

SYNTHÈSE DES SONDAGES DE RECONNAISSANCES DES PROJETS EOLE ET GRAND PARIS EXPRESS

Nouvelles observations et interprétations de la lithostratigraphie du sous-sol parisien

24 janvier 2020

Emmanuel Egal

INTRODUCTION

La succession générale des couches géologiques tertiaires qui constituent le sous-sol parisien sous les formations quaternaires (alluvions, ...) est bien établie depuis de nombreuses années.

Cette succession, peu tourmentée par la tectonique, est globalement continue à l'échelle parisienne (et au-delà) malgré les variations d'épaisseur des formations (et des lacunes de couches dans certains secteurs).

Mais chacune des couches montrent une variabilité de contenu lithologique et d'état non négligeable.

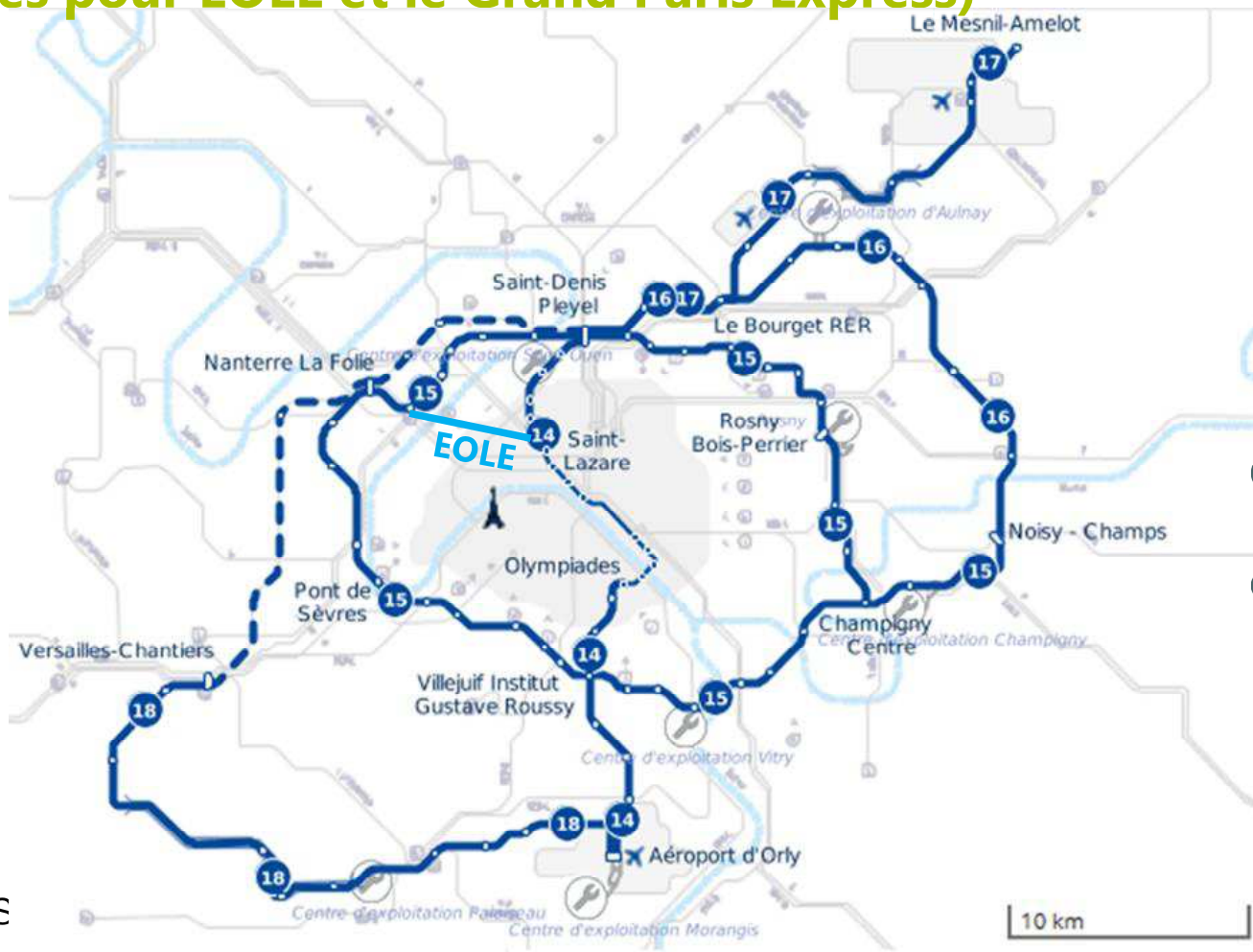
Les très nombreuses reconnaissances menées pour le Grand Paris Express ou Eole ont fourni d'abondantes données nouvelles qui permettent de mieux caractériser la lithologie des couches, leur variabilité et leurs particularités locales.

INTRODUCTION

Cette présentation propose de faire une synthèse *factuelle* actualisée des connaissances à travers cinq formations ou thématiques principales :

- **Le caractère « résiduel » des marnes sus-jacentes aux Sables verts (souvent rapportées aux « Marnes à Pholadomyes »).**
- **L'altération des formations calcaires en position superficielle**
- **L'altération par dissolution des Marnes et Caillasses**
- **Le caractère discontinu de l'horizon argileux médian au sein des Sables de Beauchamp et la présence locale de calcaire dur**
- **La forte variabilité de la stratigraphie (répartition sables et argiles) au sein de l'Yprésien**

Les données et interprétations géologiques présentées ici sont issues de l'observation et étude de nombreux sondages carottés (+/- diagraphies) réalisés pour EOLE et le Grand Paris Express)



**GPE : 200 km et 68 gares
→ Plus de 6000 sondages
dont ~ 2200 carottés
(janvier 2019)**

Etudes des sondages carottés à partir :

- **Des coupes de sondages fournies par les géologues des entreprises de sondage : fiabilité (très) variable dans le détail**
- **De l'indispensable observation des photos de carottes**
- **De l'observation d'une sélection de carottes**

*Ce travail d'analyse a permis par ailleurs de réaliser une synthèse écrite associée à un **atlas photographique de carottes de sondages du sous-sol parisien...** mais la SGP préfère reporter sa diffusion*



L18_ANT-AVP-3C02603



L18_ANT-AVP-3C02598



L16_MOF-PRO-3C3314_Band de calcaire dur et marnes/argiles altérées résiduaires

Argile verte

*Autre appellation : Glaises vertes, incluant les Glaises ou Marnes à **Cyrenes** 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. À noter que dans le Sud-Ouest, au droit de la gare Versailles-Chaniers de la ligne 18, l'Argile verte n'est pas formellement identifiable et apparaît absente (Calcaire de Brie directement sur les MMG) ou en tout cas d'épaisseur réduite.

Il s'agit d'une formation argileuse bien individualisée par rapport aux formations marseuses ou **marno-calcaires** qui l'encadrent. Elle est assez homogène, globalement très "serrée" et éventuellement un peu carbonatée (marneuse). Elle est principalement de teinte verte ou gris-vert caractéristique. 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 mais peu visibles au premier abord.*

Le gypse est observé dans certains sondages sous forme de cristallisations éparées ou de petites inclusions ou passées centimétriques à **pluricentimétriques** (par ex. sondage MOF-AVP-SC2190).

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 « **Cyrenes** », d'où le nom de « Glaises ou Marnes à **Cyrenes** » pour cet horizon.

L'Argile verte constitue avec la formation **ypresienne** de l'Argile plastique une des deux « couches » considérées comme quasi-imperméables dans la série tertiaire parisienne.

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



L16_CSM-AVP-3C0809



L16_MOF-AVP-3C2190



L18_ANT-AVP-3C02603



L16_CSM-AVP-3C0809_Faciès bariolé et lité de base

Marnes supragypseuses : Marnes de Pantin et Marnes d'Argenteuil

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

*Les marnes de Pantin et les Marnes d'Argenteuil constituent l'ensemble des "Marnes **supragypseuses**"; différenciées principalement par la couleur, elles présentent des*

The background features a light teal color at the top, which transitions into a white area at the bottom. On the left side, there are dark teal geometric shapes, including a large triangle and a smaller one, creating a modern, abstract design.

