-SC0809_Argile bariolée et discrètement litée de la base de la formation de l'Argile verte



L15S_CAC-AVP-SC1846_Base ici finement litée de l'Argile verte

Marnes supragypseuses : Marnes de Pantin (MP) et Marnes d'Argenteuil (MA)

Autre appellation : Marnes blanches (de Pantin), Marnes bleues (d'Argenteuil)

Les Marnes blanches de Pantin et les Marnes bleues d'Argenteuil constituent l'ensemble des « Marnes supragypseuses ». Différenciées principalement par leur couleur, elles présentent des caractéristiques proches et ne sont pas distinguées dans certains secteurs (par exemple secteur de la gare Versailles Chantiers de la L18).

L'ensemble des Marnes supra-gypseuses présente une épaisseur de 15-20 m. Les deux formations ont une épaisseur voisine, mais des variations existent suivant les secteurs. Au Sud et au Sud-Ouest de Paris (plaine de la Bièvre), d'après les reconnaissances réalisées pour la ligne 18 du GPE, les Marnes de Pantin ont une épaisseur régulière de 6-7 m alors que les Marnes d'Argenteuil atteignent 12-13 m. A l'Est de Paris, sous les buttes et plateaux de Clichy ou de Brie, on observe une tendance inverse avec des Marnes de Pantin un peu plus épaisses (8 à 10 m en moyenne, localement jusqu'à 11-12 m) que les Marnes d'Argenteuil (6-7 m, localement jusqu'à 10-11 m), mais ces épaisseurs sont sujettes à interprétation vu que la limite entre les deux formations est généralement non tranchée et difficile à pointer sur les carottes de sondages.

Les Marnes « blanches » de Pantin et « bleues » d'Argenteuil se différencient donc principalement par leur couleur, mais cette différence n'est pas toujours bien marquée et des « convergences de faciès » sont observées. D'une manière schématique, les Marnes de Pantin sont beige-blanchâtres à verdâtres (base souvent jaunâtre), alors que les Marnes d'Argenteuil sont de couleur gris-vert-bleu relativement sombre. Sur la butte de Clichy, leur partie basale présente une teinte beige-jaune-kaki claire souvent très nette.

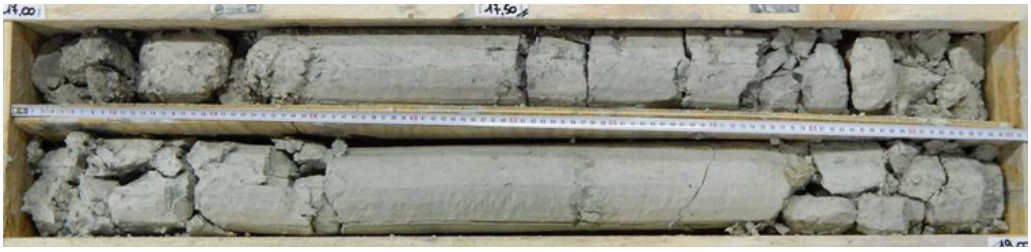
Un litage fin est parfois observé dans les marnes supra-gypseuses. Il est particulièrement net dans les Marnes d'Argenteuil de l'Est de Paris (plateau de Clichy et bordure du plateau Briard).

Les deux formations apparaissent constituées quasi-exclusivement de marnes (+/- argileuses ou calcareuses) sans banc calcaire rocheux intercalé dans les sondages étudiés (un ou des lits de calcaire peuvent être observés ailleurs, par exemple en Brie, F. Quesnel, communication écrite). Les analyses de la teneur en carbonates effectuées par exemple pour la ligne 18 permettent de déterminer un caractère globalement plus calcaire des Marnes de Pantin et corrélativement plus argileux des Marnes d'Argenteuil et quelques rares horizons de calcaire franc ($CaCO_3$ > 90 %) ont été mis en évidence dans les Marnes de Pantin. Le caractère plus argileux des Marnes d'Argenteuil explique l'individualisation dans certains secteurs d'une nappe aquifère dans les Marnes de Pantin sus-jacentes.

Le gypse n'a été observé en sondage que très localement et de manière diffuse dans les Marnes supra-gypseuses (tâches et inclusions, quelques lits minces) de l'Est parisien. Au Sud-Ouest de Paris, au droit du tracé de la ligne 18, de fines intercalations (pluri)centimétriques de gypse sont décrites au sein des marnes. Nous n'avons pas observé de bancs décimétriques de gypse saccharroïde décrits par ailleurs (« bancs de Chien ») à la base des Marnes d'Argenteuil (Filliat et Duvauchelle, 1981).

L'interface avec les Masses et marnes du Gypse sous-jacentes est marquée par le contact avec la Haute masse de gypse de ces dernières.

Marnes de Pantin



L16_CLI-AVP-SC2185_Marnes homogènes grisâtres

L16_NLG-AVP-SC0906_ Marnes homogènes beiges

L18_ANT-AVP-SC02603_Marnes beige-rosâtre puis gris-verdâtre

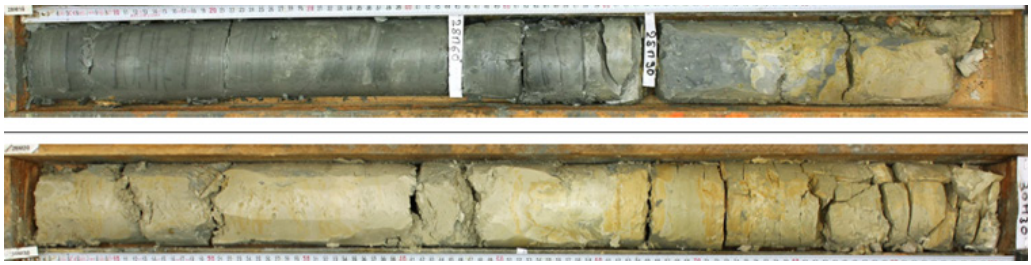
L18_ANT-AVP-SC02603_Faciès gris-bleuâtre des Marnes de Pantin évoquant les Marnes d'Argenteuil

L15S_CAC-AVP-SC1846_Passage Marnes blanches de Pantin - Marnes bleues d'Argenteui

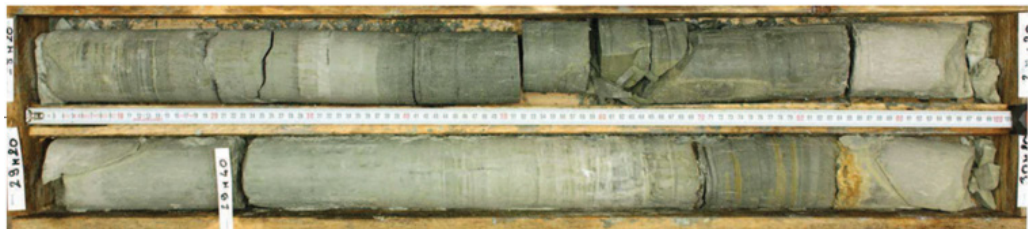
Marnes d'Argenteuil

L18_ANT-AVP-SC02603_Marnes grises légèrement bleutées, homogènes (Marnes d'Argenteuil)

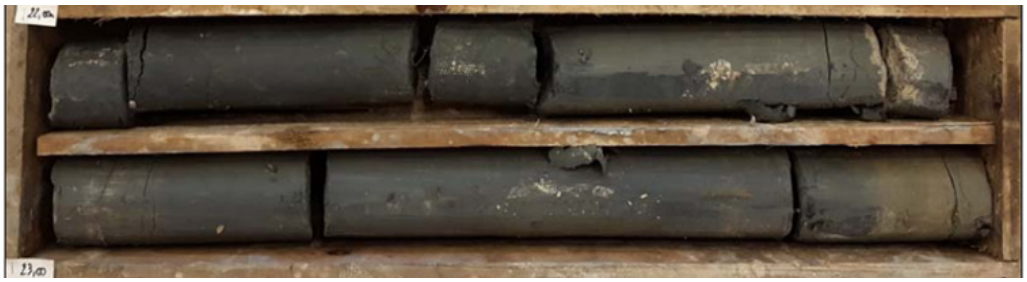
L16_CSM-AVP-SC0812_Marnes gris-verdâtre à litage fin net. Quelques fractures "obliques" franches (Marnes d'Argenteuil)



L16_NLG-AVP-SC0812_Marnes avec partie basale décolorée (Marnes d'Argenteuil)



L15S_CAC-AVP-SC1846_Alternance d'horizons sombres et clairs dans les Marnes bleues d'Argenteuil



L15S_Gare Noisy-le-Champs. Faciès très sombre des Marnes bleues

15S_Gare Noisy-le-Champs. Faciès beige-ocre "décolorée" de la partie inférieure des Marnes bleues

Masses et marnes du Gypse (MMG, Marnes infragypseuses incluses) et Calcaire de Champigny (CC)

Les Masses et marnes du Gypse (MMG) représentent une des formations emblématiques de la série tertiaire parisienne du fait de la présence en son sein de couches épaisses de gypse largement exploitées sous Paris dans le passé (des exploitations perdurent en dehors de Paris, comme par exemple à Villevaudé en Seine-et-Marne).

Nous incluons dans cette formation les Marnes intercalaires et les Marnes infragypseuses et/ou Marnes à Pholadomies classiquement distinguées (voir par exemple Filliat et Duvauchelle, 1981).

Les Masses et marnes du Gypse passent latéralement au Calcaire de Champigny, qui présente ses propres caractéristiques lithologiques (voir description plus loin).

Dans l'emprise concernée par ce document, la formation des Masses et marnes du Gypse n'est présente dans sa complétude qu'au niveau des zones hautes (buttes et plateaux) de Paris et alentour où elle est encore protégée de l'altération et de l'érosion par les terrains sus-jacents encore en place. Dans les zones basses, les MMG sont généralement érodées ou réduites à des marnes résiduelles issues de l'altération (voir ci-dessous).

A Paris (butte de Montmartre) et plus à l'Est (butte de Clichy, plateau Briard, etc.), les MMG complètes présentent une épaisseur importante de 40-50 m et correspondent donc à la formation la plus puissante des zones hautes. Au Sud, la formation est d'épaisseur un peu plus faible, mais peut cependant dépasser 30 m (cf. butte de Villejuif le long de la L15 Sud). A l'Ouest et au Sud-Ouest de Paris (cf. L18), les MMG sont en position relativement profonde et n'ont pas été reconnues en sondages ou seulement de manière partielle.

La lithostratigraphie des Masses et marnes du Gypse est bien connue dans les zones d'exploitation du gypse en carrière. Il est classiquement distingué plusieurs horizons ou couches de gypse dénommées « masses » séparées par des horizons marneux ou calcaires. Trois masses principales sont distinguées et selon les descriptions, une quatrième est ajoutée au sein des marnes infragypseuses. La plus haute (« Haute masse » ou « Première masse ») est la plus épaisse (et la plus exploitée), puisqu'elle atteint une vingtaine de mètres. Elle est bien identifiée sur les reliefs de l'Est parisien. Sa limite supérieure représente également la limite supérieure des MMG. Les faciès marneux observés au-dessus sont à rattacher aux Marnes supragypseuses. Une description détaillée de ces masses de Gypse et des marnes intercalées est notamment présentée dans la notice de la carte de Paris à 1/25 000 pour le secteur de Montmartre.

Le long de la ligne 16, dans l'Est parisien, on distingue sous la Haute masse des intercalations de gypse plurimétriques à métriques alternant avec des horizons marneux voire calcaires (?), mais les « deuxième », « troisième » et « quatrième » masses décrites par ailleurs sont généralement moins formellement identifiées. Au Sud-Ouest de Paris (cf. L18), les MMG sont peu reconnues par les reconnaissances du GPE mais suffisamment pour mettre en évidence le fait qu'elles ne présentent pas la même organisation en horizons épais ou masses de gypse de l'Est parisien. Le gypse est beaucoup moins développé dans ce secteur et n'y a pas été exploité.

Des cavités ou de véritables fontis, parfois de grande dimension, ont été recensés à l'aplomb des Masses et marnes du Gypse, mais ils correspondent le plus souvent à une cavité anthropique d'exploitation du gypse.

Le gypse des Masses et marnes du Gypse présente généralement une texture saccharroïde caractéristique, constituée de grains de gypse et d'un « ciment » intergranulaire carbonaté (calcaire ou dolomie) ou gypseux (Filliat et Duvauchelle, 1981).

Lorsqu'il est préservé, le gypse des masses est souvent massif dans les carottes extraites pour les projets parisiens en cours. Une fragmentation +/- intense, parfois en disques fins, est cependant observée au niveau de passées, voire sur l'ensemble de l'horizon gypseux. Des cavités de dissolution n'ont pas été clairement mises en évidence sur les carottes des sondages du Grand Paris Express ou alors de manière très localisée. Des figures d'affaissement des couches sus-jacentes aux MMG (Plateau de Clichy, ligne 16) amènent cependant à supposer l'existence de cavités de dissolution importantes au cœur des masses de gypse.

Un faciès calcaro-siliceux dit de substitution des bancs de gypse est décrit dans la littérature sur des épaisseurs décamétriques (cf. notice de la carte géologique de Paris à 1/25 000). Ce faciès n'a jamais été mis en évidence dans le cadre des reconnaissances présentées ici, sauf sous forme de cristallisations de calcite et de quartz très localisées.

Par ailleurs, le terme de « Marnes gypseuses » est parfois employé dans la littérature ou dans les descriptions de sondage. Il s'agit en général de marnes pour lesquelles la présence de gypse n'est généralement pas clairement établie.

L15E_RSB-AVP-SC4203_Passée marno-calcaire et gypseuse hétérogène et fragmentée avec intercalations de gypse (Gy) en gros cristaux (cristaux en fer de lance)

L16_CLI-AVP-SC0891_Gypse massif ("saccharroïde")

L16_CLI-AVP-SC0889_ Gypse massif ("saccharroïde")

L16_CLI-AVP-SC0889. Faciès carbonaté à taches (de gypse ?)

L16_CLI-AVP-SC0889_Intercalation d'argile sombre dans calcaire clair

L15E_RSB-AVP-SC4290_Marnes (et/ou calcaire tendres) et intercalations de fragments de calcaire dur

L16_CHL-AVP-SC0893_Gypse semi rocheux très fragmenté (en haut à gauche), et marnes tendre "déstructurées"

L16_AUL-EXE-SC06323_Gypse très délité ("disqué")

Faciès résiduels marno-argileux des MMG

Ces faciès sont régulièrement observés dans les zones de plaine de la région parisienne (telle que la Plaine de France) entre les buttes et plateaux. Il s'agit de marnes +/- argileuses généralement assez compactes et d'aspect plutôt homogène, sauf pour ce qui est de la teinte qui varie de beige ou gris à vert-kaki ou marron (certaines passées sont bariolées). Des intercalations plus argileuses ou au contraire plus calcaires sont cependant possibles. Du gypse est localement décrit, mais de manière très irrégulière et anecdotique. Ce faciès est ici interprété comme l'équivalent latéral résiduel des Masses et marnes du Gypse dans lesquelles le gypse initialement présent a été dissout. Les marnes résiduelles ont été compactées à la suite de cette dissolution du gypse. Ces marnes résiduelles sont localisées en plaine là où les couches qui surmontent les MMG et les protègent de la dissolution ont été préalablement érodées. La transition entre les Masses et marnes du Gypse et ces faciès résiduels peut être observée au droit de certains versants des buttes ou plateaux. C'est le cas par exemple au Nord de la butte de Clichy le long de la ligne 16 (gypse en partie préservé dans cette zone de transition).

Ce faciès de marnes résiduelles est parfois abusivement identifié en sondage sous l'appellation de « Marnes à Pholadomies ». En fait ces dernières correspondent à un horizon particulier des Masses et marnes de gypse difficile à repérer (voir précédemment), qui peut être présent à la base des marnes résiduelles, mais qui ne peut correspondre à l'ensemble de celles-ci.

Par ailleurs, le terme de « Marnes de substitution » est parfois employé dans les descriptions de sondages. Il paraît peu adapté ici dans la mesure où il s'agit bien de marnes résiduelles qui ne se substituent pas à d'autres terrains. Les faciès calcaro-siliceux de substitution du gypse décrits au sein des formations gypseuses n'ont pas été clairement identifiés au sein des marnes résiduelles issues des MMG.

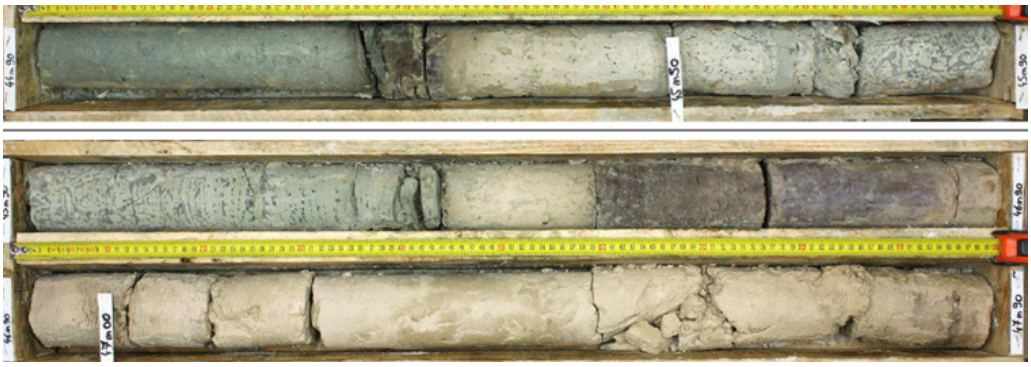
L15E_RSB-AVP-SC42901

L15E_RSB-AVP-SC4203_Faciès marneux relictuel hétérogène mais compact et massif (avec fragments de gypse blanc préservé ?)

Faciès marno-argileux hors zones à gypse (Ligne 18)

Ce faciès marno-argileux atypique n'est pas relictuel ici mais originel, selon toute vraisemblance. Il ne marque pas une transition avec le Calcaire de Champigny à proprement dit puisque celui-ci est identifié à l'Est de Paris et non pas à l'Ouest comme c'est le cas ici.

