

Chapitre 4

Géologie

La géologie, c'est-à-dire la nature des matériaux et la géométrie des couches qui constituent le sous-sol de la Bassée, est extrêmement importante parce qu'elle conditionne, directement, les perméabilités et, indirectement, les écoulements souterrains.

Les données géologiques proviennent de sources nombreuses et diverses. Parmi celles-ci :

- cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 : feuilles de Montereau-Faut-Yonne (XXV-17 (295)), de Sergines (XXVI-17 (296)), de Nangis (XXV-16 (259)) et de Provins (XXVI-16 (260));
- étude « Possibilités aquifères des alluvions du Val-de-Seine » (BRGM, 1967) au cours de laquelle ont été recueillies de nombreuses données, publiées dans une série de rapports techniques à faible diffusion¹. Une synthèse de ces données a ensuite été publiée dans la collection des Mémoires du BRGM². Il y a quelques légères divergences entre les deux documents, notamment en ce qui concerne l'interprétation des essais de pompage ;
- nouvelles données (géologiques, géophysiques et hydrogéologiques) acquises en 2001–2003, entre Montereau et Bray-sur-Seine, dans le cadre du Projet Bassée ;
- données acquises dans le cadre de projets locaux (carrières, champs captants...)

Contexte régional

Le contexte régional du Projet Bassée est caractérisé par un *substratum* unique et deux types de recouvrements, distincts par leur nature et par leur position géographique.

Le substratum est constitué de craie, épaisse de plusieurs centaines de mètres.

Il existe deux formes principales de recouvrement de la Craie :

- le plateau d'Ile-de-France, au nord de la zone d'étude ;
- les Alluvions du lit majeur de la Seine.

Les limons qui recouvrent la Craie affleurante peuvent être considérés comme des niveaux pédologiques (sols).

Le plateau d'Ile-de-France

D'après Mégnien (1967), le plateau d'Ile-de-France est formé de la série géologique Tertiaire suivante³, du haut vers le bas :

Sables de Fontainebleau (Stampien). Sables fins micacés comportant des bancs gréseux compacts alignés sensiblement selon une direction est-ouest (épaisseur moyenne 10 m ; se trouvent en lambeaux à la surface du plateau) ;

¹BRGM (1965). Possibilités aquifères des alluvions du Val-de-Seine entre Nogent-sur-Seine et Montereau.

²Mégnien C. (1979). Hydrogéologie du centre du Bassin de Paris. Contribution à l'étude de quelques aquifères principaux. Mémoire du BRGM No. 98.

³Thiry et Hanot donnent une description un peu différente.

Calcaire de Brie (Sannoisien supérieur). Calcaires compacts, roux ou blanchâtres, souvent meuliérisés, avec intercalations marneuses à la base. Les calcaires sont souvent perforés de conduits et de tubulures. La silicification est irrégulière (épaisseur moyenne 5 m) ;

Marnes vertes et supragypseuses (Sannoisien inférieur et Ludien « supérieur »). Par le terme « Marnes vertes et supragypseuses » on désigne une série à dominante marneuse qui comprend normalement les niveaux suivants :

- « Marnes vertes » (5 m) : argiles marneuses plastiques vert-jaunâtres avec marnes et niveaux carbonatés blancs ;
- « Marnes à Cyrènes » (0.5 m) : marnes finement siliceuses, varvées, vertes et ocres ;
- « Marnes de Pantin » (3 m) : marnes calcaires blanchâtres d'aspect crayeux avec fissuration verticale et prismatique, assez consistantes. Souvent s'y intercalent des niveaux marneux verts, et le sommet est fréquemment silicifié (silice translucide grise et brune). Il s'agit d'un faciès lacustre assez constant ;
- « Marnes d'Argenteuil » (8m) : marnes plastiques feuilletées vertes ou bleues devenant jaunâtres et dures vers la base.

À l'est d'une ligne Provins–Gurcy-le-Châtel, cette série devient entièrement marno-calcaire et elle n'est plus discernable du Calcaire de Brie et du Calcaire de Champigny.

Calcaire de Champigny (Ludien, Bartonien, Lutétien). Le Calcaire de Champigny est pris ici dans son acception la plus large ; c'est une formation principalement lacustre, constituée d'une grande masse de calcaire bréchiq ue plus ou moins silicifié alternant, surtout vers la base, avec des marnes calcaires blanchâtres. Dans le détail, lorsque les coupes de sondage sont bonnes, on peut distinguer, en se basant sur une épaisseur moyenne de 40 m :

- 25 mètres de calcaires lacustres silicifiés du Ludien, dont le sommet comprend souvent, sur quelques mètres, des intercalations marneuses et la base des bancs entièrement siliceux ;
- 15 mètres de calcaires compacts blancs avec des niveaux marneux tendres représentant les formes lacustres du Bartonien et du Lutétien.

L'épaisseur des Calcaires de Champigny décroît lorsqu'on se rapproche du rebord de la cuesta Tertiaire (15 m à Cesso y et 12 m à Coutençon) ;

Argile plastique (Sparnacien). Argiles plastiques grises, verdâtres, blanches ou rougeâtres, coupées de bancs de sables fins ou grossiers. Ces niveaux peuvent indifféremment se trouver au sommet ou à la base de la formation ; ils peuvent l'envahir ou ne former que de très minces poches.

L'épaisseur de la formation est très variable. Tandis qu'on observe de 40 à 60 mètres de dépôts au nord-ouest de Nangis, sur le rebord de la cuesta on constate sur de nombreux points des épaisseurs souvent inférieures à 10 m ; les faciès sableux s'y développent très irrégulièrement. À proximité de Montereau, on a même observé, localement, une superposition directe de l'ensemble lacustre sur la Craie, sans intercalation de Sparnacien.

Le pendage général de la série Tertiaire est nord-ouest, mais l'intensité du pendage est plus forte en bordure de la cuesta, où elle atteint 30 pour 1 000 contre 5 pour 1 000 à l'aplomb de Nangis. Des ondulations réduites mais assez nettes se dessinent près de Gurcy-le-Châtel et Chalautre-la-Reposite.

On a mis en évidence, par géophysique, des dysharmonies sédimentaires liées à un phénomène d'altération de la Craie sous couverture Tertiaire. Ce phénomène peut avoir affecté le substratum crayeux de la Bassée (voir annexe H).

La plaine alluviale de la Seine

La vallée de la Seine, large de 4 à 7 km, est constituée par des alluvions d'une épaisseur moyenne de 7 m, reposant sur la Craie sous-jacente. Ces alluvions sont constituées de graviers, gravillons et sables calcaires provenant des calcaires jurassiques. Leur mise en place est donc le résultat d'un transport par un écoulement. La présence d'éléments de grandes dimensions indique que ces écoulements ont pu être relativement puissants lors d'importantes crues.

Les alluvions de la Seine, tant les alluvions des terrasses que celles de la plaine alluviale, sont constituées essentiellement de ce que l'on appelle la « grève », formée de calcaire jurassique dur, à grain très fin, jaune à beige et gris à la cassure, à patine jaune, blanche ou grise foncée, presque noire. La dimension des éléments qui constituent la grève varie de la fraction de millimètre à quelques centimètres. Les graviers sont aplatis et bien roulés, preuve qu'ils ont subi un transport assez long. Les calcaires jurassiques dont ils sont formés affleurent à près de 100 km en amont de Nogent-sur-Seine.

À la base des alluvions, on rencontre des silex à patine brun-jaune, peu abondants mais présents d'une manière assez générale. Ils sont peu roulés, cassés le plus souvent, et leur taille est souvent supérieure à 5 cm. Ils sont très abondants, par contre, dans les alluvions de l'Yonne, dans les terrasses à l'ouest de la Tombe, près du confluent Seine-Yonne, par exemple.