**RAPPEL DU CONTEXTE
GÉOLOGIQUE : LA
SÉRIE TERTIAIRE
PARISIENNE**

■

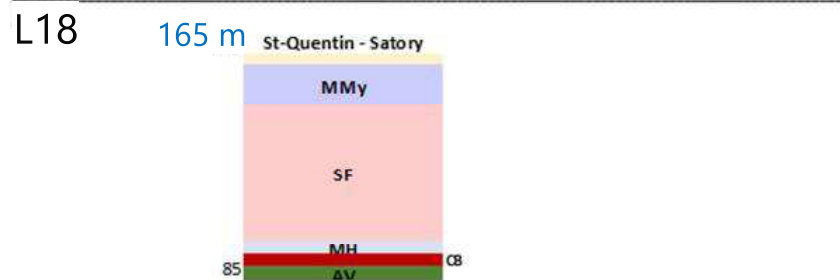
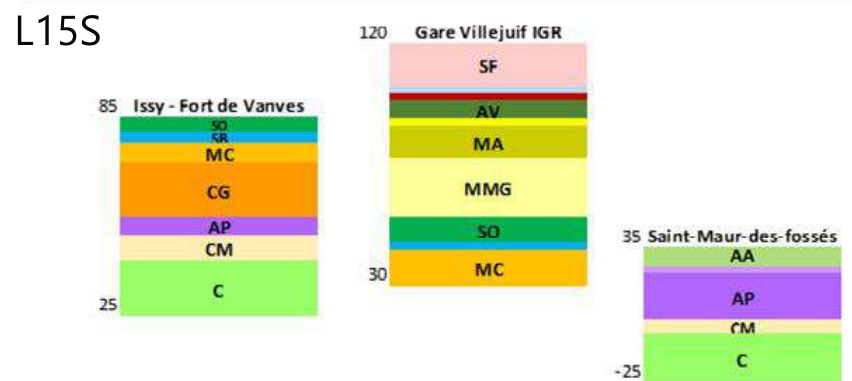
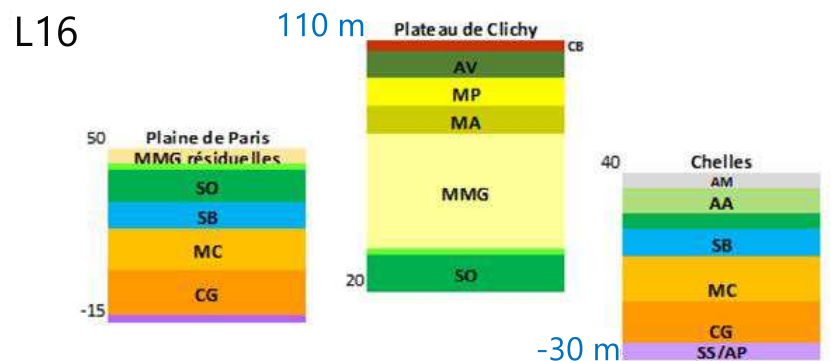
LA SÉRIE TERTIAIRE PARISIENNE

PERIODE	Age (Ma)	SERIE ou EPOQUE	ETAGE	Sous-étage ou équivalent	FORMATION géologique	Milieu de dépôt	
PALEOGENE	23	MIOCENE			<i>Emersion et lacune du Miocène</i>		
	34	OLIGOCENE	CHATTIEN ?		Meulière de Montmorency	<i>Laguno-lacustre à continental</i>	
			RUPELIEN (Stampien)	Stampien s.s.	Sables (et grès) de Fontainebeau	<i>Marin</i>	
				Sannoisien	Marnes à Huîtres	<i>Laguno-marin</i>	
						Calcaire de Brie	<i>Laguno-marin</i>
					Argile verte	<i>Lagunaire</i>	
		EOCENE	PRIABONIEN	Ludien		Marnes de Pantin	<i>Lacustre</i>
						Marnes d'Argenteuil	<i>Lagunaire à marin</i>
						Masses et Marnes du Gypse / Marnes résiduelles / Calcaire de Champigny	<i>Laguno-lacustre à continental ?</i>
	BARTONIEN		Marinésien	Sables verts ou Sables de Monceau	<i>Saumâtre - marin</i>		
			Auversien	Calcaire de St-Ouen s.l.	<i>Laguno-lacustre (à marin)</i>		
					<i>Emersion</i>		
	LUTETIEN		Lut. Sup. - Bartonien inf.	Marnes et Caillasses	<i>Laguno-saumâtre</i>		
			Lutétien inf. à sup.	Calcaire grossier	<i>Marin (laguno-lacustre pdt une courte période)</i>		
	56	YPRESIEN	<i>Emersion et lacune (2 Ma)</i>				
			Cuisien	Yprésien sablo-argileux	Sables de Cuise	<i>Marin littoral</i>	
			Sparnacien		Sables supérieurs	<i>Lagunaire (saumâtre)</i>	
					Fausses glaises	<i>Laguno-continental</i>	
					Sables d'Auteuil	<i>Littoral à continental</i>	
			Argile plastique	<i>Fluvio-lacustre</i>			
65	PALEOCENE	THANETIEN	<i>Emersion et lacune du Thanétien au niveau de Paris</i>				
		SELANDIEN	Dano-Montien	Calcaires et marnes de Meudon	<i>Saumâtre (base) à lacustre/continental</i>		
		DANIEN					
84	CRETACE SUPERIEUR	<i>Emersion, altération, érosion et ravinement de la craie</i>					
		CAMPANIEN		Craie à silex	<i>Marin</i>		

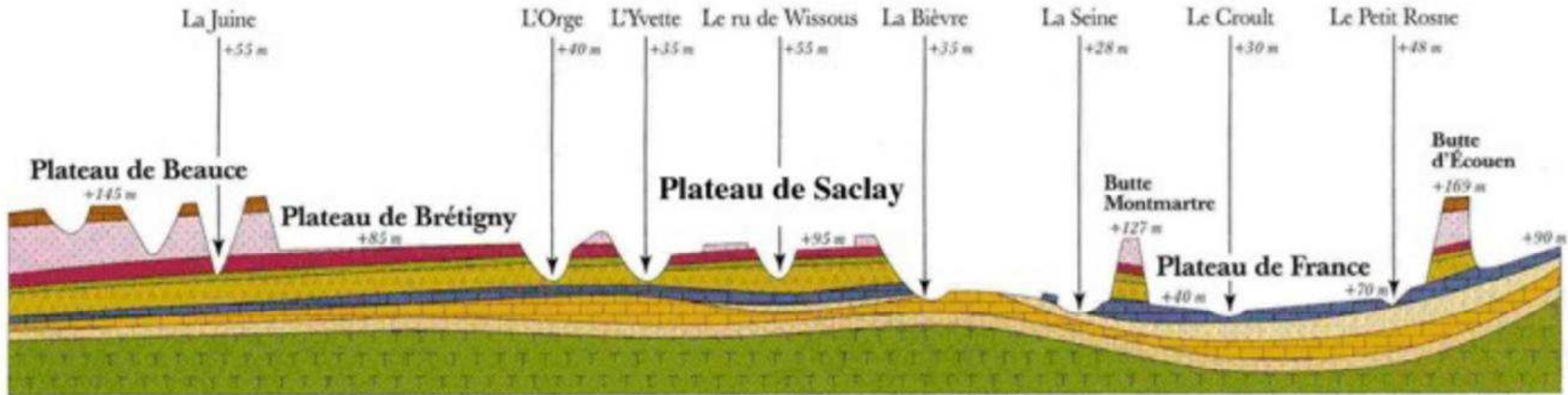
VARIABILITÉ DES SUCCESSIONS DE COUCHES OBSERVÉES

Sur le terrain, la série tertiaire est fréquemment incomplète (érosion partielle) et jamais entièrement reconnue dans un même secteur.

Les successions lithostratigraphiques traversées le long des lignes du GPE varient en fonction de l'altitude locale, de la géométrie générale des couches et de leurs variations d'épaisseur.



Coupe géologique d'Étampes à Luzarches



Stampien

- calcaire de Beauce
- sables de Fontainebleau
- calcaire de Brie

Éocène

- argiles vertes
- gypse et marnes de gypse
- calcaire de Saint-Ouen
- sables de Beauchamps
- calcaire grossier
- argiles plastiques

Crétacé

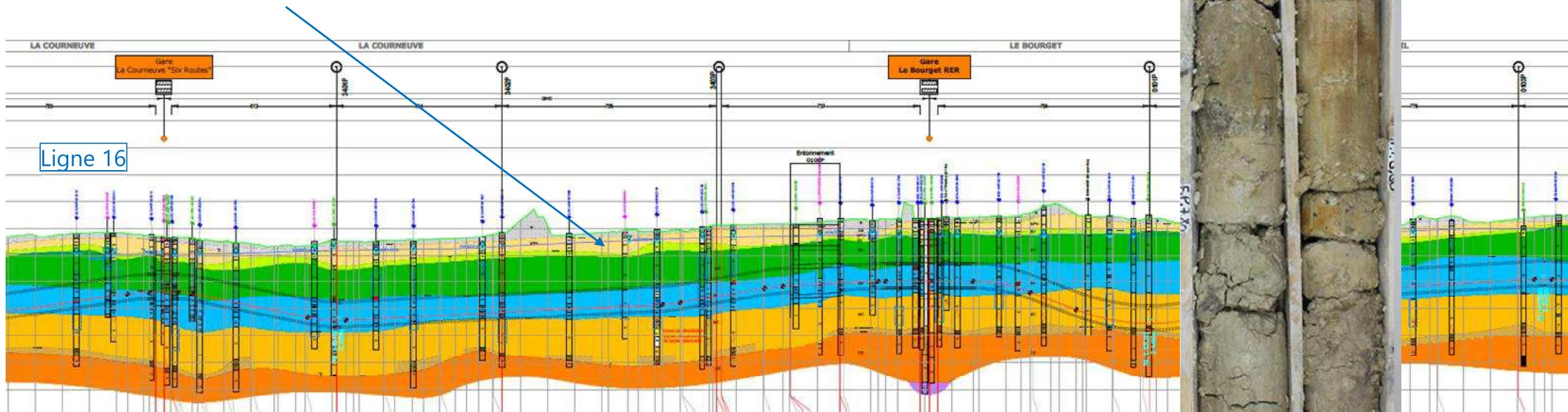
- craie

**LES (FAUSSES) « MARNES
À PHOLADOMYES » =
FORMATION RÉSIDUELLE
DES MASSES ET MARNES
DU GYPSE**

■

LES MARNES PRIABONIENNES AU-DESSUS DES SABLES VERTS / « MARNES À PHOLADOMYES »

