Le sous-sol de la Cité Scientifique d'Annappes

par A. Bonte (1)

La construction de la Cité Scientifique d'Annappes a nécessité d'importants travaux de Génie Civil, tant pour l'établissement des différents réseaux de canalisations que pour la fondation des bâtiments répartis sur une surface de plus de 100 ha. De nombreuses fouilles de grandes dimensions ont été ouvertes : fouilles linéaires pour les conduites, en particulier les conduites d'assainissement poussées parfois à près de 6 m, fouilles complexes avec rigoles de fondation ou puits pour les bâtiments.

On peut s'étonner que des travaux d'une telle importance aient été réalisés sans étude géologique préalable, alors qu'ils étaient destinés à une Faculté des Sciences comportant non seulement deux chaires de Géologie, mais encore une chaire de Géologie appliquée aux travaux de Génie civil. Tout au plus a-t-on demandé à M. G. Waterlot quelques renseignements sur la nature du sous-sol.

Par contre, on a fait procéder à une étude géophysique (S.E.F.F.) qui ne pouvait rien donner et qui, effectivement, n'a pas donné grand'chose. Même les sondages d'étalonnage, numérotés 14, 25, 26, 35, 37 et qui ne nous ont été connus que par le B.R.G.M. à notre demande, ont été mal interprétés. Dans ces conditions, il n'y a pas lieu de s'étonner que les soi-disant « prévisions géologiques » n'aient pas été vérifiées.

C'est pourquoi, une fois les travaux entamés, j'ai demandé l'autorisation de suivre officiellement les fouilles pour enregistrer au moins les résultats obtenus, car on aurait pu nous reprocher par la suite d'ignorer ce que nous avions sous les pieds.

(1) Faculté des Sciences de Lille.

Ces résultats seront consignés ultérieurement, avec toutes les cotes relevées, dans un rapport détaillé qui sera joint aux archives du chantier. Mais dès maintenant, les fondations d'une grande partie des bâtiments étant réalisées, on peut faire le point des renseignements géologiques apportés par les fouilles. Ces renseignements seront groupés sous plusieurs rubriques :

1) *Nature du sous-sol* (substratum et terrains superficiels) : composition et répartition des différentes assises.
2) *Problèmes géotechniques :* résistance du sol, tenue des fouilles.
3) *Anomalies :* poches de dissolution.

I. — Nature du sous-sol (fig. 1).

A. — *COMPOSITION.*

On savait a priori, grâce à la carrière de la Brasserie Dubus-Deffontaines et aux carrières souterraines de Lezennes, que le sous-sol était constitué essentiellement par la craie sénonienne recouverte localement par les sable et tuffeau landéniens. Quelques précisions sur la répartition souterraine du tuffeau avaient été apportées par G. Mathieu à l'occasion de tranchées anti-chars réalisées en 1940 (Mathieu 1942). Par ailleurs, l'un au moins des forages exécutés au cours de la campagne de reconnaissance géophysique avait recoupé le tuffeau landénien, que j'ai pu observer sur le chantier lors d'une visite avec les étudiants de Géologie appliquée le 14 décembre 1961. Néanmoins, le rapport de la mission géophysique ne signale au-dessus de la craie que marnette et limon ; ce qui montre, une fois de plus, que la Géologie est l'affaire des géolo-

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

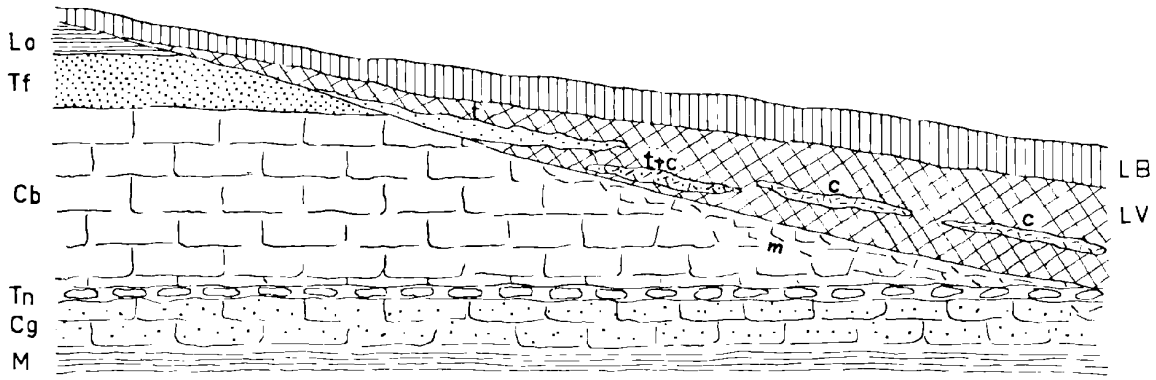

FIG. 1. — Coupe schématique du sous-sol de la Cité Scientifique d'Annappes.

LB, limon brun ; LV, limon vert à granules de craie : lentilles irrégulières de granules de tuffeau (t), de tuffeau et de craie (t + c), de craie (c); m, marnettes.

Lo, Argile de Louvil ; Tf, tuffeau landénien ; Cb, craie blanche ; Tn, tun ; Cg, craie glauconieuse ; M, marnes.

gues et non des géophysiciens et que, si on s'impose des sondages carottés, on doit au moins les faire examiner par le spécialiste du sous-sol (2).

En fait, le sous-sol, s'il est relativement simple notamment du point de vue structure, est un peu plus complexe qu'on ne l'avait imaginé au départ et présente de ce fait des incidences géotechniques non négligeables.

a) CRAIE SÉNONIENNE.

La meilleure coupe a été donnée par le bâtiment C 1 angle SW, grâce à une grande poche de dissolution qui a dû être partiellement visée.

Sous les limons, dont le détail sera donné plus loin, la craie blanche n'a plus que 2,75 m d'épaisseur, surmontant 2 m de craie légèrement glauconieuse. Puis vient un banc irrégulier à gros nodules phosphatés représentant probablement le gros tun (Fenet 1965) au-dessous duquel une craie franchement glauconieuse a été recoupée sur 0,50 m.

La poche étant trop profonde pour être vidée, cinq pieux ont été battus pour rechercher une assise stable qui doit correspondre, en l'occurrence, aux marnes du Turonien moyen.