On rencontre encore, dans les alluvions de la Seine, mais d'une manière moins générale, des galets de craie bien roulés, dont la taille est souvent un peu supérieure à celle de la grève qui les accompagnent.

Les éléments fins : sables siliceux, silts, passées argileuses, « marne blanche », tourbe sont représentés dans l'ensemble de la vallée. Ils ne représentent, au total, qu'une fraction assez faible de la masse des alluvions.

Il faut enfin noter la présence fréquente des limons de vallée (« Alluvions modernes ») déposés lors des crues du fleuve. Ces limons fins, grisâtres, peu perméables, recouvrent les alluvions graveleuses et sableuses ; ils forment une couche d'épaisseur variable (0 à 2 m).

Le substratum crayeux

La Craie est sub-affleurante au pied de la *cuesta* du plateau d'Ile-de-France et au sud de la plaine alluviale de la Bassée. Il s'agit des formations sénoniennes et, en particulier, du Campanien. C'est une craie blanche, fine et compacte, avec cordons de silex. Par altération, la craie peut se fractionner et se durcir en se couvrant de taches ocres, ou bien elle peut présenter une consistance pâteuse.

Les sommets des coteaux crayeux supportent parfois des lambeaux de cailloutis à silex roulés avec argiles sableuses rappelant les faciès détritiques du Sparnacien.

Hanot et Thiry⁴ ont présenté une analyse géologique du rebord du plateau Tertiaire d'Ile-de-France dans la région de Provins.

Des profils sismiques haute résolution montrent des dysharmonies au sein de la Craie, marquées par des réflecteurs « énergiques » soulignant une structure très pentée, entre 150 m et 600 m de profondeur.

Par ailleurs, l'analyse de la série Tertiaire du rebord sud-est du plateau d'Ile-de-France montre une structure en dômes et dépressions d'échelle kilométrique qui ne peuvent être d'origine tectonique. Des relevés détaillés du mur du Sparnacien ont permis de mettre en évidence des phénomènes de dissolution de la Craie au droit des chenaux sableux majeurs.

Dans ce contexte, on ne peut exclure l'éventualité de circulations plus profondes dans la Craie, liées aux chenaux sableux mais aussi à la marge du bassin lui-même, et qui seraient, du moins en partie, responsables du développement d'altérations, de dissolutions et de recristallisations au sein de la Craie. L'essentiel des déformations observées dans la couverture Tertiaire seraient dues à une dissolution de la Craie tout au long de l'Éocène. Il est remarquable que les dysharmonies sismiques de la Craie soient en relation avec la topographie du toit de la Craie : les « reliefs » de craie rapide, vraisemblablement indurée et recristallisée, se positionnent systématiquement à l'aplomb des creux topographiques du toit de la Craie. Cette relation géométrique traduit vraisemblablement une relation génétique due à des altérations/recristallisations dans la Craie. Les circulations responsables des altérations ont pu produire tout au long du Tertiaire.

Deux forages profonds (CRAIE 701 et CRAIE 702) ont été réalisés à proximité des puits STCV1 et VLZ1 qui ont servi pour enregistrer les profils sismiques haute résolution. Ces forages ont été

⁴Hanot F., M. Thiry (1999). Anomalies sismiques dans la craie et déformations superposées dans les formations Tertiaires du sud-est du bassin de Paris. *Bulletin de la Société géologique de France*, tome 170, n° 6, pp. 915-926.

entièrement carottés sur 700 m de profondeur et les carottes ont été étudiées en détails, dans le cadre du programme CRAIE 2000. Un article récent⁵ montre que les réflecteurs sismiques sont, en fait, constitués de dolomite.

Ce modèle géologique pourrait expliquer le faciès de la craie sous recouvrement des alluvions de la Seine. En effet, avant que n'intervienne l'érosion intense liée aux cycles glaciation/déglaciation du Quaternaire, ce qui correspond aujourd'hui à la Bassée était de la Craie recouverte par les formations Tertiaires. Les phénomènes d'altération et de dissolution de la Craie sous couverture ont donc pu jouer dans ce qui est aujourd'hui la Craie au sud-est de la cuesta d'Ile-de-France, en particulier la Bassée.

Le rapport TERRASOL « Étude de faisabilité des ouvrages géotechniques. Additif au rapport 17928/05 IND A » contient, en annexe 4, une série de profils en long indiquant les différentes natures de craie. Ce sont des variations sur les thèmes *craie marneuse* et *marne crayeuse*.

Par contre, dans les coupes géologiques des sondages de reconnaissance du BRGM (1965), les termes « marne » et « marneux » ne sont pratiquement jamais utilisés ; les qualificatifs « pâteuse », « semi-pâteuse » et « grumeleuse » abondent. On peut donc se demander si la Craie sous alluvions est marneuse ou altérée au point de constituer une pâte fine et très molle. Une étude détaillée des niveaux marneux a été réalisée dans le forage de Poigny (CRAIE 701 ($z = +151$ m)) (Robaszynski, 2000). Excepté un niveau isolé à 285 m ($z = -134$ m), les niveaux marneux se répartissent en deux ensembles, l'un vers 427.60 et 475 m ($-276.6 \leq z \leq -324$ m), l'autre vers 520.70 et 648.30 m ($-369.7 \leq z \leq -497.3$ m).

Pour éclaircir ce point, le BRGM a réalisé des analyses d'échantillons de Craie sous alluvions, prélevés lors de la campagne de sondages du Projet Bassée. Les résultats sont reproduits dans le tableau 4.1.

TAB. 4.1: Résultats d'analyses minéralogiques de la Craie sous-alluviale

Sondage	Profondeur de l'échantillon (m/sol)	Minéral dominant	Pourcentage de calcite	Autres minéraux cristallisés
PzSa8	8.50	calcite	93.4 %	traces de mica et d'illite
PzSc4	10.50	calcite	93.4 %	aucune
PzSa19	8.00	calcite	80.3 %	quartz
PzSc7	2.00	calcite	95.1 %	aucune
PzsSc8	3.00	calcite	95.1 %	aucune

Ceci suggère que l'utilisation du terme *marne* n'est pas conforme à la définition géologique de ce type de roche sédimentaire. Une *marne* est une roche d'aspect intermédiaire entre un calcaire et une argile ; elle est constituée de 35 % à 65 % d'argile et de 35 % à 65 % de calcite. L'argile et la calcite doivent être intimement mélangées.

Sondages de reconnaissance dans la Bassée

Deux importantes campagnes de sondages de reconnaissance géologique ont été réalisées et ont fait l'objet, par ailleurs, de descriptions détaillées :

- campagne BRGM en 1965 (voir Annexe A) ;
- campagne du Projet Bassée en 2001-2002 (voir Annexe B).

⁵Thiry M., F. Hanot, P. Catherine (2003). Chalk dolomitization beneath localized subsiding tertiary depression in a marginal marine setting in the Paris Basin (France). *Journal of sedimentary research*, vol. 73, n° 2, pp. 157–170.

Sondages de reconnaissance BRGM (1965)

Données. Le BRGM a réalisé une campagne de 1 600 m de sondages de reconnaissance (diamètre 600 mm) entre Nogent-sur-Seine et Montereau. Ces sondages ont été réalisés à la Bénoto, procédé qui consiste à foncer l'ouvrage avec une benne preneuse cylindrique, sous couvert d'un tubage qui s'enfonce par son propre poids. Ce tubage est constitué d'éléments de 50 cm environ, pesant 300 kg et assemblés par clavetages rapides.

Des échantillons ont été prélevés tous les 50 cm, grâce à un plan incliné qui permettait de récolter la totalité d'une benne. À la fin du forage, un prélèvement de 10 kg environ a été effectué sur chaque caisse après malaxage de son contenu.