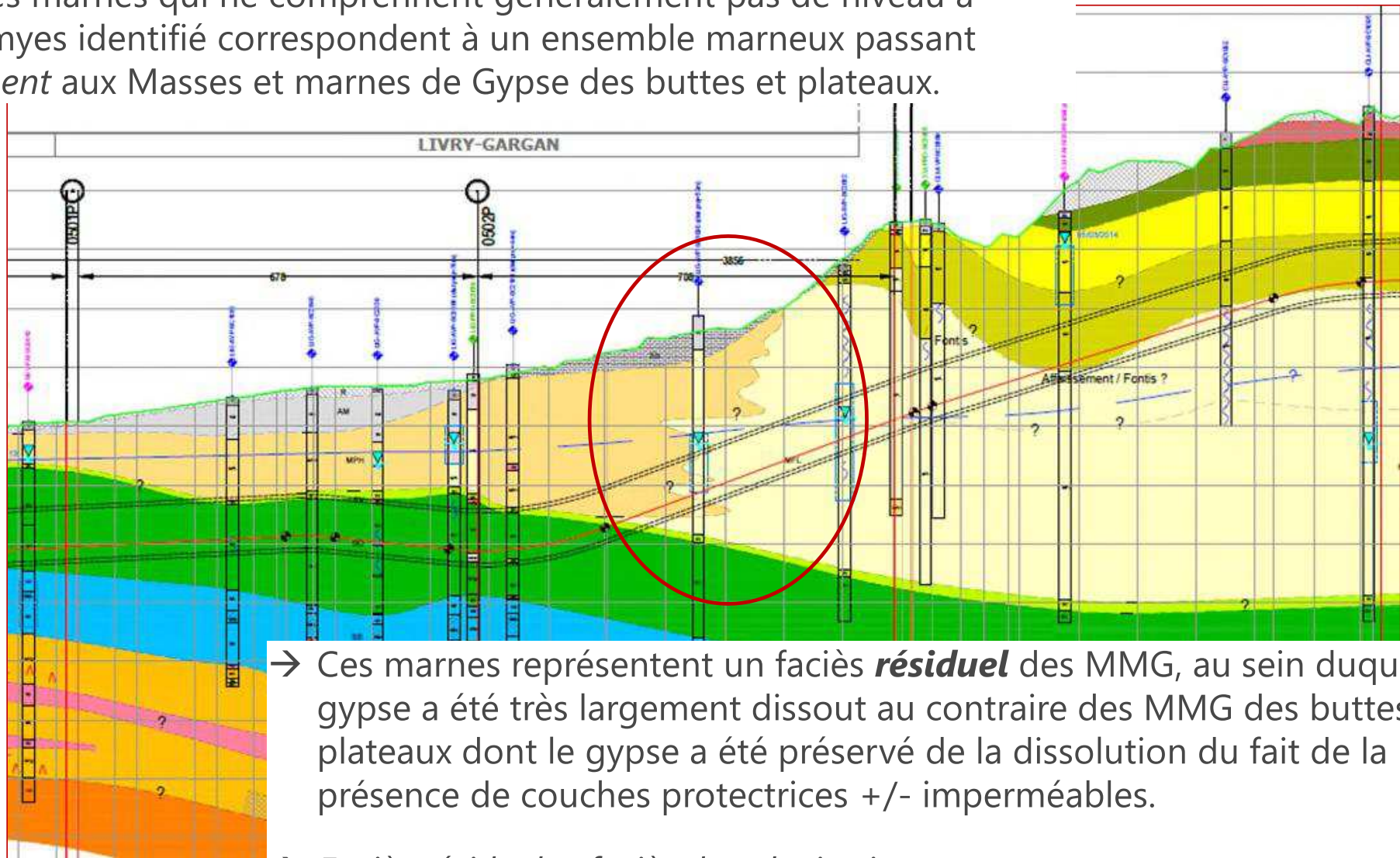
Dans les zones basses de Paris et autour (cf. Plaine de France), le sommet de la série tertiaire est fréquemment représenté au-dessus des Sables verts par plusieurs mètres de marnes assez compactes et à peu près non gypseuses.



Ces marnes sont fréquemment (cf. L16) rapportées à l'horizon des « Marnes à Pholadomyes » (MPH)...



En fait, ces marnes qui ne comprennent généralement pas de niveau à Pholadomyes identifié correspondent à un ensemble marneux passant *latéralement* aux Masses et marnes de Gypse des buttes et plateaux.



→ Ces marnes représentent un faciès **résiduel** des MMG, au sein duquel le gypse a été très largement dissout au contraire des MMG des buttes et plateaux dont le gypse a été préservé de la dissolution du fait de la présence de couches protectrices +/- imperméables.

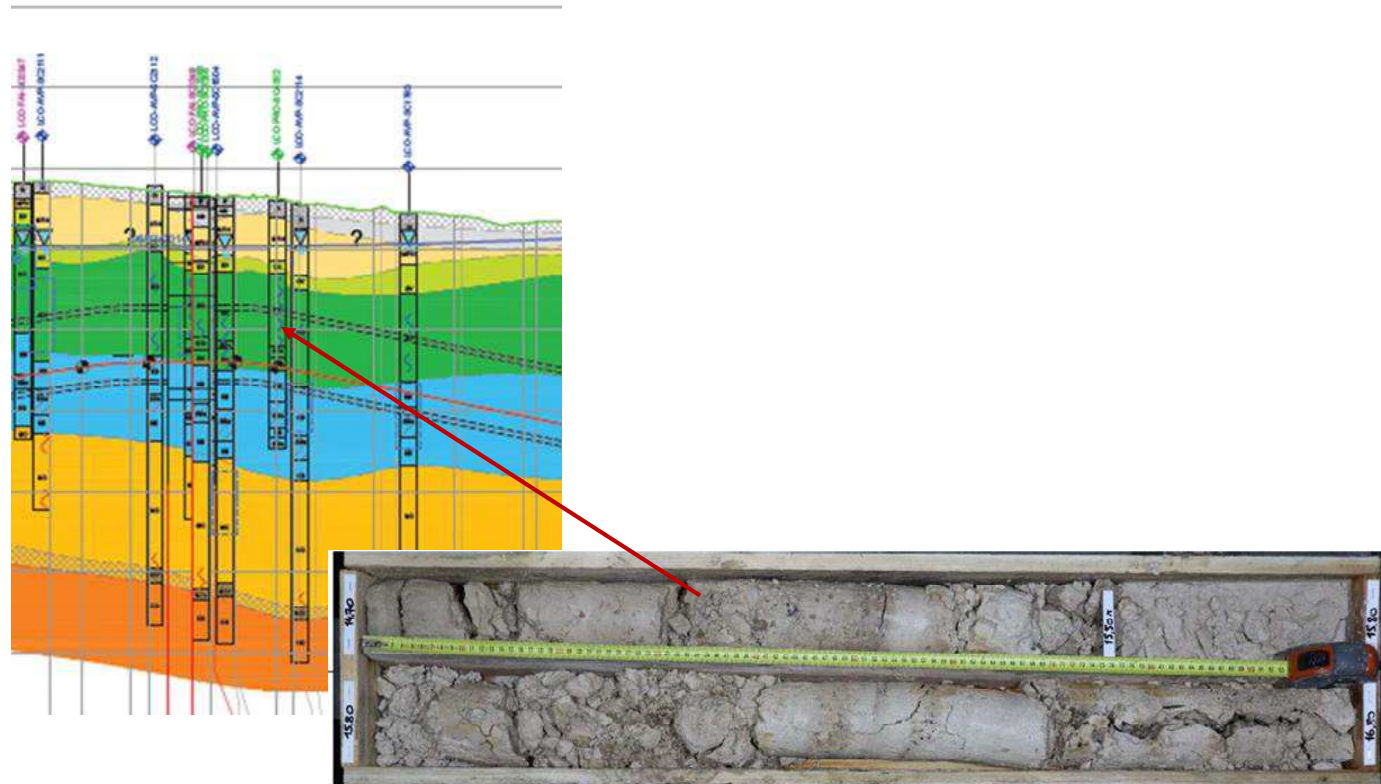
→ *Faciès résiduel ≠ faciès de substitution*

**L'ALTÉRATION DES
FORMATIONS
CALCAIRES SO, MC ET
CG EN POSITION
SUPERFICIELLE**

■

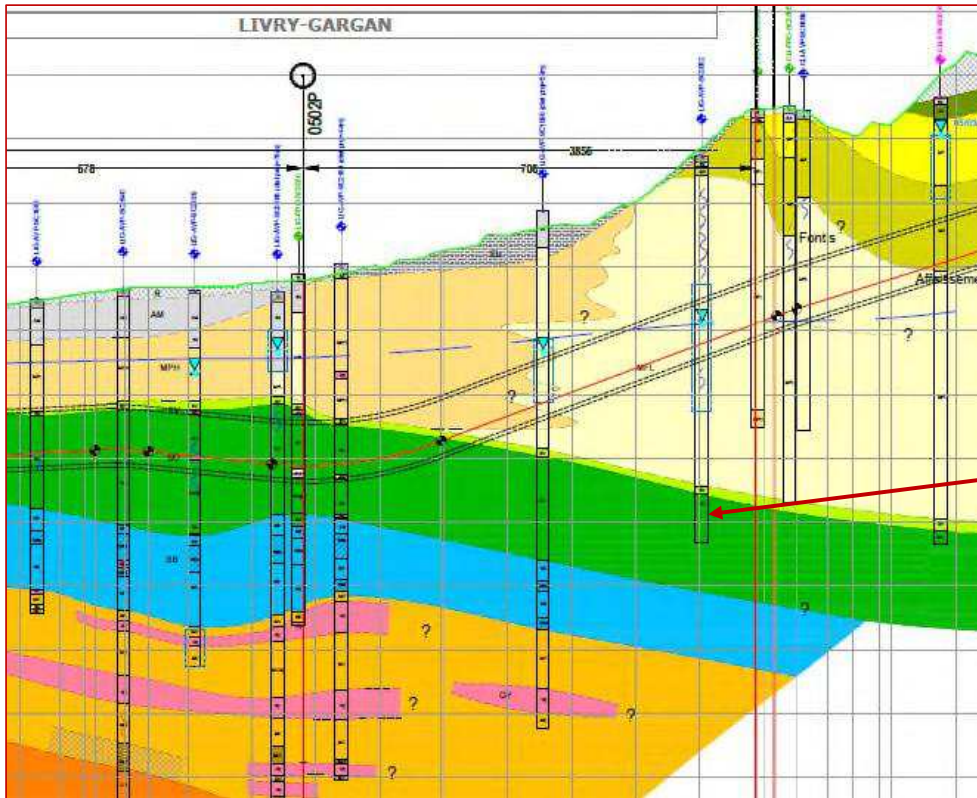
CALCAIRE DE ST-OUEN (Bartonien / *Marinesien*)

