

REVISION DE QUELQUES IDEES REÇUES SUR LE LUTETIEN PARISIEN (CALCAIRE GROSSIER, MARNES ET CAILLASSES)

REVIEW OF SOME CLASSICAL ASSUMPTIONS ABOUT THE « CALCAIRE GROSSIER » AND « MARNES ET CAILLASSES » LUTETIAN FORMATIONS

Emmanuel EGAL¹, Jean PIRAUD²

¹ Egis, Pringy, France

² Anteagroup puis Setec-TPI, Orléans

RÉSUMÉ – Les investigations géologiques réalisées pour les projets EOLE et Grand Paris Express ont révélé, au sein du Calcaire grossier, le développement insoupçonné ou sous-estimé de faciès meubles essentiellement liés à l'altération. Elles ont aussi montré que l'appellation « Marnes et Caillasses » était impropre car cette formation contient essentiellement des calcaires marneux (teneur en carbonate > 70 %) ou des calcaires francs.

ABSTRACT – Geological investigations for the EOLE and Grand Paris Express projects revealed within the « Calcaire Grossier » formation, the unsuspected or underestimated development of soft facies mainly related to alteration processes. These investigations also showed that the name « Marnes et Caillasses » was unsuitable because this formation mainly contains marly limestones and limestones (calcareous content > 70 %) and little marl.

1. Introduction

Comme l'indique son nom en rapport avec Paris (Lutèce), l'étage Lutétien est bien représenté dans le sous-sol parisien. Il est constitué, au cœur de la série sédimentaire tertiaire, des formations bien connues du Calcaire grossier et des Marnes et Caillasses. Le premier a joué un rôle important dans l'histoire parisienne puisqu'il a été le premier fournisseur de pierres à bâtir. Mais les deux formations peuvent aussi causer des problèmes pour la construction du fait de la présence potentielle de cavités, anthropiques dans le Calcaire grossier (carrières souterraines), naturelles pour les Marnes et Caillasses (cavités de dissolution du gypse initialement présent) – mais également du fait de variations potentielles de leurs caractéristiques mécaniques.

Jusqu'au début des années 2000, le Calcaire grossier était réputé pour être un matériau rocheux, sain et peu fracturé, que chacun pouvait toucher dans les Catacombes. On savait seulement que sa perméabilité pouvait être fortement augmentée en position sous-alluviale (cf. Filliat, 1980). Or les études du projet EOLE (prolongement à l'Ouest du RER E) et des lignes 14, 15 et 16 du Grand Paris Express, ont montré qu'il se présente parfois sous un faciès tendre, voire meuble, génératrice de risques géotechniques (cf. fontis des Olympiades). L'objet de l'article est d'examiner, à la lumière de ces études, si ces faciès meubles résultent bien de l'altération, ou s'ils reflètent l'existence originelle, par *variation latérale de faciès*, de dépôts mécaniquement plus faibles.

Par ailleurs, concernant les Marnes et Caillasses, si leurs caractéristiques sont globalement bien connues, il apparaît nécessaire à l'issue de ces études de préciser leur contenu et leur dénomination lithologiques.

2. Le Calcaire grossier : répartition et origine des faciès meubles

La formation du Calcaire grossier s'est déposée au Lutétien inférieur, moyen et (pour partie) supérieur, en contexte essentiellement marin, sauf à la base (« Glauconie grossière » littorale) et pendant le court intervalle de temps de dépôt du « Banc vert » en contexte laguno-lacustre. Ce Calcaire est constitué d'une alternance de bancs calcaires, souvent très fossilifères ; les tests ou coquilles des fossiles, entiers ou fragmentés, sont fréquemment de grande taille et responsables de l'aspect souvent grossier du calcaire, et leur dissolution partielle a conféré un caractère fréquemment vacuolaire à la roche. Plusieurs bancs ou groupes de bancs suffisamment durs ont été exploités intensément pour la construction.

Ces bancs du Calcaire grossier présentent une résistance variable, mais des horizons franchement tendres ou meubles n'avaient jamais été décrits à Paris jusqu'à l'apparition du fontis de l'école maternelle de la rue Perret (L14) et exception faite de la « Glauconie grossière » et du Banc Vert. Nous présentons ci-après les faciès tendres du Calcaire grossier de la rue Perret et ceux nouvellement rencontrés lors des reconnaissances du Grand Paris Express, Eole compris (Figure 1).