Avant de retirer les tubes du fonçage, un piézomètre en plastique de 6 ou 10 mètres a été placé dans chaque forage. Des tubes plastique de 99 × 110 mm, lanternés par des fentes radiales de 200 × 2 mm ont été utilisés. Au total, 1 500 m de tubage ont été utilisés.

197 sondages ont été implantés dans la plaine alluviale de la Seine, entre Nogent-sur-Seine et Montereau, soit un sondage par km² environ.

La numérotation primitive des sondages était constituée de lettres et de chiffres. Les lettres, de A à W, indiquaient la ligne transversale (à la vallée) sur laquelle se trouve le sondage ; un chiffre croissant du nord vers le sud indiquait la position du sondage sur cette ligne.

Les positions des sondages sont reportées sur une carte à l'échelle 1/25 000, Planche 4.II.1 du rapport « Possibilités aquifères des alluvions du Val-de-Seine ».

Chaque sondage réalisé est décrit sur une fiche comportant :

- la désignation (lettre et numéro) ;
- la commune, le lieu-dit et le département ;
- le code BRGM ;
- un schéma de situation ;
- l'altitude du sol estimée d'après la carte à 1/25 000 ;
- l'altitude nivelée du sol ;
- l'altitude du repère des mesures piézométriques ;
- des profondeurs du niveau de l'eau et les dates correspondantes ;
- la coupe géologique détaillée, interprétée d'après les échantillons vus sur place et les cotes de changement de faciès signalées par le foreur.

3 200 échantillons de sables et de graviers ont été tamisés avec deux cribles ayant des mailles de 10 mm et 2.5 mm. Ceci a permis de déterminer trois fractions granulométriques :

- les *graviers* retenus par le crible de 10 mm ;
- les *gravillons* passant le crible de 10 mm mais retenus par celui de 2.5 mm ;
- les *sables* et silex passant le crible de 2.5 mm.

Il n'y a pas de données sur les fines.

Résultats. Voici les conclusions que le rapport « Possibilités aquifères des alluvions du Val-de-Seine » tire de l'analyse des sondages de reconnaissance.

Alluvions modernes. La coupe de chaque sondage décrit un *recouvrement*, constitué de terre végétale, de limons, de sables fins ou argileux avec ou sans graviers avec, parfois, des passées tourbeuses. Ces dépôts tranchent assez nettement avec la « grève » elle-même.

Cependant, beaucoup de sondages débutent directement dans les graviers sous 0.45 m de terre végétale. Le tableau 4.2 donne une statistique de l'épaisseur des Alluvions modernes (recouvrement) dans les 260 sondages BRGM, 1965.

Un sondage sur deux a moins de 1.5 m de recouvrement.

On aurait pu s'attendre à découvrir des zones tourbeuses de quelque importance dans la Bassée. Or sur 260 sondages, seulement 4 ont franchement traversé de la tourbe, et jamais sur plus de 1.70 m ; 7 autres sondages ont présenté, dans leur coupe, des passées tourbeuses. Les niveaux tourbeux sont relativement rares, peu épais et assez localisés.

TAB. 4.2: Statistiques de l'épaisseur des Alluvions modernes.

Épaisseur de recouvrement (m)	Nombre de sondages	Nombre cumulé	Fréquence (%)	Fréquence cumulée (%)
0.0 – 0.5	47	47	18.08	18.08
0.5 – 1.0	47	94	18.08	36.15
1.0 – 1.5	49	143	18.85	55.00
1.5 – 2.0	34	177	13.08	68.08
2.0 – 2.5	27	204	10.38	78.46
2.5 – 3.0	20	224	7.69	86.15
3.0 – 3.5	12	236	4.62	90.77
3.5 – 4.0	10	246	3.85	94.62
4.0 – 4.5	5	251	1.92	96.54
> 4.5	9	260	3.46	100.00

Parfois, on retrouve, dans le recouvrement, des matériaux argileux qui, par leur aspect, indiquent bien leur provenance d'origine Tertiaire. Exemple : les argiles vertes du sondage L 2.

Certains sondages, implantés en bordure des coteaux crayeux pour définir l'extension des alluvions perméables, ont rencontré des formations assez complexes constituées d'éléments mixtes provenant à la fois des éboulis et de la sédimentation alluviale. Dans de nombreux cas, on retrouve des niveaux peu triés contenant encore des silex soliflués des coteaux crayeux. Exemple : sondage FG 6.

Cependant, ces cas extrêmes ne représentent qu'une très faible proportion des sondages réalisés.

Alluvions anciennes. Les sables et graviers forment la partie la plus importante de la masse alluviale et également la plus intéressante du point de vue hydrogéologique.

Les sables et graviers rencontrés dans les sondages paraissent très homogènes. La lithologie seule ne permet guère de comparer les sondages entre eux. Des granulométries ont été réalisées systématiquement sur chaque sondage, afin d'avoir un profil vertical des sédiments.

En positionnant ces logs granulométriques dans l'espace, il semble se dégager une certaine logique sédimentaire. Cinq familles de faciès peuvent être identifiées :

1. *Sédimentation de remplissage.* Les logs granulométriques présentent une assez grande uniformité selon la verticale. Ce type d'alluvionnement se trouve à l'emplacement des dépressions du substratum crayeux qui ont été remblayées par un type assez particulier de sédimentation, certainement assez rapide pour que le grano-classement n'ait pas eu le temps de modeler le dépôt. Exemples : sondages E 3, H 2, IJ 4, M 3, O 2.
2. *Sédimentation transgressive.* Les alluvions présentent un grano-classement très large et positif (éléments grossiers à la base, devenant de plus en plus fins à mesure que la sédimentation s'accumule). Une série de ce type serait l'indice d'un bon triage effectué par des courants en bordure de reliefs et sur les reliefs sous-aquatiques eux-mêmes. Les sondages de ce type sont en bordure et sur les paléo-reliefs de la craie, ou bien en bordure de vallée. La sédimentation des Alluvions se serait faite, à certaines époques, sous une lame d'eau importante et aurait été proche du type lacustre, mais avec des vitesses de courant importantes. Exemples : sondages AB 1, B 4, I 6, M 5, NO 1.
3. *Sédimentation remaniée.* Il s'agit, plutôt que d'une famille particulière, d'incidents de sédimentation affectant une part importante de l'alluvionnement dans une région donnée. Ces anomalies se traduisent par un grano-classement inversé sur une partie du profil ; cela provient du remaniement d'un dépôt normalement classé et situé à quelque distance. Le

sédiment primitif, soumis à une érosion, libère les éléments dans l'ordre inverse de leur dépôt. Exemples : sondages L 5, IJ 3, L 6.

4. *Sédimentation séquentielle*. Sur un certain nombre de logs granulométriques, on observe des alternances rythmées de dépôts fins et grossiers, donnant une physionomie particulière aux diagrammes. On rencontre ce type d'alluvionnement le long des anciens axes de drainage de la plaine ou au débouché des vallées secondaires. Il s'agit de sédimentations concurrentes entre des matériaux alluviaux proprement dits et des éléments plus fins s'incluant dans le cycle alluvial dès que la vitesse de courant diminuait. Exemples : sondages IJ 1, H 1, C 0.
5. *Sédimentation désordonnée*. Cette famille regroupe les sédimentations composites n'entrant dans aucune des familles précédentes. Il s'agit, en général, de granulométries riches en sédiments fins et très localisées.

Contact Craie–Alluvions. Le contact entre la base des Alluvions et la Craie qui en forme le substratum se présente comme une auge allongée, correspondant sensiblement à l'extension des Alluvions modernes et légèrement inclinée de l'amont vers l'aval, comme la plaine elle-même. Sur les bordures, la Craie remonte assez vite donnant à l'ensemble un profil en U très aplati.