Lorsque près de la surface (cf. Plaine de France), la formation est altérée (tendre et friable) → altération superficielle (pas ou peu de traces de dissolution caractérisée de gypse)



CALCAIRE DE ST-OUEN

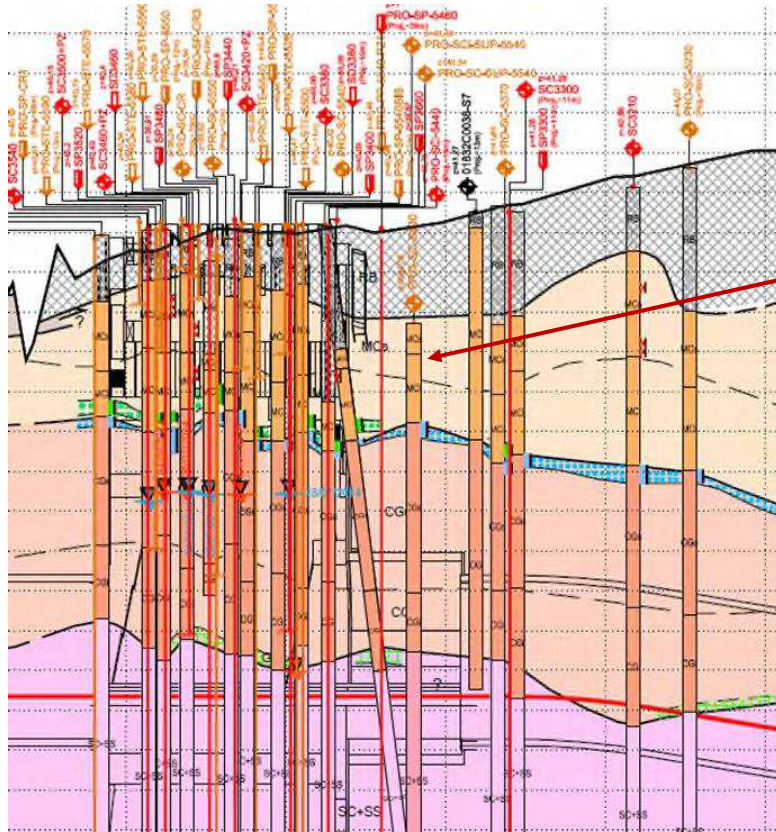
Plus en profondeur, le calcaire (+/- marneux) est préservé de l'altération → **plus massif et compact**



→ *Idem pour les Marnes et Caillasses (hors phénomènes de dissolution du gypse)*

MARNES ET CAILLASSES (Lutétien sup / Bartonien inf)

Faciès tendres et déstructurés près de la surface → altération superficielle du calcaire (en plus de la dissolution du gypse, voir plus loin)



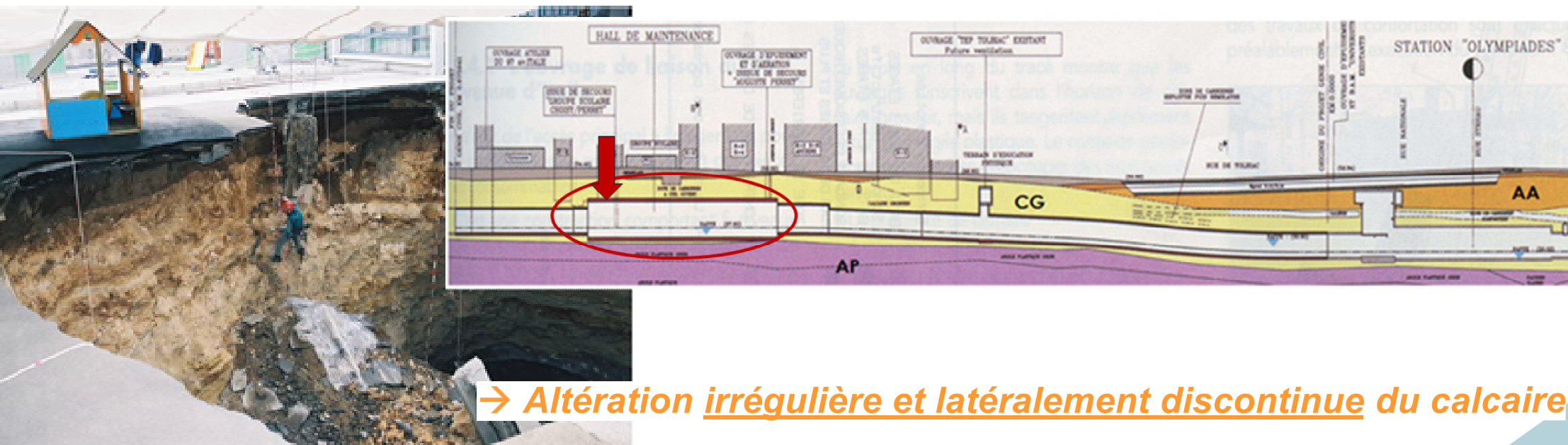
Exemple de faciès sain de Marnes et Caillasses



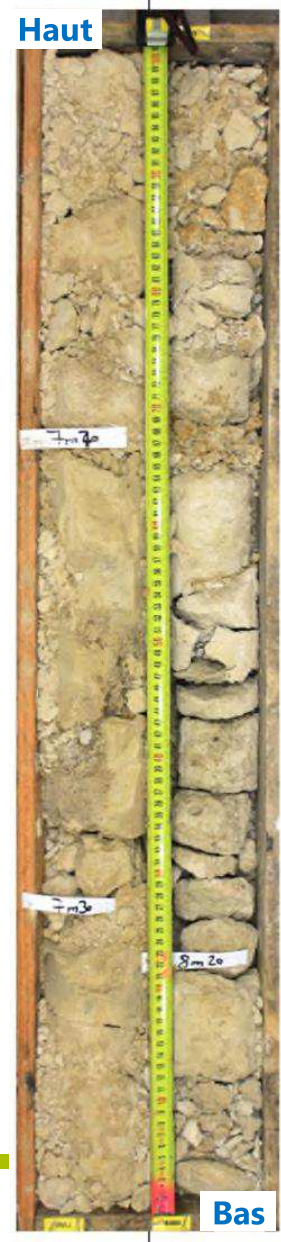
CALCAIRE GROSSIER (Lutétien) : FACIÈS ALTÉRÉS IDENTIFIÉS DANS PLUSIEURS SECTEURS (PRÈS DE LA SURFACE)

→ **Cas historique du fontis de l'École Perret** en 2003 dans le calcaire grossier (hall de maintenance ligne 14) : faciès meuble à faible cohésion non reconnu/caractérisé au préalable (non exploité en carrière)

→ 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.



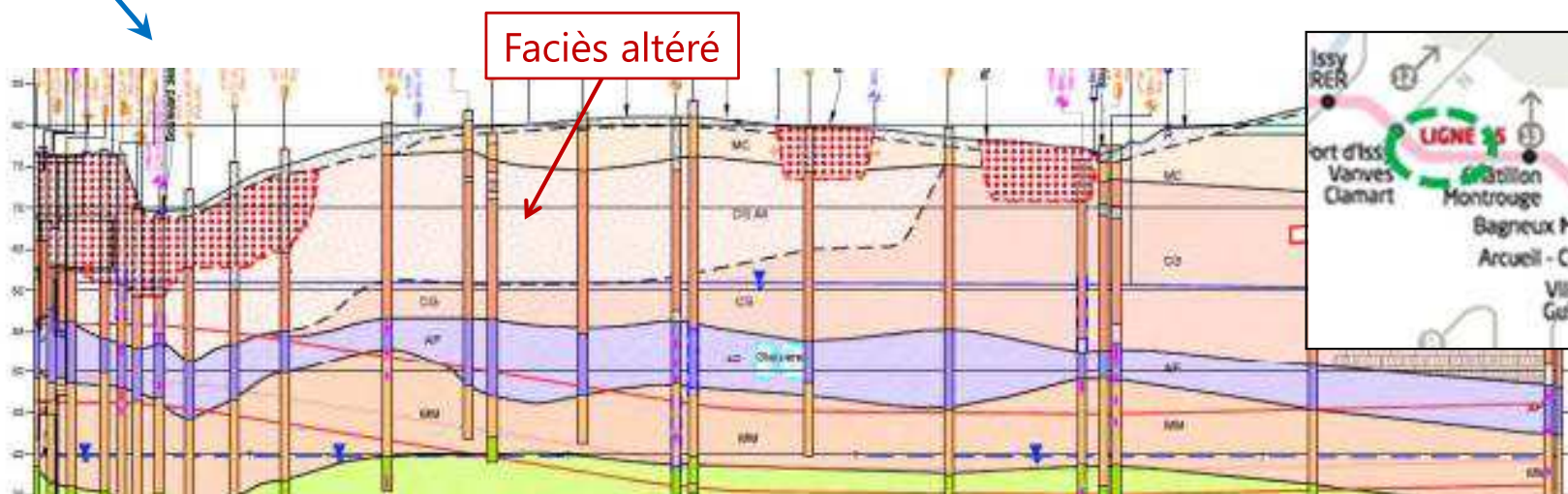
→ Altération irrégulière et latéralement discontinue du calcaire