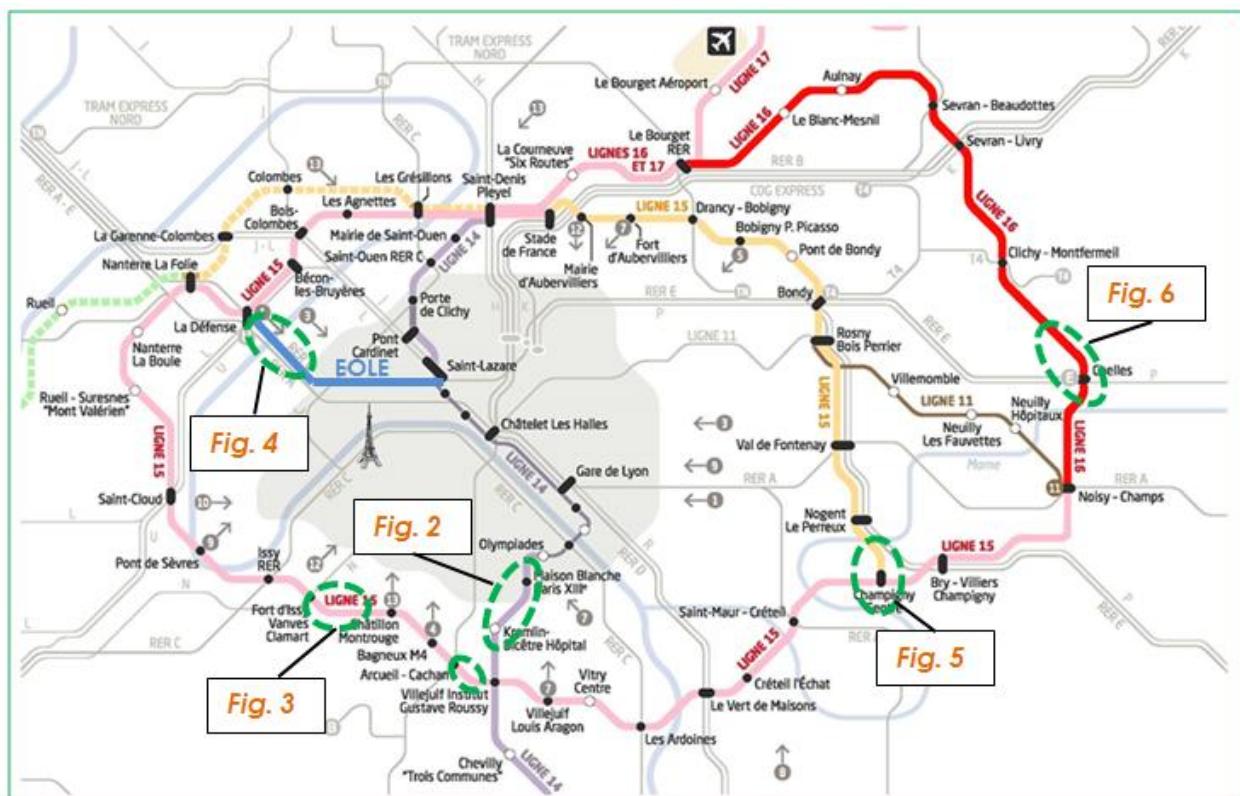


Figure 1. Localisation (tiretés verts), sur la carte du Grand Paris Express, des zones de Calcaire Grossier tendre/altéré repérées lors des reconnaissances et présentées dans cette note (cf. numéros de figures).

2.1. Faciès meubles du secteur Olympiades-Kremlin-Bicêtre (L14)

En 2003, lors des travaux de la ligne 14 à l'Ouest de la station Olympiades, un fontis est venu au jour dans une école maternelle rue Auguste Perret, au droit du hall de maintenance en cours de creusement dans le Calcaire grossier. Cet ouvrage devait être excavé à un diamètre extérieur proche de 16 m sous une couverture de 9 m seulement (Figure 2).