De haut en bas : L16_NLG-AVP-SC0906, L16_CSM-FAI-SC0081 et L16_CSM-FAI-SC0075_Calcaire principalement tendre (localement plus dur) contenant des silex bruns de forme très irrégulière, isolés ou "anastomosés"



L16_CSM_FAI_SC0073_Faciès calcaro-marneux variés

L16_CSM-PRO-SC332_Faciès carbonatés très tendres

L16_CSM-PRO-SC332_Calcaire tendre vert kaki et calcaire franc, dur et vacuolaire

Sables verts (SV)

Autre appellation : Sables de Monceau

Les Sables verts constituent une couche peu épaisse, métrique à plurimétrique, qui n'est pas régulièrement mise en évidence. Elle apparaît à peu près continue au Nord-Est et à l'Est de Paris (au droit des lignes 15 Est et 16) lorsqu'elle n'est pas érodée, alors qu'elle n'est représentée qu'irrégulièrement sous forme de lentilles allongées (= poches de sable) le long de la ligne 17, ou n'est pas identifiée sous le plateau de Villejuif (L15 Sud) ni dans les quelques sondages profonds de la ligne 18 qui atteignent ce niveau stratigraphique.

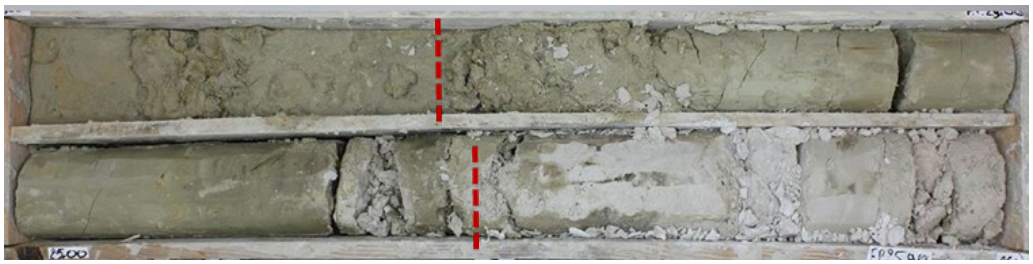
Cet horizon des Sables verts peut être difficile à identifier du fait de sa faible épaisseur et de caractéristiques souvent peu tranchées par rapport aux formations qui l'encadrent.

Les Sables verts semblent absents dans le Sud et le Sud-Ouest de Paris (F. Binet, communication écrite).

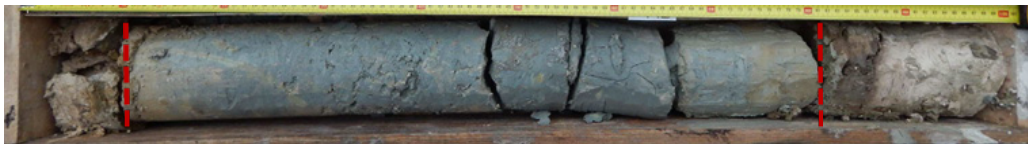
Même dans les secteurs où les Sables verts sont régulièrement présents, cet horizon n'est pas systématiquement reconnu en sondage. De plus, dans certains cas, sa position en altitude relative semble fluctuer entre deux sondages proches. Enfin, dans quelques cas, au-dessus ou en-dessous du niveau principal des Sables verts, des niveaux secondaires peu épais aux caractéristiques similaires sont présents. Ces observations amènent à considérer que les Sables verts constituent parfois dans les secteurs où ils sont observés des bancs lenticulaires discontinus et potentiellement décalés en altitude (remplissage d'irrégularités au sein de la formation de St-Ouen sous-jacente).

D'un point de vue lithologique, les Sables verts sont assez hétérogènes. Ils sont faits de sables fins +/- carbonatés et de marnes parfois dominantes (surtout en partie inférieure) voire exclusives. Dans ce dernier cas, c'est la teinte verdâtre à gris-vert de l'horizon qui permet d'éventuellement identifier cet horizon.

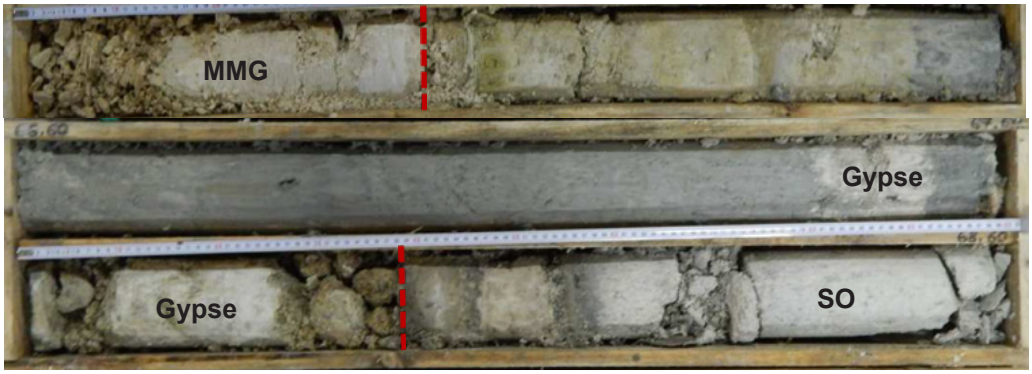
Du gypse est parfois présent au sein des Sables verts. Sous la butte de Clichy et au Nord de celle-ci (L16), un horizon de gypse est fréquemment décrit à la base des Sables verts sur une épaisseur pluridécimétrique (jusqu'à 1,15 m dans le sondage CLI-FAI-SC0046).



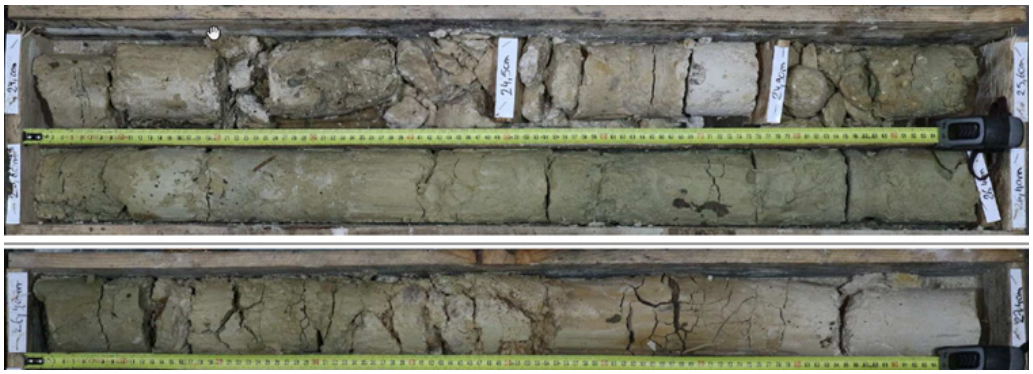
L15E_RSB-AVP-SC4203_Sables verts (entre les traits rouges en tiretés) : sables et marnes. Calcaire de Saint-Ouen en bas à droite



L16_CSM-AVP-SC1126_Faciès marneux à marno-sableux gris bleuté rapporté aux Sables verts



L16_MOF-AVP-SC2190_Les Sables verts (entre les deux traits rouges) présentent ici une teinte beige-vert à grise (composition marneuse ?) et deux passées gypseuses vers la base



L16_CHL-EXE-SC05608_Sables verts (carotte centrale) entre la base des Masses et marnes du Gypse et le Calcaire de St-Ouen

L17_TFE-AVP-SC1724_Sables verts (en haut à gauche) ici de teinte ocre, sur le Calcaire de Saint-Ouen

Calcaire de Saint-Ouen (SO, horizons de Mortefontaine et Ducy inclus)

Autre appellation : Marno-calcaire de Saint-Ouen

Cette formation est présente dans le sous-sol d'une bonne partie du territoire parisien et alentour, mais est cependant érodée au niveau de la large plaine alluviale étendue de la Seine et à la faveur de la remontée des couches (anticlinal de Meudon). Les tunnels des lignes 15 Est et 16 du Grand Paris Express recoupent partiellement ces terrains à de nombreuses reprises.

Le Calcaire de Saint-Ouen est une formation calcaire qui présente des similitudes fortes avec les Marnes et Caillasses. Il se distingue de celles-ci par une altération généralement plus développée du fait de sa fréquente position superficielle (cf. lignes 15 Est et 16) et par une proportion de gypse jamais aussi importante que dans les Marnes et Caillasses. Par ailleurs, le Calcaire de Saint-Ouen comprend à sa base deux horizons, de Mortefontaine et de Ducy, décrits séparément plus bas dans ce chapitre.

L'épaisseur complète (non érodée) de cette formation est le plus souvent de l'ordre de 10-12 m, mais des variations sont localement observées dans un sens ou un autre (de moins de 10 m jusqu'à 15-20 m).

Dans les zones basses parisiennes où le Calcaire de Saint-Ouen est proche de la surface, il présente régulièrement un aspect désagrégé et/ou apparaît majoritairement très tendre en réponse à des phénomènes d'altération superficielle. Lorsqu'il est observé plus en profondeur et préservé de l'altération superficielle comme sous le versant Nord de la butte de Clichy, il se montre alors plus compact et plus massif.

Lorsqu'elle est peu ou pas altérée, la formation de Saint-Ouen est composée principalement de calcaire relativement tendre (« semi-rocheux »), comprenant des intercalations ou des fragments infradécimétriques à supramétriques de calcaire plus dur et plus rocheux et de quelques horizons argileux marron sombre (présence d'argile magnésienne) peu épais (cm à > dm). Le faciès dominant de calcaire est généralement du calcaire marneux (< 30% d'argiles), et contient peu de marnes au sens propre (cf. Marnes et Caillasses). Les intercalations de calcaire franc sont plus ou moins dures et irrégulièrement présentes à des cotes variées, bien que plutôt localisées dans la partie inférieure de la formation. Les études d'Eole et du GPE n'ont pas permis d'identifier une dalle calcaire très dure au sommet de la formation (« couronne ») comme il est décrit par Filliat et Duvauchelle (1981).

Du gypse est irrégulièrement associé au Calcaire de St-Ouen sous forme diffuse ou en horizons massifs bien délimités. De nombreux bancs ont été décrits au sein de la formation sur le territoire de Paris (cf. notice de la carte géologique de Paris). Filliat et Duvauchelle (1981) décrivent des épaisseurs de gypse pouvant atteindre 10 m au Nord de Paris. Le long des lignes 15 Est et 16 du GPE (Nord-Est et Est de Paris), les niveaux de gypse décrits localement au sein du Calcaire de Saint-Ouen ou à la base de celui-ci sont d'épaisseur pluridécimétrique à métrique.

Des silex sombres sont observés localement au sein du Calcaire de Saint-Ouen. Ce fut le cas récemment au cours des premiers terrassements réalisés pour la construction de la ligne 16 (tronçon entre la gare de Saint-Denis et l'ouvrage annexe 0201P après la gare Parc du Blanc-Mesnil).

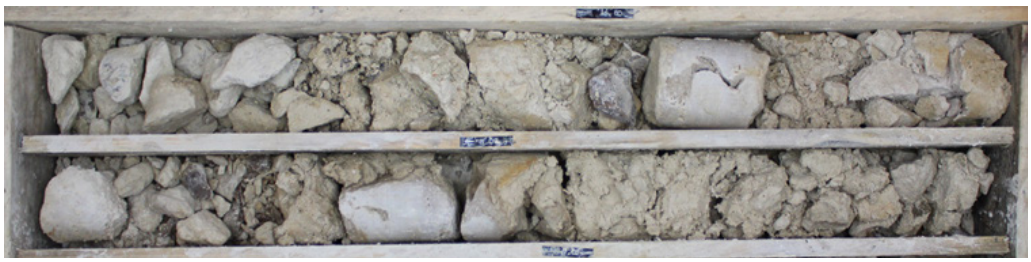
Près de la surface, le faciès dominant de calcaire marneux est généralement tendre et meuble et/ou désagrégé (déstructuré) par des phénomènes d'altération superficielle. Ceci résulte possiblement et en partie de la dissolution de gypse, mais plus vraisemblablement de phénomènes de dissolution « diffuse » et de fragilisation du calcaire (karstification « fantôme » ?). La désagrégation ou déstructuration du Calcaire de St-Ouen est particulièrement visible le long de la ligne 16. Nous n'avons cependant pas observé de véritables cavités, ce qui est cohérent avec la rareté des cavités recensées dans le Calcaire de Saint-Ouen de l'ensemble de la région parisienne (voir CR étude LCPC de 1967).

L16_LIG-AVP-SC2082_Calcaire semi-rocheux "profond" non altéré. Fracturation verticale

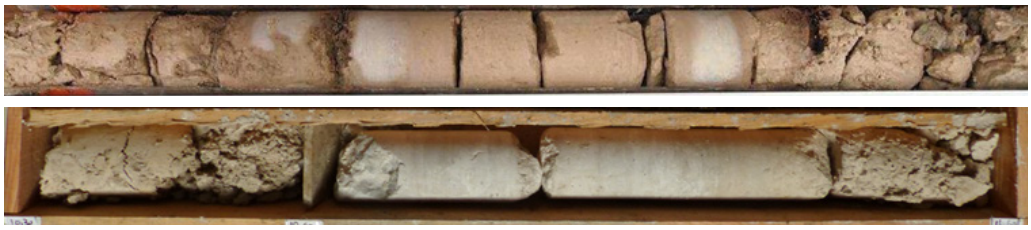
L15E_BON-AVP-SC4173_Calcaire ou calcaire marneux tendre à très tendre, modérément altéré

L17_TEF-AVP-SC3851_Calcaire altéré friable en partie désagrégé

L15NE_SC8805_Calcaire beige-brun très fortement altéré et désagrégé en caisse (calcaire initialement tendre)



L15E_CHA-AVP-SC04281_Bancs ou fragments de calcaire dur et calcaire tendre très altéré. Ensemble déstructuré



L15E_NSM-FAI-SC4713 et L16_LCO-EXE-SC06331_Bancs calcaires "durs" pluridécimétriques bien individualisés et calcaire tendre ou marnes

Transition SO-SB, Sables de Mortefontaine et Calcaire de Ducy (base de la formation)

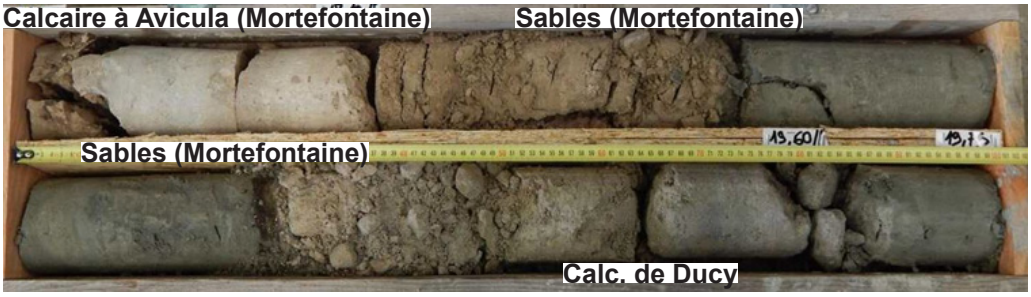
Les horizons de Mortefontaine et de Ducy bien que parfois discrets sont assez fréquemment (mais pas systématiquement) identifiables dans les secteurs Est et Nord-Est du réseau Grand Paris Express ou GPE (L15 est, L16 et Ligne 17).

Dans le cas général de nos observations, l'horizon de Mortefontaine comprend au sommet un banc calcaire franc et fossilifère (niveau à *Avicula francei* de la littérature) de 15-20 cm surmontant un niveau sableux (non gréseux) pluridécimétrique beige à souvent gris-sombre et lâche en caisse (L15 Est). L'horizon de Ducy est représenté par un banc calcaire également de 15-20 cm, parfois dur mais souvent tendre à friable et parfois très difficile à distinguer. Lorsque ce banc de Ducy n'est pas identifié, on observe généralement une continuité assez bonne entre les Sables de Mortefontaine et les Sables de Beauchamp sous-jacents. Le gypse, décrit par ailleurs dans le calcaire de Ducy en association avec de la dolomie (Filliat et Duvauchelle, 1981), n'a pas été formellement observé dans ces horizons le long des lignes étudiées.

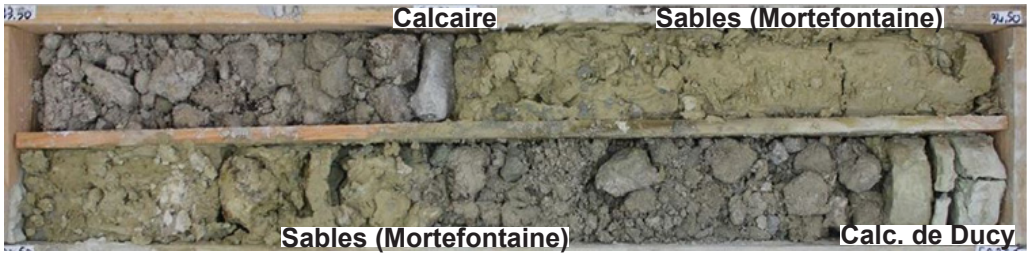
L'ensemble Mortefontaine-Ducy est d'une épaisseur d'échelle métrique (jusqu'à 1,5 m environ) le long des lignes 15 Est, 16 et 18 et donc nettement inférieure à l'épaisseur de 2,5 m à 4 m donnée pour le Nord de Paris (Soyer et Cailleux, 1964).

Enfin, un horizon sableux jaunâtre (les « Sables d'Ezanville ») est parfois individualisé sous le Calcaire de Ducy en région parisienne (Soyer et Cailleux, 1964 ; CR étude LCPC de 1967) mais nous ne l'avons jamais identifié dans les sondages concernés ici.

L15E_BOB-AVP-SC4111_Succession Calcaire et sables de Mortefontaine - Banc calcaire de Ducy à la base du Calcaire de Saint-Ouen



L16_BLM-AVP-SC1049. Succession Mortefontaine - Ducy bien identifiable avec bancs de calcaires franc. Passée sableuse de Mortefontaine hétérogène



L15E_RSB-AVP-SC4203_Succession Mortefontaine - Ducy peu caractéristique avec bancs calcaires "embryonnaires". Ensemble déstructuré

L17_VLP-AVP-AC3785_Banc de calcaire de Ducy bien développé d'épaisseur pluridécimétrique (carotte du haut)

L17_AVL-AVP-SC2836_Banc de calcaire fragmenté de Ducy, dur et d'épaisseur pluridécimétrique (en haut à droite)

Sables de Beauchamp (SB)

Autre appellation (pour partie) : Sables d'Auvers

***NB :** l'appellation « Sables d'Auvers » correspond pour certains auteurs à une entité sableuse située dans la partie supérieure des Sables de Beauchamp jusqu'à parfois être séparée de ces derniers. Pour notre part nous n'avons pas fait d'observation permettant de distinguer les deux entités et considérons une seule formation des Sables de Beauchamp.*

Comme le Calcaire de Saint-Ouen, les Sables de Beauchamp sont régulièrement présents dans de larges secteurs du sous-sol de la région parisienne.