CALCAIRE GROSSIER ALTÉRÉ :

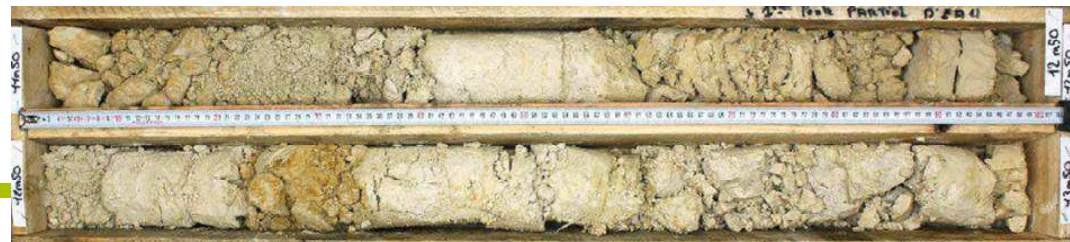
→ Exemple du secteur entre Issy et Villejuif (Ligne 15 Sud-Ouest)

- Grandes masses de Calcaire grossier altéré (sur 650 m et sur 200 m).
- Le calcaire est à nouveau en position subaffleurante et l'altération observée, irrégulière, est très vraisemblablement d'origine superficielle.
- *Cependant, comme pour le cas précédent (L14), des variations originelles de faciès ont pu « guider » les variations d'altération aujourd'hui observées.*



ALTÉRATION ET DÉGRADATION DES FORMATIONS CALCAIRES EN SURFACE

- Les formations de St-Ouen, des Marnes et Caillasses et du Calcaire grossier (de manière plus irrégulière) présentent toutes un caractère attendri et friable lorsqu'elles sont proches de la surface et sujettes à l'altération superficielle ;
- C'est particulièrement notable pour le Calcaire grossier qui voit ses caractéristiques mécaniques fortement dégradées en (sub)surface.
- *Cette altération n'est pas associée à de la dissolution du gypse (ou de manière partielle) ; elle traduit vraisemblablement des phénomènes de dissolution diffuse du calcaire (pas une karstification franche). Elle n'est pas associée pour ces formations à la précipitation de silice et la formation de meulières*

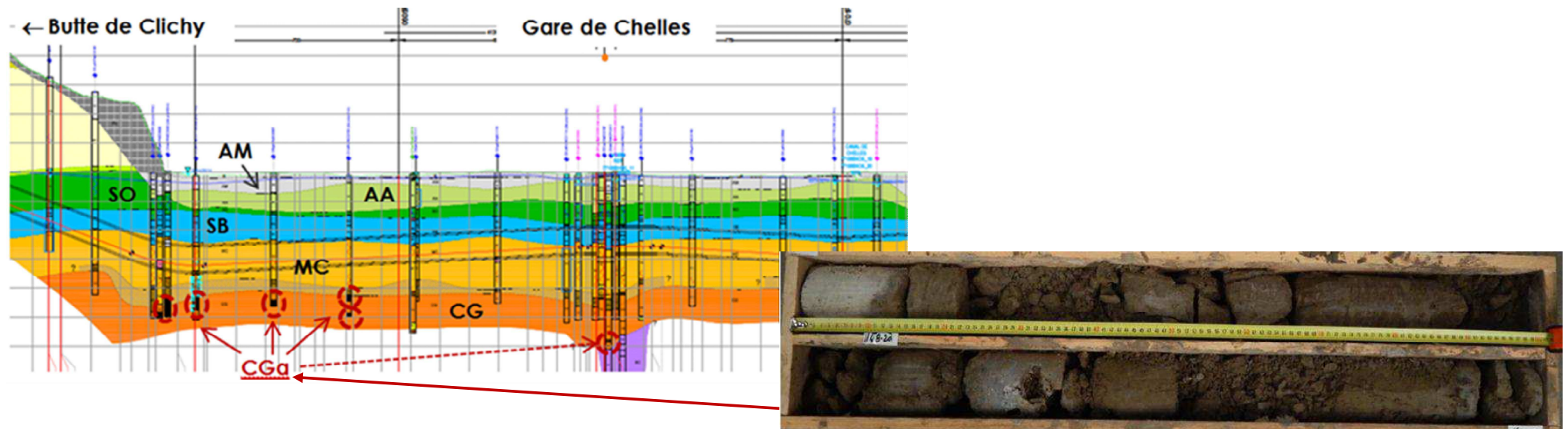


**L'ALTÉRATION
« PROFONDE »
DU CALCAIRE GROSSIER
ET DES MARNES ET
CAILLASSES (PAR
DISSOLUTION DU GYPSE)**

■

ALTÉRATION PROFONDE DU CALCAIRE GROSSIER

En profondeur, le Calcaire grossier peut présenter *localement* des faciès altérés friables brun sombre. Ils ont notamment été observés sous la vallée de la Marne à Chelles → Ces faciès sont répartis de manière éparse sans continuité d'un sondage à l'autre.



Ces faciès sont actuellement immergés dans la nappe aquifère du Lutétien.

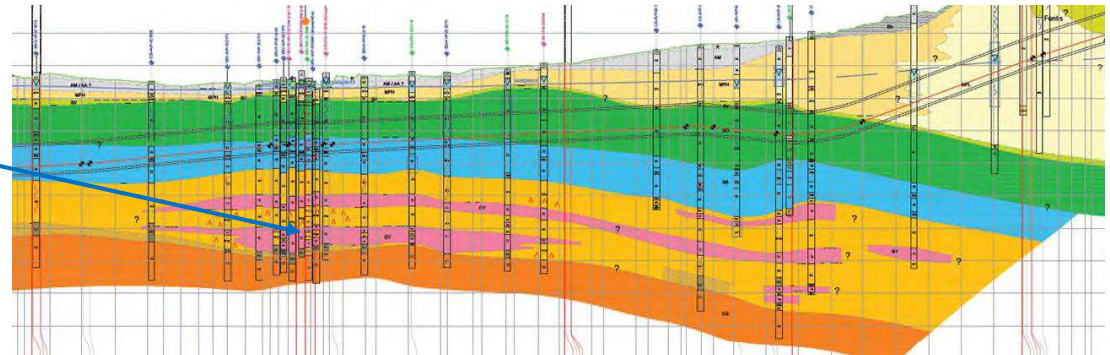
Mais ils pourraient s'être initialement localisés dans la zone de battement de la nappe en considérant que le toit de celle-ci était alors en position plus basse (pendant les temps glaciaires ?)

LES MARNES ET CAILLASSES

Les Marnes et Caillasses sont constituées principalement de **calcaire** +/- marneux semi-rocheux à tendres (mais rarement des marnes !) et d'intercalations de calcaire dur (cf. Banc de Rochette près de la base), d'argile sombre magnésienne...



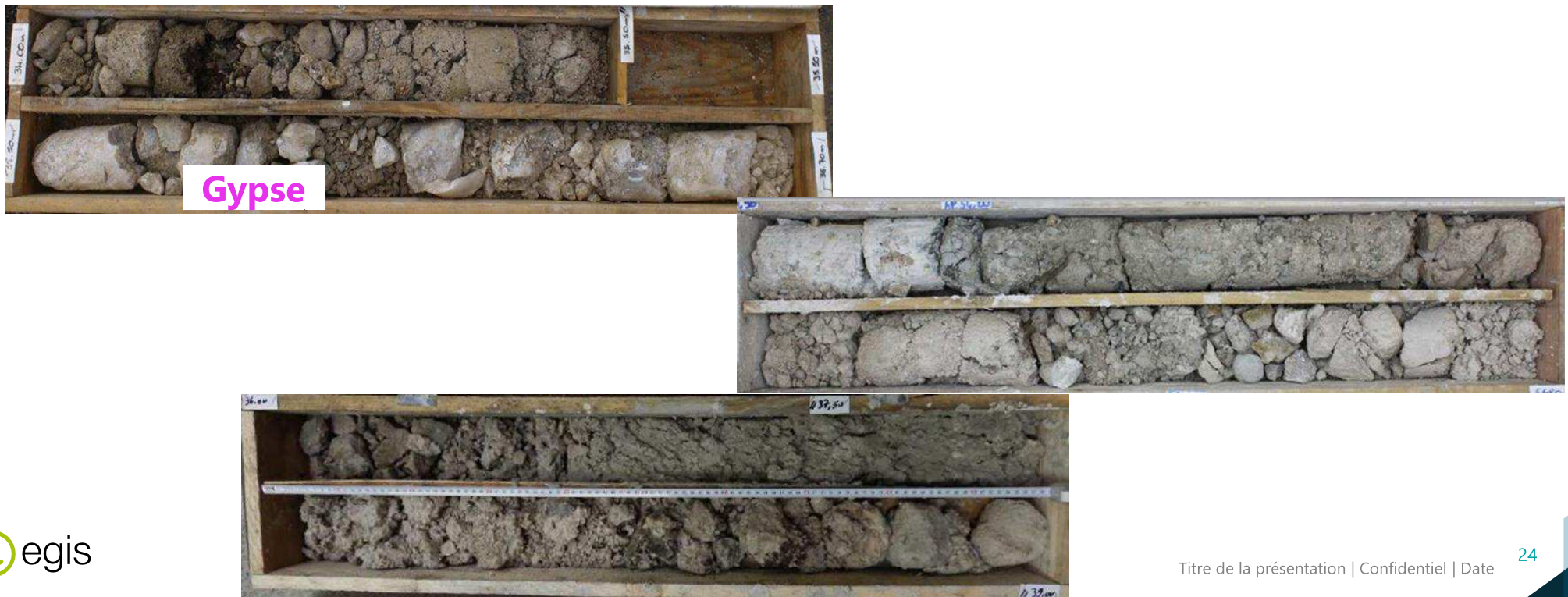
...et de **gypse** irrégulièrement présent de manière diffuse ou en lentilles ou bancs localement très développés.



