Ann. Soc. Géol. Nord, T. 30 (2e série), p. 49-78, Décembre 2023

LA CRAIE GLAUCONIEUSE DE LEZENNES ET SES « TUNS » DANS LE FORAGE DE LA CITÉ SCIENTIFIQUE DE VILLENEUVE D'ASCQ (NORD) : INTERPRÉTATION D'UNE SUCCESSION ULTRA CONDENSÉE À LA LIMITE TURONIEN-CONIACIEN

The glauconitic chalk of Lezennes and its hardgrounds in the Villeneuve d'Ascq Cité Scientifique borehole (Northern France). Interpretation of a ultra condensed succession at the Turonian-Coniacian boundary

Francis AMÉDRO

26 rue de Nottingham, 62100 Calais et Université de Bourgogne – Franche-Comté, UMR CNRS 6282 Biogéosciences, 6 boulevard Gabriel, F-21000 Dijon
francis.amedro@free.fr

Fabien GRAVELEAU

Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences. UMR CNRS 8187 LOG. Université de Lille, Université du Littoral Côte d'Opale, CNRS, IRD, F-59000 Lille
fabien.graveleau@univ-lille.fr

Annette HOFMANN

Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences. UMR CNRS 8187 LOG. Université de Lille, Université du Littoral Côte d'Opale, CNRS, IRD, F-59000 Lille
annette.hofmann@univ-lille.fr

Alain TRENTESAUX

Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences. UMR CNRS 8187 LOG. Université de Lille, Université du Littoral Côte d'Opale, CNRS, IRD, F-59000 Lille
alain.trentesaux@univ-lille.fr

Nicolas TRIBOVILLARD

Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences. UMR CNRS 8187 LOG. Université de Lille, Université du Littoral Côte d'Opale, CNRS, IRD, F-59000 Lille
nicolas.tribovillard@univ-lille.fr

Résumé

Un nouveau forage réalisé sur le Campus de la Cité Scientifique de Villeneuve d'Ascq (Nord) a traversé 3,10 m de craie glauconieuse incluant plusieurs niveaux noduleux indurés ou *hardgrounds*. Cette unité lithologique, nommée ici Craie glauconieuse de Lezennes, est située aux confins de la limite Turonien-Coniacien. Une dizaine de niveaux repères à caractère lithologique (niveaux marneux et *hardgrounds*) identifiés dans l'intervalle étudié présentent une grande extension géographique à l'échelle régionale et constituent pour cette raison d'excellents outils de corrélation. La comparaison de plusieurs coupes échelonnées sur une distance d'une centaine de kilomètres depuis le Boulonnais au nord-ouest jusqu'à l'agglomération lilloise au sud-est, en passant par l'Artois, révèle le caractère ultra condensé de la Craie glauconieuse de Lezennes. Une analyse minéralogique complète l'étude. Enfin, au sein du forage, les variations de la surface piézométrique de la nappe de la craie du Turonien supérieur-Coniacien inférieur sont suivies et discutées en tenant compte de la sécheresse exceptionnelle qui a caractérisé l'année 2022.

Abstract

A new borehole carried out on the Cité Scientifique Campus in Villeneuve d'Ascq (northern France) crossed 3,10 m of glauconitic chalk which includes several hardgrounds. This lithological unit, named here « Glauconitic Chalk of Lezennes », is located around the Turonian-Coniacian boundary. About ten lithological marker beds (marl seams and hardgrounds) have been identified and present a large geographical extension at a regional scale which makes them therefore excellent correlation tools. The comparison of several sections over a distance of a hundred kilometers from Boulonnais to the northwest to the Lille conurbation to the southeast, passing through the region of Artois, reveals the ultra condensed character of the Glauconitic Chalk of Lezennes. A mineralogical analysis completes the study. Finally, in the borehole, the variations of the piezometric surface of the Upper Turonian-Lower Coniacian aquifer are recorded and discussed taking into account the exceptional 2022 drought.

INTRODUCTION

Le campus universitaire de la Cité Scientifique de Villeneuve d'Ascq, où se trouve l'actuelle Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Lille, a été implanté dans les années 1964-1966 sur une aire de plus de 100 hectares occupée antérieurement par des champs. Les travaux de génie civil entrepris à l'époque ont dégagé un certain nombre de tranchées éphémères qui ont été étudiées par Bonte (1966). Ses observations ont révélé que le sous-sol est constitué essentiellement de craie blanche coniacienne recouverte localement de limons et/ou de sable et tuffeau landéniens.

La coupe la plus profonde a mis au jour 2,75 m de craie blanche surmontant 2 m de craie légèrement glauconieuse ou « craie piquetée *sensu* Robaszynski *in* Colbeaux *et al.* (1975) », puis un banc irrégulier à gros nodules phosphatés (un premier « tun » suivant l'appellation locale) et enfin en-dessous une craie glauconieuse recoupée sur 0,50 m. En définitive, seuls 5,50 m de craie avaient été recoupés, de sorte que la nature du sous-sol de la Cité Scientifique restait encore mal connue.

Dans ce contexte, la réalisation en mai 2022 d'un forage carotté de 17,30 m de profondeur, devant le bâtiment SN5 dédié aux Sciences de la Terre, offre l'opportunité de mieux apprécier la succession des couches présentes sous la Cité Scientifique. Ce forage a été implanté afin d'offrir un dispositif de travaux pratiques à destination des diverses formations des étudiants en hydrologie, hydrochimie, hydrogéologie et géotechnique. Le forage présenté ici est le premier d'un futur réseau de quatre piézomètres, espacés de plusieurs mètres, qui permettra de nombreux travaux pratiques. Grâce à ce forage, il devient possible d'établir une description lithologique précise des craies situées dans la portion sud-est de la métropole de Lille. Des corrélations deviennent envisageables avec des coupes et forages décrits en d'autres endroits de l'agglomération lilloise, en Artois et dans le Boulonnais.

Enfin, une comparaison entre le profil lithologique et les données mécaniques obtenues lors de la réalisation du forage, en particulier de la pression du couple de rotation de la machine de forage, est présentée en annexe. Ces informations présentent un grand intérêt pour les géotechniciens travaillant sur le territoire de la métropole de Lille et qui sont amenés à rencontrer en sondages divers faciès de la Craie incluant des niveaux indurés résistants.

LA CRAIE GLAUCONIEUSE DE LEZENNES (F.A.)

La localisation géographique des points d'observation (carrières, affleurements, puits et forages) cités dans cet article et situés dans la ville de Lille et ses abords, en particulier à Lezennes et Villeneuve d'Ascq, est reportée sur la figure 1.

La succession lithologique décrite à la fin du XIXe siècle et au début du XXe dans les anciennes carrières de Lezennes

Le sous-sol crayeux de la partie méridionale de l'agglomération lilloise, en particulier à Lezennes, est creusé de plusieurs dizaines de kilomètres de galeries subhorizontales qui correspondent à des carrières souterraines ayant servi à fournir de la craie à bâtir. Ces carrières sont situées à une dizaine de mètres sous la surface du sol. Toutefois, le fond des galeries s'abaisse progressivement de la côte 30 NGF à la côte 24,80 NGF du sud au nord, dans le même sens que le pendage des couches géologiques (Ricour & Leplat, 1990). L'extrac-