La même craie glauconieuse et phosphatée a été atteinte directement sous les limons dans trois puits pour évacuation des eaux, creusés au début des travaux durant l'hiver 1963-1964 (3).

Le sondage S 14, situé à proximité immédiate, a rencontré, à 4,50 m sous un limon très calcaire, une « craie blanche » qui est certainement cette craie glauconieuse.

Enfin, au S du bâtiment SN 4, j'ai effectué un sondage à la tarière au fond de la tranchée de l'aqueduc. Ce sondage a atteint les marnettes à 0,60 m sous le radier, soit à 3,50 m sous le terrain naturel. Il s'agit là d'une craie légèrement glauconieuse analogue à celle qui surmonte le tun dans la poche du bâtiment C 1.

On ne sait pas grand'chose des marnes turoniennes, car elles n'ont pas été observées directement. Toutefois, les sondages 25, 26 et 37 de la campagne géophysique, implantés dans la partie

(2) Lors de ma visite du 14 décembre 1961, j'ai observé sur le camion-sonde des carottes de craie et de tuffeau. Or, la déclaration de sondages faite au B.R.G.M. indique comme date d'exécution octobre-novembre 1961. Y a-t-il eu un retard dans l'exécution ou s'agit-il d'autres forages exécutés pour les tirs de sismique et qui n'auraient pas été déclarés ? Ce qui expliquerait que les coupes de sondage ne fassent pas mention du tuffeau. Il faudrait alors déplorer que les forages de sismique, normalement assez nombreux, n'aient pas été conservés car ils auraient eu au moins autant de valeur que les cinq sondages dits de reconnaissance qui, d'après leur position, pourraient être en dehors de l'aire d'extension du Landénien.

(3) Contrairement à ce qui avait été annoncé précédemment (Bonte, Broquet..., 1964), la craie glauconieuse et phosphatée signalée sous le n° 4 est à rapporter au Turonien supérieur et non au Sénonien.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

sud du terrain, signalent des marnes bleues avec lits calcaires, sous 2,75 m à 3 m de craie grise représentant peut-être la craie glauconieuse et phosphatée. Dans ces trois sondages, l'épaisseur de la craie blanche atteint respectivement : 8,50 m, 8 m et 9 m.

La surface de la craie se présente sous deux aspects. Dans l'aire d'extension du Landénien, la craie est pratiquement inaltérée et sa surface est absolument régulière, alors qu'en dehors de cette aire elle est recouverte d'une couche de marnettes. En outre, l'infiltration localisée des eaux pluviales a provoqué la formation de poches de dissolution dont la description fera l'objet d'un paragraphe spécial.

b) Tuffeau landénien.

Le Landénien inférieur est représenté généralement par des sables argileux et glauconieux, souvent consolidés en tuffeau, passant vers le haut de l'Argile de Louvil.

L'*argile franche* ne semble pas exister normalement sous les limons ; en tout cas, elle n'a pas été trouvée en place jusqu'ici dans les environs. Elle n'a pu être observée que localement, à la faveur d'accidents : petit fossé d'effondrement dans la tranchée de l'autoroute, sous le cimetière de Lesquin (Bonte 1957, fig. 1) ; axe de deux poches de dissolution au bâtiment P 1 (fig. 2).

Quant au *tuffeau*, il a été recoupé par de nombreuses fouilles de la partie nord-ouest de la Cité Scientifique, dans le secteur Physique : aqueducs, bâtiments P 1, P 3 et P 5 (contact avec la craie) ; ainsi qu'à l'état de témoin dans des poches de dissolution aux bâtiments M 1, C 1 et Bibliothèque.

Des galets de silex noir (yeux de crapaud) ont été recueillis exceptionnellement au contact de la craie, mais ils sont rares ; on les retrouve plutôt remaniés à la base des limons.

Ici se pose la question de l'équivalence tuffeau-sable argileux. La répartition des deux faciès est quelconque et il semble bien que le tuffeau résulte d'une diagénèse très tardive des sables argileux ; fréquemment, d'ailleurs, le tuffeau est extrêmement tendre et friable au moment de l'ouverture des fouilles et ce n'est qu'après dessiccation qu'il acquiert l'aspect rocheux que nous lui connaissons. Cette diagénèse a dû s'exercer dès la mise à nu du Landénien.

La partie supérieure du tuffeau, sous le limon, est altérée sur une trentaine de cm. Il prend alors une teinte ocre, mais l'homogénéité relative de la masse montre qu'il est bien en place, par opposition au *tuffeau remanié* qui le surmonte.

c) Limons quaternaires.

Les nombreuses coupes observées montrent une grande diversité des limons, notamment dans leur

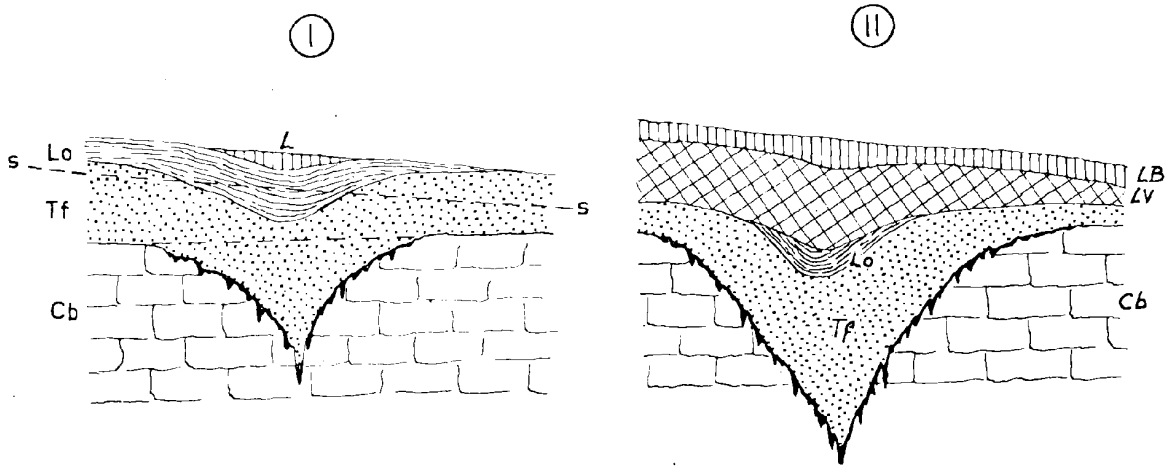

Fig. 2. — Formation des poches à témoin d'Argile de Louvil (Bât. P 1). Phase I, Argile de Louvil à l'affleurement. Phase II, après ablation générale de l'Argile de Louvil, seules les zones infléchies sont conservées ; la poche continuant à fonctionner, l'infléchissement est compensé par le limon vert et le limon brun.