Craie. La craie du Sénonien supérieur est un dépôt organogène de milieu marin, constitué de 99 % environ de carbonate de calcium. Cette formation a été altérée à sa partie supérieure dès l'ère Tertiaire, et décapée par l'érosion du Quaternaire. Elle contient des silex noirs ou bruns provenant d'une diagénèse du sédiment.

Les sondages BRGM ont toujours rencontré de la craie sous les Alluvions, mais avec des faciès assez différents selon les endroits considérés.

- Premiers mètres de la Craie sous Alluvions.

L'examen des premiers mètres de Craie sous les Alluvions a permis de distinguer les variétés suivantes :

- craie plastique ou molle ;
- craie grumeleuse ;
- craie en morceaux ou en blocs.

Les caractères secondaires sont :

- craie avec ou sans silex ;
- craie de teinte blanche, grise, grise-bleue, ou avec taches jaunes.

Il y aurait une alternance assez marquée de régions à craie plastique et de régions à craie compacte, selon des bandes parallèles de direction sensiblement nord-est-sud-ouest. Ces orientations préférentielles seraient dues aux altérations différentielles des bancs crayeux décapés par l'érosion de la vallée.

On observe la présence de taches ocres d'altération surtout dans les craies compactes et en blocs. Elles correspondraient à une altération secondaire par les eaux souterraines.

On observe des teintes grises dans la craie à proximité du débouché de la Voulzie et à son aval (sondages L 1, L 2, M 1, O 1, Q 2) ainsi qu'au débouché de l'Orvin (sondages EF 1 et FG 6 par exemple).

- La Craie plus profonde.

Lorsqu'on dispose de sondages plus profonds, on s'aperçoit que la nature de la craie peut changer et qu'en général, les niveaux plastiques font place à la craie plus franche mais, à partir d'une trentaine de mètres, on ne trouve que de plus en plus rarement des niveaux de craie fissurée. C'est à cette profondeur sous le niveau des vallées qu'on fixe généralement, dans le Bassin de Paris, la limite de la fissuration de la craie. On peut considérer comme tout à fait exceptionnel le fait de trouver des fissures à 77 m de profondeur comme au forage du Petit Fossard. Pour rencontrer les premiers niveaux marneux imperméables de l'Infra-Turonien, il faudrait descendre à plus de 300 m de profondeur.

La craie sous couverture Tertiaire est de moins en moins productive à mesure que le forage se trouve plus éloigné de la bordure de la cuesta Tertiaire. Elle est de moins en moins fissurée

lorsqu'on s'éloigne des affleurements, le Tertiaire jouant le rôle d'un manteau protecteur.

Au sujet des relations de perméabilité entre la Craie et le Tertiaire sur la bordure du plateau d'Ile-de-France, on a signalé que les niveaux marneux de l'Oligocène n'atteignaient pratiquement pas la cuesta et que les argiles du Sparnacien étaient irrégulièrement réparties et qu'elles pouvaient souvent faire place à des sables ou encore marquer des lacunes. La séparation imperméable entre le Tertiaire (calcaires lacustres) et la Craie ne semble bien représentée que dans la région de Provins (exploitation des argiles sparnaciennes dites « de Provins »). Ce n'est d'ailleurs que là qu'on trouve des sources importantes (tête Voulzie, Durteint, Dragon). Des observations concernant la piézométrie montrent que, dans beaucoup de cas, il y a communication entre la nappe des calcaires lacustres et celle de la Craie, notamment à proximité de la cuesta. Même si l'imperméable existe, des observations de terrain montrent que, dans certains cas, l'eau des sources naissant sur l'affleurement peut se réinfiltrer après un certain ruissellement sur la Craie. Ceci est surtout valable pour les petits débits.

Un autre phénomène peut intervenir dans la perméabilité de la craie, c'est la paléo-altération. À la fin des dépôts crétacés, l'exondation progressive des sédiments a provoqué localement des surfaces durcies dans les derniers mètres de craie sous le Tertiaire. De multiples exemples sont observables, notamment dans les carrières situées au sommet de la craie entre l'Yonne et le Loing. On trouve alors une craie compacte cristalline, sonore au choc et esquilleuse. Elle est, en général, très feuilletée verticalement, avec traces d'oxyde de manganèse. Il est logique d'espérer, dans ce cas, un accroissement de la perméabilité.

La Craie, enfin, peut être le siège de circulations karstiques. Exemple de karst sous-fluvial à Cannes-Écluse. Exemples de réseaux karstiques dans le Bassin du Lunain et dans celui de la Vanne où l'on connaît un bon nombre de rivières souterraines (de Noé, de la Bacule, de la Guinand, des Fourneaux, etc). 88 expériences de coloration à la fluorescéine ont permis de déterminer des parcours souterrains souvent supérieurs à 15 km avec des vitesses moyennes de 4 km d⁻¹.

La question de l'existence de structures karstiques, éventuellement sous-fluviales, dans l'emprise du Projet Bassée est discutée dans l'annexe H. Les sondages et les mesures géophysiques, effectuées dans le cadre du Projet Bassée, ont quelque peu levé les craintes que l'on pouvait avoir sur l'existence de telles structures karstiques.

Analyse fréquentielle

Nous avons procédé à une analyse des coupes géologiques détaillées des sondages de reconnaissance du BRGM. Un recensement systématique révèle que douze noms de roches figurent couramment dans les descriptions géologiques : *argile/argileux*, *cailloutis*, *craie*, *galet*, *gravier*, *gravillon*, *limon/limoneux*, *marne/marneux*, *sable/sableux*, *silex*, *terre* et *tourbe*.

Nous avons étudié la fréquence d'occurrence de chacun de ces noms de roche sur une suite d'intervalles de profondeur de 0.2 m, en partant de la surface du sol.

Le tableau 4.3 donne la liste des noms de roche classés par nombre d'occurrences décroissant.

TAB. 4.3: Statistiques des occurrences

Roche	Occurrences	Pourcentage
Sable	5445	33.8
Gravier	5108	31.7
Craie	1750	10.9
Argile	1589	9.9
Terre	669	4.2
Silex	630	3.9
Limon	544	3.4
Marne	172	1.1
Tourbe	78	0.5
Gravillon	62	0.4
Galet	29	0.2
Cailloutis	27	0.2
Total	16103	

On constate que « sable » et « gravier » dominant largement et ont des importances comparables (65 % des occurrences à eux deux). « craie » et « argile » viennent ensuite, mais ne représentent, à eux deux, que 20 % des occurrences. On trouve ensuite quatre composants mineurs : « terre », « silex », « limon » et « marne ». Les quatre composants rares (moins de 1 % des occurrences) sont : « tourbe », « gravillon », « galet » et « cailloutis ».

Les figures 4.1 à 4.12 montrent les fréquences des 12 noms de roches dans les tranches successives de profondeur. L'intervalle de profondeur est [0., 14.] m, mais tous les forages n'ont pas atteint la profondeur de 14 m ; le nombre d'échantillons varie donc selon la tranche considérée.