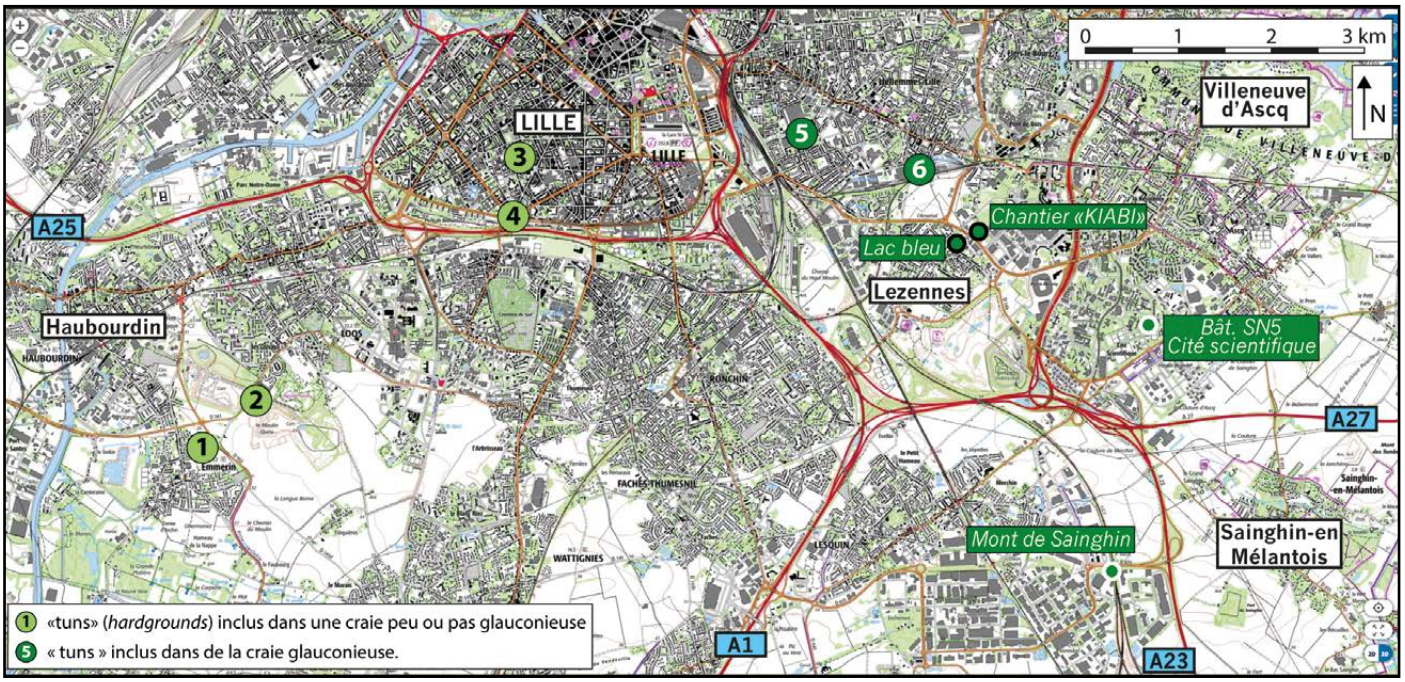


Fig. 1. – Localisation géographique des « tuns » et de la Craie glauconieuse de Lezennes à l'Est de l'agglomération lilloise. Si l'aire d'extension des faciès glauconieux est limitée au quartier de Fives à Lille et aux communes d'Hellemmes, Lezennes, Villeneuve d'Ascq et Sainghin-en-Mélantois, celle des tuns est plus vaste et couvre tout le reste de l'agglomération lilloise jusqu'à Haubourdin à l'Ouest. 1 : Emmerin, 2 : Loos, 3 : Wazemmes, 4 : Porte des Postes, 5 : anciens ateliers de Fives-Cail, 6 : ateliers SNCF d'Hellemmes.

Fig. 1 – Geographical location of the « tuns » and the glauconitic chalk of Lezennes to the east of the Lille agglomeration. If the area of extension of the glauconitic facies is limited to the district of Fives in Lille and to the municipalities of Hellemmes, Lezennes, Villeneuve d'Ascq and Sainghin-en-Mélantois, that of the tuns is larger and covers all the rest of the Lille conurbation as far as Haubourdin to the west. 1 : Emmerin ; 2 : Loos, 3 : Wazemmes, 4 : Porte des Postes, 5 : former workshop of Fives-Cail, 6 : SNCF workshops of Hellemmes.

tion a, semble-t-il, débuté au Moyen Âge, mais a été surtout intense au XVIIe siècle lors de la construction de nombreux édifices à travers la ville de Lille, dont la citadelle par Vauban (Dubois, 2009). La craie était extraite à partir de chambres d'exploitation verticales et circulaires, évasées à la base et en forme de bouteille de champagne, nommées localement « catiches » (fig. 2). Les « catiches » étaient elles-mêmes reliées entre elles, à leur base, par des galeries souterraines plus ou moins horizontales pourvues de chambres d'extraction séparées par des piliers crayeux servant au soutènement des voûtes (d'où le nom de « carrière à piliers tournés » donné à ce type d'exploitation).

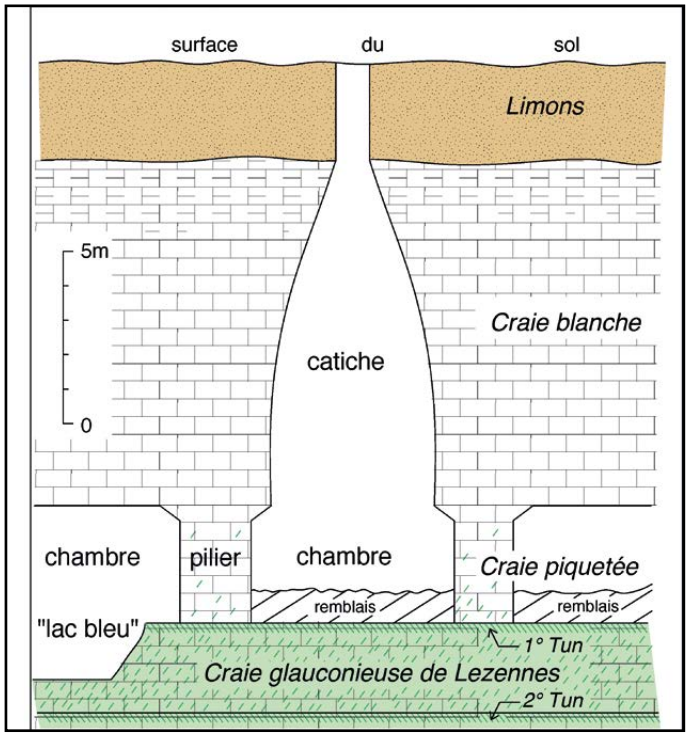


Fig. 2. – Schéma d'exploitation des carrières souterraines de Lezennes en « catiches », chambres et « galeries à piliers tournés » (modifié d'après Ricour & Leplat, 1990).
Fig. 2 – Scheme of exploitation of the underground quarries of Lezennes in « catiches », chambers and « galleries with turned pillars » (modified after Ricour & Leplat, 1990).

Le terme de « Craie de Lezennes » a été créé par Jules Gosselet en 1870 pour un intervalle de craie grise, glauconieuse, contenant des niveaux durcis désignés sous le nom de « tuns » (« la pierre qui tient ») par les ouvriers carriers et foreurs de la région lilloise et qui correspondent à des *hardgrounds* suivant la terminologie actuelle. Les *hardgrounds* sont des niveaux précocement indurés lors de la cimentation du sédiment originel et qui ont pu servir de substrats durs lors du dépôt des couches sus-jacentes. Cette couche de craie glauconieuse particulière est située à la limite entre les zones d'échinides successives à *Micraster breviporus* et à *Micraster cortestudinarius sensu* Barrois (1878) et Gosselet (1881). Selon la description originelle de Gosselet (1870), la Craie de Lezennes correspond à « *l'assise des Gris ou du Tun* ». C'est la raison pour laquelle elle est parfois désignée sous le nom de « *Craie grise* » (Robaszynski *in* Colbeaux *et al.* (1975) et *in* Mégnien & Mégnien coord., 1980). Mais il existe une autre « *Craie grise* », popularisée par les travaux de creusement du tunnel sous la Manche qui, elle, est cénomanienne et correspond à la traduction française d'un terme anglais créé un demi-siècle plus tôt : *the Grey Chalk* (Phillips, 1819). Ce nom est appliqué à la craie grise, argileuse, près de Douvres (U.K.). Pour respecter la règle d'antériorité, éviter toute confusion et dans la mesure où la teinte grise de la Craie de Lezennes est liée à la présence d'une proportion significative de glauconie, nous proposons d'émender le terme par l'adjonction de l'adjectif « glauconieuse », la Craie de Lezennes devenant « Craie glauconieuse de Lezennes ».

Gosselet ayant observé uniquement la partie supérieure des niveaux crayeux contenant de la glauconie (la Craie piquetée de glauconie et le sommet de la Craie glauconieuse de Lezennes), la première coupe complète de la Craie glauconieuse de Lezennes a été publiée par Cayeux (1889) à partir de levés réalisés, premièrement, dans les carrières souterraines de la localité type et deuxièmement, dans des puits. Des indications complémentaires sont apportées ultérieurement par Parent (1893 a, b) et surtout par Gosselet (1905) qui assimile la Craie glauconieuse de Lezennes à « *l'assise des Gris ou du Tun, laquelle constitue un des traits les plus caractéristiques de la région de Lille* ».