Leur épaisseur est régulièrement d'une dizaine de mètres environ, mais peut se réduire à quelques mètres, notamment dans le Sud parisien. Le long de la ligne 15 Est, son épaisseur varie de 5-7 m à localement 20 m.

Le faciès principal est représenté par des sables fins à très fins limoneux à argileux de teinte variable : généralement gris-vert-bleu en profondeur et beige à ocre plus près de la surface (altération). En caisse le sable est lâche à très cohésif, voire +/- induré (grésifié).

Un niveau très argileux (sables très argileux ou argiles « pures ») est fréquemment décrit en position médiane de la formation (Filliat et Duvauchelle, 1981) à partir d'observations directes ou par l'analyse de diagraphies différées de la radioactivité naturelle (RAN ; gamma-ray) (Simmonet, 2010). Dans ce schéma, il sépare les Sables de Beauchamp inférieurs et supérieurs et constitue un « écran médian » imperméable séparant deux aquifères.

Cependant, les études de reconnaissances menées pour Eole comme pour le Grand Paris Express ont montré que ce découpage en trois horizons n'était pas généralisé. D'après l'observation des carottes et l'analyse de diagraphies RAN issues de ces projets, la proportion d'argiles est très variable au sein de la formation, mais la répartition des argiles ne se fait pas de manière homogène : on observe effectivement un horizon argileux médian métrique à plurimétrique dans certains secteurs, mais dans d'autres cas, plusieurs horizons argileux peuvent être distingués ou bien c'est l'ensemble de la formation qui est très argileux. *A contrario,* certains sondages montrent des sables très peu argileux sur toute leur épaisseur. Il apparaît donc que si un écran médian est bien individualisé dans certains secteurs, il n'est pas possible de le suivre régulièrement dans la formation. Il est préférable de parler de zones ou lentilles argileuses discontinues constituant parfois un horizon médian relativement continu.

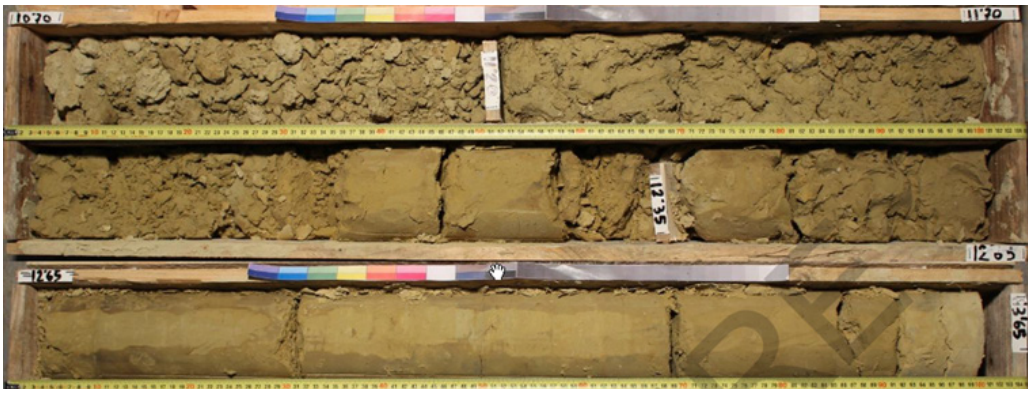
Du **gypse** est parfois observé au sein des Sables de Beauchamp, sous forme diffuse (notamment des cristaux en fer de lance ou en pieds d'alouette) ou localement sous forme d'un banc pluridécimétrique de gypse albâtre intercalé au sein des faciès argileux de la formation (secteur de la nouvelle

gare Stade de France du GPE L15 Est, gare Les Ardoines L15 Sud). Nous n'avons pas observé de gypse saccharroïde décrit précédemment (cf. Soyer et Cailleux, 1960).

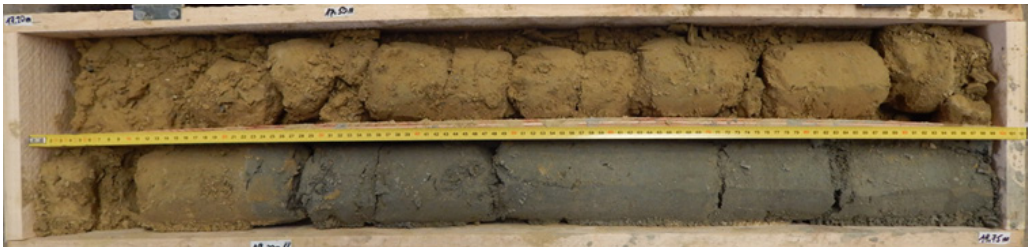
Au sein des Sables de Beauchamp, des faciès grésifiés très durs ont été décrits dans le sous-sol parisien (cf. Filliat et Duvauchelle, 1981), notamment lors de la construction de la ligne 14. Ces faciès de grès très durs n'ont pas été retrouvés lors des études de reconnaissance (forages) réalisés pour le Grand Paris Express où les faciès grésifiés restent généralement assez peu indurés et encore friables. Cependant, des bancs courts ou des lentilles (d'épaisseur (pluri)décimétrique et d'extension pluridécimétrique à (pluri)métrique), de grès quartzitiques très durs (et très abrasifs) ont été rencontrés lors de la construction d'une section de la Ligne 16 et ont engendré des difficultés de creusement au tunnelier (casse de molettes de la roue de coupe) et donc des retards lors de l'excavation. Le caractère très localisé et la répartition « aléatoire » de ces grès quartzitiques ne permettent généralement pas d'anticiper leur présence dans les Sables de Beauchamp.

On rencontre également dans les Sables de Beauchamp des passées de roche dure de composition **calcaire** (parfois fossilifère et en partie vacuolaire). Ces intercalations ont été recoupées principalement dans le secteur de la gare St-Denis-Pleyel le long de la ligne 16, où elles sont fréquentes sur une extension linéaire de 2,5 km environ et où plusieurs passées peuvent être traversées dans un même forage. On n'observe généralement pas de continuité de ces niveaux calcaires d'un sondage à l'autre sauf exceptions. Il s'agit donc de lentilles plutôt que de véritables bancs continus. L'étude plus détaillée de ces calcaires reste à faire.

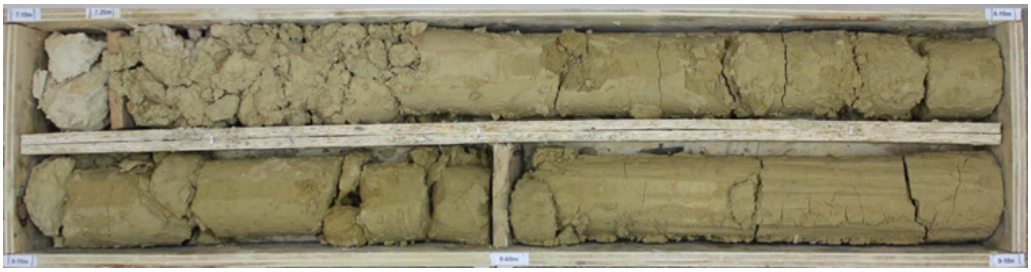
En s'éloignant du secteur de St-Denis-Pleyel le long de la ligne 16, les passées ou bancs de calcaire se raréfient rapidement vers l'Est pour devenir absents en allant vers le Sud (vallée de la Marne). Ils ne sont pas observés le long de la ligne 15 Est (sauf dans le secteur de St-Denis-Pleyel) et n'ont pas été décrits au droit des autres tronçons du Grand Paris. Ils ont pu cependant être confondus localement avec des grès indurés dans la description des carottes de sondage.



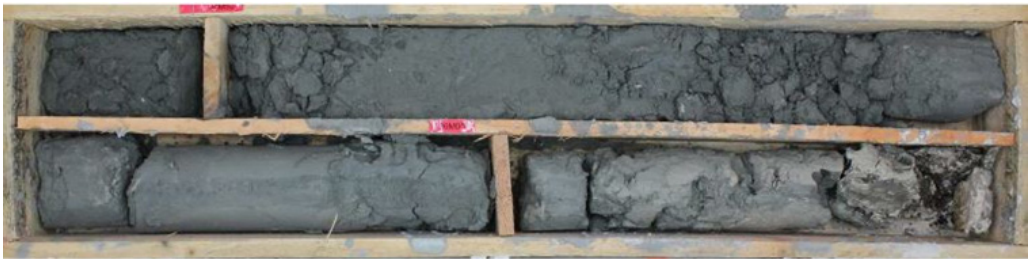
EOLE_SC-SUP07_Sable fin ocre jaune (en position supérieure), lâche à "serré" (compact)



L17_TEF-AVP-SC1728_Sable fin ocre jaune passant à un faciès gris

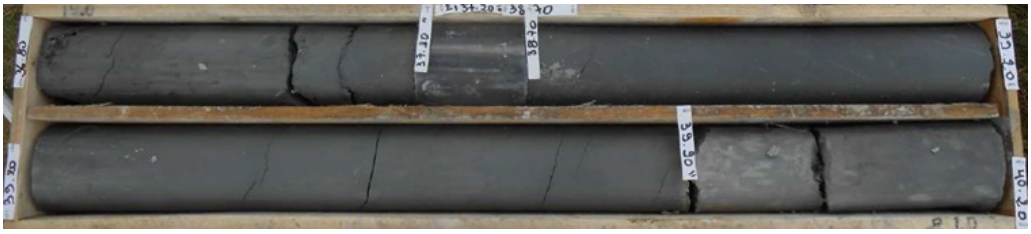


L15E_CHA-AVP-SC04282_Sable fin de teinte beige-kaki (teinte observée sur toute l'épaisseur de la formation dans ce sondage)



L15E_PAN-AVP-SC4087_Sable fin gris lâche (meuble) à cohérent/serré en caisse

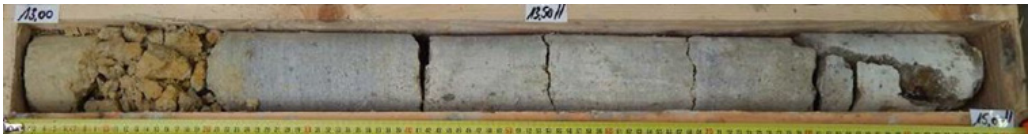
L16_CHL-EXE-SC05608_Faciès argileux compact à inclusions éparses de gypse blanc



L15E_FSB-FAI-SCS4694_Faciès très argileux gris très "serré"

L16_STD-AVP-SC2071_Intercalation de gypse albâtre dans les Sables de Beauchamp. Observation rare et localisée

Bancs ou lentilles durs dans les Sables de Beauchamp



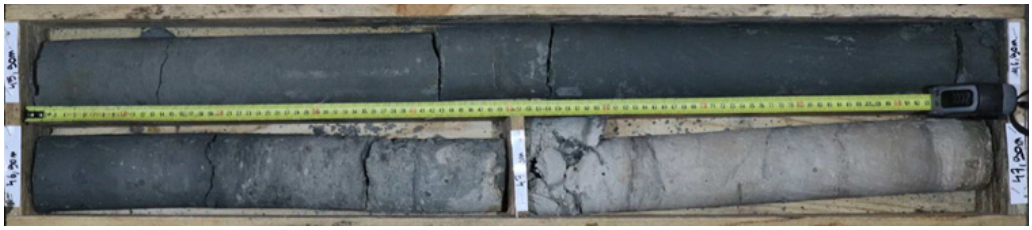
L16_AUL-AVP-SC2071_Banc presque métrique de calcaire dur au sein des Sables de Beauchamp

L15E_STD-AVP-SC1792_Calcaire dur et très vacuolaire intercalé dans du sable lâche

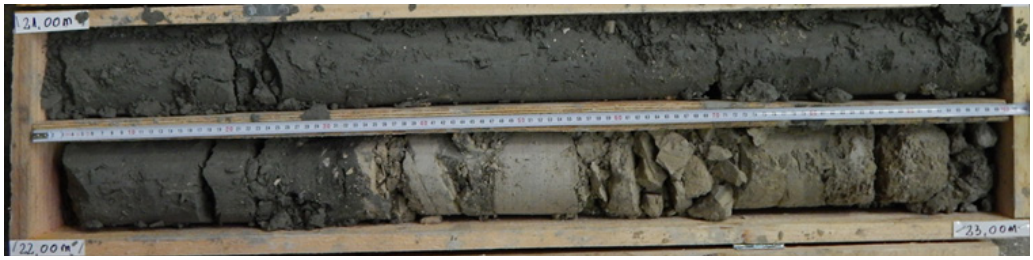
L17_GON-AVP-SC1704_Banc dur calcaire et/ou siliceux intercalé dans du sable meuble

L17_TEF-AVP-SC3805bis. Banc de roche dure (principalement calcaire vacuolaire) dans les Sables de Beauchamp

Bancs ou lentilles durs dans les Sables de Beauchamp



L16_CHL-EXE-SC05608_Passage légèrement progressif d'un faciès argilo-sableux des Sables de Beauchamp) aux Marnes et Caillasses (avec remaniement probable)



L17_VIL-AVP-SC1711_Passage tranché des Sables de Beauchamp aux Marnes et Caillasses

Marnes et Caillasses (MC)

Les Marnes et Caillasses constituent une des formations les plus « célèbres » du sous-sol parisien notamment par la présence de cavités de dissolution du gypse et des dégâts qu'elles peuvent engendrer. Elle est présente dans une grande partie du sous-sol du territoire de la ville et sa banlieue et n'apparaît érodée que sur des superficies limitées (cœur de la vallée de la Seine, vallée de la Marne à Champigny). Son épaisseur est le plus souvent de l'ordre de 15 m mais elle peut se réduire à 7 m environ ou a contrario atteindre 20 à 30 m.

Les Marnes et Caillasses, contrairement à ce que leur nom historique indique, sont composées principalement, comme le Calcaire de Saint-Ouen, de calcaire (souvent dolomitique, Talon, 2025) assez tendre et potentiellement marneux, mais rarement de marnes au sens strict (c'est-à dire de roches carbonatées avec au moins 30% d'argiles) comme l'avait déjà relevé J.P. Gigan en 1974 et comme l'indiquent de nombreuses analyses de la teneur en carbonates réalisées sur échantillon pour les reconnaissances d'Eole et du GPE (Egal et Piraud, 2018 ; Egal, 2023). Le caractère tendre du calcaire majoritaire n'est pas dû à la présence d'argiles, mais résulte de sa texture peu cimenté (Gigan, 1974).

Le faciès dominant de calcaire tendre présente, lorsqu'il n'est pas altéré (voir plus loin) une teinte beige blanchâtre et un aspect compact semi-rocheux et massif (peu fragmenté) en caisse, avec une stratification ou un litage plus ou moins marqué. Un faciès d'aspect marbré ou tacheté est parfois observé sur de faibles épaisseurs. Il pourrait traduire la présence d'inclusions gypseuses, mais cela n'est pas clairement établi.

Des passées ou bancs, voire des fragments de calcaire plus clair et plus dur (parfois silicifiés), sont intercalés au sein des calcaires plus tendres. En fait ces calcaires durs sont le plus souvent dolomitiques (Filliat et Duvauchelle, 1981, Talon, 2025). Sauf exceptions, ces bancs durs sont assez peu développés et observés plutôt en partie inférieure de la formation : dans certains secteurs, on identifie près de la base de la formation le Banc de Rochette (coquiller) d'épaisseur pluridécimétrique à métrique, comme c'est fréquemment le cas le long de la ligne Eole où le Banc de Rochette est alors séparé du Calcaire grossier par quelques décimètres argileux verdâtres. En revanche, le long des lignes 16 et 15 Est, la base des Marnes et Caillasses est généralement représentée sur un à quelques mètres par un faciès à dominante rocheuse, parfois massif (= Banc de Rochette), mais le plus souvent très fragmenté : des fragments de calcaire (dolomitique) dur (les « caillasses ») sont mélangés en caisse avec un « fond » très tendre (éventuellement plus marneux).

Lorsque la partie basale des Marnes et Caillasses est particulièrement rocheuse et massive (non fragmentée), la limite avec le Calcaire grossier n'est pas facile à placer. Généralement, un niveau marneux à argileux peu épais (quelques dm au plus) représente la base des Marnes et Caillasses. Ce niveau repère est bien identifié le long du projet Eole sous le Banc de Rochette où il prend une teinte verdâtre.

Des intercalations argileuses marron sombre à argiles magnésiennes (également observées dans le Calcaire de St-Ouen) d'épaisseur pluricentimétrique à supradécimétrique sont régulièrement recoupées en sondages dans les Marnes et Caillasses. Elles ne sont cependant jamais très nombreuses sur toute l'épaisseur de la formation (au plus quelques intercalations). D'autres niveaux pluricentimétriques argileux de teinte verdâtre (et de composition similaire ?) sont observés plus rarement. D'après la notice de la carte à 1/25 000 de Paris, certains de ces niveaux argileux ont pu être suivis sur des centaines de mètres.

A noter que de rares passées sableuses, non décrites jusqu'à présent, sont observées localement au sein des Marnes et Caillasses (EOLE et ligne 15 Est). Ces passées doivent être distinguées des poches de Sables de Beauchamp localement incorporées au sein des Marnes et Caillasses suite à la formation de vides et fontis par dissolution du gypse (voir plus loin et photographie de front en annexe).

Bien que de répartition très irrégulière et d'abondance très variable, le **gypse** est un constituant important des Marnes et Caillasses, notamment en raison de ce que sa dissolution potentielle peut impliquer (voir plus loin). Les principales concentrations de gypse « anté-ludien » (= antérieure aux Masses et marnes du Gypse) se localisent au sein des Marnes et Caillasses.