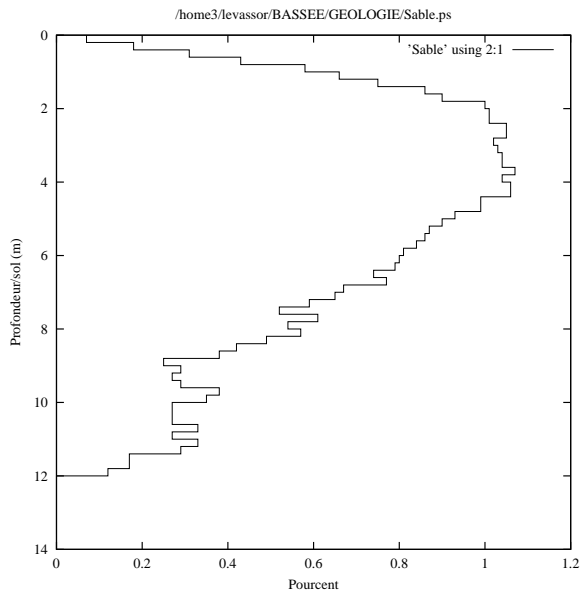


FIG. 4.1: Fréquence de « sable » en fonction de la profondeur.

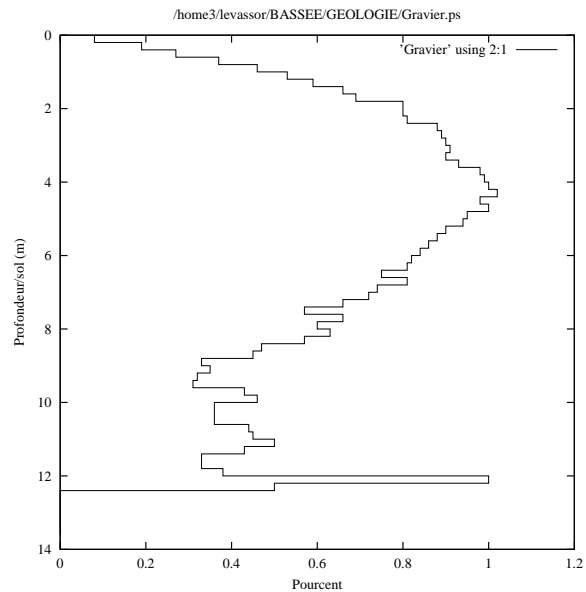


FIG. 4.2: Fréquence de « gravier » en fonction de la profondeur.

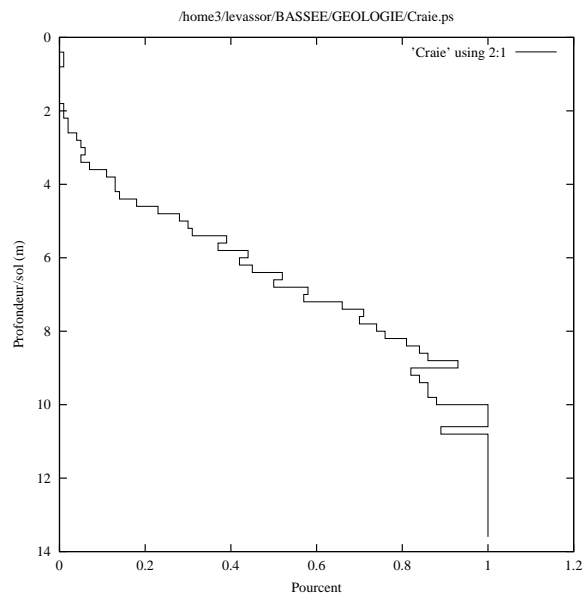


FIG. 4.3: Fréquence de « craie » en fonction de la profondeur.

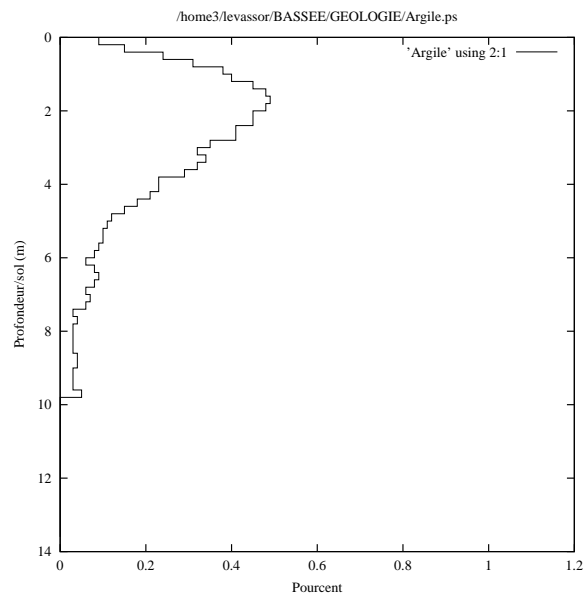


FIG. 4.4: Fréquence d' « argile » en fonction de la profondeur.

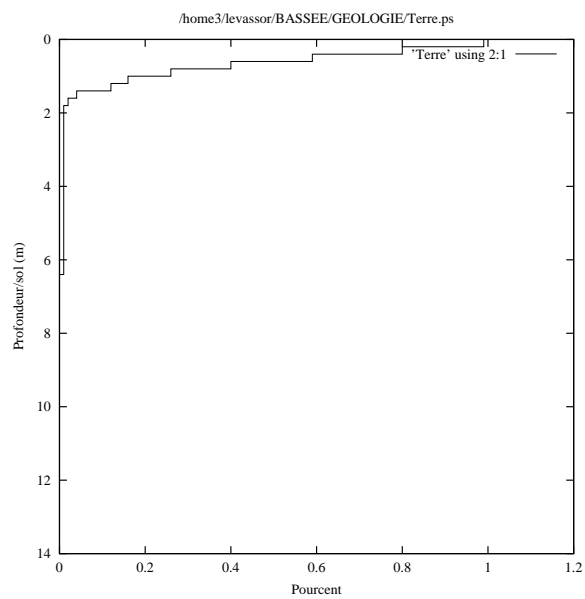


FIG. 4.5: Fréquence de « terre » en fonction de la profondeur.

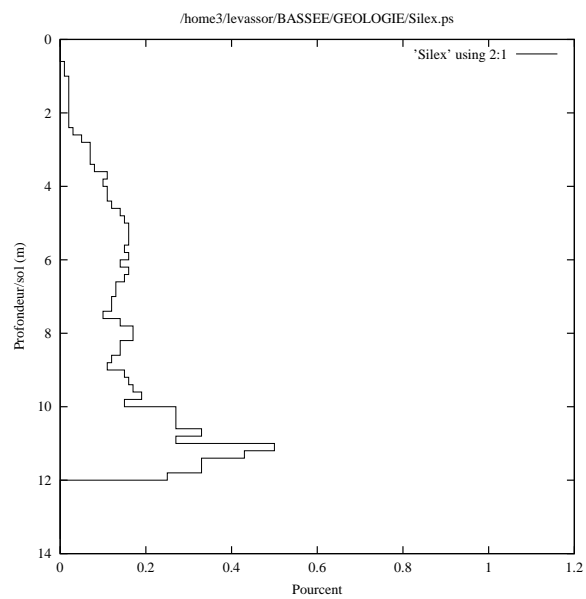


FIG. 4.6: Fréquence de « silex » en fonction de la profondeur.

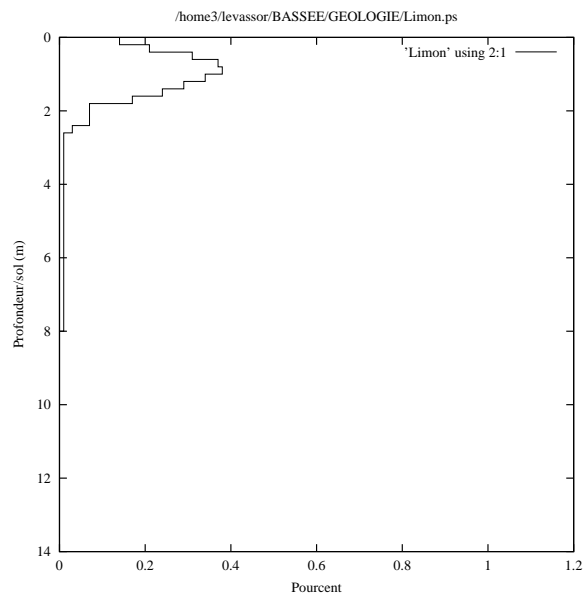


FIG. 4.7: Fréquence de « limon » en fonction de la profondeur.