En synthétisant les descriptions publiées par les différents auteurs, en particulier Cayeux (1889), Gosselet (1905), Ricour & Leplat (1990) et Dubois (2009), les principales unités lithologiques visibles à la fin du XIXe siècle et au début du XXe au sein des carrières souterraines et des puits de Lezennes peuvent être résumées de la façon suivante, du haut vers le bas :

✧ **Craie blanche**

vue sur 6,30 m : craie blanche, sans silex, contenant des fragments (« soies ») d'inocérames. La forte altération de la roche sur une profondeur de plusieurs mètres et sa fracturation sont les raisons pour lesquelles cette craie blanche n'a pas, ou peu, été utilisée comme pierre de taille. Elle a en revanche été extraite à partir des « catiches » pour la production de pierre à chaux. Les niveaux crayeux les plus superficiels se débitent en plaquettes et sont nommés « *marnettes* » par les puisatiers à l'échelle régionale. Il s'agit d'un faciès d'altération qui résulte des cycles gel/dégel durant les périodes glaciaires du Quaternaire ;

✧ **Craie piquetée (de glauconie)**

3,00 m : craie à bâtir grise, ponctuée de grains de glauconie, avec une teneur en glauconie qui augmente vers le bas. Deux bancs ont été distingués par les carriers au sein de la Craie piquetée nommée aussi « *Craie à bâtir* » : au

sommet le « *Banc des Roux* » ou *2e banc*, à la base le « *Banc du Tun* » ou *1er banc*. Cette Craie piquetée (de glauconie) a été largement exploitée au sein des carrières souterraines de Lezennes, à travers plusieurs dizaines de kilomètres de galeries. Très localement, l'extraction a été prolongée vers le bas à travers la craie glauconieuse sous-jacente dans une tentative avortée d'extraction du phosphate de calcium qui se trouve au sein des tuns. C'est à cette occasion que Cayeux (1889) a pu décrire la première coupe complète de la Craie glauconieuse de Lezennes, en particulier en un point situé au nord de la localité, nommé « lac bleu » (fig. 1) en raison de l'émergence fréquente de la nappe de la craie en périodes de hauts niveaux piézométriques – le plus souvent de mars à mai (Ricour & Leplat, 1990) ;

✧ **Craie glauconieuse de Lezennes**

0,40 m : **1er Tun**, constitué de nodules jaunâtres gros comme le poing en phosphate de chaux, noyés dans une craie grise, glauconieuse ;

1,70 m : craie très glauconieuse ;

0,50 m : **2e Tun**, en nodules d'un blanc jaunâtre dans une craie plus pâle ;

0,10 m : craie grise, faiblement glauconieuse ;

✧ **Craie à (silex) cornus**

0,50 m : **3e Tun** ou « **Tun blanc** », constitué de nodules tout à fait blancs dans une craie de même couleur ;

0,30 m : craie gris-blanc ;

vue sur 1,50 m : craie à gros silex cornus noirs, recouverts d'une patine blanche.

Si la limite supérieure de la Craie glauconieuse de Lezennes a été placée dès l'origine par Gosselet au sommet du 1er Tun, la limite inférieure de l'unité lithologique a fait l'objet d'interprétations différentes suivant les auteurs. Ainsi, le 3e Tun est rapporté par Parent (1893 b) à la Craie à cornus en raison de la couleur blanche des nodules, tandis que Gosselet (1905) l'attribue à « *l'assise des Gris* ». Cette divergence d'interprétation révèle la difficulté, fréquente en stratigraphie, de placer une limite entre des unités lithologiques successives. Dans la mesure où les observations actuelles montrent que le 3e Tun est le sommet durci de la Craie grisâtre à cornus, la limite entre la Craie glauconieuse de Lezennes et la Craie à cornus est placée dans la présente publication au sommet du 3e Tun.

En ce qui concerne la limite supérieure de la Craie de Lezennes, nous avions pensé dans une première interprétation réunir la Craie piquetée et la Craie glauconieuse de Lezennes en un seul ensemble lithologique dans la mesure où les deux unités sont caractérisées par la présence de glauconie. Mais l'un des rapporteurs de cet article (Francis Robaszynski), qui a eu l'opportunité d'étudier ces niveaux dans une carrière à Sainghin-en-Mélantois il y a un demi-siècle, nous a indiqué qu'au-dessus du 1er Tun, la teneur en glauconie diminue progressivement vers le haut. Cette remarque a d'ailleurs d'être confirmée par de récentes observations réalisées à l'occasion de cette étude en septembre 2022 dans les carrières souterraines de Lezennes au niveau du « lac bleu ». De la sorte, il semble dans certains cas bien difficile de placer une limite entre la Craie blanche et la Craie piquetée de glauconie. En réservant le terme de Craie glauconieuse de Lezennes à l'intervalle allant du 1er Tun inclus jusqu'à la limite supérieure du 3e Tun, la distinction entre ce qui apparaît au-dessus du 1er Tun par rapport à ce qui gît en dessous ne prête plus à discussion.

Extension géographique des faciès glauconieux

Même s'il convient d'émettre une réserve quant à la validité de certaines descriptions anciennes, fait déjà signalé il y a plus d'un siècle par Gosselet (1905), un certain nombre de forages et de travaux de génie civil permettent de cerner la distribution spatiale des faciès glauconieux développés aux confins de la limite entre les zones d'échinides à *Micraster breviporus* et à *Micraster cortestudinarius* dans la région lilloise. Ainsi, l'extension géographique de la Craie glauconieuse de Lezennes est localisée sur une aire relativement restreinte, limitée à la partie orientale de l'agglomération lilloise et qui englobe le quartier de Fives à Lille-Est (anciens ateliers de Fives-Cail), ainsi que les communes d'Hellemmes (ateliers SNCF), Lezennes, Villeneuve d'Ascq (Cité Scientifique) et Sainghin-en-Mélantois (fig. 1). Il ne s'agit pas d'une limite d'érosion ou d'affleurement dans la mesure où les craies du Turonien supérieur-Coniacien sont présentes dans le sous-sol de toute l'agglomération lilloise, mais bien de l'aire où les faciès crayeux s'enrichissent en glauconie. Des « tuns » sont également connus dans les parties occidentale, septentrionale et méridionale de l'agglomération (Loos-Haubourdin, Emmerin, Santes, Porte des Postes, quartiers Saint-Maur et Wazemmes à Lille, Ronchin), mais dans une succession crayeuse où la glauconie est rare, voire totalement absente.

Les données paléontologiques relatives à la Craie glauconieuse de Lezennes et à la Craie piquetée

Les prospections réalisées au XIXe siècle dans les carrières souterraines de Lezennes par Gosselet (1870), Cayeux (1889) et Parent (1893 a et b) ont livré peu de fossiles au sein des faciès de craie glauconieuse : quelques brachiopodes non caractéristiques, des échinides appartenant essentiellement au genre *Micraster* et représentés par deux espèces : *M. leskei* d'Orbigny, 1855 [dont *M. breviporus* Agassiz, 1876 est un synonyme junior] et *M. cortestudinarium* (Goldfuss, 1829) et enfin deux ammonites. Si la présence de *M. leskei*, une espèce caractéristique du Turonien supérieur et de *M. cortestudinarium*, un taxon typique du Coniacien inférieur et moyen, indique que l'on se trouve aux confins de la limite entre les deux étages, il est difficile d'être plus précis dans la mesure où « *M. Cayeux et M. Parent ont ramassé la plupart de leurs fossiles dans des déblais et non en place* » Gosselet (1905,

p. 14). La seule indication intéressante est apportée par les deux moules internes d'ammonites qui sont conservés au sein des collections de paléontologie du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. Les deux exemplaires (ML4 et ML7) sont préservés dans une craie blanche, contenant quelques grains de glauconie. Il s'agit de la « craie à bâtir » de Cayeux (1889) ou « Craie piquetée ». Ces deux spécimens, décrits et illustrés par Amédro & Robaszynski (1978, 2006), sont des *Peroniceras tridorsatum* (Schlüter, 1867), espèce index de la seconde zone d'ammonites du Coniacien inférieur.