LB, limon brun ; LV, limon vert ; L, limon ancien ; Lo, Argile de Louvil ; Tf, tuffeau landénien ; Cb, craie blanche ; SS, limite d'érosion.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

partie inférieure que nous avons qualifiée de limon vert, par opposition au limon brun qui le recouvre.

1) *Limon vert.*

C'est un limon sableux assez perméable dans lequel la glauconie est abondante, d'où sa teinte jaune verdâtre. Ce limon, en effet, est constitué aux dépens des formations qui étaient à l'affleurement, soit le tuffeau landénien essentiellement et la craie ; il s'est formé sur les pentes de l'époque par ruissellement et solifluxion. Rien d'étonnant dès lors à ce qu'il manifeste une très grande diversité d'aspect.

A proximité immédiate et sur les affleurements de tuffeau, c'est une accumulation de blocs et de grains de tuffeau, disposés en tous sens (*tuffeau remanié*) formant des lentilles très allongées noyées dans un limon argilo-sableux verdâtre. Il faut se garder de confondre ce tuffeau remanié avec le tuffeau en place ; mais la distinction serait évidemment impossible en sondage.

En s'éloignant de la zone d'affleurement du tuffeau qui alimentait le limon, le grain s'amenuise et on observe alors un limon argilo-sableux verdâtre comportant encore de fins granules de tuffeau ; progressivement, le limon devient de plus en plus fin, en même temps apparaissent des lits lenticulaires (épaisseur 1 à 5 cm, longueur 0,50 m à 2 ou 3 m) de fins granules de craie.

A la base du limon vert, et rarement dans sa masse, on trouve occasionnellement quelques silex (galets noirs arrondis de la base de l'Eocène, galets rouges arrondis ou fragments anguleux) toujours isolés.

Enfin dans le limon vert, MM. Clément et Sommé ont observé il y a quelques jours au bâtiment P 1 une lentille tourbeuse axée sur une poche de dissolution à l'intérieur de laquelle elle s'est enfoncée jusqu'au niveau du contact tuffeau-craie. La poche a donc fonctionné pendant quelque temps comme une mare permanente.

Cette lentille de tourbe nous a fourni de nombreux ossements dont un squelette complet de jeune renard, des ossements d'un batracien anoure et une mâchoire de *Microtus arvalis* (4). Il n'est pas possible de préciser le niveau exact de cette faune puisqu'il y a eu enfoncement dans la poche, mais on peut estimer que le niveau de tourbe était à peu près à mi-épaisseur du limon vert.

Lorsque le limon vert repose directement sur la craie, il le fait par l'intermédiaire d'une couche de blocs de craie (marnettes ou craie solifluée) dont la taille diminue rapidement vers le haut. Les blocs de craie sont noyés dans une boue crayeuse à la base des marnettes, simplement accolés les uns aux autres dans la partie moyenne, puis progressivement enrobés dans un limon vert de plus en plus abondant et qui semble s'être infiltré per descensum. Epaisse de 0,50 m à 1 m, la couche de marnettes équivaut exactement au tuffeau remanié observé sur les affleurements de tuffeau. C'est de la craie remaniée sur la pente, mais ce remaniement est peu important, car les blocs de craie des marnettes reflètent sensiblement la composition de la craie sous-jacente.

Le limon à granules de craie peut raviner localement la craie solifluée (bâtiment M 1) et reposer directement sur la craie franche.

Il y a ainsi, dans l'ensemble, passage progressif soit de la craie, soit du tuffeau au limon vert qui recouvre les deux formations. Ce n'est pourtant pas un horizon d'altération sur place, un éluvion dérivant du tuffeau ou de la craie, mais un dépôt de transport superficiel, ce qui n'exclut pas pour autant un mélange avec les éléments pris sur place ou au voisinage.

Au bâtiment C 1, à la base du limon vert surmontant la grande poche de dissolution, on trouve, associés aux blocs de craie, des fragments assez nombreux d'un grès rouge non identifié (poteries ?) et quelques grains de scories charbonneuses.

2) *Limon brun.*

Il représente le limon superficiel (limon supérieur des auteurs) nettement plus argileux que le limon vert dont il se distingue par sa teinte. Dans les coupes fraîches, le passage de l'un à l'autre se fait généralement sur quelques cm et peut, dans certains cas, être même instantané.

A la base du limon brun, on peut recueillir occasionnellement de rares galets de silex bien arrondis, en particulier des silex rouges. Un silex de ce genre avait déjà été récolté par M. G. Waterlot dans une position analogue, au cours d'une excursion géologique à la carrière de Lezennes, en 1950.

(4) Ces déterminations ont été faites par M. Heim de Balsac, Professeur de Zoologie à la Faculté des Sciences de Lille, que nous sommes heureux de remercier ici.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Toujours à la base du limon brun, j'ai recueilli dans la paroi est de la fouille du bâtiment M 1, un petit amas ossifère qui aurait tenu dans le creux de la main et qui m'a fourni au milieu de très nombreux débris variés, 4 maxillaires supérieurs, 7 demi-maxillaires inférieurs, de nombreuses dents isolées, une cinquantaine d'os longs et 13 vertèbres d'un petit rongeur qui a été déterminé par M. Heim de Balsac sous le nom de *Microtus* (*Oeconomus*) *raticeps*. Cette espèce est encore connue à l'heure actuelle, de la Prusse orientale à la Mandchourie, et on en connaît des foyers en Hongrie, en Allemagne du Nord et même en Hollande dans l'île de Texel (5).