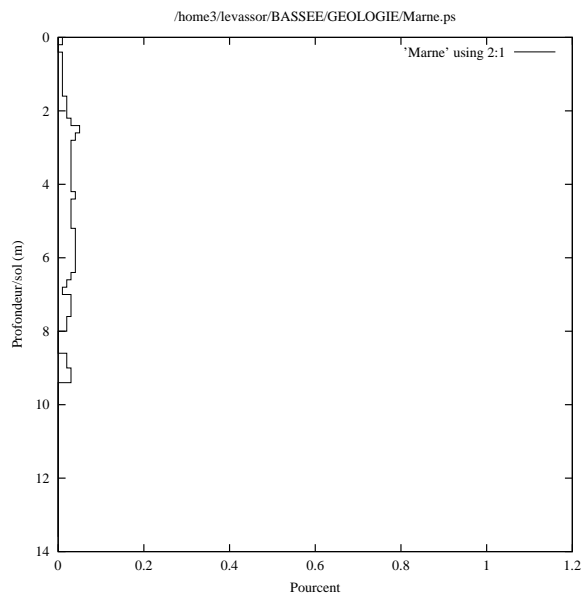


FIG. 4.8: Fréquence de « marne » en fonction de la profondeur.

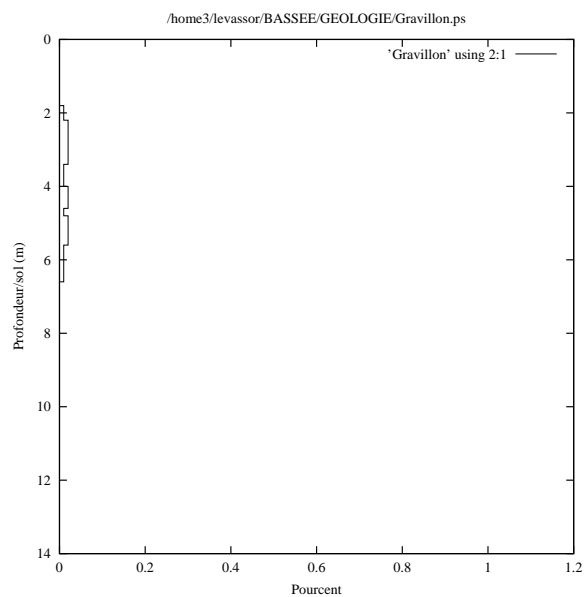


FIG. 4.9: Fréquence de « gravillon » en fonction de la profondeur.

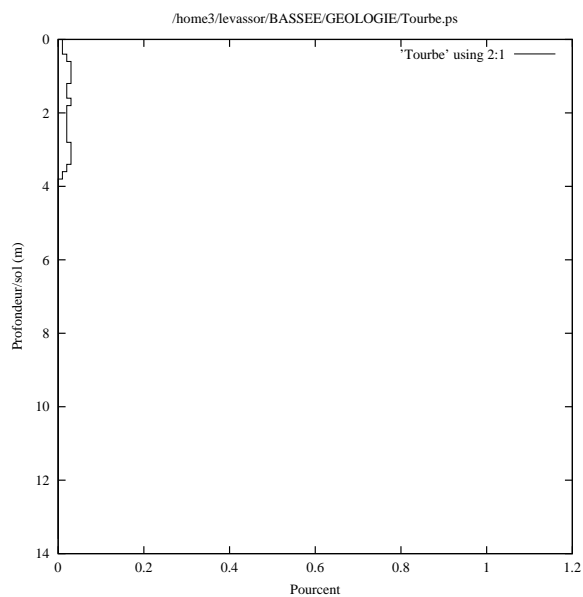


FIG. 4.10: Fréquence de « tourbe » en fonction de la profondeur.

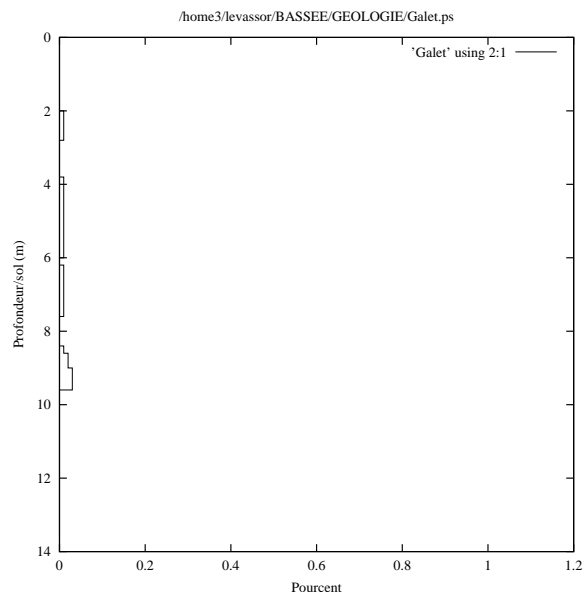


FIG. 4.11: Fréquence de « galet » en fonction de la profondeur.

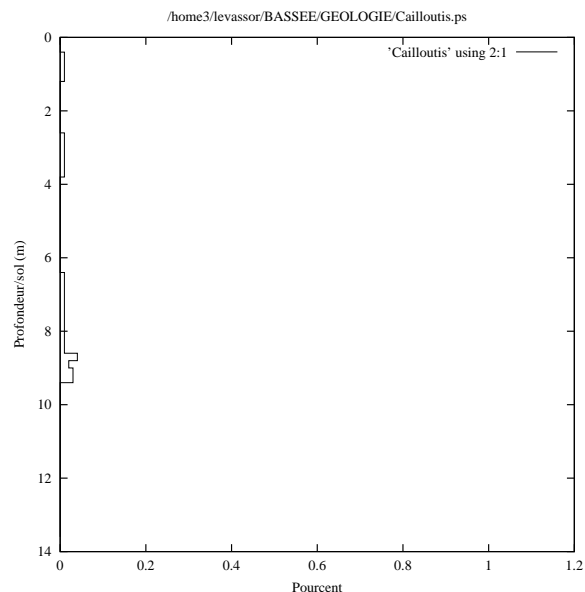


FIG. 4.12: Fréquence de « cailloutis » en fonction de la profondeur.

Sable. « sable » est représenté entre 0 m et 12 m. De 1.80 m à 4.40 m, « sable » est présent dans pratiquement tous les échantillons ; la fréquence de « sable » décroît ensuite avec la profondeur.

Gravier. « gravier » a une distribution comparable à « sable » ; le pic de fréquence (100 % vers 4.2 m) est cependant moins étalé verticalement que celui du « sable ».

Craie. La courbe de « craie » ne présente pas de mode. La fréquence de « craie » est *quasi* nulle entre 0 m et 2 m ; elle augmente ensuite régulièrement vers la valeur 100 % qui est atteinte vers 10 m de profondeur.

Le critère « craie » permet de distinguer trois niveaux :

- de 0 m à 2 m : absence de craie ;
- de 2 m à 10 m, la craie est présente, mélangée à d'autres constituants minéraux (sable, gravier, argile). Il s'agit donc d'une craie allochtone dont la fréquence augmente régulièrement vers le bas ;
- à plus de 10 m de profondeur, la craie existe seule.

Argile. La courbe de « argile » présente un mode net (43 %) dans l'intervalle de profondeur 1.60 m–1.80 m. Ensuite elle décroît régulièrement. À partir de 6 m de profondeur, « argile » est apparemment marginal.