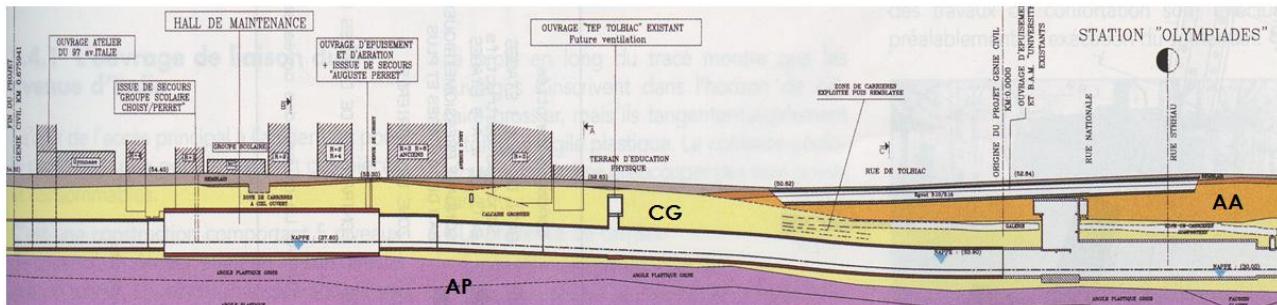


Figure 2. Profil en long de la ligne 14 entre le Hall de maintenance et la station Olympiades ; noter le plongement de la couche de Calcaire qui s'accentue encore vers l'Est. *Initiales des formations : voir figure 2. Distorsion des échelles : 2,8. Longueur du profil = 850 m environ*

Les investigations destinées à élucider les causes du fontis ont montré que l'une des causes majeures de l'accident était la mauvaise qualité du Calcaire Grossier supérieur au-dessus du hall, laquelle avait échappé aux reconnaissances préalables : le calcaire est réduit ici à l'état de roche tendre à faible cohésion, avec de rares passages durs qui avaient été privilégiés lors de l'échantillonnage. Les essais pressiométriques effectués au niveau de la calotte ont donné un module $E_m = 35 \text{ MPa}$ seulement.

La mauvaise qualité du Calcaire grossier semble due à l'altération superficielle, son toit étant ici sub-affleurant et situé vers la cote à la cote 52 m NGF, alors qu'il descend à la cote 20 NGF à la station Olympiades. Le battement de la nappe ne peut pas être invoqué car elle est située ici à la cote 38. La quasi absence de carrières souterraines dans tout le Sud-Ouest du 13^{ème} arrondissement suggère d'ailleurs que le Calcaire grossier supérieur y est uniformément altéré, donc non exploitable.



© RATP PIL - Didier Dupuy

571n22a - 05/03/2003

Depuis lors, les reconnaissances du prolongement de la ligne 14 vers Orly ont montré que ce faciès altéré CGa s'étend jusqu'au Boulevard périphérique, puis disparaît plus au Sud lorsque la couverture du Calcaire grossier supérieur atteint 15 à 20 m. A noter qu'au droit de la gare Kremlin-Bicêtre, où la couverture redescend pourtant à 5 m, le calcaire n'est pas altéré et a même été intensément exploité sur 2 ou 3 niveaux. Au pressiomètre, le faciès altéré est caractérisé par une pression limite pl^* proche de 2 MPa et un module E_m inférieur à 50 MPa, alors qu'ils dépassent respectivement 6 MPa et 100 MPa dans le faciès sain.

Le fait que les faciès altérés du Calcaire grossier ne sont pas continus sur cette partie de la ligne 14 est donc compatible avec une origine par altération superficielle, puisqu'ils disparaissent quand la couverture augmente (on sait par ailleurs que la surface de base d'un profil d'altération peut être très irrégulière). On peut aussi penser que des variations latérales originelles (syngénétiques) dans le Calcaire grossier ont favorisé les hétérogénéités de faciès actuellement observées.

2.2. Faciès meubles entre Issy et Villejuif (ligne 15 Sud-Ouest)

Les faciès altérés du Calcaire Grossier forment de grandes masses à l'Est de la gare Fort d'Issy, sur une longueur de 650 m (Figure 3), et également à l'Est de la gare Arcueil-Cachan (sur 200 m). Le calcaire est à nouveau ici en position subaffleurante et l'altération

observée est très vraisemblablement d'origine superficielle. Mais comme pour le cas précédent (L14), le caractère géographiquement discontinu du Calcaire altéré laisse penser que des variations originelles de faciès ont « guidé » les variations d'altération aujourd'hui observées.