Le gypse des Marnes et Caillasses constitue notamment des concentrations massives sous forme d'horizons ou bancs dont l'épaisseur peut

atteindre quelques mètres. Les bancs les plus épais et les plus continus se concentrent surtout à l'Est – Nord-Est de Paris, sur les communes de Sevran ou Livry-Gargan. Par corrélation entre forages, certains horizons de gypse ont été « suivis » sur 1,5 à plus de 2 km le long de la ligne 16 dans le secteur de la gare de Sevran-Livry. Les forages du secteur ont recoupé ces intercalations sur une épaisseur pouvant atteindre 12 m en cumulé (en plusieurs bancs de gypse). D'après Toulemont (1987), cette épaisseur cumulée peut atteindre ou dépasser 20 m. En dehors de l'E – NE de Paris, les bancs de gypse un peu épais n'ont été observés que localement ou de manière éparse. Leur développement important constitue une caractéristique locale des Marnes et Caillasses à l'échelle parisienne. Ces bancs de gypse du secteur de l'Est et du Nord-Est de Paris (L16) sont observés à différents niveaux au sein des Marnes et Caillasses et ne montrent pas de position stratigraphique préférentielle.

Le gypse de ces bancs, de teinte blanc-gris, parfois légèrement translucide, est de type albâtre ou albastroïde (finement cristallisé).

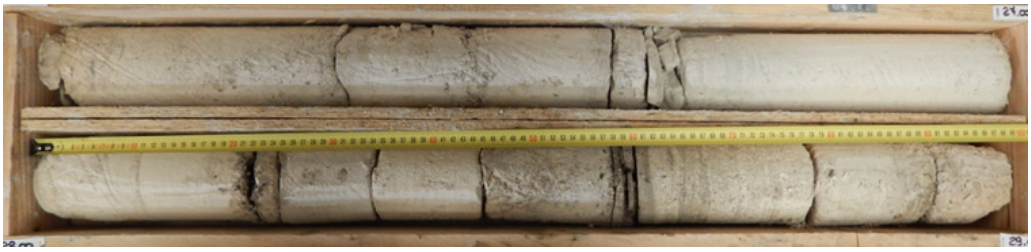
Statistiquement, dans le Nord et le Nord-Est de Paris et sa périphérie, les Marnes et Caillasses qui contiennent des bancs puissants de gypse massif sont plus épaisses que celles qui en sont dépourvues traduisant des phénomènes de subsidence synsédimentaire (Toulemont, 1987 et Vernoux et al., 2007). Cette corrélation a été confirmée par les reconnaissances de la ligne 16 du GPE, mais n'apparaît cependant pas systématique à l'échelle parisienne.

En dehors des bancs massifs épais, le gypse est décrit dans les Marnes et Caillasses sous forme plus diffuse de lits minces, de veines ou veinules, de petits fragments résiduels. Ce gypse diffus est parfois difficile à mettre en évidence et sa répartition comme sa proportion sont difficiles à estimer. Un faciès de marne gypseuse est par exemple décrit dans certains sondages sans que la présence de gypse ait été démontrée. Quoi qu'il en soit, de très nombreux sondages à travers les Marnes et Caillasses ne renferment pas de gypse selon les descriptions des sondeurs et comme le confirment les observations sur carottes faites par l'auteur.

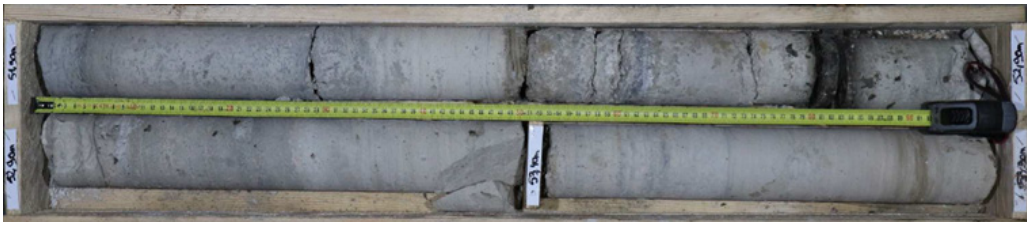
NB : le calcaire des carottes photographiées ci-dessous est sans doute (au moins) en partie dolomitique.

L16_STD-AVP-SC1484_Calcaire beige tendre, massif, avec intercalations plus claires et plus rocheuses (en haut à droite) et deux intercalations argileuses sombres. Faciès "standard" non altéré

L16_AUB-AVP-SC1497_Intercalation argileuse sombre décimétrique dans calcaire tendre "semi-rocheux"



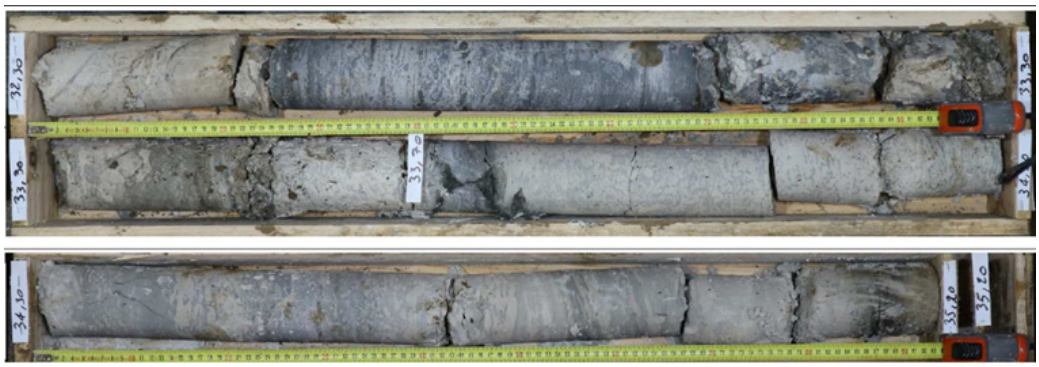
L17_VLP-AVP-SC3712_Faciès courant ou "standard" des calcaires de la formation des Marnes et Caillasses : calcaire beige semi-rocheux ("tendre") peu altéré assez homogène (quelques lits argileux fins)



L16_CHL-EXE-SC5608_Calcaire (dolomitique ?) massif des Marnes et Caillasses, intercalation marneuse sombre pluricentimétrique

L15E_BON-FAI-SC4678(SC0054) _Faciès carbonaté homogène et tendre un peu altéré

L16_SEV-AVP-SC2173_Gypse massif "albastroïde" (et intercalations carbonatées beiges peu épaisses) au sein des Marnes et Caillasses



L17_GON-AVP-SC1704_Marnes et Caillasses hétérogènes (plusieurs faciès calcaires)

L16_CHL-EXE-SC5608_Gypse massif "albastroïde" dans les Marnes et Caillasses

L15E_BOB-G11-SC027_Marnes et Caillasses avec gypse : ensemble très fragmenté et déstructuré (gypse en partie dissous ?)

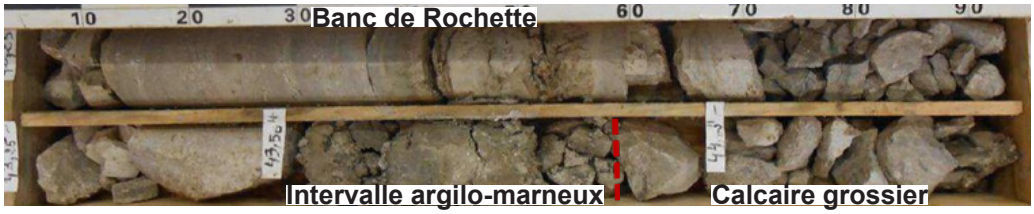
L15E_RSB-AVP-SC4211_Calcaire massif et passée sableuse gris-vert atypique dans les Marnes et Caillasses

L16_LCO-EXE-SC06331_Banc de calcaire dur vraisemblablement dolomitique et probablement silicifié (carotte du bas) dans calcaire (marneux ?) tendre et friable

EOLE_PRO-SCi5440_Fragments de calcaire dur dans un faciès beige-ocre plus tendre et altéré de calcaire (marneux ?)

L15NE_SC8811_Alternance de calcaire tendre beige altéré et de calcaire dur probablement en partie silicifié

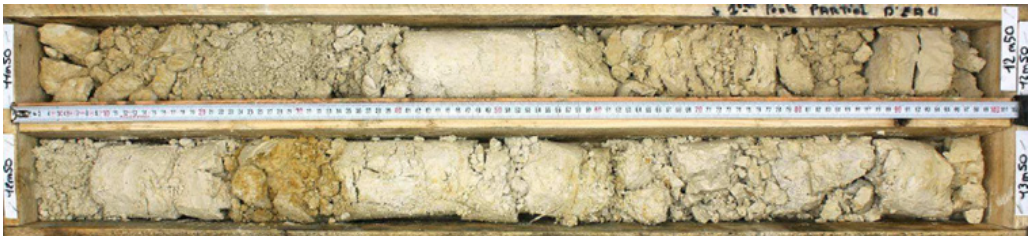
L15E_AVP_SC4211_Marnes et Caillasses : passée atypique de sable fin



L15E_BOB-FAI-SC4651(SC0036)_Partie basale des Marnes et Caillasses avec Banc de Rochette probable

L15E_RSB-AVP-SC4203_Faciès basal rocheux fragmenté sur Calcaire grossier massif

Faciès altérés superficiels



L15S_CHA-AVP-SC0828_Faciès très altéré et très déstructuré des Marnes et Caillasses en position superficielle

L15S_SC18_Faciès carbonaté des Marnes et Caillasses très tendre et altéré (en position superficielle) mais peu déstructuré

Altération et « déstructuration » des Marnes et Caillasses par dissolution du gypse en « profondeur »

A de nombreuses reprises mais de manière très irrégulière, les carottes de Marnes et Caillasses se présentent en caisse sous forme très fragmentée (déstructurée) à désagrégée et en partie meuble. Ce faciès peut être rencontré à différents niveaux de la formation (rarement sur l'ensemble des MC), y compris quand les Marnes et Caillasses sont localisées en profondeur. A ce titre, il ne s'agit pas, dans la plupart des cas, d'un faciès altéré superficiel. La relation avec la dissolution de gypse initialement présent est régulièrement évoquée et au moins en partie admise dans certains secteurs (Nord-Est et Est de Paris). Des indices de dissolution sont par ailleurs décrits sur certaines coupes de sondages.

A noter cependant que la déstructuration des Marnes et Caillasses observée sur carottes a vraisemblablement été accentuée par la foration.

Associées ou non aux zones de déstructuration/dissolution, des cavités franches de dissolution (karstification du gypse) sont recoupées en forage ou déduites de diagraphies instantanées (vitesse d'avancement ou différées, cf. diamétreur à bras) (voir Egal et al., 2017).

L16_CHL-AVP-SC2197_Faciès complètement altéré et déstructuré/désagrégé dans les Marnes et Caillasses (gypse initialement présent et complétement dissout ?)

Voir également plus haut certains faciès partiellement déstructurés au sein des Marnes et Caillasses.

Calcaire grossier (CG)

Le Calcaire grossier est présent quasiment dans l'ensemble du sous-sol du territoire parisien, y compris sous les vallées de la Seine ou de la Marne dont il constitue fréquemment le soubassement altéré. Il a été largement reconnu dans le cadre d'Eole et des projets du Grand Paris Express.

En dehors des zones altérées superficielles assez développées (voir plus bas), c'est la seule formation essentiellement rocheuse du sous-sol tertiaire parisien. Elle a ainsi constitué la première source de production de pierres à bâtir pour Paris ce qui lui confère un caractère « emblématique ». Malgré son aspect généralement homogène et massif, le Calcaire grossier présente des variations assez importantes dans le détail.

Le Calcaire grossier est constitué, hors altération, d'une alternance de bancs de calcaire fin à grossier, durs à relativement tendres, les horizons marneux ou argileux sont généralement absents ou très minces (lits en interbancs). Très localement cependant, on peut observer au sein du Calcaire grossier des niveaux marneux ou argileux d'épaisseur pluridécimétrique (au niveau de la Gare Porte Maillot d'Eole ou sous la gare de Chelles (L16) par exemple).

Les bancs calcaires sont régulièrement très fossilifères ou coquillers (calcaire bioclastique). La proportion et la taille des coquilles ou fragments de coquilles sont variables, mais la taille est généralement infra-millimétrique à supra centimétrique. Des coquilles de gastéropode (Campanile Giganteum) de taille pluridécimétrique à métrique (jusqu'à 1,30 m !) ont été observées localement. Dans les bancs les plus fossilifères, les restes coquillers constituent l'essentiel de la roche. De très nombreuses espèces (plus de 3000 !) représentant de nombreux embranchements sont représentées au sein des terrains lutétiens (et notamment le Calcaire grossier) qui représentent un pic de paléobiodiversité (D. Merle coord., 2008). Les mollusques sont les plus représentés, notamment les bivalves et les gastéropodes (dont les Cérithes), mais les foraminifères (Nummulites, Milioles, etc.) ainsi que les échinodermes ou les annélides (Ditrupa) sont très abondants dans certains bancs. Des fossiles de poissons sont également décrits dans le Calcaire grossier (Brignon, 2025).

C'est l'abondance des coquilles (pluri)millimétriques à centimétriques qui donne le caractère « grossier » au calcaire.

Les coquilles (ou leurs fragments) sont par ailleurs partiellement dissoutes, ce qui confère fréquemment un aspect vacuolaire aux bancs fossilifères du calcaire.

Le Calcaire grossier est classiquement divisé en trois horizons : supérieur, moyen et inférieur (notice de la carte géologique de France à 1/50 000, feuille Paris ; Filliat et Duvauchelle, 1981). Une lithostratigraphie plus fine banc par banc a été proposée à partir des travaux historiques des carriers dans les zones d'exploitation (Tableau 2).

Parmi les bancs classiquement distingués, le Banc de Roche sommital (calcaire clair, fin et dur) a été fréquemment identifié en sondage (et également sur des fronts d'excavation, cf. annexe) dans le cadre des reconnaissances des projets parisiens en cours, surtout le long d'Eole et plus rarement le long des lignes du GPE. Dans certains secteurs, quelques autres horizons ou bancs (Banc vert ou Banc royal) ont pu être identifiés (voir les photos de fronts d'excavation en annexe), mais d'une manière générale, il est très difficile de retrouver l'essentiel de la succession lithostratigraphique fine présentée dans le Tableau 2. On peut considérer que celle-ci n'est pas généralisable à l'ensemble du territoire parisien.

Le Calcaire grossier moyen-supérieur comprend, en plus du Banc de Roche, plusieurs bancs durs peu épais (pluri)décimétriques mal identifiés, mais la plus large partie est constituée d'un calcaire gris-beige (à localement marron) assez tendre (le Calcaire grossier moyen est classiquement décrit comme tel). Les reconnaissances Eole et GPE ont fréquemment mis en évidence un litage parfois très net dans ces faciès calcaires tendres. Assez fréquemment on reconnaît sur quelques décimètres un faciès d'aspect noduleux et « marbré ».

Des passées particulièrement tendres d'aspect marneux sont observées de temps en temps, mais leur composition précise n'est pas déterminée.

Des silex allongés gris-noir de taille pluricentimétrique à supradécimétrique sont fréquemment observés dans la partie supérieure de la formation.

Lorsque le Calcaire grossier moyen contient de nombreuses coquilles de petite taille (millimétriques ou inférieures), il prend un aspect granuleux et est parfois décrit en sondage comme étant « gréseux » mais ce dernier qualificatif est inadapté dans la mesure où on n'observe pas de grains détritiques de quartz dans le calcaire de cette partie moyenne de la formation.

			N°	Nom		Epaisseur	Carrières
<------- 2ème cycle ------->	LUTETIEN SUPERIEUR	CG supérieur	B19	**Banc de Roche**		0,4 à 1m	
			B18	**Cliquart** ou Haut Banc		0,5 à 1m	*Etage supérieur des carrières*
			B17	**Banc franc,** ou Banc d'appareil, Remise ou Liais		0,35m	
			B16	Banc de **Souchet** ("Coup d'esse" à la base)		0,75m	
			B15	**Coquiller grignard** ou Rustique ou Roche douce		0,35m	
			B14	**Banc de Laine** ou galets		0,60m	
			B13	**Liais franc**		0,3m	
			B12	(Banc de) **Marche** ou gros banc		0,4m	
<---- 1er cycle de transgression - régression ---->			B11	**Banc vert** ou Banc de verre ou Faux liais		0,2 à 1,3m	
	LUTETIEN MOYEN	CG moyen	B10	**Banc Royal**		1,5m	
			B9	**Lambourdes, ardoises et vergelés**	Lambourde grise	3 à 4m	*~ Etage inférieur des carrières*
			B8		Lambourde		
			B7		Ardoise		
			B6		Lambourde verte		
		CG inférieur **glauconieux**	B5	**Banc coquiller blanc**	**Banc à Vérins**	2m	
			B4	**Banc coquiller rouge**	**Banc de St-Leu**	2m	
	LUT. INF		B3	**Banc chlorité nacré** ou **Banc à mollusques**		0,5 - 2 m	
			B2	**Banc chlorité gris** ou St Jacques ou **Pierre à liards.** Calcaire à *Nummulites laevigatus*		1,5 m	
			B1	**Glauconie grossière** (ou Sable chlorité calcaire)		< 1m	

Tableau 2 : Lithostratigraphie détaillée du Calcaire grossier à partir du découpage établi historiquement par les carriers, et recalé dans l'échelle stratigraphique actualisée du Lutétien. Compilation à partir de divers documents et descriptions. L'épaisseur donnée pour chaque banc est indicative.

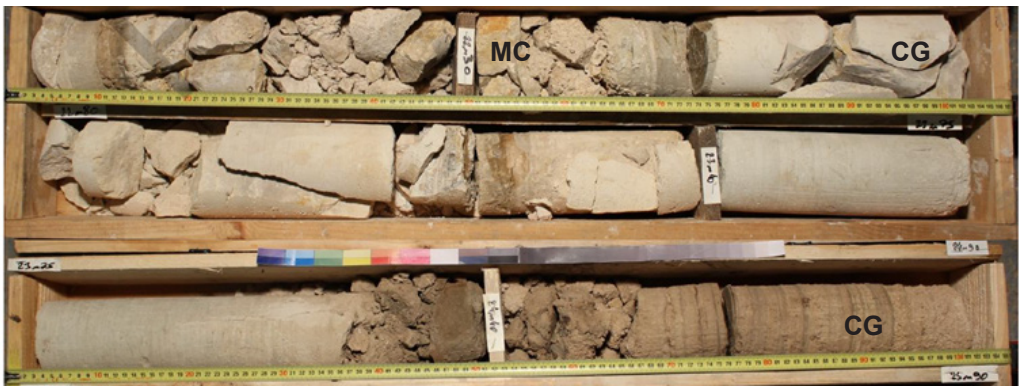
Le Calcaire grossier inférieur se caractérise par la présence de glauconie (argile ferrifère), qui lui donne une teinte gris-vert parfois assez sombre et le rend généralement bien identifiable en sondage, même si la glauconie est de répartition hétérogène, y compris au sein d'un même sondage. La glauconie se présente principalement en grains (agglomérats d'argile) vert bouteille mais également de manière plus diffuse et avec une teinte vert pâle.