Dans leur état « normal » préservé, les Marnes et caillasses sont des terrains globalement assez **massifs et compacts**.

ALTÉRATION PROFONDE DES MARNES ET CAILLASSES PAR DISSOLUTION DU GYPSE

Les Marnes et Caillasses présentent de manière bien connue des zones « déstructurées » (très fragmentées à désagrégées) voire de cavités classiquement mises en relation avec des phénomènes de dissolution du gypse (initialement inclus dans la formation) par les eaux circulantes.

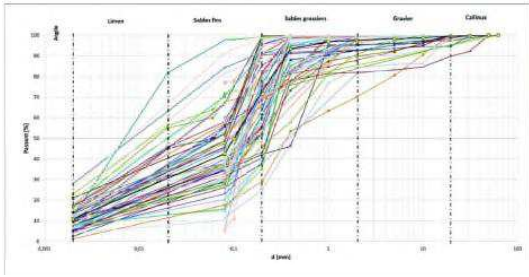


L'HORIZON ARGILEUX MÉDIAN DES SABLES DE BEAUCHAMP ?

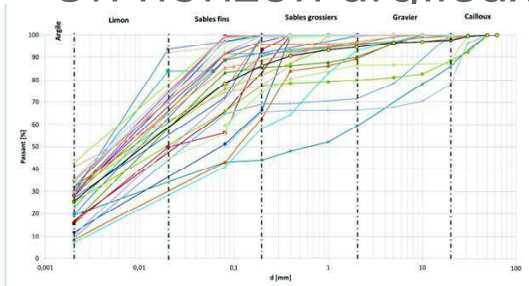
**+ FACIÈS CALCAIRE DUR
DANS LES SB**

L'HORIZON ARGILEUX MÉDIAN AU SEIN DES SABLES DE BEAUCHAMP (Bartonien / Auversien) ?

Sables de Beauchamp : sables fins limoneux et +/- argileux



Un horizon argileux est fréquemment décrit en position médiane.



Cet horizon constitue potentiellement un niveau imperméable (« écran médian ») séparant deux aquifères → *conséquences potentielles en génie civil.*

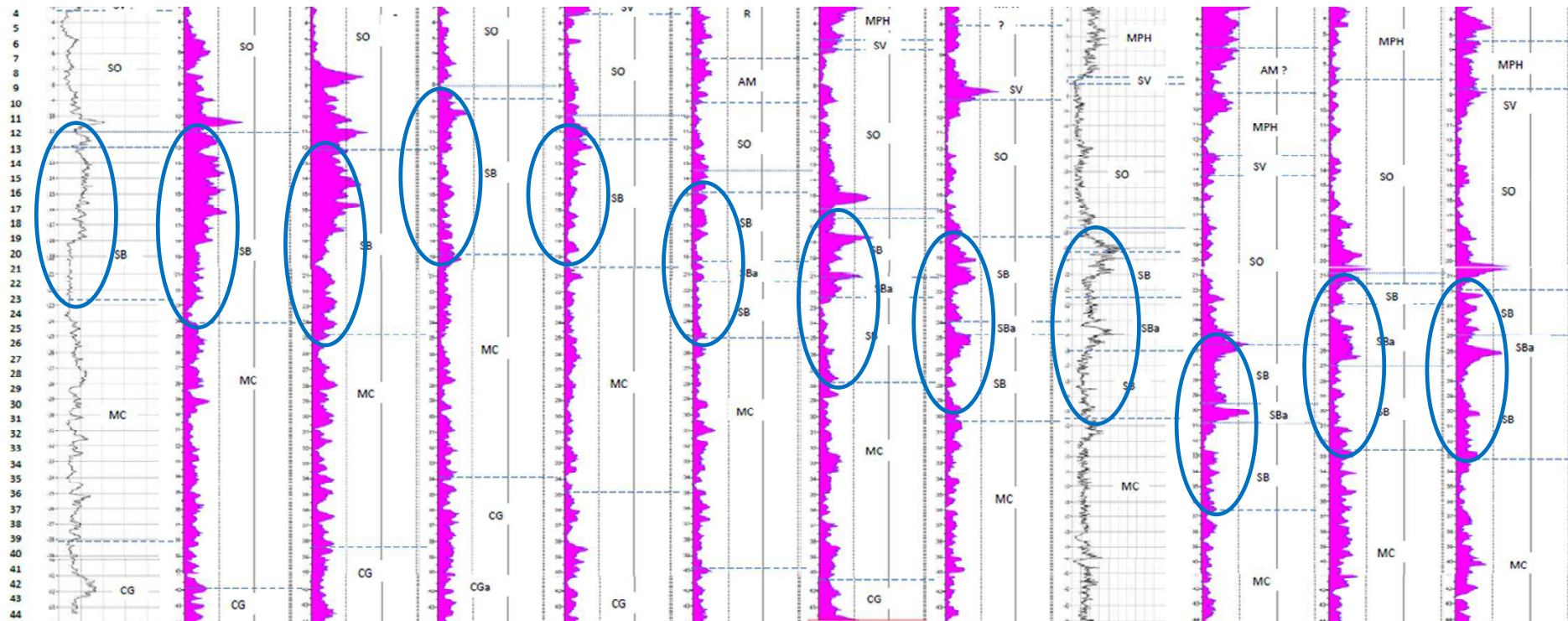
Cette horizon est cependant difficile à identifier à l'œil nu. Les observations des sondages du Grand Paris Express et surtout des **diagrapgies RAN**