En complément, Robaszynski *in* Colbeaux *et al.* (1975) a étudié à Sainghin-en-Mélantois une carrière éphémère à ciel ouvert utilisée au début des années 1970 comme source de matériaux de remblai pour les terrassements de l'autoroute A27 entre Lille et Tournai. La coupe entaillait un intervalle équivalent à celui du forage décrit aujourd'hui dans l'enceinte de la Cité Scientifique à Villeneuve d'Ascq. La faune d'échinides, recueillie cette fois en place, provient du 1er Tun (ou Tun supérieur) et montre deux types de préservation : des petits *Micraster* proches de *leskei*, remaniés, plus ou moins usés et phosphatisés et quelques *M. cortestudinarium* non remaniés. Malheureusement, il s'agit du seul niveau ayant fourni des échinides. De plus, la détermination des *Micraster* mérite d'être revue dans la mesure où aucun *M. normanniae* Bucaille, 1883, espèce transitionnelle entre *M. leskei* et *M. cortestudinarium,* n'est cité dans la coupe. Une autre information est apportée par la découverte de plusieurs valves d'inocérames de grande taille (40 à 60 cm), « posées » sur le 3e Tun et qui ont été déterminées à l'époque par le Dr Jacques Sornay (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris) comme *Platyceramus mantelli* (de Mercey, 1872). C'est la récolte de cet inocérame, joint à la présence du foraminifère *Reussella kelleri* Vasilenko, 1961, qui a conduit Robaszynski *in* Colbeaux *et al.* (1975) à placer à Sainghin-en-Mélantois la limite Turonien-Coniacien un peu en dessous du 2e Tun. Cette interprétation est remise en cause aujourd'hui (nous plaçons la base du Coniacien au milieu du 2e Tun) pour deux raisons. Premièrement, l'actualisation des distributions verticales de foraminifères dans les craies du Turonien-Coniacien du Boulonnais montre que l'apparition de *R. kelleri* précède légèrement la limite Turonien-Coniacien (Robaszynski & Amédro, 2014). Deuxièmement, des récoltes récentes réalisées en Allemagne du Nord suggèrent que la distribution verticale de *P. mantelli* semble correspondre à celle du genre *Volviceramus*, c'est-à-dire à la partie moyenne de l'étage Coniacien (Walaszczyk & Wood, 2018), ce qui nécessite de revoir la détermination proposée dans les années 1970. En définitive, les foraminifères confirment l'appartenance du 1er Tun au Coniacien, mais sans qu'il soit possible de placer la limite Turonien-Coniacien avec précision.

Cet exposé illustre les limites de la méthode biostratigraphique fondée sur la récolte de macro- ou microfossiles. Il est en conséquence nécessaire d'envisager une approche différente pour interpréter la coupe du forage de la Cité scientifique. Dans le cas présent, la méthode utilisée est la stratigraphie événementielle dont les principes sont développés dans un chapitre suivant.

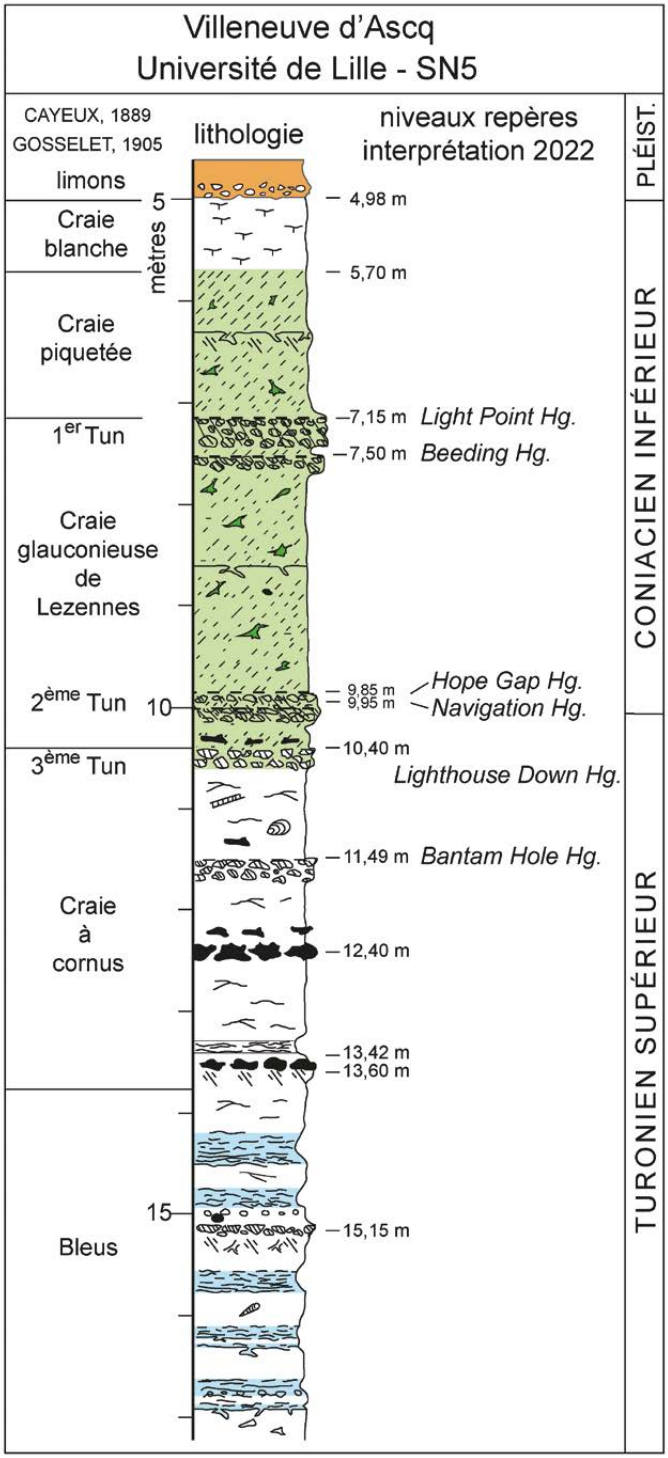


Fig. 3. – Lithologie des craies du Turonien supérieur et du Coniacien inférieur traversées par le forage du Campus de la Cité Scientifique de Villeneuve d'Ascq (forage réalisé devant le bâtiment SN5). La légende des figurés lithologique est indiquée sur la figure 7.

Fig. 3 – Lithology of the Upper Turonian and Lower Coniacian chalks corred by the borehole of the Villeneuve d'Ascq Cité Scientifique Campus (borehole drilled out in front of the SN5 building). The legend of the lithological figures is indicated in figure 7.

LE FORAGE RÉALISÉ SUR LE SITE DU CAMPUS DE LA CITÉ SCIENTIFIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE À VILLENEUVE D'ASCQ (F.A, F.G.)

Le forage décrit dans cette étude, indexé SC1, a été réalisé les 10 et 11 mai 2022 par l'entreprise GEOTEC (agence de Carvin) pour le compte de l'Université de Lille. Il a été financé conjointement par la Faculté des Sciences et Technologies et le Département des Sciences de la Terre. Il a été effectué sur le campus universitaire de la Cité Scientifique de Villeneuve d'Ascq, devant le bâtiment SN5 de Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Lille. Ses coordonnées Lambert93 sont les suivantes : x = 710392,15 ; y = 7056783,9 ; z = 39,2.

Description lithologique

Du haut vers le bas, la coupe montre la succession suivante (fig. 3) :

✧ **Formations superficielles**

0 à 4,70 m : intervalle non étudié, constitué par le sol végétal, puis par du limon brun ;

4,70 m à 4,88 m : limon brun ;

4,88 m à 4,98 m : limon identique au précédent, mais contenant de nombreux nodules crayeux centimétriques tendres, issus de la craie blanche sous-jacente et résultant de l'altération de celle-ci ;

✧ **Craie blanche**

4,98 m à 5,70 m : craie blanche très altérée (faciès « *marnettes* »), tendre, apparemment dépourvue de silex, mais contenant quelques grains épars, inframillimétriques, de glauconie ;

✧ **Craie piquetée**

5,70 m à 7,15 m : craie tendre, franchement glauconieuse, très bioturbée, gris-verdâtre. Certaines bioturbations sont remplies de craie marneuse blanchâtre contenant peu de glauconie. D'autres présentent en revanche des concentrations en glauconie. Une surface d'omission riche en *Thalassinoides* est présente à 6,30 m et surmonte 5 cm de craie plus cohérente, voire légèrement durcie (ébauche d'un *firmground*, c'est-à-dire d'un fond semi-induré, à la différence des *hardgrounds* qui sont entièrement indurés). Un échantillon prélevé à 6,50 m révèle la présence de 2,6 % de glauconie (pourcentage pondéral) et de 0,5 % de quartz. La limite entre la Craie blanche, au-dessus et la Craie piquetée, en dessous, est nette et l'on passe sans transition d'une craie blanche à une craie beaucoup plus sombre, gris-verdâtre ;