Le Calcaire grossier inférieur, du fait de la présence de grains de glauconie mais également de grains de quartz présente un caractère effectivement détritique et gréseux (Filliat et Duvauchelle, 1981 ; D. Merle coord., 2008). Il est le plus souvent massif et dur, mais des passées friables à désagrégées ne sont pas rares, plutôt près de la base. Des bancs de sable franc sont même observés. La glauconie, irrégulièrement répartie, est parfois particulièrement abondante au niveau de zones ou passées franchement vert pâle (jusqu'à pluridécimétriques), qui, de ce fait, prennent un aspect tendre et argileux.

A la base du Calcaire grossier, un horizon sablo-calcaire grossier grisâtre à verdâtre (glauconie) à petits galets (noirs) et fossiles remaniés est identifié à Paris et dans le Bassin parisien sous le terme de « **Glauconie grossière** » (Soyer et Cailleux,1964 ; notice de la carte géologique à 1/25 000, D. Merle coord., 2008). Dans d'autres documents, la présence de niveaux glauconieux désagrégés, sableux et grossiers est mentionnée à la base du Calcaire grossier, mais l'appellation « Glauconie grossière » n'apparaît pas (notice de la carte géologique de Paris à 1/50 000, Filliat et Duvauchelle, 1981). Les faciès sableux et glauconieux observés sous le Calcaire grossier caractérisé peuvent également être rapportés aux Sables de Cuise sous-jacents (voir plus loin). Cependant, ces niveaux ne sont a priori pas calcaires et relativement peu grossiers à la différence de la Glauconie grossière.

Le long des linéaires Eole (voire photographies) et, dans une moindre mesure, du Grand Paris Express (localement), l'horizon de « Glauconie grossière » a été distingué dans certains sondages, mais il est rarement individualisé de manière nette et, lorsque c'est le cas, il ne présente pas toujours les mêmes caractéristiques. Il apparaît de ces observations que cet horizon n'est pas clairement défini et ne représente pas un repère lithostratigraphique fiable. L'usage de ce terme implique donc de bien définir son contenu.

Des bancs de gypse albastroïde ont parfois été décrits en intercalation dans les bancs carbonatés du Calcaire grossier (notice de la carte à 1/25 000 de Paris), mais ces occurrences de gypse ne sont confirmées ni par d'autres documents bibliographiques (ou de REX) ni par les observations le long d'Eole et du GPE. On peut ainsi considérer que, sauf peut-être de rares exceptions potentielles à confirmer, le Calcaire grossier représente le toit des formations non gypseuses parisiennes.



EOLE_SC5000_Sous la base rocheuse et fragmentée des Marnes et Caillasses, le sommet du Calcaire grossier est représenté sur environ 1,5 m par un calcaire fin, clair et dur (= Banc de Roche au moins en partie), fracturé, sur un calcaire beige-marron tendre et finement lité

L15E_FSB-AVP-SC04302_Calcaire à intercalations fines de silex sombre (flèches rouges). Tiers supérieur de la formation (Calcaire grossier "supérieur")

L15O_STC-AVP-SC03536_Banc de Roche sommital du Calcaire grossier sur faciès tendre marneux meuble pulvérulent très atypique

L15E_RSB-AVP-SC4203_Calcaire gris localement lité ou rubané et à passées très vacuolaires (dissolution de coquilles) régulièrement observées et définissant le caractère "grossier" du calcaire

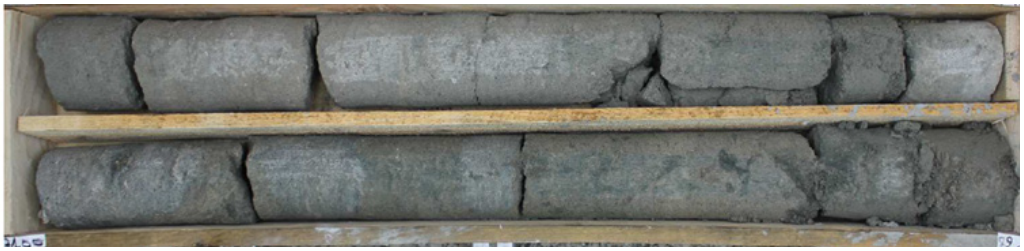
L16_SC1114_Calcaire gris-beige (parfois beige-marron) assez tendre fréquemment observé dans la partie "moyenne" du Calcaire grossier. Litage discret

L15O_NAN-PRO-SC06793_Faciès calcaire très grossier = très coquiller et vacuolaire (dissolution de coquilles)

L15E_FSB-AVP-SC04302_Calcaire à passée noduleuse marbrée pluridécimétrique (faciès particulier)

L16_STD-EXE-SC6155_Deux faciès atypiques au sein du Calcaire grossier (supérieur) : niveau sableux grossier (en haut à gauche) et passée marneuse (au milieu en bas). Bien que situé seulement 2 m sous le toit du CG, ce niveau marneux pourrait représenter le Banc vert

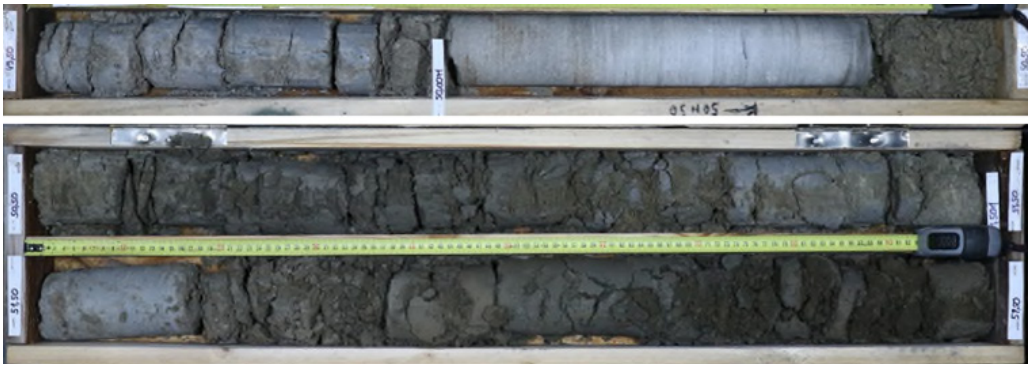
EOLE_SC-SUP-5540_ Banc grisâtre pluridécimétrique (carotte du haut) = Banc vert très probable



L15E_RSB-AVP-SC04290_Calcaire grossier inférieur gris-vert glauconieux

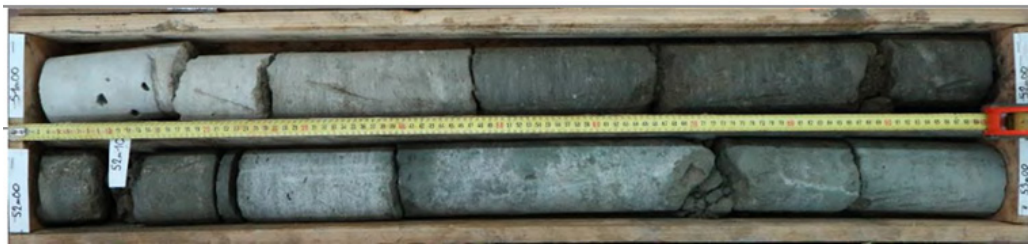
L15E_AUB_AVP_SC04077_Calcaire grossier inférieur à passées tendres vertes très glauconieuses (glauconie diffuse) séparées par du calcaire peu ou pas glauconieux

L15O_NAN-PRO-SC06793_Calcaire grossier inférieure glauconieux (CGi), massif : la glauconie ici abondante et diffuse, donne la teinte verte au calcaire

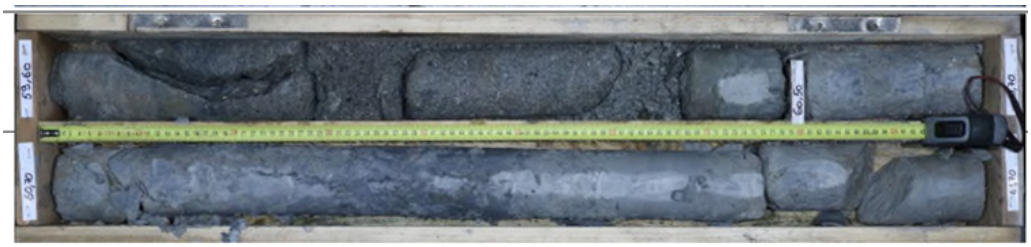


L16_CHL-PRO-SC5595_Calcaire massif et dur et sable sombre atypique (possiblement à glauconie abondante et altérée)

EOLE_EXE-SD/SC-5450_Niveau argileux atypique gris-verdâtre de 1,3 m en base du Calcaire grossier



L16_CHL-PRO-SC7140_Alternance de calcaire fin, dur et clair, de marne (?) sombre et de calcaire gris-vert glauconieux



L16_CHL-PRO-SC5595_Calcaire inférieur glauconieux friable sur argile grise de l'Yprésien (= Argile au sommet des Sables supérieurs ou Argile plastique directement sous le Calcaire grossier ?)

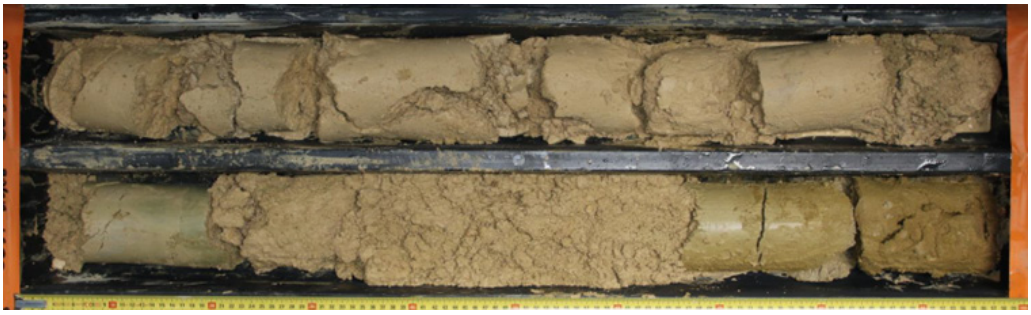
EOLE_PRO-SC-5550_Base du Calcaire grossier très désagrégée à sableuse (à gauche du trait repère) interprétée comme l'horizon de "Glauconie grossière" au-dessus des Sables supérieurs de l'Yprésien (à droite)

Faciès altérés superficiels

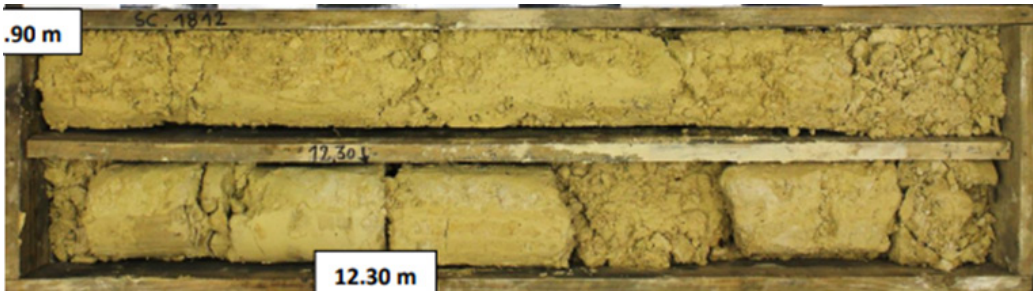
Lorsqu'il est en position superficielle, le Calcaire grossier présente fréquemment un faciès beige à ocre (parfois gris) franchement tendre et meuble, bien différent des faciès standards décrits ci-dessus. C'est le cas (Egal et Piraud, 2018) sous les Alluvions anciennes des vallées élargies de la Seine (Eole) ou de la Marne (L15 Est et L15 Sud, secteur de Champigny), mais également à l'écart de ces vallées, le long de la ligne 15 Sud-Ouest entre Issy-les-Moulineaux et Villejuif, ou également dans le secteur Olympiades – Kremlin-Bicêtre le long de la ligne 14 originelle. Pour ce dernier cas, c'est la présence de ces faciès meubles qui a engendré la formation d'un fontis dans une école de la rue Perret en 2003 (M. Rat, 2010).

Dans les zones décrites ci-avant, le faciès altéré s'étend sur un linéaire relativement important d'échelle kilométrique et sur une épaisseur plurimétrique à décamétrique (localement plus).

La transformation du Calcaire grossier rocheux en faciès meubles par des processus d'altération superficielle paraît claire, mais les causes, processus et âge de cette altération restent à préciser, notamment lorsque les faciès altérés sont localisés sous plusieurs mètres d'Alluvions anciennes. On peut envisager une altération récente qui concernerait également les Alluvions anciennes (à vérifier) ou une altération du calcaire durant son émersion à l'Eocène, avant le dépôt des Sables de Beauchamp.



L15S_SC37_Calcaire très altéré (très tendre et friable), en position superficielle



L15S_CAC-AVP-SC01812_Calcaire grossier très altéré (en position superficielle)

L14S_PAR-AVP-SC1292bis_Faciès calcaire altéré tendre et friable, en position superficielle

Faciès altérés profonds particuliers et localisés d'aspect altéré

Le long de la ligne 16, principalement sous la partie Nord de la vallée de la Marne à Chelles, des passées inframétriques à plurimétriques marron sombre en partie désagrégées ou friables sont recoupées par plusieurs sondages dans le Calcaire grossier de manière aléatoire. Il s'agit vraisemblablement de faciès altérés, mais il se différencient bien de ceux décrits précédemment, à la fois par leur couleur et leur aspect et aussi par leur localisation en profondeur sous 40 à 50 m de couverture et le toit de la nappe phréatique. Ces faciès, qui n'ont pas été formellement observés ailleurs dans les sondages analysés, présentent un aspect altéré mais qui les distinguent des faciès altérés de surface. Ils pourraient traduire une altération profonde sous 40 à 50 m de couverture et le toit de la nappe phréatique. Cette altération pourrait s'être produite en relation avec des variations majeures du niveau de la nappe du Lutétien durant les périodes glaciaires.

Mais ces faciès particuliers pourraient également représenter des faciès originels particuliers du Calcaire grossier.

L16_CHL-AVP-SC2085_Faciès calcaire altéré de profondeur observé dans le secteur de Chelles, sous la vallée de la Marne

L15O_STC-AVP-SC01349_Calcaire massif et calcaire altéré désagrégé

L16_CHL-AVP-SC2197_Alternance de Calcaire dur gris clair de calcaire tendre gris-marron et d'un faciès altéré sableux

Fracturation

Les carottes de Calcaire grossier présentent en caisse un débit assez régulier, mais généralement modéré. Les zones intensément fragmentées ou broyées sont rares. Le débit se fait essentiellement selon une orientation subhorizontale concordante avec la stratification. Une partie de ces discontinuités est vraisemblablement induite par le forage. Des plans de « fractures vraies » à fort pendage ou verticales sont observés de place en place sur les carottes, mais ce débit n'apparaît jamais intense ni régulièrement développé. Il convient néanmoins de noter que, compte tenu de la prédominance de sondages réalisés verticalement, certaines zones présentant une fracturation verticale plus développée peuvent ne pas être interceptées. Toutefois, les observations réalisées en carrières (notamment dans les catacombes) ainsi que dans les tunnels récemment excavés en méthode conventionnelle (en particulier l'entonnement de la ligne EOLE – HSL) confirment le faible développement de la fracturation verticale dans les calcaires, à l'exception de variations locales possibles.

Ensemble sablo-argilo-ligniteux yprésien : Sables de Cuise (SC), Sables supérieurs (SS), Fausses glaises (FG) et Sables d'Auteuil (SA)

Les couches sédimentaires situées sous le Calcaire grossier et au-dessus de l'Argile plastique sont rapportées à l'Yprésien et plus précisément, au Cuisien (Sables de Cuise) ou, pour l'essentiel, au Sparnacien (Tableau 1). Elles ont été reconnues le long de plusieurs lignes en projet, particulièrement le long du linéaire d'Eole et de la ligne 15 Ouest, mais sont absentes dans le Sud et Sud-Ouest de Paris (cf. L14 Sud, L15 Sud-Ouest), où dans certains secteurs, le Calcaire grossier repose directement sur l'Argile plastique.

Cet ensemble yprésien est composé de sables assez homogènes et d'un faciès argileux (et ligniteux), qui se répartissent en trois ou quatre formations selon le découpage lithostratigraphique classique : les Sables de Cuise et les Sables supérieurs, les Fausses glaises et les Sables d'Auteuil à la base. Cependant, cette succession est rarement identifiée de manière complète et on n'observe pas de bonne continuité stratigraphique de ces couches à l'échelle parisienne (Egal, 2023). L'organisation se fait plutôt, et à différentes échelles, en couches discontinues, voire en lentilles réparties de manière un peu aléatoire (selon notre appréciation) avec de nombreux passages latéraux de faciès. Ainsi, dans certains secteurs où l'on ne retrouve pas la succession décrite précédemment, les sables vont être dominants, voire quasi exclusifs entre le Calcaire grossier et l'Argile plastique. Plus rarement, cette tranche de terrain sera essentiellement argileuse (« Fausses glaises » seules).

Il apparaît donc qu'il est généralement illusoire de vouloir systématiquement retrouver la succession yprésienne classique au-dessus de l'Argile plastique. Nous présentons cependant plus bas les différents termes de cette succession afin de se repérer dans le découpage retrouvé dans la littérature.