B. — *EXTENSION DES DIFFERENTES ASSISES.*

La *craie* dans son ensemble est évidemment présente partout, prolongeant les carrières de Lezennes ; mais, en raison du relèvement des assises, elle s'amincit progressivement vers l'Est. C'est ainsi que la craie blanche, épaisse de 9 m au sondage 37, n'a plus que 4,75 m au bâtiment C 1 et disparaît à la limite orientale du terrain pour laisser la place, directement sous le limon, à la craie glauconieuse et phosphatée du Turonien supérieur.

La répartition du *tuffeau* est beaucoup plus restreinte. Il n'existe de façon continue, avec une épaisseur maximum de 2,25 m à 2,50 m (bâtiment P 1) que dans le secteur Physique. L'épaisseur normale sous l'Argile de Louvil n'a pu être précisée, car cette argile ne subsiste que dans l'axe des poches. Partout ailleurs, jusqu'à présent, il ne subsiste qu'occasionnellement à l'état de témoin dans les poches de dissolution. Cet îlot de tuffeau constitue un jalon supplémentaire de l'extension vers le Sud du Landénien, au delà du dernier affleurement signalé par G. Mathieu en 1942.

Le problème de la répartition des *marnettes* a déjà été soulevé à propos de leur formation. Elles n'existent que là où le Landénien a disparu par érosion et a été remplacé par le limon vert, c'est-à-dire dans les zones où la craie a été soumise autrefois aux agents atmosphériques. Leur extension est donc complémentaire de celle du tuffeau car, sous le tuffeau en place, on passe directement à une craie diaclasée mais non altérée.

(5) Je remercie vivement de son obligeance M. Heim de Balsac à qui je suis redevable de tous les renseignements relatifs à ce rongeur.

Le *limon vert* est, au contraire, présent partout et assez épais. Il témoigne de l'importance du Landénien marin avant le creusement quaternaire. L'étude de ses multiples aspects permettra de préciser par la suite le sens des apports. Pour le moment, on constate que son épaisseur augmente d'Ouest en Est, passant de 0,75 m à l'W du secteur Physique à 1,30 - 1,40 m dans les bâtiments de Physique, 1,80 m au bâtiment M 1, pour atteindre 2,70 m au bâtiment SN 2, 2,90 m au bâtiment SN 1, 3 à 3,50 m dans le secteur Chimie, et plus de 4 m aux puits d'évacuation des eaux situés tout à fait à l'Est.

Enfin, le *limon brun* ou terre à briques recouvre l'ensemble d'un manteau continu tendant à combler les dépressions. Son épaisseur varie entre 1 et 2 m.

II. — Problèmes géotechniques

TAUX DE TRAVAIL.

La prospection géophysique et géotechnique avait défini trois zones de sols : un limon, une couche de marnette et une couche de craie ; négligeant les nuances dans la série des limons et ignorant surtout la présence du tuffeau qui pouvait constituer une bonne assise de fondation.

La craie a été considérée comme un bon matériau à condition de s'y enfoncer de 1 m environ. Ceci est vrai pour la craie apparaissant directement sous les limons, du fait de la présence des marnettes. Par contre, sous le tuffeau landénien, l'ancrage était inutile, car la craie est d'emblée massive et de meilleure qualité que sous les marnettes, puisqu'elle n'a jamais été exposée directement aux agents atmosphériques.

On a parfois écrit que la craie était de moins bonne qualité à l'E des carrières de Lezennes, lorsqu'on pensait que les marnettes dérivaient directement de l'altération sur place de la craie. On vient de voir qu'il n'en était pas ainsi et les coupes observées dans les fouilles des bâtiments montrent qu'on passe très rapidement des marnettes à la craie massive qui acquiert très vite ses qualités normales. La condition d'enfoncement de 1 m, imposée à la suite des travaux préliminaires, est donc essentielle, dans les zones dépourvues de Landénien, mais suffisante.

Le taux de travail admissible a été fixé à 10 kg par cm^2, mais pratiquement on n'impose que 4 kg, taux prévu pour les marnettes qui, de toute façon, sont éliminées.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Quant aux limons, ils ont été déconseillés comme assise de fondation, sauf pour des bâtiments extrêmement légers, et à condition de descendre la fondation à 1,50 m de profondeur minimum et de ne pas faire travailler le sol à plus de 1 kg/cm².

Il y a là un excès de prudence qui découle de l'insuffisance des études préliminaires. Ne tenant pas compte des différents types de limons, ignorant le tuffeau landénien, l'auteur du rapport n'a pratiquement considéré que le limon de couverture et la craie avec sa croûte de marnettes, et il a appliqué à l'ensemble de la couverture les caractéristiques du limon brun superficiel dont l'épaisseur ne dépasse pas 1,50 m à 2 m.

En fait, le tuffeau landénien présente une assez bonne résistance, souvent comparable à celle des marnettes, et les limons verts, qui dérivent du tuffeau et sont donc plus sableux, présentent de leur côté des caractéristiques mécaniques supérieures à celles des limons bruns.

Les mesures pénétrométriques permettent de se faire une idée de cette résistance, à condition qu'elles soient étalonnées par des sondages mécaniques. 18 mesures pénétrométriques ont été effectuées dont 4 au voisinage de sondages mécaniques ; mais ceux-ci étant incomplets ou mal interprétés, les mesures pénétrométriques n'ont pu apporter toute l'aide qu'on pouvait en attendre.

A titre d'exemple, voici comparés la coupe géologique et le diagramme de pénétromètre aux points 25, 11 et 26 (fig. 3).

Sondage 25 (sondage mécanique et pénétromètre). L'ensemble des limons a une résistance inférieure à 2 kg ; dès l'entrée dans les marnettes la résistance croît par à-coups ce qui est normal, le refus est atteint dans la craie massive à 3,80 m. Il faut remarquer que dans la coupe sondeur la limite marnettes-craie, déjà difficile à préciser pour un spécialiste, n'est pas forcément exacte.

Pénétromètre n° 11. Effectué à 150 m au N du bâtiment P 1 dont les fondations donnent une coupe précise, il montre que la résistance du tuffeau oscille autour de 5 à 6 kg suivant sa consolidation et est comparable à celle des marnettes. Le pic de 4,50 m semble dû à un passage de tuffeau plus compact, la craie apparaissant au refus à 5,50 m.