✧ **Craie glauconieuse de Lezennes**

- 7,15 m à 7,58 m : **1er Tun** constitué en réalité par la superposition de deux *hardgrounds* noduleux. Dans le détail, la succession est la suivante :
- 7,15 m à 7,44 m : *hardground* massif constitué de nodules indurés, beige à marron clair, de craie glauconieuse phosphatisée. Les nodules sont couverts d'un enduit glauconieux verdâtre, qui peut devenir jaunâtre lorsque la glauconie est altérée. Dans l'intervalle 7,15 m-7,23 m, les nodules sont de petite taille, celle-ci étant le plus souvent comprise entre 2 et 3 cm. Le volume des nodules augmente en revanche vers le bas où ils atteignent le plus souvent un diamètre de 4 à 5 cm. La craie qui cimente les nodules est elle-même indurée et glauconieuse ;
- 7,44 m à 7,50 m : craie glauconieuse non durcie, rayable à l'ongle ;
- 7,50 m à 7,58 m : *hardground* nettement plus mince que le précédent, formé de nodules centimétriques (1 à 2 cm) de craie glauconieuse phosphatisée et durcie. Le ciment est également induré ;

7,58 m à 9,85 m : craie glauconieuse gris-vert, tendre, très bioturbée. La plupart des bioturbations sont des *Thalassinoides* remplies de glauconie. Une surface d'omission, non durcie, est observée à 8,60 m. Un nodule centimétrique, marron foncé, de phosphate de chaux est présent à 8,90 m, ainsi qu'un second nodule, un peu plus gros et probablement issu du 2e Tun, à 9,73 m. Des analyses réalisées à 8,00 m et 9,50 m donnent des teneurs pondérales en glauconie respectivement de 9,3 % (probablement dans une bioturbation) et de 3,0 % (dans la matrice de la roche). Dans les mêmes prélèvements, la proportion en quartz s'élève à 2,7 % et 1,9 % ;

9,85 m à 10,18 m : **2e Tun** constitué, comme le premier, par la superposition de deux niveaux indurés. De façon précise, ces deux niveaux sont les suivants :

- 9,85 m à 9,90 m : accumulation de nodules de craie phosphatés beige, indurés, dont la taille varie de 2 à 4 cm, couverts d'un enduit peu glauconieux. Le ciment qui contient les nodules est en revanche tendre, constitué de craie glauconieuse gris-vert. Dans la mesure où la cimentation des sédiments est incomplète, il s'agit d'un fond semi-induré ou *firmground ;*
- 9,90 m à 9,95 m : craie glauconieuse gris-vert, tendre, assez grossière ;
- 9,95 m à 10,18 m : *hardground* très bioturbé constitué d'une craie gris-blanc, indurée, quasiment dépourvue de glauconie. Les bioturbations sont quant à elles remplies de craie grossière également durcie, gris-vert, franchement glauconieuse, issue du niveau supérieur ;

10,18 m à 10,22 m : craie gris-blanc rayable à l'ongle, ponctuée de quelques fins grains de glauconie. Cette craie est identique à celle constituant le *hardground* précédent, mais non durcie ;

10,22 m à 10,27 m : niveau beige, fragmenté, friable, très faiblement glauconieux, paraissant à première vue plus

marneux. L'analyse d'un prélèvement révèle cependant que la teneur en $CaCO_3$ atteint 85,6 %. Il s'agit d'une craie marneuse et non d'un niveau franchement marneux. On se trouve sous un *hardground* et il est possible qu'à la sortie de celui-ci, le carottier ait partiellement broyé la craie tendre sous-jacente sur quelques centimètres de hauteur ;

10,27 m à 10,40 m : craie blanche, grossière, légèrement glauconieuse. Un lit de petits silex digitiformes épigénisant des bioturbations (*Thalassinoides flints* suivant la formulation anglaise) est présent à 10,35 m. Il s'agit du premier lit de silex observé dans la succession ;

✧ **Craie à cornus**

10,40 m à 10,60 m : **3e Tun** correspondant à un *firmground*. Les nodules, pluricentimétriques, sont constitués d'une craie indurée grisâtre, contenant quelques rares grains inframillimétriques de glauconie. Les bioturbations sont quant à elles gris-verdâtre, remplies d'une craie tendre, rayable à l'ongle, nettement glauconieuse ;

10,60 m à 11,49 m : craie gris-blanc, très bioturbée, contenant encore un peu de glauconie, mais surtout caractérisée par la présence de nombreux filets marneux onduleux riches en glauconie et de teinte gris-verdâtre. Un silex digitiforme (*Thalassinoides*) est présent à 11,30 m. Deux inocérames ont également été trouvés dans cet intervalle, respectivement à 10,95 m et à 11,20 m. Le premier est un fragment indéterminable. En revanche le second a pu être déterminé par le Dr Irek Walaszczyk (Université de Varsovie, Pologne). Il s'agit d'un *Mytiloides* cf. *costellatus* (Woods, 1904), une espèce du Turonien supérieur ;

11,49 m à 11,67 m : *firmground* constitué d'une craie gris-blanc, légèrement durcie. Les bioturbations de type *Thalassinoides* sont remplies d'une craie un peu plus grossière, légèrement glauconieuse, cohérente, mais non durcie ;

11,67 m à 13,33 m : craie marneuse gris-beige parcourue sur toute sa hauteur par de très nombreux filets marneux onduleux gris plus foncé. Les 30 cm supérieurs sont encore finement ponctués de quelques grains de glauconie. En dessous, la glauconie se raréfie et disparait. Un lit de petits silex digitiformes est présent à 12,20 m, tandis qu'un autre lit, cette fois de gros silex cornus dont certains dépassent probablement 20 cm de longueur, existe à 12,40 m ;

13,33 m à 13,42 m : niveau plus marneux beige, tendre, finement laminé, parcouru à sa limite supérieure de nombreuses bioturbations (*Thalassinoides*) provenant de la craie sus-jacente. Ces bioturbations de teinte claire sont bien visibles dans la marne plus sombre. Un échantillon prélevé à 13,40 m donne une teneur en $CaCO_3$ de 91,2 %, ce qui est une valeur anormalement élevée pour un niveau « marneux ». En toute honnêteté, il conviendrait plutôt de parler de craie marneuse. En réalité, la teneur en carbonates est fortement dépendante de la bioturbation qui introduit plus ou moins de craie au sein de l'argile. C'est le cas ici ;

13,42 m à 13,80 m : craie marneuse beige paraissant relativement homogène, incluant à 13,50 m un lit de silex cornus de 7 à 8 cm et, dans l'intervalle 13,60 m-13,70 m, une passée plus cohérente, légèrement durcie ;

✧ **Bleus**

Le terme de Bleus était utilisé au siècle passé par les mineurs du Bassin houiller Nord – Pas-de-Calais pour désigner des alternances de niveaux de marne tendre, gris clair et de niveaux crayeux blanc-grisâtre. Il ne s'agit pas d'une division lithostratigraphique (formation ou membre), mais seulement d'un faciès régional ;

13,80 m à 17,30 m (fin du forage) : succession rythmée constituée par un empilement de cycles demi-métriques à pluridécimétriques. Chaque cycle débute à la base par un niveau gris sombre, constitué de nombreux filets marneux onduleux et passe progressivement, mais rapidement vers le haut à un banc plus carbonaté dont la limite supérieure correspond à une surface d'omission riche en *Thalassinoides*. Certaines bioturbations s'enfoncent de 10 à 20 cm dans le sommet des bancs crayeux. La base des niveaux marneux situés respectivement à 15,05 m et à 16,70 m est marquée dans les deux cas par la présence d'un lit de galets crayeux centimétriques. Certains sont beiges, légèrement phosphatisés, les autres sont blancs, mais non durcis. Le sommet du banc crayeux situé à 15,15 m est une surface d'érosion partiellement indurée qui apparait sous l'aspect d'une ligne de nodules crayeux durcis entre lesquels s'enfoncent des bioturbations (*Thalassinoides*) remplies de craie marneuse grise et tendre. Il s'agit d'un *firmground* dont la genèse est probablement liée à un balayage du fond par des courants car certains nodules durcis contiennent eux-mêmes d'autres graviers crayeux. Enfin, un silex noir de 3 cm et une trace fossile lamellaire de type *Zoophycos* ont été observés respectivement à 15,10 m et à15,60 m.

Un montage photographique présentant la totalité des carottes de forage est présenté dans l'Annexe 1.