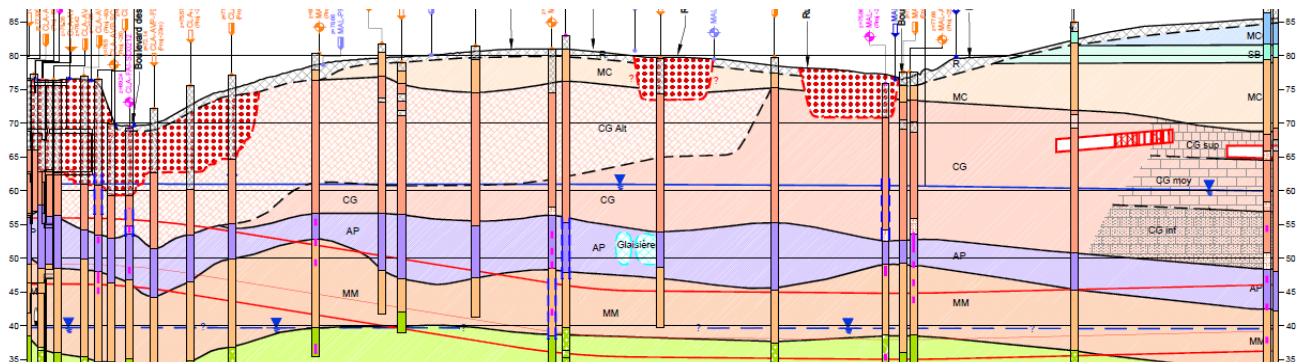


Figure 3. Profil de la ligne 15 Sud juste à l'Est de la gare Fort d'Issy. *Initiales des formations : voir figure 2 sauf MM = Calcaire et marnes de Meudon. Echelle verticale = 5 x échelle horizontale. Longueur du profil = 900 m env*

2.3. Faciès meubles de la vallée de la Seine-aval (projet EOLE)

Le projet EOLE recoupe la vallée de la Seine à l'Ouest de Paris, au Nord du pont de Neuilly. Les reconnaissances par sondage ont mis en évidence, sous les remblais et les Alluvions modernes, la présence d'Alluvions anciennes très étendues vers l'Est (paléovallée de la Seine), puis des lambeaux résiduels de Marnes et Caillasses, et enfin le Calcaire grossier. Ce dernier présente, dans sa partie supérieure et selon une géométrie irrégulière, un faciès tendre identifié sous l'appellation de Calcaire grossier altéré (CGa). Ce faciès est toujours situé sous la nappe ou à cheval sur sa zone de battement ; ses caractéristiques pressiométriques sont nettement plus faibles que celles des faciès sains : dans le Calcaire grossier supérieur, le module Em chute de 230 à 60 MPa, et la pression limite pl* de 3,5 à 1,5 MPa.

La Figure 4 montre que ce faciès CGa est observé au droit de l'ancien lit majeur de la Seine, ce secteur étant le seul du projet Eole où le Calcaire grossier est si proche de la surface ; il s'agirait donc vraisemblablement d'un phénomène d'altération superficielle. Mais s'agit-il d'une altération antérieure au dépôt des alluvions (pendant une période d'exondation ?) ou d'une altération développée sous les alluvions par la circulation des eaux et le battement de la nappe ? On connaît d'autres configurations à Paris (notamment vers la station Bibliothèque F.Mitterrand le long de la ligne 14) où le Calcaire grossier est au contact direct avec les Alluvions anciennes ennoyées, ce qui a eu pour effet d'augmenter considérablement la perméabilité (jusqu'à 10^{-2} m/s), par élargissement des fissures verticales, sans pour autant l'altérer dans la masse.