ⓔ (gamma-ray) permettent de préciser ou de revenir sur la réalité de cet horizon

GAMMA-RAY ET ARGILOSITÉ DES SABLES DE BEAUCHAMP

1^{er} exemple

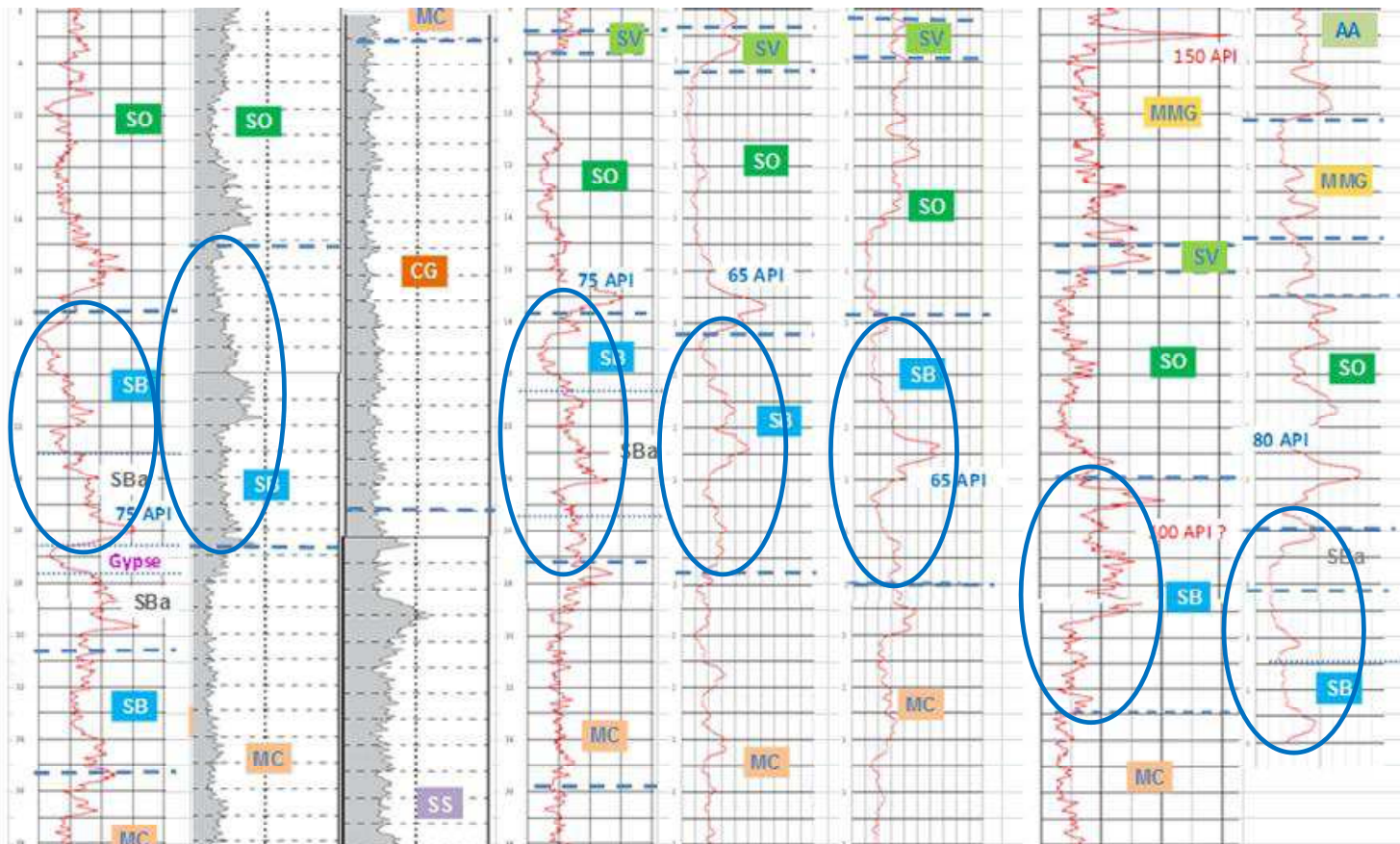
Distance représentée = ~ 4 km



L'argilosité et sa répartition est très variable le long du linéaire
→ pas d'horizon médian régulièrement identifié

GAMMA-RAY ET ARGILOSITÉ DES SABLES DE BEAUCHAMP

2^{ème} exemple



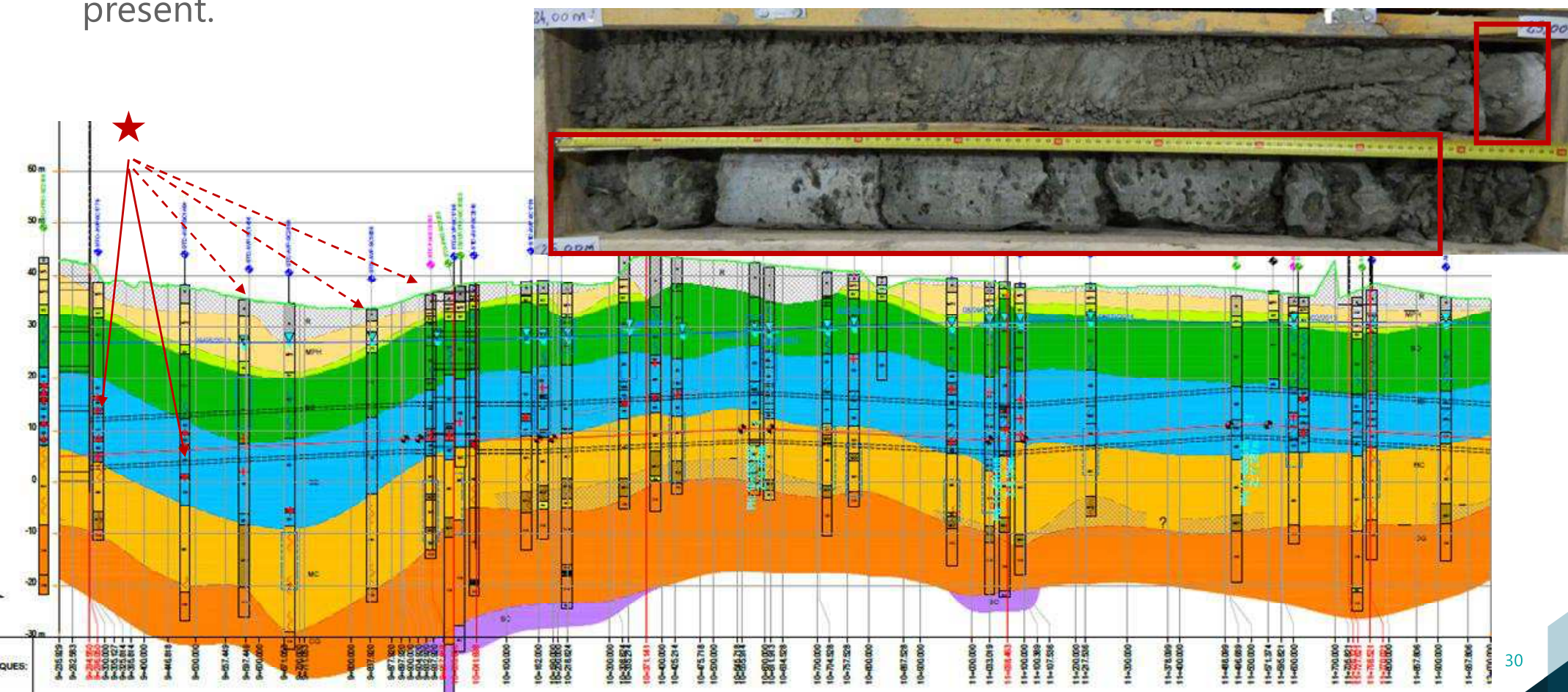
Un horizon argileux médian est identifié à plusieurs reprises mais pas systématiquement → irrégulier et discontinu

ARGILOSITÉ DES SABLES DE BEAUCHAMP ET HORIZON MÉDIAN

- Les sables de Beauchamp montrent une argilosité très variable verticalement et latéralement.
- Un horizon argileux est souvent identifié en position médiane et parfois sur des secteurs étendus.
- Mais ce n'est pas le cas général et l'existence de cet horizon médian doit être démontrée au cas par cas.

SABLES DE BEAUCHAMP : BANCS CALCAIRES DURS LOCALISÉS

Des lentilles ou bancs durs de calcaire (\neq grès) sont abondamment rencontrés sur xdm à $> m$ à plusieurs niveaux dans le secteur de St-Denis-Pleyel (L16). Non décrits jusqu'à présent.



**VARIABILITÉ DE LA
STRATIGRAPHIE
INTERNE AU SEIN DE
L'ENSEMBLE YPRÉSISIEN**

■

L'ENSEMBLE YPRÉSIEN

Plusieurs couches sont classiquement distinguées au sein de la série yprésienne parisienne :

56	PALEOCENE	LUTETIEN	Lutétien inf. à sup.	Calcaire grossier	<i>Marin (laguno-lacustre pdt une courte période)</i>	
		YPRESIEN	<i>Emersion et lacune (2 Ma)</i>			
			Cuisien	Yprésien sablo-argileux	Sables de Cuise	<i>Marin littoral</i>
			Sparnacien		Sables supérieurs	<i>Lagunaire (saumâtre)</i>
					Fausses glaises	<i>Laguno-continental</i>
					Sables d'Auteuil	<i>Littoral à continental</i>
Argile plastique		<i>Fluvio-lacustre</i>				
		THANETIEN	<i>Emersion et lacune du Thanétien au niveau de Paris</i>			
		SELANDIEN	<i>Dano-Montien</i>	Calcaires et marnes de Meudon	<i>Saumâtre (base) à lacustre/continental</i>	
		DANIEN				

Mais cette stratigraphie interne est « mouvante » et n'est souvent que partiellement identifiable

YPRÉSIEN : SABLES DE CUISE VS SABLES SUPÉRIEURS

- Les formations des « Sables de Cuise » et des « Sables supérieurs » sont deux formations distinctes avec leurs caractéristiques propres : glauconie dans les SC, lignite dans les SS et d'âge et de contexte différents : Cuisien vs Sparnacien et sables marins vs sables lagunaires.



- Mais la distinction n'est pas aisée et rarement faite → les deux appellations sont alternativement utilisées en sondage (sans critères lithologiques) ou regroupées (SC+SS).
- Dans les faits, on observe rarement le faciès typique des Sables de Cuise dans le sous-sol parisien → surtout **Sables supérieurs**

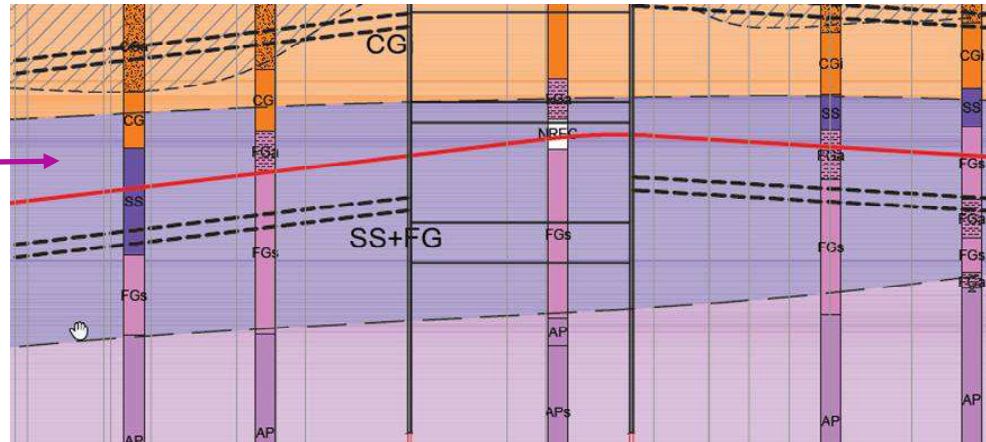
		<i>Emersion et lacune (2 Ma)</i>		
		YPRESIEN	Cuisien	Yprésien sablo- argileux
Sparnacien	Sables supérieurs		<i>Lagunaire (saumâtre)</i>	
	Fausses glaises		<i>Laguno-continental</i>	
	Sables d'Auteuil		<i>Littoral à continental</i>	
	Argile plastique		<i>Fluvio-lacustre</i>	