Sondage 26 (sondage mécanique et pénétromètre). Ce sondage permet des comparaisons du même genre que celles du sondage 25. On y constate également des à-coups dans les marnettes où la résistance s'établit autour de 5 kg. Les limons verts à granules de craie apparaissant dans ce sondage s'apparentent davantage au tuffeau qu'au limon brun. Comme dans la plupart des diagrammes pénétrométriques, il y a une augmentation de la résistance entre 1,50 m et 2,50 m de profondeur, c'est-à-dire au passage du limon brun au limon vert.

Il faut admettre toutefois que la résistance du limon vert, si elle est supérieure à celle du limon brun, n'est pas aussi forte cependant que celle du tuffeau. Ceci tient à la variabilité du limon vert dont les caractéristiques se rapprochent de celles

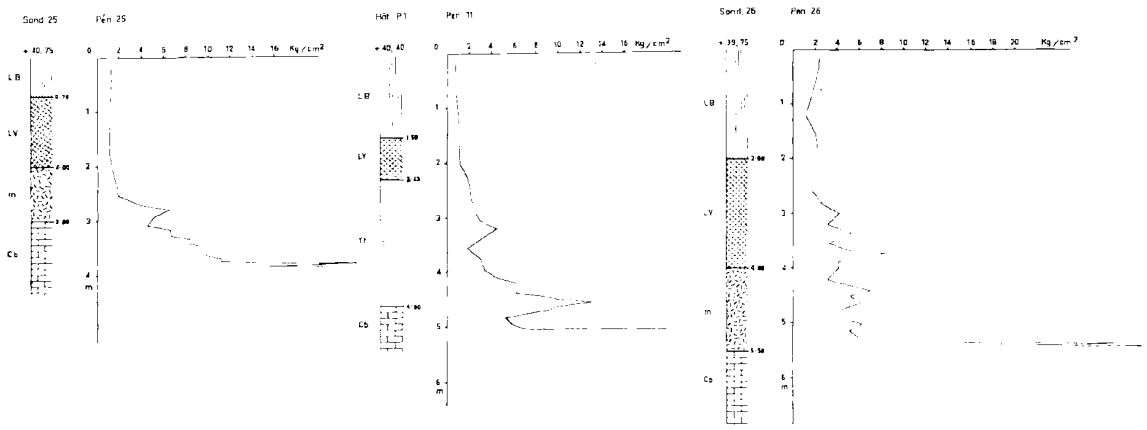

FIG. 3. — Comparaison des coupes géologiques (coupes-sondeur interprétées) et des diagrammes pénétrométriques (n°s 25, 11 et 26).

LB, limon brun ; LV, limon vert ; m, marnettes ; Cb, craie blanche.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

du tuffeau ou du limon suivant qu'il est respectivement proche ou éloigné des affleurements du tuffeau qui lui a donné naissance. Par ailleurs, ce limon vert, qui est nettement plus perméable que le limon brun, présente suivant les conditions météorologiques, une teneur en eau variable qui se traduit par une diminution de résistance, qui se traduit surtout par une mauvaise tenue en fouille profonde, et ce fut la cause de bien des déboires en cours de travaux.

TENUE DES FOUILLES.

Les fouilles des bâtiments établis sur semelle filante ont été exécutées en deux temps : dans un premier temps, de gros engins (pelles mécaniques ou scrapers) exécutaient une vaste fouille de 2 à 3 m de profondeur à l'emplacement du bâtiment. Dans un deuxième temps, des pelles mécaniques type Poclain procédaient au creusement des rigoles de fondation continues ou avec puits.

Les premières fouilles exécutées au printemps 1964 ont fait preuve d'une excellente tenue, au moins dans les limons verts, les limons bruns s'effritant un peu en surface, ce qui soulignait la limite des deux assises. Brusquement, à l'automne 1964, les pluies ont commencé à tomber en abondance et la stabilité des travaux est devenue très précaire. Malheureusement, le bétonnage des fondations ayant été retardé, de gros éboulements se sont produits et il a fallu à maintes reprises dégager les fouilles de masses énormes de limons transformés en boue liquide.

Au cours de l'année 1965, la pluviométrie ayant été constamment excédentaire, il a fallu procéder simultanément au creusement des fouilles et au bétonnage. Ce qui n'a pas empêché certains puits de s'effondrer plusieurs fois et d'atteindre un volume parfois décuple du volume nécessaire.

Il est inutile de souligner les multiples inconvénients de cette situation : discontinuité du travail, reprises continuelles, nettoyage des fouilles en partie bétonnées, sans compter les difficultés de circulation avec des engins lourds, sur un chantier gorgé d'eau. Heureusement, la voirie avait été réalisée dès 1963 et les voies principales ont toujours été accessibles.

Le processus des effondrements a pu être observé à maintes reprises et s'explique par la nature du sous-sol. Le limon brun étant argileux et relativement imperméable, les pluies faibles restent en surface où elles imbibent le limon, transformant rapidement le terrain en bourbier ; puis, si elles sont plus importantes, elles ruissellent pour se rassembler dans les dépressions de la surface, donnant naissance à des mares plus ou moins étendues et plus ou moins durables. A partir de ces mares, l'infiltration gagne lentement le limon vert qui, beaucoup plus perméable, donne lieu à une circulation horizontale. S'il existe au voisinage une fouille importante ou un simple puits, l'eau s'écoule dans cette fouille entraînant avec elle le limon vert sous forme de boue inconsistante. L'entraînement du limon vert provoque le sous-cavage du limon brun qui, à son tour, s'effondre par gros paquets, ouvrant la voie au ruissellement superficiel.

Ainsi certaines fouilles ont été transformées en véritables étangs, à la fois par la pluie tombant à l'aplomb, par l'infiltration au niveau du limon vert et par le ruissellement superficiel ; d'autres ont été partiellement comblées par des coulis de boue pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur.

La remise en état de ces fouilles, creusées avec facilité par temps sec, a été parfois très pénible et, dans certains cas, il aurait été presque possible de les dégager à l'aide de pompes tant la boue était fluide. Heureusement, le sous-sol de la région n'étant plus aquifère, le drainage par le bas amenait une consolidation de la boue par infiltration de l'eau.