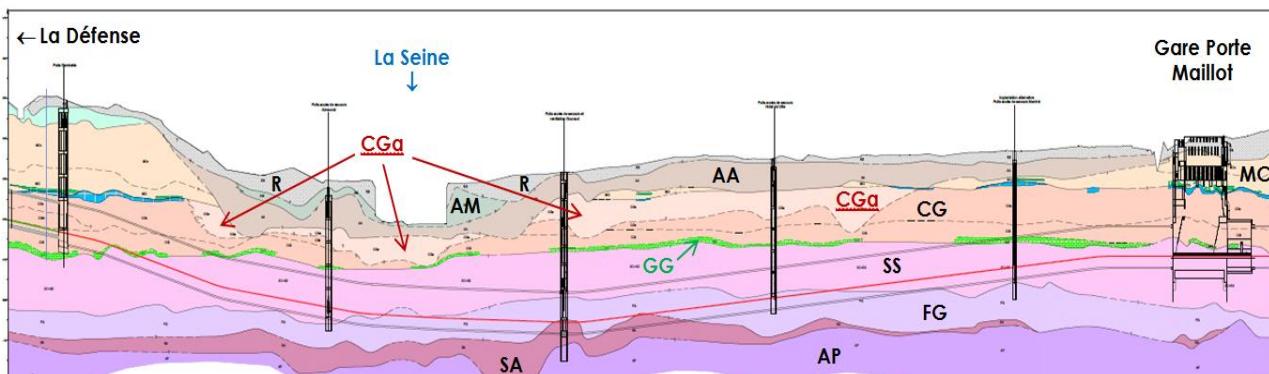


Figure 4. Extrait du Profil en long géologique du projet EOLE. Orientation Ouest-Est. R = remblais, AM = Alluvions modernes, AA = Alluvions anciennes, MC = Marnes et Caillasses, CG = Calcaire grossier (avec CGa en rose et GG = Glaconie grossière en vert), SS = Sables supérieurs, FG = Fausses glaises, SA = Sables d'Auteuil, AP = Argile plastique. Longueur du profil = 4,6 km env.

A noter que plus à l'Est, ce faciès CGa réapparaît vers la place de l'Etoile, sous forme d'une lentille épaisse de 10 m et longue d'au moins 300 m, interstratifiée dans le Calcaire grossier sain sous 20 m de Marnes et Caillasses et de Sables de Beauchamp, ce qui indiquerait plutôt ici une origine syngénétique.

2.4. Faciès meubles de la vallée de la Marne à Champigny (L15 Est)

La ligne 15 Est se termine à la gare Champigny-Centre, dans une dépression correspondant à la vallée de la Marne. Sous les remblais et dépôts de pente, les Alluvions anciennes, assez épaisses, reposent directement sur le Calcaire grossier (Figure 5). Celui-ci présente ici un faciès carbonaté altéré (CGa) majoritairement très tendre, avec des intercalations +/- rocheuses en partie préservées de l'altération. Ces intercalations apparaissent et deviennent plus fréquentes en profondeur, marquant ainsi le caractère progressif et transitionnel avec le faciès sain du Calcaire grossier.

Du fait de sa position directement sous les alluvions et du passage progressif au calcaire sain sous-jacent, l'origine altérée de ce faciès CGa ne fait guère de doute. Comme pour Eole, les mêmes questions se posent quant au processus (pas de karstification classique) et à la période de cette phase d'altération.

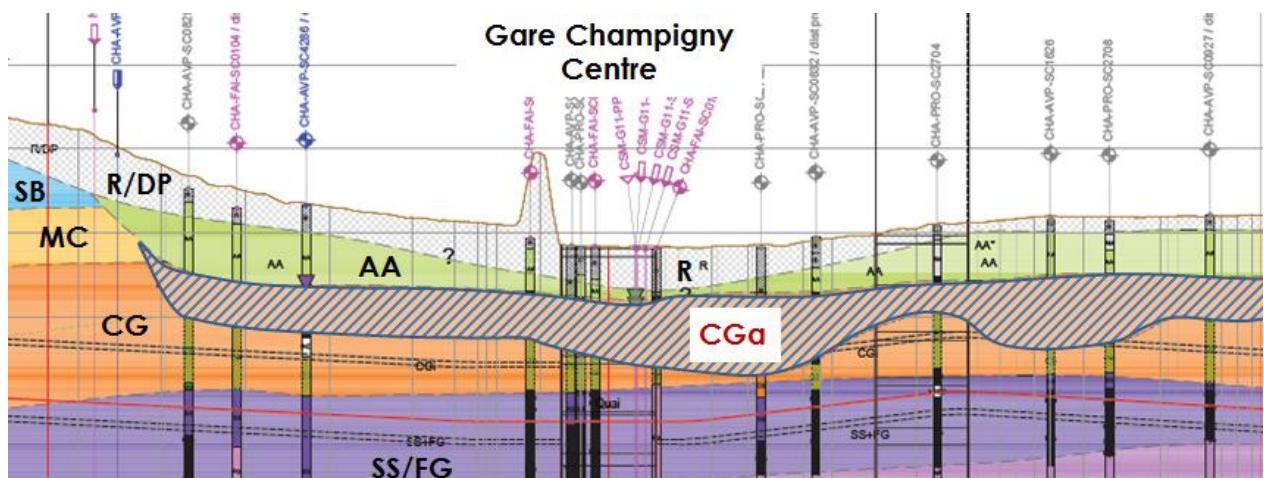


Figure 5. Profil en long géologique de la ligne 15 Est (études en cours). Le faciès tendre altéré (CGa) du Calcaire grossier est représenté par des hachures. *Initiales des formations : voir figure 2 sauf DP = dépôts de pente et SB = Sables de Beauchamp. Echelle verticale = 10 x échelle horizontale.*
Longueur du profil = 1,5 km env.