Par ailleurs, au sommet de cet ensemble yprésien, les Sables de Cuise constituent théoriquement une formation distincte des Sables supérieurs par leur âge (Cuisien vs Sparnacien, qui est un faciès d'âge anté Cuisien), leur aspect (Sables de Cuise glauconieux et *non ligniteux* à la différence des Sables supérieurs, cf. Filliat et Duvauchelle, 1981) et leur milieu de dépôt (marin littoral pour les Sables de Cuise et fluviatile à estuarien pour les Sables supérieurs). Toutefois, dans les faits, sur le territoire de Paris, cette distinction n'est pas faite sur les cartes géologiques de Paris (à 1/50 000 comme à 1/25 000), ni sur les coupes de sondages où les dénominations Sables de Cuise et Sables Supérieurs sont alternativement utilisées pour désigner le plus souvent une même lithologie et un même horizon.

L'épaisseur de l'ensemble sablo-argileux yprésien postérieur à l'Argile plastique est variable lorsqu'il est présent (souvent d'une dizaine de mètres à 15-20 m, jusqu'à 30 m à l'Ouest).

Sables de Cuise (SC)

Comme indiqué précédemment, les Sables de Cuise sont censés se distinguer des Sables supérieurs par leur position stratigraphique (ils surmontent les Sables supérieurs) et par leur caractère glauconieux (notice de la carte géologique de Paris à 1/25 000, Filliat et Duvauchelle, 1981). A ce titre, on peut noter que suivant cette définition, les Sables de Cuise présentent des similitudes (une continuité ?) avec l'horizon de « Glauconie grossière » tel que décrit à la base du Calcaire grossier (voir précédemment) mais la Glauconie grossière est par définition régulièrement grossière au contraire des Sables de Cuise qui sont fins à moyens et rarement grossiers.

La présence de glauconie dans les Sables de Cuise est à mettre en relation avec leur origine marine au contraire des Sables supérieurs plus « continentaux » (lagunaires).

Du sable verdâtre vraisemblablement glauconieux (ou pyriteux ?) est observé sous le Calcaire grossier dans quelques sondages du GPE (voir 1ère photo ci-dessous). Il a été généralement inclus dans l'ensemble des Sables supérieurs sur les coupes de sondages et les synthèses, mais il devrait sans doute être distingué en tant que Sable de Cuise. Un examen à la loupe binoculaire ou des analyses de diffractions aux rayons X permettraient de trancher quant à la présence de glauconie (ou de pyrite) dans ce cas précis.

L15E_AUB-AVP-SC4056_Sables gris verdâtre pouvant être interprétés comme des Sables de Cuise (glauconieux) au sens propre

Sables supérieurs (SS)

NB : les Sables supérieurs sont parfois considérés comme un équivalent des « Sables du Soissonnais » (Filliat et Duvauchelle, 1981) mais en fait les Sables du Soissonnais sont stratigraphiquement placés plus bas en latéral de l'Argile plastique (F. Quesnel, communication écrite).

Les Sables supérieurs présentent une teinte généralement sombre en sondage, cependant variable, beige-marron à gris-marron sombre, plus rarement verdâtre (mais il pourrait s'agir des Sables de Cuise dans ce cas-là comme dit précédemment). Ils sont quasiment toujours non cohésifs et lâches à un peu grumeleux dans les caisses de carottes. Ces sables sont de granulométrie variable, mais il apparaît qu'il s'agit principalement de sables moyens à parfois grossiers (pas ou peu de sables fins). Ils sont composés principalement de grains de quartz (sables siliceux) auxquels s'ajoutent des minéraux lourds dont de la pyrite (à noter l'abondance de la tourmaline d'après la notice de la carte géologique de Paris à 1/25 000). En dehors de niveaux franchement argileux, la proportion d'argile apparait généralement faible. Dans le cas général, l'appellation « sables argileux » n'est sans doute pas justifiée.

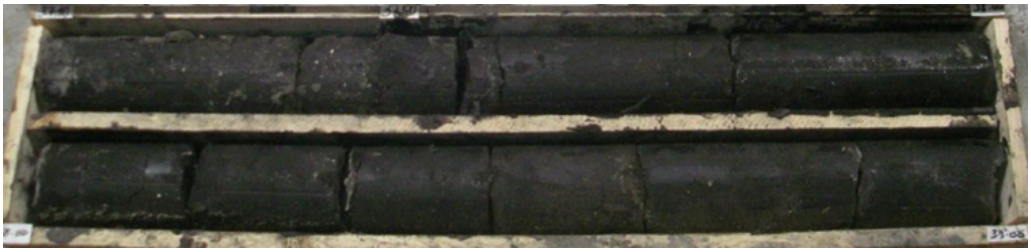
Des intercalations argileuses gris-marron-noir identiques à celles qui permettent de définir les Fausses glaises sont potentiellement présentes. Ces intercalations, éventuellement sableuses, plus cohésives (« serrées ») que les sables francs, ont une épaisseur décimétrique à plurimétrique (c'est le cas notamment dans le secteur Hausmann-St-Lazare du projet Eole). Elles sont très difficiles à suivre d'un sondage à l'autre et constituent des lentilles de faible extension latérale. Des lamines et niveaux très sombres charbonneux de lignite (noir) sont présents dans les sables et fréquemment associées aux lentilles argileuses. La présence de niveaux de lignite indique des conditions de dépôts de matière organique en milieu continental ou littoral (lagunaire), calme et peu ouvert.

Très localement, un forage Eole a recoupé au sein des Sables supérieurs un faciès sablo-graveleux à galets siliceux pluricentimétriques. Un tel faciès a été décrit ailleurs dans la région parisienne à l'écart de la capitale (Soyer et Cailleux, 1960).

De même, des silex noirs ont été rencontrés très localement en 2019 au sein des Sables supérieurs lors des travaux d'excavation de l'entonnement Hausman-St-Lazare du projet Eole.

EOLE_SCi-SUP5540_Sable marron non ligniteux en position supérieure dans la formation (= Sables supérieurs)

L15E_CHA-AVP-SC4268_Sable gris-noir un peu ligniteux (Sables supérieurs)



EOLE_PRO-SC-2358_Passée plurimétrique noire argileuse et ligniteuse ici en position supérieure (et ainsi intégrée dans les Sables supérieurs)

L15O_SC04970_Faciès oxydé (altéré) des Sables supérieurs en position superficielle

Fausses glaises (FG)

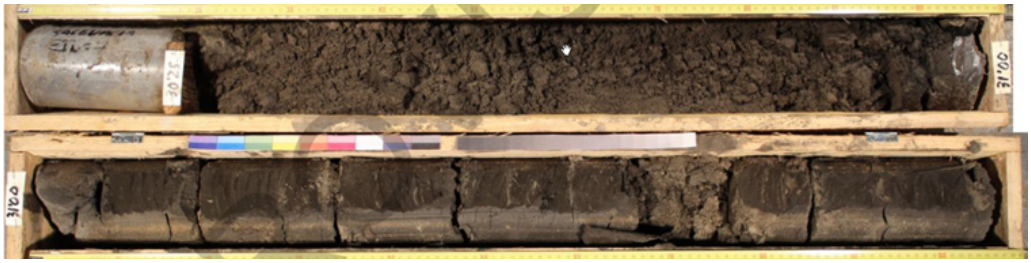
Comme dit précédemment, les Fausses glaises se distinguent des Sables supérieurs par la présence régulière et dominante de passées argileuses sombres épaisses alternant avec quelques niveaux de sables apparemment similaires aux Sables supérieurs. Dans le cas où les passées argileuses sont peu ou pas développées (sables dominants), il devient difficile et non pertinent de vouloir distinguer les Fausses glaises des Sables supérieurs.

Par ailleurs, les niveaux argileux des Fausses glaises ne sont pas constitués d'argile franche, compacte et plastique homogène sur de grandes épaisseurs (au contraire de l'Argile plastique). Elles sont souvent interstratifiées de lits sableux et surtout elles présentent très souvent des lamines (d'épaisseur millimétrique) très finement sableuses à limoneuses et du « flaser bedding » (alternance de sable et de vase), ce qui indique un milieu de dépôt lagunaire soumis à l'influence des marées.

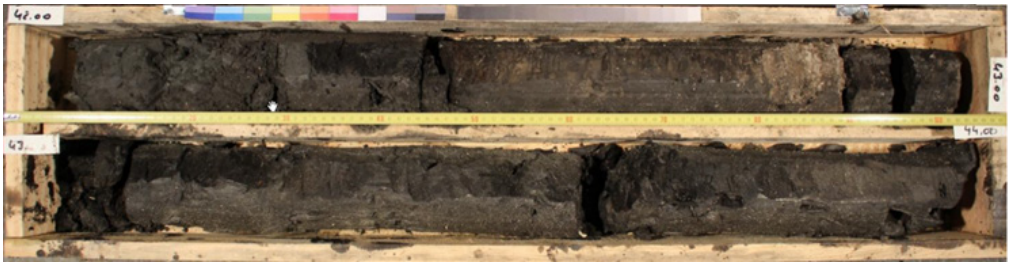
Lorsqu'elles sont bien individualisées, les Fausses glaises ont une épaisseur d'une dizaine de mètres (Eole) à 15-20 m ou plus le long de la ligne 15 Ouest.

La teinte sombre (brun à noir) des niveaux argileux est à mettre en relation avec la présence de matière organique et notamment de lignite. De la pyrite est également présente et potentiellement abondante.

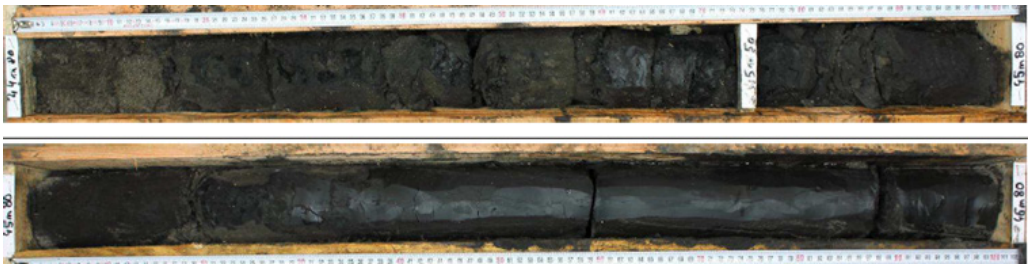
Les passées sableuses présentent les mêmes caractéristiques que les Sables supérieurs décrits précédemment (beige-marron à noirs, lâches en caisse). Ils ne présentent cependant jamais une teinte verdâtre comme on peut l'observer vers le haut dans les Sables de Cuise au sens propre.



EOLE_SC7690_Sable brun lâche et argile brune assez compacte en position médiane dans l'Yprésien (rapportés aux Fausses glaises)



EOLE_PRO-SC5540_Argiles très sableuses (passées les plus claires) à très organiques (sombres, avec lignite) typiques des Fausses Glaises



L15S_CHA-AVP-SC0828_Sable et argile noirs en alternance, typique de l'horizon des Fausses Glaises

Sables d'Auteuil (SA)

Les Sables d'Auteuil correspondent à une tranche de terrain sableux identifiée sous les Fausses Glaises. Ils n'ont été individualisés que localement le long des linéaires du Grand Paris Express, mais de manière assez étendue le long du projet Eole, sur une épaisseur métrique à plurimétrique. Cependant, cette distinction de la formation des Sables d'Auteuil le long de la ligne Eole et ailleurs dans le sous-sol parisien apparaît artificielle du fait de son identification très irrégulière et aussi parce que l'horizon de sable concerné présente un aspect similaire aux sables sus-jacents des Fausses glaises et peut donc être rattaché à ces dernières.

Ces sables montrent un aspect à nouveau voisin de celui des Sables supérieurs (sable brun +/- sombre, moyen-grossier et lâche en caisse). Des intercalations argileuses peuvent subsister. Nous n'avons pas observé le caractère ferrugineux de ces sables décrit par ailleurs (notice de la carte géologique de Paris à 1/25 000, Filliat et Duvauchelle, 1981).

EOLE_SC-7500_Horizon sableux meuble et marron observé à la base de l'Yprésien et ainsi rapporté aux Sables d'Auteuil mais que l'on peut interpréter comme un horizon sableux de la base de Fausses glaises

Argile plastique (AP)

La formation de l'Argile plastique a fait l'objet d'investigations régulières le long de certains linéaires (Eole, pour partie ligne 14 Sud, 15 Sud et 15 Ouest) ou de manière localisée ou ponctuelle (ligne 15 Est ou ligne 16). Dans d'autres secteurs, l'Argile plastique se localise nettement plus profondément que le projet de métropolitain et n'a pas été du tout reconnue, c'est le cas des lignes 17 ou 18.

C'est une formation connue pour son caractère très peu perméable, au même titre que l'Argile verte oligocène, et par le caractère gonflant des argiles (minéraux argileux de type smectite) qui composent la formation. Des travaux minéralogiques anciens et récents ont montré que l'Argile plastique contient aussi des interstratifiés kaolinite-smectite et de la kaolinite en quantités non négligeables en région parisienne et plus loin dans le Bassin parisien (Thiry, 1973 ; Talon, 2025).

L'argile plastique est souvent désignée dorénavant sous l'appellation plurielle « d'Argiles plastiques ».

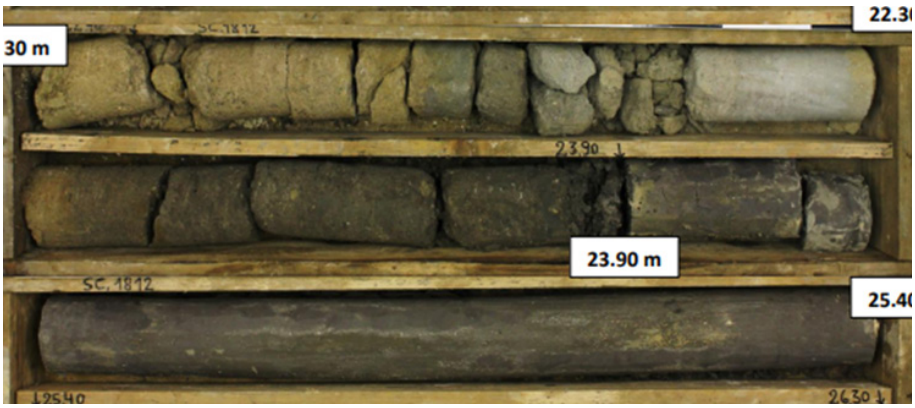
Sur l'essentiel des linéaires reconnus, l'Argile plastique est de composition essentiellement argileuse, assez homogène et non marneuse, une composante sableuse peut être parfois associée aux argiles, mais de manière discrète et éparse. Localement cependant, un faciès franchement sableux a été mis en évidence. C'est le cas dans plusieurs secteurs de la ligne 15 Sud en base de la formation ou en intercalation, dans le secteur de la gare Champigny-Centre. Ces corps sableux sont observés sur une épaisseur plurimétrique à décamétrique voir localement près de 20 m (= quasi-totalité de l'épaisseur de l'AP) et sur une longueur plurihectométrique, il s'agit de chenaux fluviatiles latéraux ou recoupant l'Argile plastique.

De la pyrite est présente au sein de l'Argile plastique mais apparaît moins abondante que dans certains niveaux ligniteux des formations yprésiennes sus-jacentes.

La partie supérieure de l'Argile plastique est généralement constituée d'argiles grises (gris-beige à gris bleuté) en général peu sombres et non ligniteuses, mais bien massives et homogènes, ce qui les différencie des argiles sus-jacentes appartenant aux Fausses glaises, souvent sombres et/ou finement laminées.

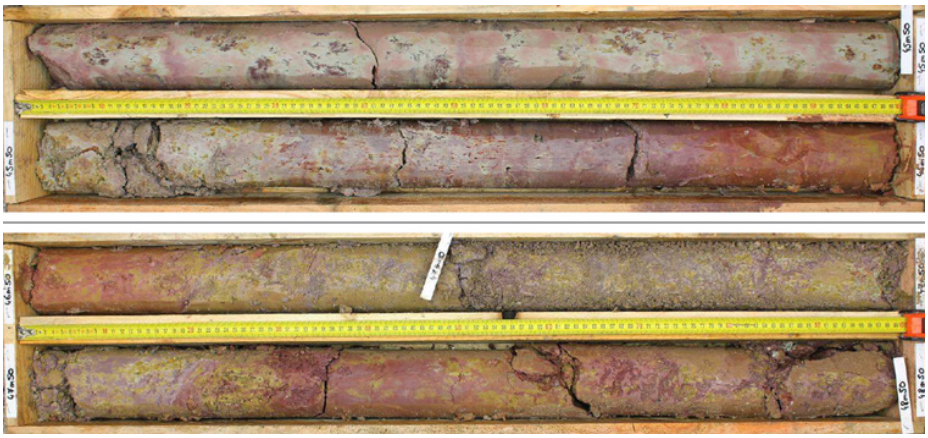
En descendant dans la série, les argiles prennent un aspect bariolé caractéristique, gris-beige, ocre et violet « lie-de-vin » (correspondant à un « paléosol à pseudogley », F. Quesnel, communication écrite). Certaines carottes prennent une teinte lie-de-vin très dominante. Localement un faciès argileux à nodules de calcaires blanchâtres (calcrètes) a pu être observé (ce faciès a été nommé « Marnes à rognons » par les anciens auteurs, F. Quesnel, communication écrite).

Les passées sableuses reconnues montrent un sable gris-beige peu fin et lâche en caisse.