Il convenait de signaler ces difficultés, car elles mettent en relief le mérite des entreprises et, par ailleurs, elles constituent une expérience qu'il ne faudrait pas oublier.

III. — Anomalies géologiques

Même si une étude géologique sérieuse avait été entreprise, des aléas étaient toujours possibles.

1) Au voisinage du Dôme du Mélantois, on pouvait craindre de petites *failles* comme en a montré la tranchée de l'Autoroute Sud de Lille (Bonte 1957), comme en présentent les carrières d'Haubourdin (Fenet 1965). Jusqu'à présent, aucun accident de ce genre ne s'est manifesté.

Ces failles n'auraient d'ailleurs eu d'importance que dans le cas où elles auraient traversé les fouilles d'un bâtiment, car elles pouvaient introduire une discontinuité dans les caractéristiques géotechniques du sous-sol.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

2) Des *poches de dissolution* dans la craie, avec remplissage de tuffeau et de limon, étaient prévisibles et effectivement il en a été observé dans des circonstances parfois gênantes (bâtiments C 1 et M 1). Elles devaient entraîner les mêmes inconvénients que les failles, du fait de la discontinuité craie-remplissage, mais, pas plus que celles-ci, elles ne pouvaient être localisées avec précision a priori.

L'intérêt des observations faites sur ces poches a conduit à les décrire séparément.

LES POCHES DE DISSOLUTION.

On pouvait prévoir que les fouilles rencontreraient des poches de dissolution car les conditions requises étaient réalisées, à savoir : absence de chape imperméable et présence d'une couverture perméable (Bonte 1963). En effet, l'Argile de Louvil en place, qui aurait fourni une chape imperméable efficace, n'est pas conservée ; elle n'existe qu'à l'état de témoin très réduit dans l'axe de certaines poches (bâtiment P 1, fig. 2). Par contre, le rôle de couverture perméable pouvait être joué : soit par le sable vert ou le tuffeau landénien en place, soit par le tuffeau remanié ou par le limon vert à granules de craie. Mais là se seraient bornées les prévisions, car la distribution des poches est aléatoire, et il n'est pas possible de la préciser avec les méthodes actuelles de la prospection.

Effectivement, des poches assez nombreuses ont été observées, mais uniquement dans les fouilles profondes, car les fouilles superficielles n'intéressent que les limons. Leur étude détaillée montre quelques particularités locales intéressantes.

1) Distribution.

Les poches sont généralement isolées et indépendantes les unes des autres. Il n'y a pas une zone à poches, celles-ci pouvant se trouver partout, semble-t-il, dans l'emprise de la Cité scientifique, avec peut-être une localisation préférentielle au voisinage du contour séparant le tuffeau de la craie et de part et d'autre de celui-ci (fig. 4). Dans l'ensemble, les entonnoirs semblent répartis au hasard et séparés par des zones saines.

J'ai récemment émis l'hypothèse (Bonte 1965) que la distribution des poches de dissolution était liée aux voies d'infiltration et de drainage. Comme la craie est pratiquement toujours absorbante, ce sont les voies d'infiltration qui imposent dans notre région l'emplacement des poches. Les dépressions élémentaires de la surface topographique joueraient donc un rôle essentiel. On peut trouver confirmation de cette hypothèse dans la poche du bâtiment P 1 qui renfermait un lit de tourbe, lequel suppose l'existence d'une mare permanente.

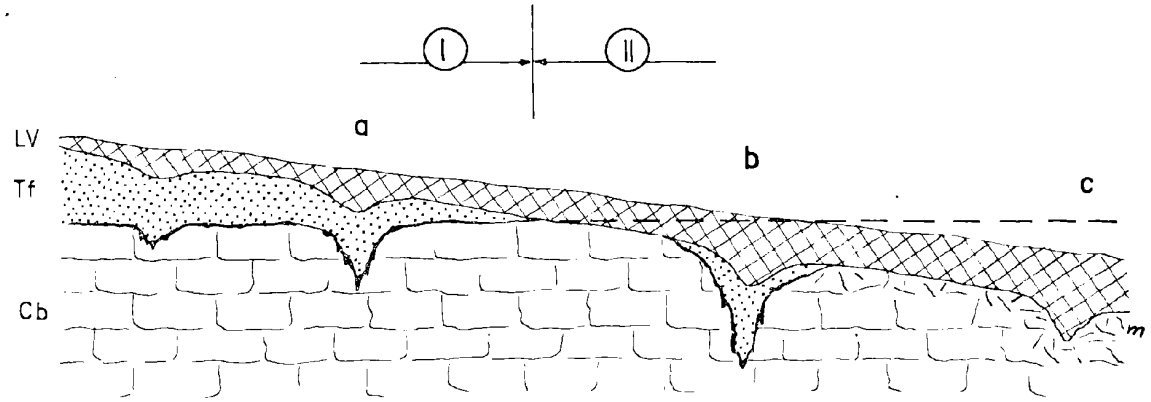

Fig. 4. — Différents types de remplissage suivant la position des poches par rapport à la limite d'extension du tuffeau. I, tuffeau conservé ; II, tuffeau déblayé.

a, tuffeau en continuité avec l'affleurement, comblement par limons (Bât. P 1); b, témoin de tuffeau en bordure d'une poche, comblement par limons (Bât. C 1 et M 1); c, limon seul (Bât. M 1, Bibliothèque).

Cb, craie blanche ; Tf, tuffeau ; LV, limon vert ; m, marnettes.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

2) Morphologie (fig. 4).

La forme des poches est assez variable et il est possible de distinguer plusieurs types (fig. 5):

1) Les poches simples (fig. 5, I). Le plus souvent isolées, elles ont une forme générale conique.

2) Les poches complexes (fig. 5, II). Elles sont de grande taille, formées de poches élémentaires groupées autour d'une poche centrale qui est la plus profonde (bâtiment M 1).

3) Les poches allongées. Elles ont la forme de fossés à bords grossièrement parallèles et présentant des excroissances latérales (bâtiment C 1).