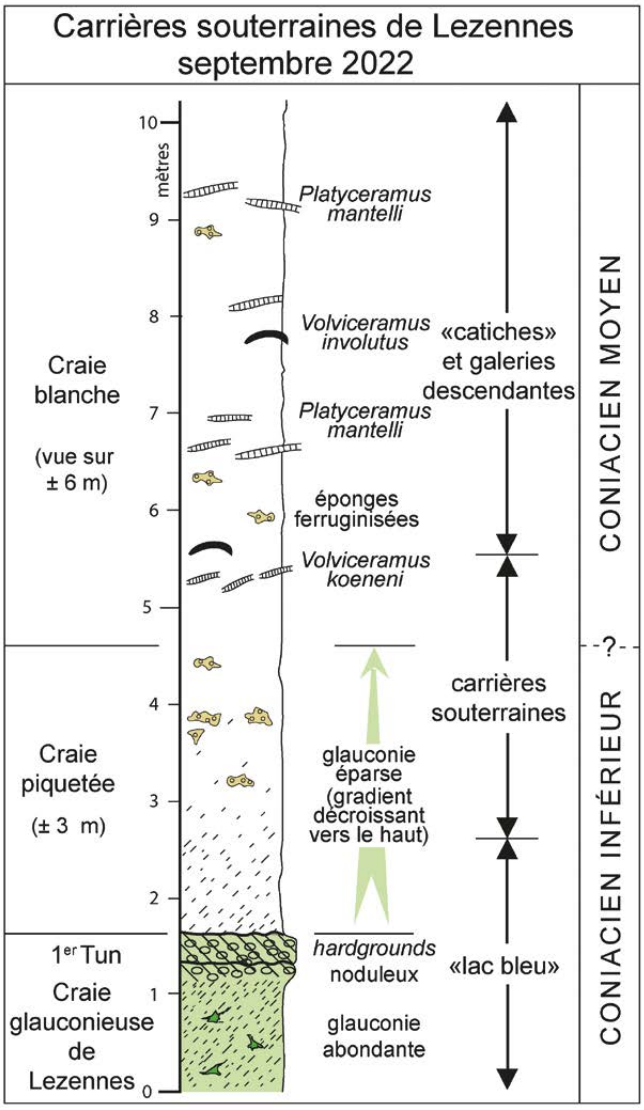


Fig. 4. – Lithologie des craies du Coniacien inférieur et moyen recoupées par les anciennes carrières souterraines de Lezennes.
Fig. 4 – Lithology of Lower and Middle Coniacian chalks intersected by the old underground quarries of Lezennes.

LES NOUVELLES OBSERVATIONS RÉALISÉES EN 2022 DANS LES CARRIÈRES SOUTERRAINES DE LEZENNES (F.A., F.G.)

La sécheresse exceptionnelle qui a affecté l'année 2022 a entraîné un important abaissement de la surface piézométrique de la nappe de la craie du Turonien supérieur – Coniacien dans la région lilloise. Cet événement météorologique nous a incité à effectuer de nouvelles investigations dans les galeries les plus profondes des carrières souterraines de Lezennes qui sont habituellement inaccessibles. L'ancienne chambre d'extraction nommée « lac bleu » constitue le point le plus bas des carrières (fig. 2). Le plancher de cette chambre correspond au niveau zéro de la coupe présentée dans la figure 4, levée le 29 septembre 2022 alors que le site était entièrement à sec. Du bas vers le haut, la succession est la suivante :

✧ Craie glauconieuse de Lezennes

0 à 1,20 m : craie glauconieuse gris-vert, tendre, très bioturbée ;

1,20 m à 1,60 m : *hardground* noduleux complexe, glauconieux, gris-vert, montrant la superposition de deux niveaux indurés constitués de nodules de craie glauconieuse durcie et phosphatisée. La matrice qui enrobe les nodules est elle-même durcie et glauconieuse ;

✧ Craie piquetée

1,60 m à 4,60 m : craie gris-blanc, contenant quelques grains épars, inframillimétriques, de glauconie avec une teneur qui diminue progressivement vers le haut. Il s'agit de la « *Craie à bâtir* » des anciens carriers. La moitié inférieure de l'intervalle, la plus riche en glauconie, correspond au « *Banc du Tun* », la moitié supérieure au « *Banc du Roux* ». La teinte du banc, classiquement attribuée à la présence de « rognons » de fer, correspond en réalité à la présence de nombreuses éponges ferruginisées appartenant aux genres *Paraplocia* et *Rhizopoterion* ;

✧ Craie blanche

4,60 m à environ 10 m : craie blanche tendre, fine, traçante, sans silex, contenant encore des éponges et surtout de nombreux lits de grands inocérames plats dont les valves dépassent souvent 30 cm. Ces spécimens appartiennent à l'espèce *Platyceramus mantelli* (de Mercey, 1872) dont l'holotype, préservé au sein des collections du Musée d'Histoire naturelle de Lille, provient des carrières de Lezennes. Associés à ces bivalves plats de grande taille dont la coquille est souvent fragmentée (d'où le nom de « craie à soies » parfois donnée à la Craie blanche), on trouve quelques représentants d'un autre inocérame à coquille plus bombée, identifié sous le nom de *Volviceramus involutus* (J. de C. Sowerby, 1829) dans les publications de nos prédécesseurs (Barrois, 1878 ; Gosselet, 1881, 1905 ; Cayeux, 1889 ; Sangnier *et al.*, 1968 ; Delattre *et al.*, 1973, etc). C'est la détermination retenue ici. Toutefois les travaux récents de Walaszczyk & Wood (1999, 2018) révèlent qu'une autre espèce précède légèrement *V. involutus* au sein de la lignée phylétique des *Volviceramus*. Il s'agit de *V. koeneni* (Müller, 1888) dont les valves sont légèrement plissées au stade juvénile et au début du stade adulte. Il est possible que certains *Volviceramus* présents dans la partie inférieure de la Craie blanche des carrières de Lezennes appartiennent à cette espèce.

L'intérêt de la coupe décrite ci-dessus est triple.

- Les carrières de Lezennes relaient vers le haut la succession décrite dans le forage de Villeneuve d'Ascq en recoupant la Craie blanche sans silex sur une hauteur de plus de 6 m.

- La présence de nombreux *Platyceramus mantelli* et *Volviceramus* dans cette même Craie blanche permet d'attribuer l'unité lithologique au Coniacien moyen (Walaszczyk & Cobban, 2006 ; Walaszczyk & Wood, 2018).
- Enfin et surtout, une différence de faciès importante est observée au sein de la Craie piquetée sur une distance de 2 km entre le « lac bleu » à Lezennes et le bâtiment SN5 sur le campus de la Cité scientifique à Villeneuve d'Ascq. À Lezennes, le changement de teinte entre le « sombre » (craie glauconieuse gris-verdâtre en dessous) et le « clair » (craie blanc-gris au-dessus) coïncide avec la limite supérieure du 1er Tun, c'est-à-dire avec la limite Craie glauconieuse de Lezennes – Craie piquetée. À la Cité scientifique de Villeneuve d'Ascq, ce même changement de teinte est situé 1,45 m plus haut, à la limite Craie piquetée – Craie blanche. Toute la Craie piquetée est ici franchement glauconieuse.

LA STRATIGRAPHIE ÉVÉNEMENTIELLE APPLIQUÉE AUX CRAIES DU TURONIEN SUPÉRIEUR-CONIACIEN DANS LE NORD DE LA FRANCE (F.A.)

Principes et méthode

Le forage réalisé sur le campus de la Cité Scientifique de Villeneuve d'Ascq étant décrit sur le plan de la lithologie, il faut maintenant l'interpréter. Neuf niveaux plus ou moins durcis et condensés sont présents sur les dix mètres de craies recoupées, ce qui révèle un enregistrement sédimentaire très réduit. Mais comment aller plus loin ? Conceptualisée à l'origine dans les craies cénomano-turoniennes du nord de l'Allemagne par Ernst *et al.* (1983), la stratigraphie événementielle est aujourd'hui largement utilisée dans le Crétacé du nord-ouest de l'Europe pour réaliser des corrélations fines à longues distances, intra- et inter-bassins. La stratigraphie événementielle est fondée sur la présence au sein des successions sédimentaires d'événements à caractère lithologique ou écologique. Dans le cas des craies turoniennes du Bassin anglo-parisien, il s'agit de *hardgrounds*, parfois regroupés en niveaux complexes comme dans la Craie glauconieuse de Lezennes, de niveaux marneux d'origine détritique, de niveaux marneux résultant de la diagenèse de cendres volcaniques, de lits de silex particuliers et enfin de niveaux caractérisés par l'abondance momentanée d'un certain nombre de fossiles (Mortimore, 1983, 1986 ; Robinson, 1986 ; Gale, 1996 ; Amédro & Robaszynski, 2001 a, 2001 b, 2001 c, 2006 ; Mortimore *et al.*, 2001). Souvent, ces niveaux repères présentent une grande extension géographique et sont le témoignage d'événements qui ont dû affecter de vastes surfaces en mer. Ces litho- et écoévénements définissent des lignes-temps très fines en regard des zones macro- ou micropaléontologiques beaucoup plus longues et constituent d'excellents outils de corrélation.