2.5. Faciès meuble localisé et profond de la vallée de la Marne à Chelles (L16)

La vallée de la Marne est recoupée par la ligne 16 au niveau de Chelles, entre les buttes de Clichy au Nord et la bordure du plateau briard au Sud. Le Calcaire grossier est situé ici en position profonde, sous les Alluvions, les Sables de Beauchamp et les Marnes et Caillasses (Figure 6). Il présente un faciès classique dominant de calcaire coquiller en bancs de dureté et de résistance variables et de teinte gris-beige à gris.

Localement, et seulement sous la partie nord de la vallée, un faciès marron plus sombre et friable est observé à plusieurs reprises en sondages sur des épaisseurs pluridécimétriques à métriques. Ce faciès, d'aspect différent de ceux décrits

précédemment, est décrit comme un équivalent altéré du calcaire « standard ». Cependant, sa localisation profonde et irrégulière (lentilles non corrélables positionnées à différents niveaux) rend son origine indéterminée. On ne peut pas parler ici d'altération superficielle, ni d'altération liée au battement de la nappe car à cette profondeur l'enniolement a été permanent au cours de l'histoire géologique récente. Il est très probable que les faciès friables « altérés » correspondent à des lentilles originellement plus poreuses et/ou moins cohérentes, donc plus susceptibles d'être désagrégées *in situ* et au carottage.

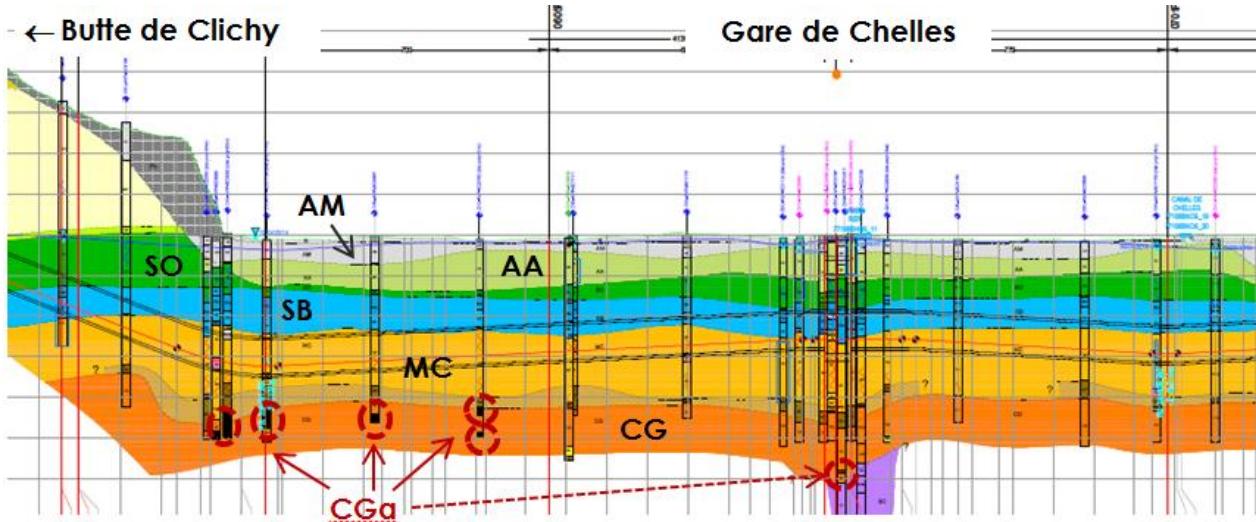


Figure 6. Profil en long géologique de la ligne 16 dans le secteur de la vallée de la Marne (coupe ~ Nord-Sud). Le faciès altéré du Calcaire grossier est indiqué par la notation CGa. *Initiales des formations : voir figure 2. Echelle verticale = 10 x échelle horizontale. Longueur du profil = 3 km env.*

2. Les Marnes et Caillasses : âge et lithologie

3.1. Age des Marnes et Caillasses

La formation des Marnes et Caillasses est classiquement rapportée au Lutétien supérieur mais des travaux académiques (Bignot et Neuman, 1991) indiquent qu'elles s'inscrivent dans un intervalle de temps comprenant la fin du Lutétien et une partie du Bartonien inférieur (voir également la thèse de J. Briais, 2015).