Les parois des poches sont généralement en pente douce à la périphérie et sub-verticales dans la partie profonde, en forme de tulipe évasée. Mais il existe des poches à pente faible affectant l'allure de bassin (bâtiment P 1, partie est) ou, au contraire, à parois absolument verticales dès la surface de la craie. Un des puits (bâtiment P 1, partie ouest) montrait ainsi une paroi verticale de craie, les trois autres parois étant creusées dans le limon superficiel effondré dans la poche jusqu'à une profondeur de 3,40 m minimum (fig. 5, III). Ce puits particulier était encadré par trois autres puits creusés entièrement dans la craie. Il s'agissait donc d'une sorte de cheminée verticale.

3) Remplissage des poches.

Comme il fallait s'y attendre dans l'aire d'extension du Landénien, ce sont les sables et tuffeau glauconieux, en continuité latéralement avec les couches non déformées, qui forment le fond de la poche (fig. 4 I), surmontées à deux reprises (bâtiment P 1) par un témoin d'argile sableuse grise attribuée à l'Argile de Louvil (fig. 2).

L'ensemble s'infléchit vers le bas, en stratification emboîtée, et la poche est comblée par le limon vert et le limon brun. Du fait de l'emboîtement des couches successives, l'inflexion du remplissage est d'autant plus amortie qu'on se rapproche de la surface (fig. 5).

En dehors de la calotte landénienne, des poches peuvent apparaître directement sous les limons verts, mais souvent leur fond est néanmoins constitué par du tuffeau affaissé, témoin de l'extension de cette formation (fig. 4, II).

Dans tous les cas, les poches comportent le liseré noir (argile éluviale riche en MnO2) qui caractérise le processus de la dissolution lente sous couverture, alors que la dissolution aérienne, dans les marnettes par exemple, ne laisse en surface aucun élément résiduel.

4) Profondeur des poches.

Au bâtiment C 1, la poche descendait au moins à 5 m sous la surface de la craie, et c'est en cherchant le fond de l'entonnoir qu'on a recoupé le tun et la craie glauconieuse.

Au bâtiment M 1, un puits creusé dans l'axe de la poche a dépassé 6,75 m sans en atteindre le fond.

Dans le puits à parois verticales du bâtiment P 1, la profondeur est supérieure à 7,50 m puisque le

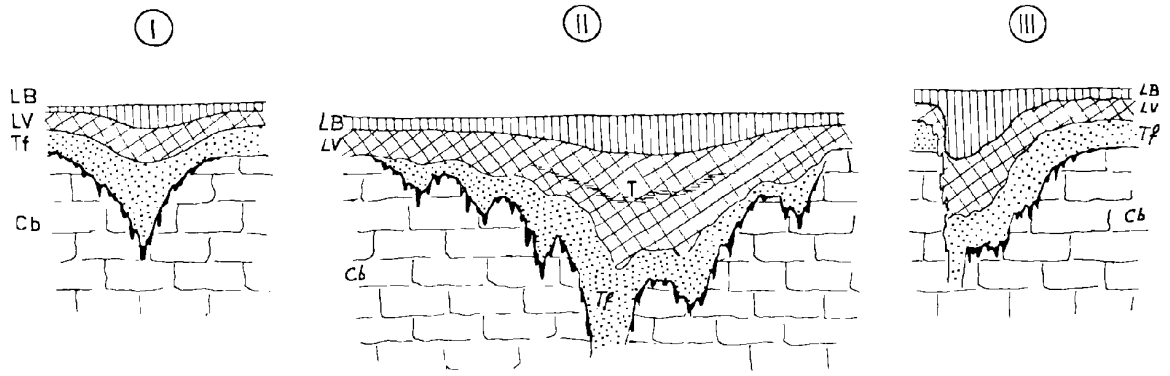

Fig. 5. — Les différents types de poches. I, poche simple (cas général); II, poche complexe (Bât. C 1 et M 1) avec tourbe éventuellement (Bât. P 1); III, poche à paroi verticale (Bât. P 1).
LB, limon brun ; LV, limon vert ; T, tourbe ; Tf, tuffeau landénien ; Cb, craie blanche.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

limon brun superficiel est affaissé à 3,40 m au-dessous du contact tuffeau-craie.

Par les fouilles du bâtiment C 1, on sait que les marnes turoniennes, annoncées par le tun et la craie glauconieuse, sont toutes proches. Grâce à cette circonstance favorable, la profondeur des poches est limitée, car le substratum imperméable de la nappe impose une barrière à la dissolution, par défaut de drainage. Il est à peu près certain, à voir les dimensions horizontales des poches, que si la craie avait été plus épaisse, elle aurait été traversée sur toute sa hauteur par les poches qui auraient été plus profondes.

5) L'AGE DES POCHES.

Les très nombreuses observations effectuées dans tout le Nord de la France montrent que la formation des poches de la craie sous Tertiaire est un phénomène récent, subactuel et souvent même actuel. En toute rigueur, on peut dire qu'il a pu débuter dès la mise à nu de la couverture perméable (en l'occurrence avant le dépôt du limon vert) et qu'il s'est poursuivi jusqu'à nos jours puisqu'aucune chape imperméable n'a été reconstituée en surface.

Le plus bel exemple est celui de la carrière de Rœux où on voit le limon de ruissellement superficiel, donc actuel, atteindre plusieurs mètres d'épaisseur dans l'axe des poches ; où on voit également, en arrière du front d'exploitation, la surface du sol parsemée de dépressions arrondies remplies d'eau en période de pluie, concrétisant ainsi les voies d'infiltration qui sont à l'origine des poches ; le phénomène une fois amorcé est donc irréversible.

A Annappes, les poches de dissolution se présentent avec des caractères assez variables. La première poche observée (bâtiment C 1) aurait pu laisser croire qu'on se trouvait en présence d'un type un peu aberrant : le remplissage de tuffeau paraissait tronqué par le limon à granules de craie, ce qui conduisait à penser que la poche formée avant le dépôt du limon vert n'était plus fonctionnelle. En réalité, il s'agissait d'une apparence due au fait que la poche, elle-même de forme complexe, était recoupée par la fouille sous les angles très variés (fond de fouille, paroi verticale, banquette horizontale et glacis en pente douce).