La stratigraphie événementielle a déjà été appliquée à deux reprises dans des séries crayeuses condensées du Turonien supérieur du bassin anglo-parisien, épaisses de moins de 10 m : d'abord pour corréler les *hardgrounds* du Chalk Rock entre le Dorset et le nord de Londres (Bromley & Gale, 1982), puis pour corréler les *hardgrounds* de la « meule » en Artois et des « tuns » de Loos-Haubourdin à l'ouest de l'agglomération lilloise (Amédro & Robaszynski, 2006). C'est la méthode retenue pour interpréter la succession lithologique du forage du campus de la Cité Scientifique qui a traversé la Craie glauconieuse de Lezennes, en corrélant un ensemble de coupes, depuis la plus épaisse (tranchée de chemin de fer de Caffiers dans le Boulonnais) jusqu'à la plus condensée (Cité Scientifique de l'Université de Lille à Villeneuve d'Ascq). Cette démarche peut sembler un peu « lourde » à un lecteur non initié dans la mesure où elle nécessite de procéder par étapes successives, en partant de coupes dans lesquelles l'enregistrement sédimentaire est épais, pour terminer dans des séries condensées.

Les niveaux repères utilisés pour la corrélation des niveaux durcis du Turonien supérieur-Coniacien du Nord de la France

La coupe de référence pour les craies du Turonien supérieur-Coniacien du nord de la France est la tranchée de chemin de fer de Caffiers dans le Boulonnais, décrite à plusieurs reprises par Amédro *et al.* (1979), Robaszynski & Amédro coord. (1980), Robaszynski & Amédro (1986) et Amédro & Robaszynski (2001 a, 2001 b). Il s'agit de la localité où la succession est la plus épaisse dans l'intervalle concerné (56 m à comparer aux 9 m recoupés dans les niveaux équivalent du forage de la Cité scientifique à Villeneuve d'Ascq). Par respect de la règle d'antériorité, la terminologie des niveaux repères utilisée dans les craies du nord de la France est celle définie dans le Sussex au sud de l'Angleterre par Mortimore (1983, 1986) et complétée dans le Kent par Gale & Smith (1982) et Robinson (1986). Du bas vers le haut et en partant de la base du Turonien supérieur, la succession des litho- ou écoévénements est la suivante (fig. 5) :

Turonien supérieur

- le *Caburn Marl* (Mortimore, 1983) : niveau marneux sombre (0,15 m d'épaisseur), très sensible à l'altération et, de ce fait, le plus souvent en creux, surmontant un lit de silex assez constant. Le *Caburn Marl* est un niveau de bentonite provenant de l'altération sous-marine de verre volcanique (Deconinck *et al.*, 1991 ; Vanderaveroet *et al.*, 2000 ; Godet *et al.*, 2003) ;
- les *Bantam Hole Hardgrounds* (Robinson, 1986) : ensemble de *hardgrounds* composites (2 à Caffiers) dans lesquels apparaissent les premiers Sternotaxis plana (Mantell, 1822) ;

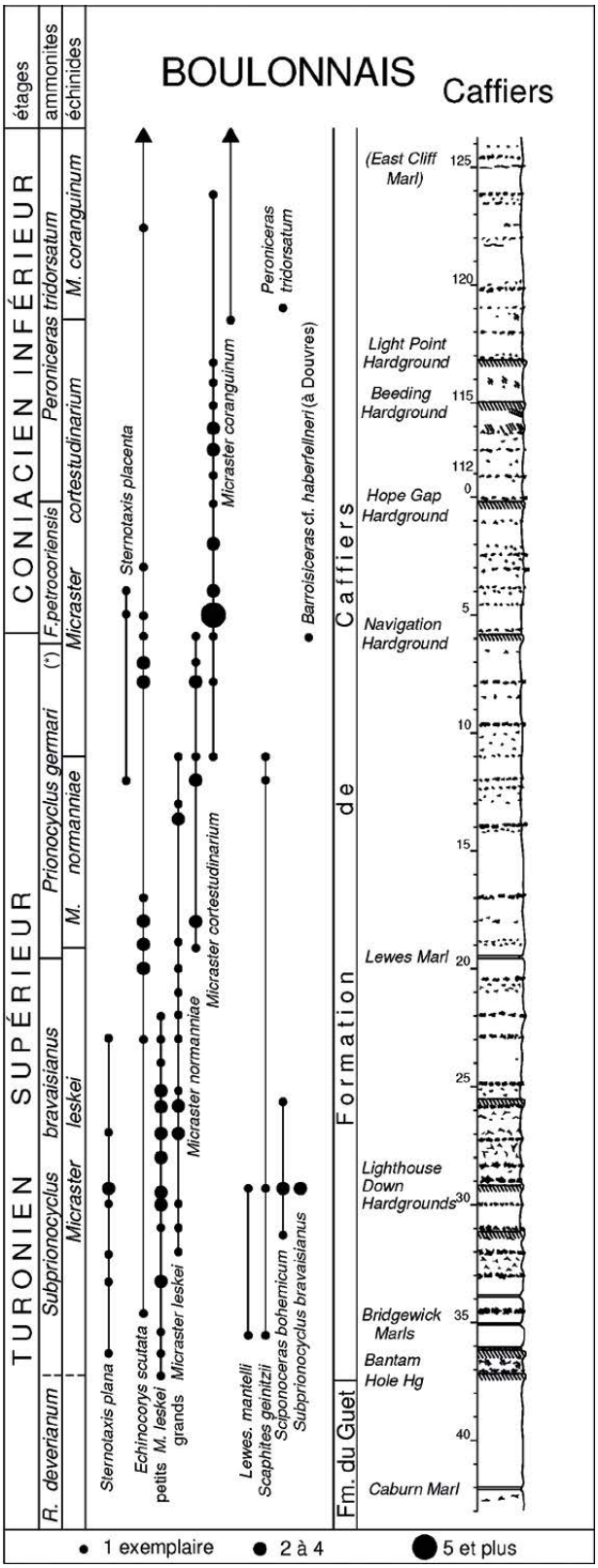


Fig. 5. – Lithologie, niveaux repères et distribution verticale des macrofossiles (ammonites et échinides) recueillis au sein des craies du Turonien supérieur-Coniacien inférieur dans la tranchée de chemin de fer de Caffiers (Boulonnais). (*) par corrélation avec les niveaux équivalents d'Allemagne du Nord.

Fig. 5. – Lithology, marker beds and vertical distribution of macrofossils (ammonites and echinoids) collected within the Upper Turonian-Lower Coniacian chalks in the Caffiers railway cutting (Boulonnais). (*) by correlation with equivalent levels in Northern Germany.