Terre. La courbe de « terre » traduit, jusque vers 1.80 m de profondeur, l'épaisseur de la « terre végétale ».

Silex. La présence de « silex », conjointement à d'autres constituants, est significative entre 3 m et 10 m de profondeur. La fréquence est peu variable entre 4 m et 10 m.

Limon. La courbe de « limon » montre une forte fréquence vers le haut des profils, entre 0 m et 2 m. Un mode (40 %) existe dans l'intervalle 0.8 m–1.0 m.

Autres. Les constituants « marne », « tourbe », « gravillons », « galets » et « cailloutis » sont statistiquement peu significatifs. La courbe de « tourbe » montre que ce constituant est statistiquement rare et se trouve toujours entre 0 m et 4 m de profondeur.

En définitive, ces informations permettent de distinguer trois niveaux :

1. Une couche de surface (0 m–2 m), constituée de terre végétale, de limons, de sable, de graviers et d'argile. La fréquence des graviers, du sable et de l'argile augmente avec la profondeur ; la

fréquence de la terre végétale diminue avec la profondeur ; la fréquence des limons augmente jusqu'à 0.8 m–1.0 m, puis diminue pour devenir peu significative au delà de 2.4 m.

2. Une couche intermédiaire, constituée de gravier, de sable, de morceaux de craie, d'argile et de silex. La fréquence de la Craie augmente vers le bas ; c'est le contraire pour la fréquence de l'argile. Cette couche correspond aux Alluvions anciennes.
3. Une couche de craie autochtone, supportant le système des alluvions. C'est la Craie du bassin de Paris.

Un autre constat important est que la *quasi* totalité des descriptions d'échantillons indiquent qu'il s'agit de *mélanges* de roches (sable et graviers, sable argileux...).

Synthèse

On peut obtenir une image synthétique de la géologie de la Bassée, en étudiant la fréquence cumulée des 12 noms de roches dans les intervalles successifs de profondeur (figure 4.13). L'axe horizontal est celui des fréquences cumulées ; l'axe vertical est celui des profondeurs, de 0 m à 7 m. Cette figure met en lumière des régularités statistiques assez nettes.

Dans les deux premiers mètres de profondeur, on note un équilibre apparent entre les facteurs défavorables à la perméabilité (argile et limons) et les facteurs favorables à la perméabilité (terre végétale, sables et graviers).

Sondages de reconnaissance du Projet Bassée (2002–2003)

Ces sondages sont décrits en détails dans un rapport SOBESOL (dossier n° 15.110).

Le rapport TERRASOL « Étude de faisabilité des ouvrages géotechniques » contient (Annexe 2.3) une série de profils géologiques en travers de la Bassée.

Le rapport TERRASOL « Étude de faisabilité des ouvrages géotechniques. Additif au rapport 17298/05 IND A » contient des renseignements intéressants, en particulier :

- la localisation des noues (Annexe 2) ;
- l'altimétrie du TN et du toit de la Craie (Annexe 3) ;
- une série de profils en long géologiques, indiquant les différentes natures de craie (Annexe 4).

Conclusion

La Bassée est constituée de deux ensembles géologiques bien tranchés. Du haut vers le bas :

1. Une série d'*alluvions* où il est possible de distinguer :
 - une couche superficielle de *terre végétale* ;
 - des *Alluvions modernes*, constituées d'un mélange de limon, d'argile, de sable et, parfois, de graviers. La tourbe est peu fréquente en dehors des noues. Ces alluvions modernes ont une épaisseur variable, comprise entre 0 m et 2 m ;
 - des *Alluvions anciennes* qui constituent le niveau géologique le plus caractéristique de la Bassée. Elles sont cantonnées à la plaine alluviale de la Seine. Il semble exister des faciès particuliers en bordure de plaine, mais leur importance est marginale.
Sous leur forme caractéristique, les Alluvions anciennes sont constituées d'un mélange de sable et de graviers, avec présence épisodique d'autres constituants en faibles proportions. Ces alluvions, d'épaisseur assez constante, sont à la fois un gisement de granulats très exploité et le siège d'un aquifère.
2. La *Craie* qui est une formation majeure du Bassin de Paris. Dans la région de la Bassée aval, l'épaisseur de craie campanienne est d'environ 400 m et l'épaisseur totale de craie est d'environ 500 m. Les Alluvions anciennes remplissent une large dépression du toit de la Craie campanienne.

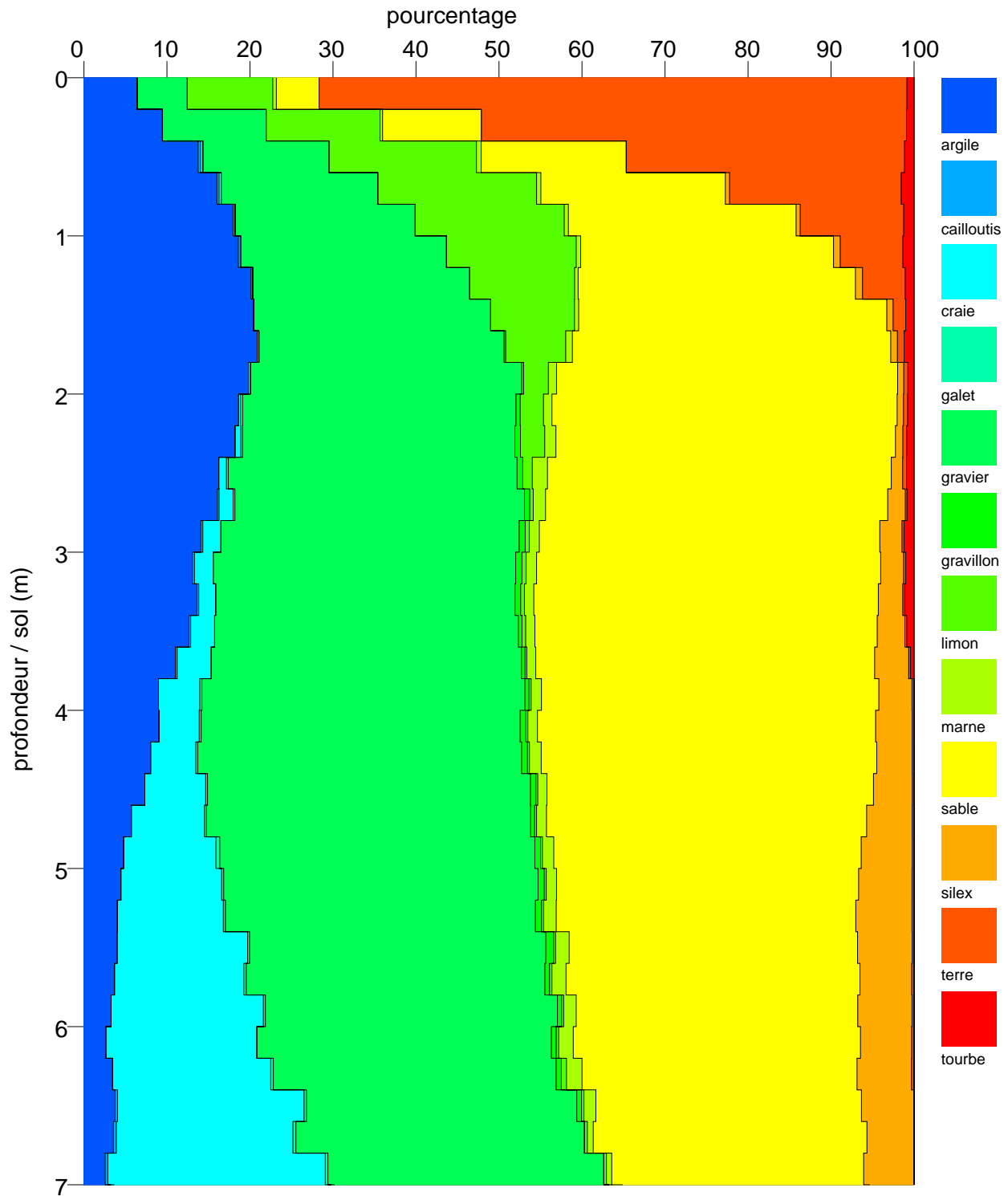


FIG. 4.13: Variations verticales ($0 \leq z \leq 7$ m de haut en bas, $0 \leq \text{pourcentage} \leq 100$ de gauche à droite) de la répartition des roches présentes dans les sédiments de la Bassée.