Toutes les autres poches obéissent au schéma-type connu dans la région, c'est-à-dire qu'elles présentent un emboîtement de toutes les formations superposées à la craie, y compris le limon superficiel. Elles sont donc encore fonctionnelles, bien que leur développement vertical soit limité par la proximité des marnes du Turonien moyen.

Dans le cas particulier du bâtiment P 1, la présence dans l'axe des 2 poches, sous les limons verts, de témoins d'Argile de Louvil (fig. 2) permet d'apporter une précision supplémentaire en ce sens que le remplissage s'était déjà infléchi vers le bas avant le dépôt du limon vert. Les poches ont donc commencé à se former à une époque où le tuffeau landénien était mis à nu par l'érosion du versant et probablement dès l'ablation de la chape imperméable d'Argile de Louvil et n'était pas encore recouvert par les limons verts à granules de craie. Elles ont continué à fonctionner jusqu'à nos jours, entraînant vers le bas le limon vert et le limon brun qui s'emboîtent dans le Landénien. Par ailleurs, toujours au bâtiment P 1, l'inflexion vers le bas du lit de tourbe, qui s'appuie latéralement sur les parois de la poche, confirme, s'il en était besoin, le fonctionnement tardif des poches de dissolution.

Ces quelques observations montrent l'intérêt des fouilles superficielles dans une région couverte, même lorsque cette région paraît bien connue. Il aurait été regrettable que ces documents géologiques soient mis à jour sans être enregistrés.

Que les responsables du projet n'aient pas jugé opportun de se documenter sérieusement au départ, ce qui leur aurait évité certains désagréments, on peut s'en étonner, à une époque où la géologie a fait ses preuves et pour un ouvrage destiné au moins pour une part à des géologues. Mais il est certain que si la prospection géophysique avait été remplacée par une campagne de sondages mécaniques bien conduite, on aurait pu établir des prévisions géologiques autrement rigoureuses que celles qui ont été formulées.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

BIBLIOGRAPHIE

BONTE A. (1957). — Observations sur le Dôme du Mélantois. *Ann. Soc. géol. Nord*, t. LXVII, p. 154-163, 1 fig.

BONTE A. (1963). — Les remplissages karstiques. *Sedimentology*, t. 2, p. 333-340, 3 fig.

BONTE A. (1965). — Bauxites et Argiles à silex, deux formations colluviales. 90e Congrès des Soc. Sav., Nice (à l'impression).

BONTE A., BROQUET P., DELLERY B., DESWARTE J.M. et FENET B. (1964). — La craie phosphatée dans le Nord et le Pas-de-Calais. *Ann. Soc. géol. Nord*, p. 41-42.

FENET B. (1965). — Le « Dôme du Mélantois » dans les environs de Lille. *D. E. S. Lille*. 1 br. ronéo, 31 p., 11 fig., 7 pl.

MATHIEU G. (1942). — Révision de la feuille de Lille au 1/80.000. Etude de l'ennoyage du Dôme crayeux du Mélantois à l'Est et au Nord. *Bull. Serv. Carte géologique France*. C.R. coll. Campagne 1941, n° 211, t. XLIII, p. 1-11, 1 fig.

S.E.F.E. (Société d'Etudes pour la France et l'Etranger). — Université de Lille, Cité Scientifique, étude des terrains. Rapport inédit, 22 pages, 81 fig., 6 pl.

*
**

NOTES AJOUTEES PENDANT L'IMPRESSION

I. - DATATION DES LIMONS.

Microtus raticeps, trouvé à la limite limon brun-limon vert, a été reconnu en Dordogne vers 1942, dans les fouilles dirigées par Passemard (Aurignacien), par M. Heim de Balsac, qui l'a retrouvé également dans la brèche à Lemming de Maubeuge (Moustiérien sup. = Flandrien inf. d'après G. Dubois, *A.S.G.N.*, 1919 et 1927).

Or le lit de tourbe situé à mi-épaisseur du limon vert renferme *Microtus arvalis* et Mme C. Dubois, d'après la flore et par comparaison à des tourbes déjà étudiées à Lille (G. Dubois et Mme C. Dubois, *A.S.G.N.*, 1939), l'attribue « au Flandrien moyen, Néolithique, phase forestière atlantique ».

Deux hypothèses sont possibles pour expliquer cette anomalie : ou l'amas ossifère de la base du limon brun était remanié, ce qui est bien improbable ; ou le limon vert de la poche, d'ailleurs assez hétérogène et anormalement épais, est un produit récent (limon de ruissellement superficiel, comme à Rœux) provenant du remaniement du limon vert normal et venant combler la dépression créée par la dissolution au fur et à mesure de l'approfondissement de la poche. Je penche personnellement pour cette dernière hypothèse.

II. - LA TOURBE DU BATIMENT P 1.

L'analyse de la tourbe a été effectuée par Mme C. Dubois à qui j'avais adressé un échantillon, en raison de sa parfaite connaissance de la région. D'après Mme Dubois, « la tourbe est fort pauvre en pollens et les grains sont dans un mauvais état de conservation. Le Chêne y est présent pour 94 %, les 6 % restants appartenant au Hêtre. Comptés à part, le Coudrier représente 12 % et le Saule 11 % par rapport aux pollens forestiers. Des pollens de Graminées, de rares tissus de Fougères complètent la flore ».

Dans le même temps, M. Clément soumettait un autre échantillon, à titre documentaire, à Mme Dubois-Tylski, Assistante de Botanique à la Faculté des Sciences de Lille, qui s'intéresse particulièrement aux Diatomées.

Mme Dubois-Tylski a effectué une vingtaine de préparations et n'a pu y déceler aucune diatomée. Par contre, elle a noté de nombreux fragments de Graminées et de Cypéracées, ce qui l'amène à penser que la tourbe en question s'est formée dans un marais alcalin à Hypnacées, Graminées et Cypéracées, tel qu'on peut en observer actuellement dans la vallée de la Somme ou dans les marais littoraux ; d'où l'absence de Diatomées.

Je tiens à remercier à nouveau M. Heim de Balsac pour les renseignements inédits qu'il a bien voulu me communiquer ; ainsi que Mme C. Dubois et Mme Dubois-Tylski pour les précisions qu'elles ont apportées grâce à l'étude de la tourbe.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1