SABLES SUPÉRIEURS – FAUSSES GLAISES – SABLES D'AUTEUIL

Sous les Sables de Cuise s.s. et au-dessus de l'Argile plastique, la stratigraphie intra-yprésienne est généralement décrite par la trilogie Sables supérieurs – Fausses glaises – Sables d'Auteuil. Cependant :

- les Fausses glaises se distinguent par un enrichissement net en horizons argileux sombres séparés par des niveaux de sable identique aux Sables supérieurs *mais* cet enrichissement n'est pas toujours observé et on a alors (localement) un ensemble essentiellement sableux (de type « Sables supérieurs »)

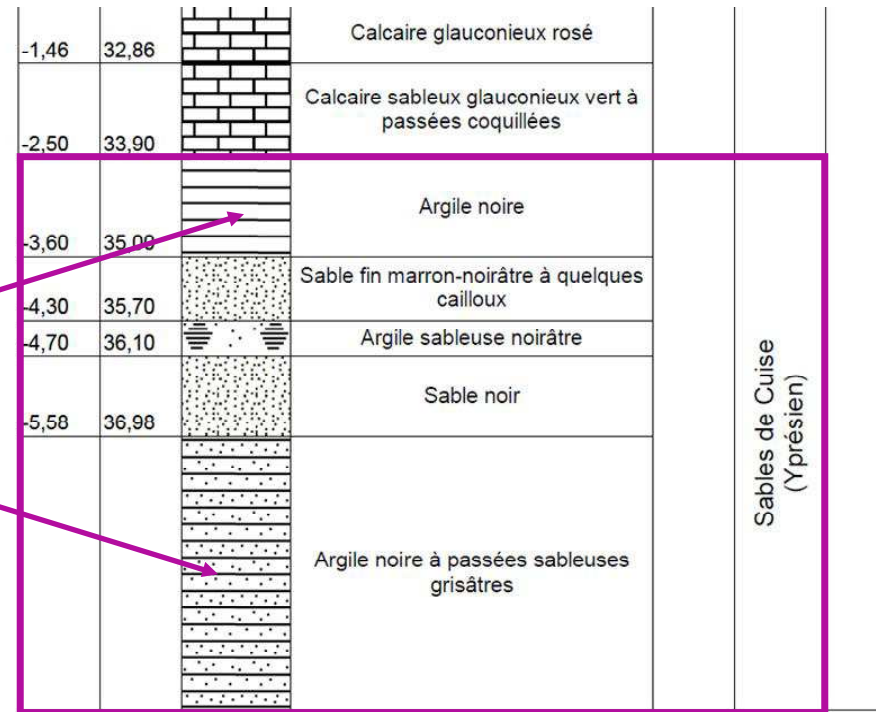
Ensemble essentiellement sableux entre CG et AP



SABLES SUPÉRIEURS – FAUSSES GLAISES – SABLES D'AUTEUIL

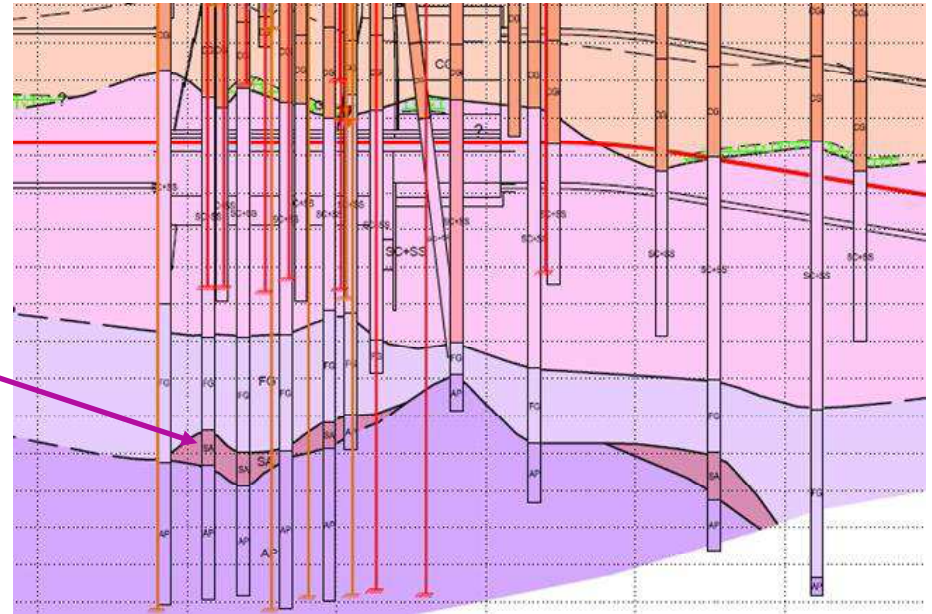
- A contrario, des horizons argileux épais sont localement observés en position haute dans les SS sous le Calcaire grossier

Argiles noires



SABLES SUPÉRIEURS – FAUSSES GLAISES – SABLES D'AUTEUIL

- Quand les Fausses glaises sont bien individualisées, on n'observe pas régulièrement à la base un horizon sableux pouvant être rapporté aux **Sables d'Auteuil**. Mais quand c'est le cas cet horizon présente le même aspect que les Sables supérieurs et apparaît discontinu.

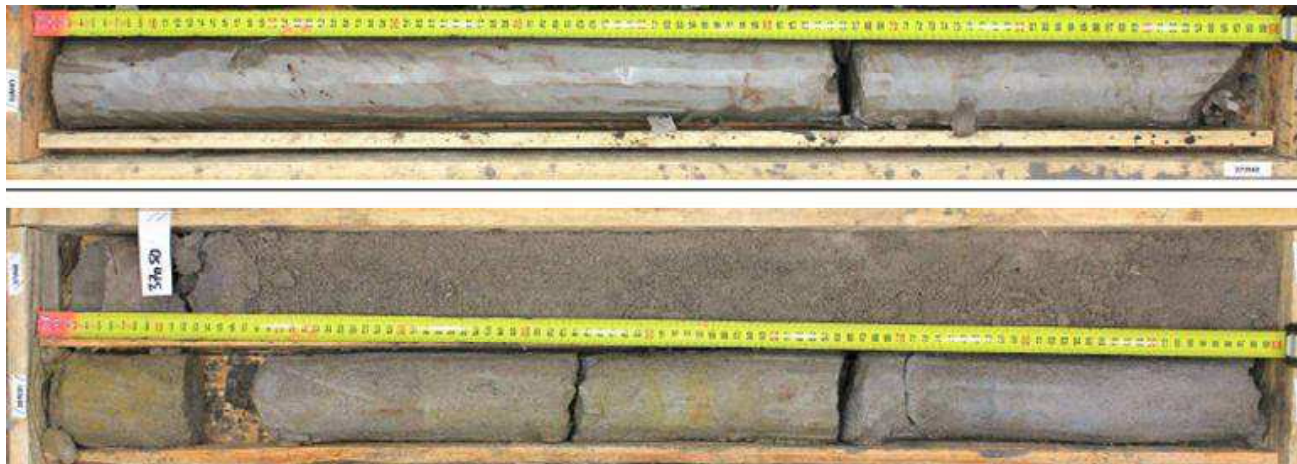


→ La trilogie SS – FG – SA ne présente pas un caractère régulier et continu au sein de l'Yprésien, il est *parfois* vain et peu pertinent de vouloir l'identifier partiellement ou totalement → distinguer les lithologies plutôt que la stratigraphie.

ARGILE PLASTIQUE : NIVEAUX SABLEUX

L'Argile plastique (ou les Argiles plastiques...) présentent le plus souvent un caractère homogène avec une partie supérieure d'argiles grises et une partie moyenne-inférieure d'argiles bariolées caractéristiques.

Du **sable** est cependant présent localement et parfois de manière développée (L15 Sud).





SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

■

SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

- Les **MMG** préservées des buttes et plateaux passent *latéralement* à des **marnes résiduelles** à gypse dissout (pseudo « Marnes à Pholadomyes »).
- Les **calcaires** des formations SO, MC et CG sont généralement **altérés** lorsqu'ils sont proches de la surface par altération superficielle « diffuse » du calcaire (?).
- En profondeur, l'altération se marque principalement par la **dissolution du gypse des Marnes et Caillasses** qui sont alors déstructurées ou présentent des cavités (karstiques).
- Dans les **Sables de Beauchamp**, l'argilosité est variable verticalement et horizontalement. Un *horizon argileux médian* est (souvent) identifié mais ce n'est **pas le cas général**.
- Les **SB** renferment de nombreux bancs ou lentilles de **calcaire dur** dans le secteur de St-Denis-Pleyel
- Dans **l'Yprésien**, au-dessus de l'Argile plastique, l'ensemble sablo-argileux montre une **lithostratigraphie interne hétérogène et irrégulière** (organisation +/- lenticulaire).
- Des horizons et lentilles de **sable** sont *localement* bien développés dans **l'Argile plastique**

→ **ces observations renforcent la forte variabilité de contenu (de faciès) au sein de la Série tertiaire parisienne**

Observations géologiques en cours de travaux