Les limites de la plaine alluviale de la Seine coïncident approximativement avec celles de la dépression.

Il convient de distinguer :

- la partie de la Craie qui, dans l'emprise de la plaine alluviale de la Seine, est recouverte par les Alluvions anciennes ;
- la partie de la Craie qui, en dehors de l'emprise de la plaine alluviale de la Seine, n'est recouverte que par des limons de plateau ;
- la craie recouverte par la série Tertiaire du plateau d'Ile-de-France.

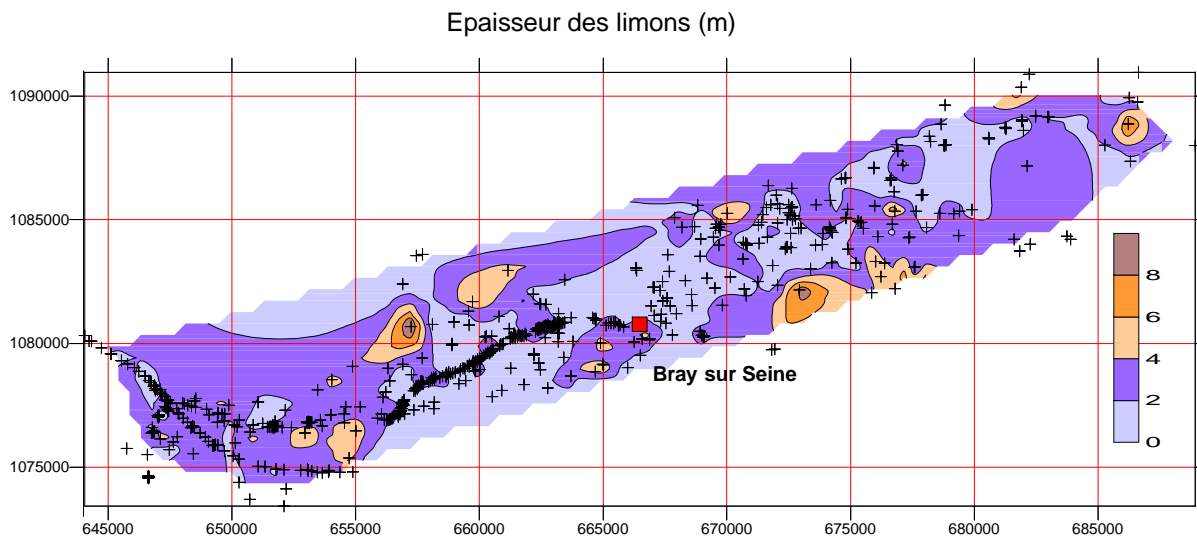


FIG. 4.14: Carte de l'épaisseur des Alluvions modernes.

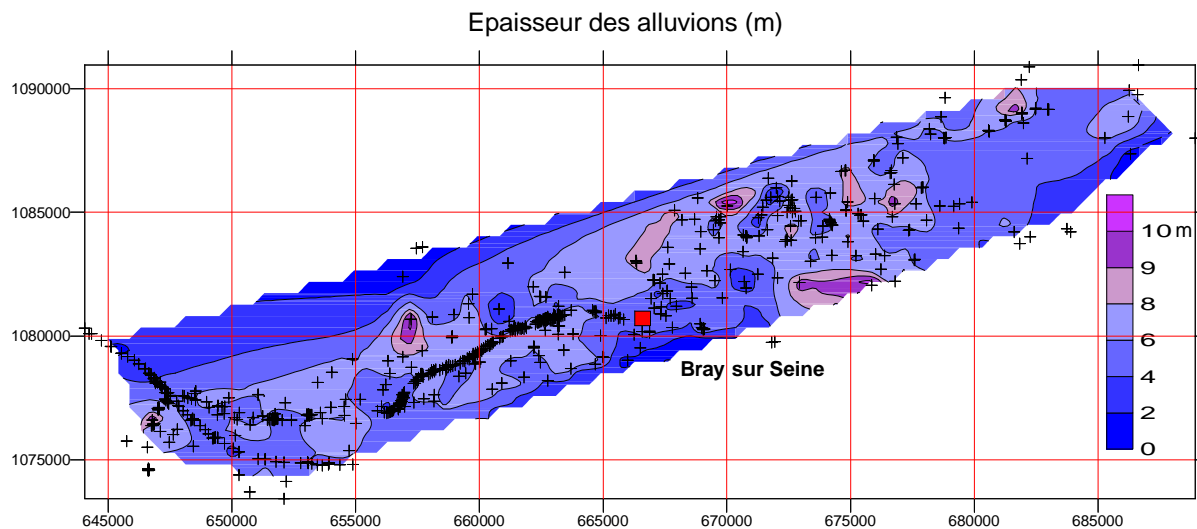


FIG. 4.15: Carte de l'épaisseur des Alluvions anciennes.

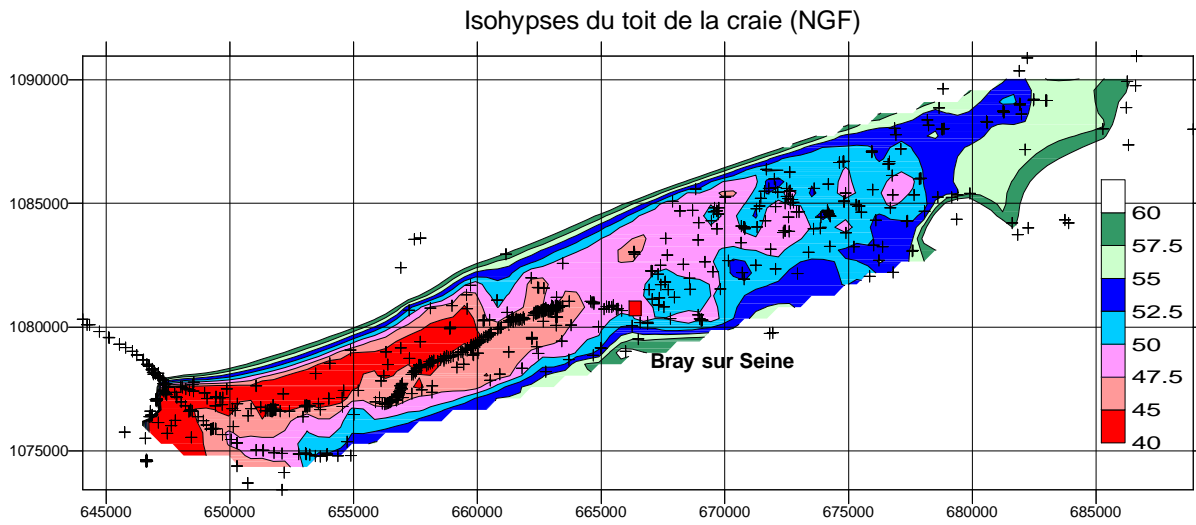


FIG. 4.16: Carte du toit de la Craie.