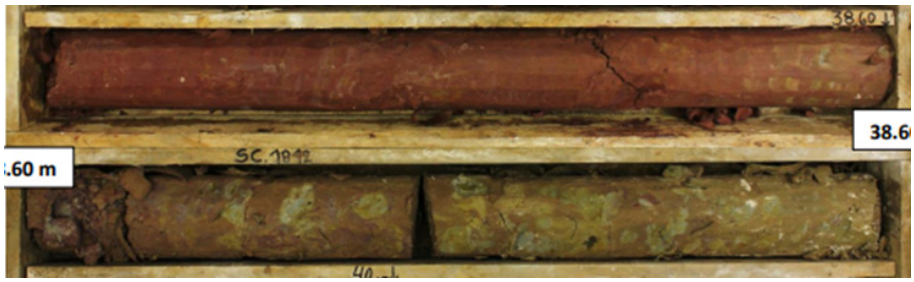


L15S_CAC-AVP-SC01812_Faciès argileux gris-marron vraisemblablement pyriteux, atypique directement sous la Calcaire grossier (altéré) et rapporté à l'Argile plastique

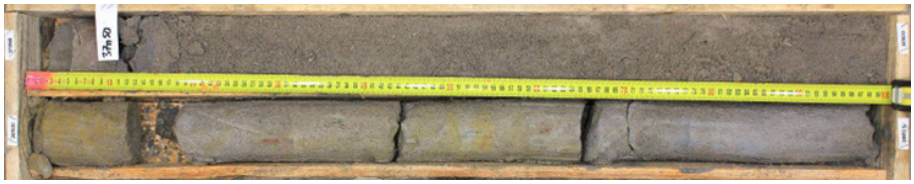
L14S_PAR-AVP-SC1292bis_Argiles grises de la partie supérieure de la formation de l'Argile plastique



L15S-CHA-AVP-SC0111_Argiles bariolées caractéristiques (partie moyenne et inférieure de l'Argile plastique) avec des nodules d'hématite centimétriques à pluricentimétriques dans la carotte du haut



L15S_CAC-AVP-SC01812_Argile bariolée avec passée de teinte lie-de-vin très marquée



L15E_CHA-PRO-SC2702_Passée de sable franc meuble et argiles légèrement bariolées. La présence de sable franc dans l'Argile plastique est observée principalement dans le Sud de Paris (ligne 15 Sud)

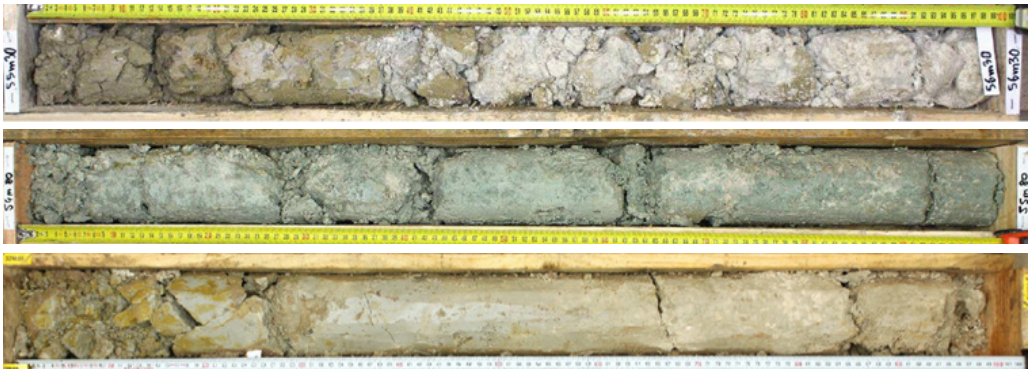
Marnes à rognons (MR)

Cette formation n'est habituellement pas identifiée dans les logs des forages du Grand Paris et les terrains concernés sont généralement intégrés à la partie supérieure de la formation des Calcaires et marnes de Meudon. Toutefois, cette formation argileuse parfois très peu et parfois très calcaire, récemment datée par chemostratigraphie à Cachan (Talon, 2025) et ailleurs dans le Bassin parisien (Quesnel et al, en préparation), ne peut plus être rapportée au Paléocène et donc aux Calcaires et marnes de Meudon mais plutôt à l'Yprésien basal. Cette unité est située à la base des faciès sparnaciens, latéralement au conglomérat de Meudon en région parisienne.

Les Marnes à rognons correspondent donc selon toute vraisemblance aux Marnes de Meudon supérieures identifiées jusqu'à présent (cf. Filliat et Duvauchelle, 1981).

Les Marnes à rognons présentent un aspect variable, elles sont de teinte gris-beige-ocre à verdâtres et fréquemment un peu bariolées mais de façon moins marquée qu'au sein de l'Argile plastique. Elles se distinguent également des argiles bariolées de l'Argile plastique par leur aspect noduleux lié au concrétionnement calcaire. Des manchons racinaires y ont notamment été observés (Talon, 2025). Tantôt, il ne s'agit que de petites efflorescences calcaires ou traces poudreuses blanches ou écrues tapissant les fissures ou fentes de retrait de l'argile plastique (ce qui donne une composition globale de marne), tantôt ces concrétions et nodules blancs et écrus peuvent devenir coalescents, jusqu'à former des passées franchement calcaires. Ces caractères et d'autres observations fines (F. Quesnel, inédit) indiquent qu'il s'agit de paléosols de type calcrètes, qui se sont formés dans des conditions relativement arides, avec précipitation de calcite dans les sédiments des plaines d'inondation ou des marécages au tout début de l'Yprésien.

L14S_PAR-PRO-SC3057_ Faciès argileux avec nodules de calcaire blanc-beige typiques des "Marnes à rognons"



L15S_CHA-AVP-SC02704/SC2337/SC0111/SC1644 (de haut en bas). Différents faciès marneux (à argileux ?) intégrés dans la Formation de Meudon sur les levers de sondages mais correspondant aux "Marnes à rognons"

L15S_CHA-AVP-SC1907_Passée sableuse dans les marnes de Meudon, à rapporter à la formation des "Marnes à rognons"

Calcaires et marnes de Meudon (CMM)

Autre appellation : Marno-calcaire de Meudon ou du Montien

Les calcaires et marnes de Meudon représentent la base de la série paléogène parisienne (Tableau 1), ils sont rapportés au moins en partie au Paléocène. Ils ont été recoupés en sondage (partiellement ou entièrement) sur des zones étendues de certains linéaires (L15 Ouest, L15 Sud) ou de manière plus localisée (L15 Est, Eole).

L'épaisseur de cette formation est très variable mais généralement de quelques mètres à une dizaine ou une quinzaine de mètres, incluant vraisemblablement les Marnes à rognons.

La formation présente dans le détail des faciès marneux (à argileux) et calcaires variés. D'une manière générale, la partie supérieure est marneuse et la partie inférieure plus calcaire (Calcaire montien). A ce titre, deux couches ou sous-formations (ou membres) sont distinguées dans la littérature : le Calcaire montien inférieur et les Marnes de Meudon supérieures (cf. Filliat et Duvauchelle, 1981). Toutefois, la partie supérieure marneuse décrite dans les forages pourrait correspondre, au moins dans de nombreux cas à l'horizon des Marnes à rognons identifié précédemment à la base des Faciès sparnaciens. La Formation de Meudon pourrait alors se réduire essentiellement aux marnes dénuées de tout paléosol de type calcrètes, c'est-à-dire des marnes massives ou litées, incluant parfois des lits plus sombres et argileux ou organiques et au calcaire Montien « de base », les relations stratigraphiques entre l'un et l'autre restant à préciser (passage latéral et/ou superposition).

Le long des linéaires du GPE et d'Eole, on retrouve effectivement dans certains secteurs une base ou une partie inférieure plus calcaire et une partie supérieure plus marneuse (et argileuse ?) (par exemple à la gare Porte-Maillot du projet Eole), mais dans de nombreux cas, c'est différent et l'ensemble de la formation de Meudon est marneuse à argileuse ou au contraire à dominante calcaire. Des intercalations (lentilles) de sables sont traversées dans plusieurs sondages (Ligne 15 Sud). Ces observations confirment la grande variabilité lithologique déjà décrite (comme la présence non rare de lentilles sableuses) dans la notice de la carte géologique de Paris à 1/25 000.

Les faciès marneux sont gris-beige-ocre à verdâtres et fréquemment un peu bariolés mais de façon moins marquée qu'au sein de l'Argile plastique. Ils se distinguent également des argiles bariolées de l'Argile plastique par leur composition marneuse donc carbonatée.

Les bancs ou lentilles de calcaire se présentent également sous des aspects variés, +/- durs et fréquemment de « type (pseudo)pisolithique ». Un faciès de calcaire fin bien cimenté et à empreintes de gastéropodes a été recoupé très localement sur la L15 Sud. Sur la L15 Ouest, dans le secteur de Nanterre, un faciès de calcaire gréseux (grossier ?) et lité, de teinte écru-beige à gris assez foncé (ligniteux, pyriteux ?) est souvent rencontré. Ce faciès énigmatique diffère quelque peu du Calcaire pisolithique « classique » et des faciès connus du Calcaire montien de la région parisienne. Il devra faire l'objet d'études pétrographiques, minéralogiques, chimiques précises pour le décrire et caractériser son milieu de dépôt.

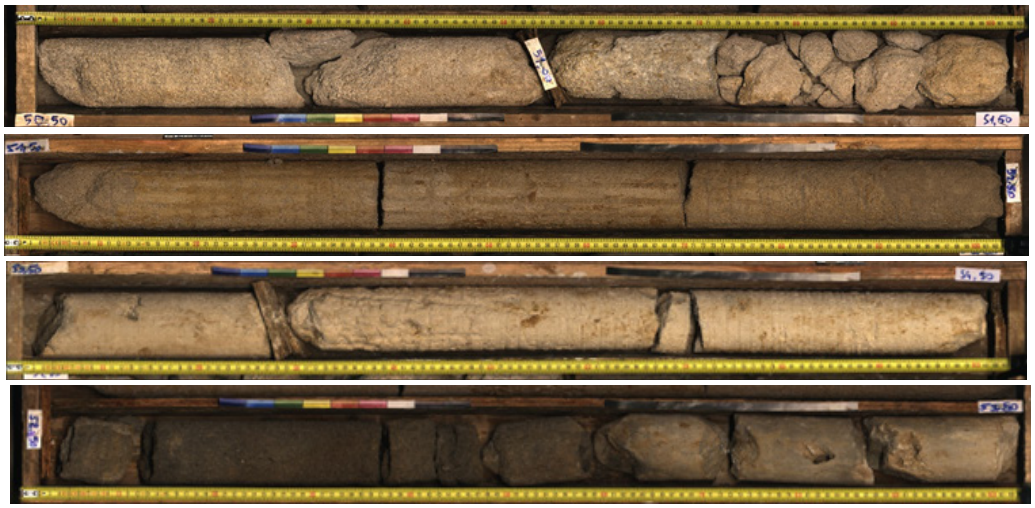
EOLE_SC7230_Faciès calcaire rocheux assez homogène

L15S_SC2337_Banc de calcaire dur bien individualisé en base de formation (Craie crétacée à droite du trait rouge)

L15O_NAN-PRO-SC04980_Calcaire fin et dur de la partie inférieure des Marnes de Meudon (= Calcaire montien), ici de 4,5 m minimum d'épaisseur

L15O_STC-AVP-SC03536_Calcaire marneux ou marnes largement altérés et déstructurés

L15S_CAC-AVP-SC02349_Calcaire fin à finement gréseux, plus ou moins lité et dur présentant des empreintes de gastéropodes (= Calcaire montien ?), ici de 2,5 m minimum d'épaisseur



L15O_NAN-FAI-SC00594_Sous les Marnes à rognons et au-dessus de la craie, succession de faciès calcaires rocheux et gréseux plus ou moins lités, alternativement clairs et plus ou moins foncés, avec une passée très foncée (possiblement ligniteuse et/ou pyriteuse) constituant un faciès énigmatique dans le "Montien" parisien. On ne peut exclure à ce stade qu'il ne s'agisse pas de Faciès sparnaciens. Il faudrait les étudier en pétrographie, minéralogie, chimie, palynologie et/ou biostratigraphie pour déterminer leurs conditions de dépôt et âge.

La Craie crétacée (C)

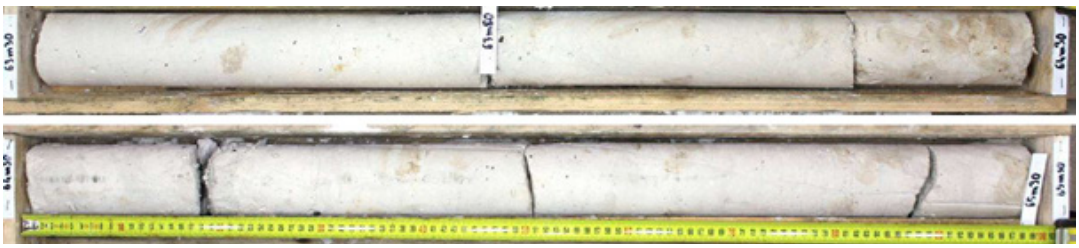
La Craie crétacée, et plus précisément du Campanien, constitue le substratum ou le soubassement de la série tertiaire partout dans le Bassin parisien. Sa partie supérieure est reconnue en sondages sur quelques mètres (localement 20-30 m) sur plusieurs secteurs de la ligne 15, dans l'Ouest (Nanterre), le Sud-Ouest (Boulogne – St-Cloud - Montrouge), le Sud (Montrouge) et le Sud-Est (St-Maur – Champigny), ainsi que dans la partie Nord de la ligne 14 Sud. En revanche, dans le Nord et l'Est de Paris, la craie est en position plus profonde et n'est jamais reconnue en sondage le long des lignes concernées (lignes 15 Nord et 16).

Cette formation a donc été relativement peu observée en sondages lors des investigations récentes pour EOLE et le GPE (en dehors de la ligne 15 Sud). Elle ne fait pas l'objet ici d'une description aussi détaillée que d'autres lithologies ou formations.

Le faciès standard de la Craie est constitué d'un calcaire blanc ou gris-blanc caractéristique, assez tendre et poreux, cependant d'une bonne compacité et d'aspect généralement massif. Des silex noirs de forme irrégulière et de taille centimétrique (ou inférieure) à décimétrique (éventuellement 10-20 cm) sont fréquemment, mais irrégulièrement observés en sondage, préférentiellement au sein d'horizons espacés entre un et plusieurs mètres. A noter que des silex de taille pluridécimétrique (jusqu'à plus de 50 m) ont été observés dans le secteur de Saint-Cloud lors de l'excavation du collecteur Auteuil – Saint-Cloud.

Un faciès de craie altérée particulièrement tendre (et pâteux) ou friable (voire meuble) et de teinte plus grise ou plus beige est parfois observé au sommet de la formation. Sa présence comme son épaisseur apparaissent irrégulières.

L15S_CHA-AVP-SC2337. Craie globalement massive à niveaux de silex noirs



L15S_CHA-AVP-SC2337. Craie massive

L15W_ISS-FAI-SC0227bis. Craie à deux niveaux de petits silex noirs, modérément altérée

L15S_MAL-AVP-SC1010. Craie franchement altérée et meuble

IV. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Briais J., 2015 – Le Cénozoïque du Bassin de Paris : un enregistrement sédimentaire haute résolution des déformations lithosphériques en régime de faible subsidence. Thèse, Univ. Rennes, 450 p.

Brignon, A., 2025 – Les poissons fossiles banlieusards : l'histoire des découvertes paléoichtyologiques dans le Calcaire grossier (Lutétien) des environs de Paris.

Carte géologique de France à 1/50 000 et sa notice explicative : feuille L'Isle-Adam n°153 (3ème édition), 1991, F. Mégnien ; feuille Paris n°183 (2ème édition), 1966, R. Soyer coord. ; feuille Lagny, n°184 (2ème édition), 1971, M. Caudron et J. Labourguigne ; feuille Corbeil-Essonnes, n°219 (3ème édition), 1987, F. Mégnien.

Carte géologique de Paris et sa grande banlieue à 1/25 000 (feuilles Est et Ouest) et sa notice explicative (31 p.), 1980, P. Diffre,

Carte géologique de la France à 1/250 000 et sa notice explicative, 1983, F. Mégnien. BRGM éditeur

Charles N., Simien F., Hanot F., Quesnel F., Lacquement F. (2020) – Carte géologique simplifiée à vocation pédagogique de Paris et ses environs. BRGM

Collectif, 1967 – Le Calcaire de Saint-Ouen. Essai d'étude régionale de géologie appliquée au Génie Civil. CR de journées d'étude. Bull. Lab. Ponts et Chaussées, 121 p.

Egal E., Kreziak C., Saitta A., Marlinge J. et Priol G. (2017) – Méthodologie de détection des zones déstructurées et des cavités dans les terrains gypseux le long de la ligne 16 du Grand Paris Express. Congrès international de l'AFTES, 15ème édition, Paris. Article disponible sur http://www.aftes.asso.fr/congres-aftes.html

Egal E. et Piraud J., 2018 – Révision de quelques idées reçues sur le Lutétien parisien (Calcaire grossier, Marnes et Caillasses), Journées nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur – Champs sur Marne 2018. Article disponible sur https://jngg2018.sciencesconf.org/

Egal E. (2023) – Nouveaux éléments sur la lithostratigraphie de la série éocène parisienne à partir de l'observation de centaines de sondages carottés (projet Eole et Grand Paris Express). Géologie de la France n°4, pp 63-86.

Filliat G. et Duvauchelle C., 1981, Géologie et géotechnique de la région parisienne, in Filliat G., La pratique des sols et fondations, chap. 29, p1193-1347, Le Moniteur.

Gély J.-P., 1996 - Le Lutétien du Bassin parisien : de l'analyse séquentielle haute-résolution à la reconstitution paléogéographique. Bull. Inf. Bass. Paris, 34, 2, p. 3-27.

Gély J.-P., 2016 - Le Paléogène du Bassin de Paris : corrélations et reconstitutions paléogéographiques. Bulletin inf. Géol. bass. Paris, 53, 4, pp. 2 - 13.

Gigan J.P., 1974 – Relations entre composition, texture et quelques propriétés géotechniques des marnes et caillasses, Lutétien supérieur. Bull. Lab. Ponts et Chaussées, 72- réf 1486.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), 1967 – Essai d'étude régionale de géologie appliquée au génie civil. CR de journées d'études des 5 et 6 octobre 1967.

Lozouet P. (coord.), 2012 – Stratotype Stampien. Museum national d'Histoire naturelle. Paris ; Biotope, Mèze, 464 p. (Patrimoine géologique ; 4).

Merle D. (coord.), 2008 - Stratotype Lutétien, Museum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze ; BRGM, Orléans, 288 p. (Patrimoine géologique ; 1).

Missenard Y., O. Parizot et J. Barbarand, 2017 – Age of the Fontainebleau sandstones: a tectonic point of view. Bull. Soc. Géol. Fr., 188, 28, p.

Rat M., 2010 - L'effondrement en cours de construction du tunnel « Meteor ». Revue Française de Géotechnique, N°131-132, pp. 81-88.