3.2. Lithologie des Marnes et Caillasses

Elles sont considérées classiquement comme étant faites d'une alternance de marnes +/- tendres et de bancs durs ou simples rognons de calcaire et/ou dolomie, présents notamment dans la partie basale de la formation (Banc de Rochette d'épaisseur pluridécimétrique). S'ajoutent quelques fines intercalations d'argile magnésienne, et surtout des bancs (ou lentilles) de gypse massif très irrégulièrement présents mais très développés dans certains secteurs : d'après Toulemon (1986), l'épaisseur cumulée des lentilles de gypse peut dépasser 20 m (10-12 m observés à l'aplomb de Sevran - Livry-Gargan le long de la ligne 16). Du gypse est également décrit en sondages sous forme diffuse (veinules, cristallisations localisées, imprégnation intergranulaire), mais la présence de ce gypse diffus est difficile à caractériser ce qui peut conduire à des incertitudes sur sa présence.

Pour ce qui est des teneurs en carbonates ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), les nombreuses analyses effectuées pour EOLE et le Grand Paris Express montrent que la formation des

Marnes et Caillasses ne renferment que peu de marnes vraies (teneur en carbonates < 70 %), mais essentiellement des calcaires marneux (teneur entre 70 et 90 %) et des calcaires francs (teneur > 90 %), comme le montre le Tableau 1. Ainsi, le faciès carbonaté plus ou moins tendre, qui est nettement dominant dans l'ensemble de la formation, correspond à des calcaires (marneux ou non) et rarement à des marnes.

Tableau 1. Synthèse des analyses de teneur en carbonates sur sondages carottés des projets EOLE et Grand Paris Express (lignes 16 et 15 Est). Pour EOLE, la ligne « global » indique les analyses réparties le long du tracé, et la ligne « 2 SC » celles réalisées tous les 20 cm dans deux sondages

	Moyenne	Ecart-type	N total	N <35%	%	N < 70 %	%	70 - 90 %	%	N > 90 %	%
EOLE global	78	19,4	82	3	3,5	18	22	29	35	32	39
EOLE_2 SC	89	11	144	0	0	5	3,5	67	47	74	51
L16	75	11	37	0	0	8	22	26	70	3	8
L15 Est	88	11,4	33	0	0	3	9	10	30	20	61

La prédominance des calcaires et calcaires marneux est confirmée sur tous les tracés étudiés, et sans doute généralisable à toute la région parisienne, mais des variations géographiques apparaissent. Ainsi les marnes semblent plus développées sur EOLE que sur les autres tracés (mais pas dans les deux sondages analysés en détail). En revanche, les calcaires francs (non marneux) sont moins présents sur la ligne 16.

La nature principalement calcaire des Marnes et Caillasses est par ailleurs bien mise en évidence par les diagraphies de radioactivité naturelle, qui montrent une bonne continuité avec celles du Calcaire grossier et confirme leur caractère peu argileux (Figure 7).

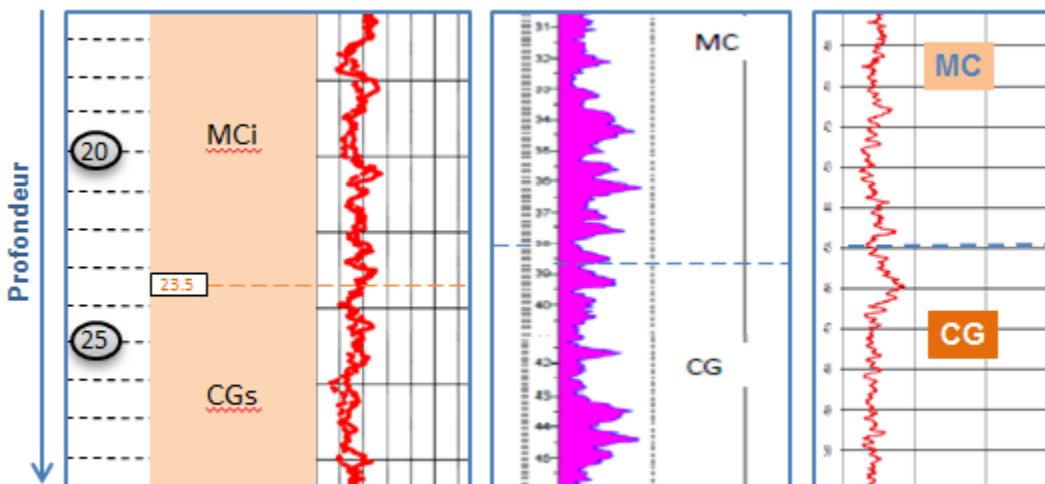


Figure 7. Trois extraits de diagraphies de radioactivité naturelle (gamma-ray) réalisées en sondage et montrant une continuité du signal entre les Marnes et Caillasses (MC) et le Calcaire grossier (CG) : les MC ne présentent donc pas de caractère plus argileux que le CG. Les extraits proviennent respectivement, de gauche à droite, des études réalisées pour Eole, la ligne 16 et la ligne 15 Est.