Simonnet J., 2010 – Les Sables de Beauchamp. Faciès et propriétés géotechniques. Incidences sur les travaux en région parisienne. Mémoire diplôme ingénieur CNAM.

Soyer R., 1953 – Géologie de Paris. Mémoire explicatif de la carte géologique de France, Imp. nationale, Paris.

Soyer R. et Cailleux A., 1960 – Géologie de la région parisienne, Collection Que-sais-je, n°854.

Talon J., 2025 – Enregistrement des événements hyperthermiques de l'Eocène inférieur et moyen (Yprésien à Bartonien) dans le Bassin parisien (France) et le Bassin de Mons (Belgique) : Impact climatique sur la dynamique sédimentaire en milieu littoral à continental. Thèse de Doctorat, Universités de Dijon et de Mons.

Thiry M., 1973 - Les sédiments de l'Eocène inférieur du Bassin de Paris et leurs relations avec la paléoaltération de la craie. Thèse 3ème cycle ULP Strasbourg, 79 p.

Thiry M., 2017 – Curiosités géologiques du massif de Fontainebleau, BRGM Editions.

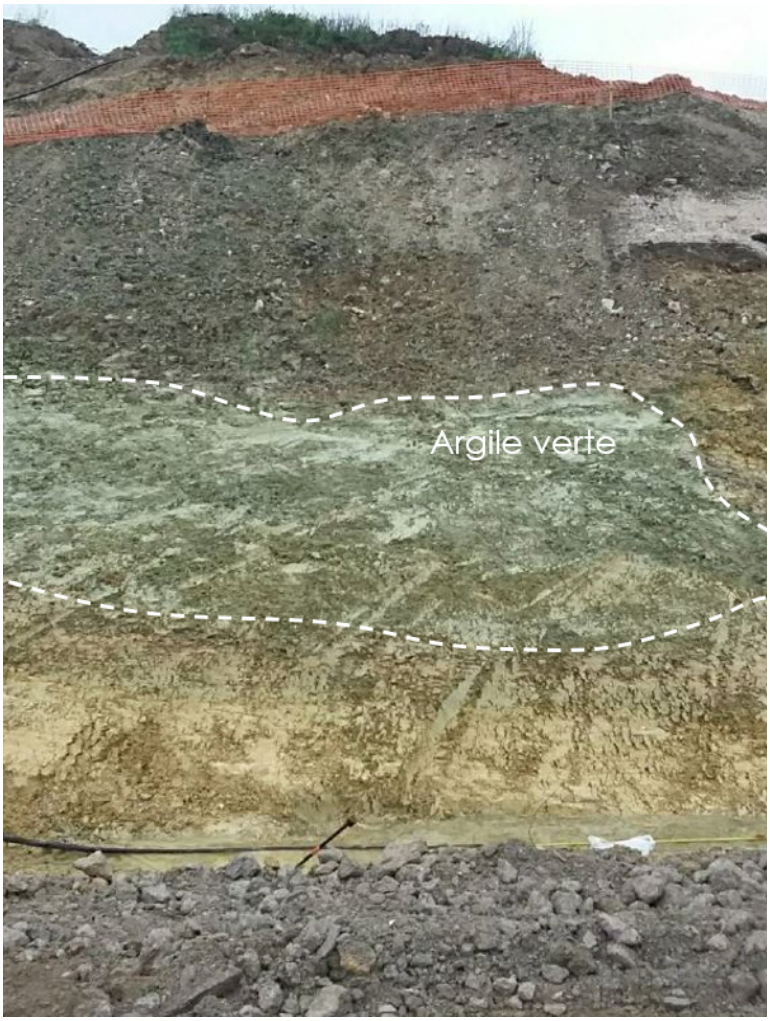
Toulemont M., 1987 – Les gypses lutétiens du Bassin de Paris. Sédimentation, karstification et conséquences géotechniques. Thèse d'Etat (1986). Rap. LCPC, série GT24 géotechnique – Mécanique des sols – Géologie. 318 p.

ANNEXE

En complément du document de synthèse lithostratigraphique et de compilation de photographies de carottes, cette annexe regroupe quelques photographies de fronts excavés (méthode conventionnelle) et de quelques affleurements ou fonds de fouille.

Excavation dans les Sables de Fontainebleau très altérés sur la ligne 18-3 à Versailles-Chantiers du GPE (Grand Paris Express). Photographie F. Binet

Excavation dans le Calcaire de Brie altéré sur la ligne 15 Sud à VLA (Villejuif-Louis-Aragon) du GPE (Grand Paris Express). Photographie F. Binet



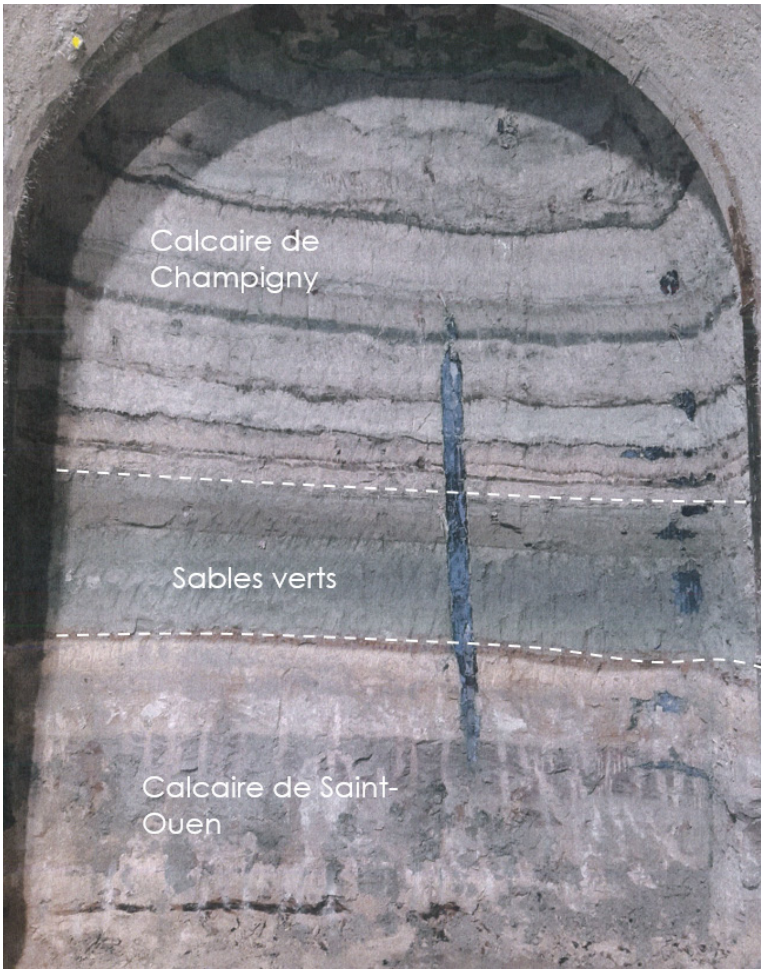
Affleurement mis au jour après terrassement d'une butte naturelle à BVC (gare Bry-Villiers-Champigny nouvellement Villiers-Champigny-Bry), le long de la ligne L15S T2B du GPE (Grand Paris Express). La couche verte correspond à la formation des Argiles vertes de Romainville. Photographie G. Meyer

Front creusé dans les Argiles vertes de Romainville ici très litées et les Marnes « blanches » de Pantin. GPE, L14 Sud (Gare IGR = Villejuif-Gustave Roussy (anciennement Institut Gustave-Roussy). Photographie F. Binet

Excavation réalisée dans les Marnes « bleues » d'Argenteuil, L14 Sud (Gare IGR = Villejuif-Gustave Roussy (anciennement Institut Gustave-Roussy). Photographie F. Binet

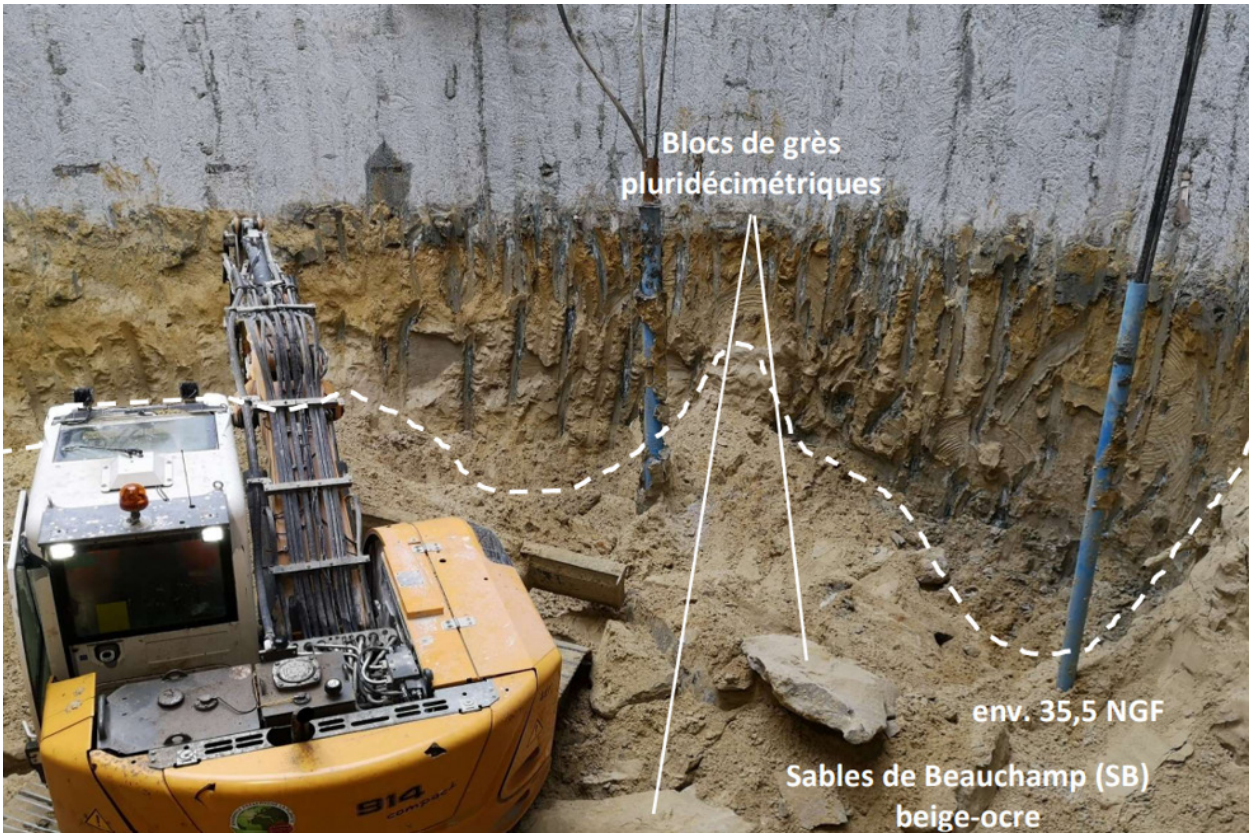
Front creusé dans les Marnes « bleues » d'Argenteuil (et Calcaire de Champigny à la base) : on voit bien ici que la teinte bleue des marnes n'est pas homogène et ne peut être retenu comme un critère exclusif de distinction de la formation notamment dans sa partie inférieure ou basale. GPE, L15 Sud T2C (OA 0803P). Photographie G. Meyer

Front d'excavation dans les Masses et marnes du Gypse avec bancs de calcaires, de marnes et de gypse. GPE, Ligne 15 Sud T2A (OA 1501P). Photographie G. Meyer



Front d'excavation dans (de haut en bas) :
le Calcaire de Champigny bien stratifié (partie supérieure du front),
les Sables verts ici bien individualisés et le Calcaire de Saint-Ouen en partie basale.
Un tube d'injection de coulis bentonite-ciment est visible au milieu du front.
GPE, L15 Sud T2C (OA 0808P). Photographie G. Meyer

Front d'excavation dans les Sables de Beauchamp, Grand Paris Express, L15 Sud-T2B (OA 0901P). Photographie G. Meyer



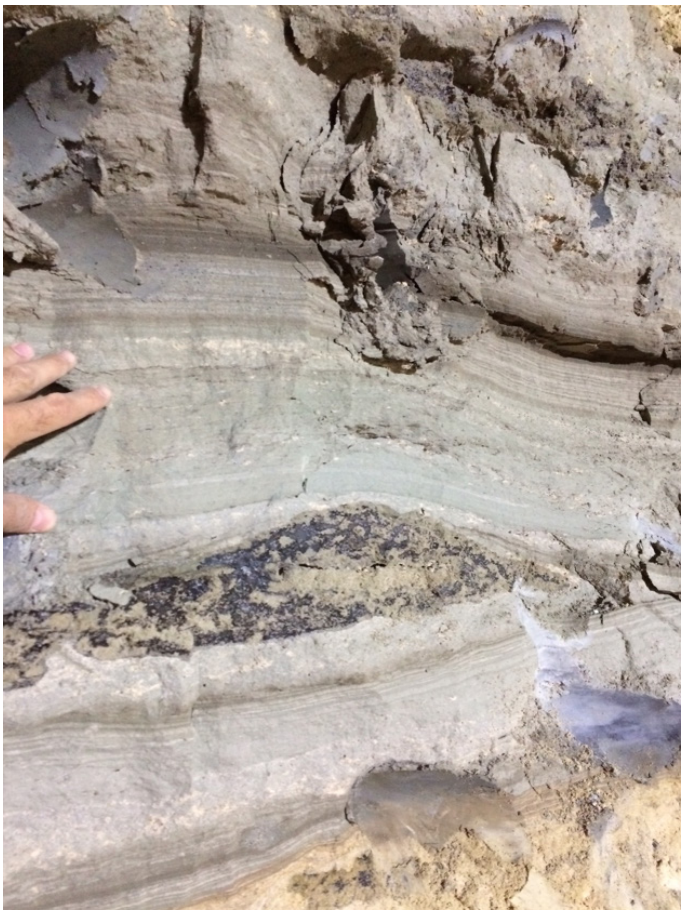
Fond de fouille interprété du puits 0201 de la ligne 16 du GPE mettant en évidence des blocs/lentilles de grès extrêmement durs et abrasifs au sein de la formation des Sables de Beauchamp. Photographie Eiffage pour SGP

Sables de Beauchamp « tombés » au sein des Marnes et Caillasses à la faveur de galeries et cavités de dissolution karstiques formées dans ces dernières (Tunnel TSEE, Paris 12). Photographie F. Binet

Affleurement de Marnes et Caillasses mis au jour lors de l'excavation de la gare Porte-Maillot (EOLE). On observe l'alternance typique de bancs de calcaires tendres beige-ocre généralement abusivement dénommés « marnes », de bancs de calcaire dur et rocheux mais fragmenté en « caillasses » et de lits marron sombre fins argileux. Photographie E. Egal

Front d'excavation à travers les Marnes et Caillasses et le Calcaire grossier (EOLE, secteur HSL). Le niveau gris-vert sombre correspond à des marnes proches de la base des Marnes et Caillasses (ce niveau est bien individualisé dans le secteur mais ne se retrouve pas ou rarement ailleurs sous Paris) ; au-dessus on distingue le Banc de Rochette (Marnes et Caillasses) et au-dessous le Banc de Roche (Calcaire grossier) ici peu épais. Photographie Y. Liu

Front d'excavation dans le Calcaire grossier « moyen », chantier EOLE (gare Porte-Maillot). Le Banc vert est ici très bien exprimé, avec les lits plus sombre en haut et en bas et le faciès laminé typique entre les deux. Photographie Y. Liu



Vue rapprochée d'un front d'excavation dans le Banc vert (horizon laminé) du Calcaire grossier (EOLE, rameau de la gare Porte Maillot) avec une lentille siliceuse (noire) telle qu'on en observe dans la partie supérieure de la formation et très souvent dans le Banc vert. Photographie E. Egal

Front d'excavation dans la formation de l'Argile plastique : la teinte gris pâle de la partie supérieure du front est fréquemment observée dans la partie supérieure de la formation ; en partie inférieure du front on retrouve le caractère plus bariolé (beige-jaune +/- gris) de l'Argile plastique mais de manière encore discrète et sans la teinte lie-de-vin très développée par ailleurs dans la formation.
Grand Paris Express (GPE) : L15Sud T2B (OA 1002P). Photographie G. Meyer

Front d'excavation dans la Craie campanienne. On note le caractère lithologiquement homogène de la craie (très peu stratifiée ici) à l'exception des silex noirs plus ou moins dispersés soulignant une stratification fruste. GPE, L15Sud T2B (OA 1003P). Photographie G. Meyer

Emmanuel Egal (Egis), le 23/06/2026
Avec la participation de Florence Quesnel (BRGM)
pour la mise à jour du découpage lithostratigraphique
et notamment la description des faciès yprésiens et montiens.

Publication septembre 2026

Responsable de publication :

CFMS (Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique)

Courriel : cfms.secretariat@geotechnique.org

Site internet : www.cfms-sols.org

Correspondance :

INSAVALOR/CFMS
66 boulevard Niels Bohr - CS52132
69603 VILLEURBANNE Cedex

Siège social :

Ecole des Ponts ParisTech
6 - 8 avenue Blaise Pascal
Cité Descartes
Champs sur Marne
77455 Marne-La-Vallée Cedex 2

Copyright :

© CFMS, Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique. En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Editeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie, 20 rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

Le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique, ses membres, ses administrateurs ou ses représentants déclinent toute responsabilité découlant d'omissions ou d'erreurs dans les documents qu'il émet et ne peuvent être tenus responsables de quelconque dommage lié à l'utilisation des informations contenues dans ces documents, en ce compris les informations fournies par des tiers, ou à l'impossibilité d'accès au site web ou à son contenu et ses documents, sauf en cas de faute grave ou délibérée de leur part.

La responsabilité du CFMS ne saurait davantage être engagée vis-à-vis des tiers, notamment dans le cas où les œuvres agréées par le Conseil après avis de la Commission Scientifique et Technique, donneraient lieu à des poursuites judiciaires sur le fondement de la loi du 11 Mars 1957 et de tous les autres textes protégeant les œuvres de l'esprit.

Conception graphique / mise en page :

Valérie SCOTTO DI CESARE - Studio Graphique VSDCom

cfms

CFGI COMITÉ FRANÇAIS DE GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR ET DE L'ENVIRONNEMENT

CFMS - SEPTEMBRE
2026

9 782959 268595