La nature non marneuse des Marnes et Caillasses avait déjà été mise en évidence par Gigan (1974) à partir d'analyses diverses dans le secteur de La Défense. Il avait montré, à l'aide d'une étude au microscope électronique, que le caractère tendre et non rocheux de la plus grande partie de cette formation était à mettre en relation avec sa *texture*, qui se traduit par une cohésion plus faible que celle des calcaires lutétiens habituels, et non avec sa teneur en carbonates. Dans les bancs rocheux, les grains de carbonates sont anguleux et rangés de telle sorte qu'il remplissent l'espace, conduisant à une faible porosité, alors que dans les bancs tendres les grains sont arrondis et enveloppés par des

fibres d'argile, donnant une porosité élevée. Gigan avait aussi constaté que la faible compressibilité de ces bancs tendres et leur angle de frottement élevé ($\phi > 30^\circ$) étaient en contradiction avec leurs paramètres d'identification.

La faible cohésion des bancs tendres semble donc originelle (comme c'est le cas pour la craie), mais elle est vraisemblablement accentuée par des phénomènes d'altération et/ou de dissolution du gypse initialement présent de manière diffuse. De fait, lorsque les bancs *d'aspect* marneux des Marnes et Caillasses sont protégés de l'altération superficielle, donc en position plus profonde, ils sont globalement plus résistants que ceux des faciès de surface. On observe la même chose pour le Calcaire de St-Ouen.

3. Conclusions

Le **Calcaire grossier** du Lutétien parisien présente dans plusieurs secteurs des faciès tendres, dont l'extension va de plusieurs hectomètres à 2-3 km, et qui sont situés tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du niveau actuel de la nappe. On les rencontre le plus souvent en position superficielle sous les Alluvions anciennes voire directement sous les remblais, ou sous des lambeaux de Marnes et Caillasses. La position des faciès altérés en sommet de profil, leur répartition géographique ainsi que le caractère progressif du passage au faciès sain sous-jacent, montrent clairement qu'ils ne résultent pas de conditions sédimentaires particulières (ni des effets du carottage) mais de l'altération superficielle. Cependant, le processus (pas de karstification classique) et l'âge de cette altération restent à préciser. De plus, le Calcaire grossier en position superficielle n'est pas systématiquement altéré dans la masse ce qui laisse penser que des variations initiales de faciès (et/ou l'hétérogénéité de la fracturation) influeraient aussi sur le développement de l'altération. Par ailleurs, très localement, des lentilles de calcaire altéré sont observées au sein du Calcaire grossier en position non superficielle, ce qui confirmerait l'existence locale de faciès plus altérables, car originellement plus poreux et/ou moins consolidés.

En ce qui concerne les **Marnes et Caillasses**, de nombreuses analyses de la teneur en carbonates ont montré que leur appellation est impropre : ce sont principalement des calcaires marneux (teneur > 70 %) et des calcaires francs (teneur > 90 %).

Les auteurs remercient la Société du Grand Paris, la SNCF et la RATP d'avoir autorisé la publication de ces résultats.

4. Références bibliographiques

- Bignot G. et Neuman M. (1991) – Les « grands » foraminifères du Crétacé terminal et du Paléogène du Nord-Ouest européen ; recensement et extensions chronologiques. Bull. Inf. Geol. Bas. Paris, 28, 13-29.
- Briais J. (2015) – Le Cénozoïque du Bassin de Paris : un enregistrement sédimentaire haute résolution des déformations lithosphériques en régime de faible subsidence. Thèse, Université de Rennes.
- Gigan J.P. (1974) – Relations entre composition, texture et quelques propriétés géotechniques des Marnes et Caillasses. Bull. liaison Labos Ponts & Ch., n° 72, juillet-août 1974.
- Filliat G. (1980) – La pratique des sols et fondations. Particulièrement les chap. 29 (Géologie de la région parisienne) et 31 (Carrières souterraines). Ed. Le Moniteur
- Toulemont M. (1986) – Les gypses lutétiens du Bassin de Paris : sédimentation, karstification et conséquences géotechniques. Thèse de doct., Univ. Paris-Sud-Orsay