- les *Bridgewick Marls* (Mortimore, 1983) : groupe de 2 ou 3 niveaux marneux répartis sur 1,50 m à 2 m de hauteur, associés à de gros silex noduleux. Typiquement, à l'échelle régionale, les *Bridgewick Marls* coiffent les *Bantam Hole Hardgrounds*. Les niveaux inférieur (BM1) et supérieur (BM3) des *Bridgewick Marls* sont, comme le *Caburn Marl*, des niveaux de bentonite. En revanche, la présence d'illite détritique dans le cortège argileux du *Bridgewick Marl 2* suggère des apports mixtes, volcaniques et détritiques (Godet *et al.*, 2003) ;
- les *Lighthouse Down Hardgrounds*, constitués de plusieurs *hardgrounds* très fossilifères (3 à Caffiers), riches en échinides (*S. plana, Micraster leskei* d'Orbigny, 1855) et en ammonites : *Sciponoceras bohemicum bohemicum* (Fritsch, 1872), *Scaphites geinitzii* d'Orbigny, 1850, *Hyphantoceras reussianum* (d'Orbigny, 1850), *Lewesiceras mantelli* Wright & Wright, 1951, *Subprionocyclus bravaisianus* (d'Orbigny, 1841). Ces *hardgrounds* sont situés dans un intervalle d'une dizaine de mètres d'épaisseur incluant de nombreux petits silex ramifiés correspondant à la silicification de bioturbations du type *Thalassinoides ;*
- le *Lewes Marl* (Mortimore, 1983), marne sombre, décimétrique, sensible à l'altération, qui correspond encore à un niveau de bentonite ;
- le *Navigation Hardground* (Mortimore, 1983), demi-métrique. L'intervalle compris entre le *Lewes Marl* et le *Navigation Hardground* correspond à la distribution verticale totale de l'échinide spatangoïde *Micraster normanniae* Bucaille, 1883. D'un autre côté, la disparition de *M. leskei* et l'apparition de *M. cortestudinarium* (Goldfuss, 1829) s'effectue au tiers supérieur de l'intervalle ;

Coniacien

- le *Hope Gap Hardground* (Mortimore, 1983), pluridécimétrique ;
- le *Beeding Hardground* (Mortimore, 1983), bien développé et également pluridécimétrique ;
- le *Light Point Hardground* (Mortimore, 1983), comparable par son épaisseur et sa structure aux deux hardgrounds précédents ;
- l'*East Cliff Marl* (Gale & Smith, 1982) : niveau marneux de 2 cm d'épaisseur. Contrairement aux niveaux marneux précédents, l'*East Cliff Marl* n'est pas un niveau de bentonite, mais un niveau d'origine détritique. À Caffiers, l'*East Cliff Marl* est oblitéré et remplacé par un mince lit de silex tabulaire.

La limite Turonien-Coniacien. Suivant les recommandations formulées lors du Second Symposium sur les limites des étages du Crétacé tenu à Bruxelles en 1995 (Kauffman *et*

al., 1996) et en tenant compte de la révision systématique des inocérames publiée par Walasczczyk & Wood (1999), la base de l'étage du Coniacien moyen est définie par l'apparition du taxon *Cremnoceramus deformis erectus* (Meek, 1877). La répartition des inocérames est encore imparfaitement connue dans les craies du Boulonnais. En revanche, de l'autre côté de la Manche, à Douvres, Mortimore *et al.* (2001) situent avec précision l'apparition de l'espèce à la limite supérieure du *Navigation Hardground*. C'est à ce niveau qu'est, de fait, placée la limite Turonien-Coniacien.

La limite Coniacien inférieur-Coniacien moyen. Le même groupe de travail sur le Coniacien réuni à Bruxelles en 1995 a recommandé de prendre l'apparition du genre d'inocérame *Volviceramus* comme marqueur de la base du Coniacien (Kauffman *et al.*, 1996). Dans les craies du sud-est de l'Angleterre et du nord de la France, cette apparition coïncide sensiblement avec l'*East Cliff Marl* (Jenkyns *et al.*, 1994 ; Mortimore *et al.*, 2001 ; Amédro & Robaszynski, 2006). Dans la région de Lille, les premiers *Volviceramus* semblent apparaître à la base de la Craie blanche sans silex.

La répartition verticale des macrofossiles les plus significatifs

La validité des corrélations lithologiques, fondées sur la continuité des niveaux marneux, de certains lits de silex, des *hardgrounds*… et considérées comme isochrones doit être contrôlée par des arguments paléontologiques. C'est la raison pour laquelle des récoltes systématiques de macrofaunes (ammonites, inocérames, échinides et brachiopodes principalement) ont été réalisées dans toutes les coupes et en particulier dans la tranchée de Caffiers durant toute la durée de vie de l'affleurement, complétées ici par un échantillonnage micropaléontologique (Amédro *et al.*, 1979 ; Amédro & Robaszynski, 2006 ; Robaszynski & Amédro, 2014). La répartition verticale des marqueurs macropaléontologiques les plus significatifs est reportée sur la figure 5. Son examen montre une concentration des récoltes de macrofaunes dans l'intervalle compris entre les *Bridgewick Marls* et le *Lewes Marl*, en particulier dans les *Lighthouse Down Hardgrounds.* Ces niveaux de condensation correspondent à des milieux marins peu profonds soumis à des courants. La base du Turonien supérieur coïncide avec une chute brutale du niveau marin. Toutefois, la présence de nombreuses ammonites à caractère boréal ou cosmopolite indique que l'on se trouve à la base d'un intervalle transgressif (Gale, 1996 ; Voigt & Wiese, 2000).

De façon plus détaillée, les ammonites sont assez fréquentes dans l'intervalle compris entre les *Bridgewick Marls* et le *Lewes Marl*, en particulier dans les *Lighthouse Down Hardgrounds* (14 spécimens collectés). Le matériel recueilli inclut *Sciponoceras bohemicum*, *Scaphites geinitzii*, *Lewesiceras mantelli* et *Subprionocyclus bravaisianus*. Au-dessus, les récoltes sont plus ponctuelles avec *Scaphites geinitzii* entre le *Lewes Marl* et le *Navigation Hardground, Barroisiceras* cf. *haberfellneri* (Hauer, 1866) dans le *Navigation Hardground* (à Douvres ; cf. Kennedy, 2019) et enfin *Peroniceras tridorsatum* 2 m au-dessus du *Light Point Hardground*.

Les inocérames sont plus occasionnels (13 spécimens échelonnés sur les 56 m de coupe pris en compte), mais le matériel, déterminé dans les années 1980 par feu Jacques Sornay (Muséum National d'Histoire Naturelle à Paris) doit être réétudié en raison d'importantes révisions taxonomiques publiées durant les deux dernières décennies.

Avec 90 spécimens collectés en place, les échinides irréguliers sont sans doute le groupe le plus commun. *Sternotaxis plana* est fréquent (13 exemplaires) des *Bantam Hole Hardgrounds* au *Lewes Marl*. *Sternotaxis placenta* (Agassiz, 1847) (3 ex.) est présent de façon occasionnelle de part et d'autre du *Navigation Hardground*. *Echinocorys scutata* (Leske, 1778) apparaît au niveau des *Bridgewick Marls*. L'espèce persiste jusqu'au sommet de la coupe et même au-delà, tout en présentant une certaine fréquence aux environs de la limite Turonien-Coniacien, entre le *Lewes Marl* et le *Hope Gap Hardground*. Mais les oursins les plus abondants et les plus intéressants sur le plan biostratigraphique sont les échinides spatangoïdes appartenant au genre *Micraster*. Les études réalisées depuis les années 1970 à partir d'un important matériel recueilli en place sur des coupes métrées ont considérablement éclairci leur phylogénie (Stokes, 1975 ; Amédro *et al.*, 1979 ; Fouray, 1981 ; Smith & Wright, 2012). La première espèce est *Micraster leskei* à zones interporifères concaves, représentée par deux populations de taille différente qui se relayent partiellement dans la suite stratigraphique. Les « petits » *leskei* (25 à 35 mm) abondent dans l'intervalle allant des *Bridgewick Marls* au *Lewes Marl* (14 ex.), tandis que les « grands » *leskei* (40 à 55 mm) apparaissent quelques mètres au-dessus des *Bridgewick Marls* et sont présents jusqu'au tiers supérieur de l'intervalle compris entre le *Lewes Marl* et le *Navigation Hardground* (9 ex.). Puis vient *Micraster normanniae* à zones interporifères suturées, présent sur toute la hauteur de l'intervalle compris entre le *Lewes Marl* et le *Navigation Hardground* (10 ex.). La troisième espèce de *Micraster* qui se développe ensuite est *M. cortestudinarium* à zones interporifères marquées de bourrelets saillants. L'espèce apparaît au tiers supérieur de l'intervalle compris entre le *Lewes Marl* et le *Navigation Hardground*, sensiblement au niveau où disparaît *M. leskei*. D'abord occasionnelle, elle devient commune immédiatement au-dessus du *Navigation Hardground* (28 ex.) et reste présente jusque quelques mètres sous l'*East Cliff Marl*. Enfin les premiers *M. coranguinum* (Leske, 1778) (2 ex.), à zones interporifères caractérisées par la présence de bourrelets saillants séparés par un sillon marqué, sont identifiés quelques mètres sous l'*East Cliff Marl* à Caffiers (Amédro & Robaszynski, 2006) et à partir de l'*East Cliff Marl* à Douvres (Jenkyns *et al.*, 1994).

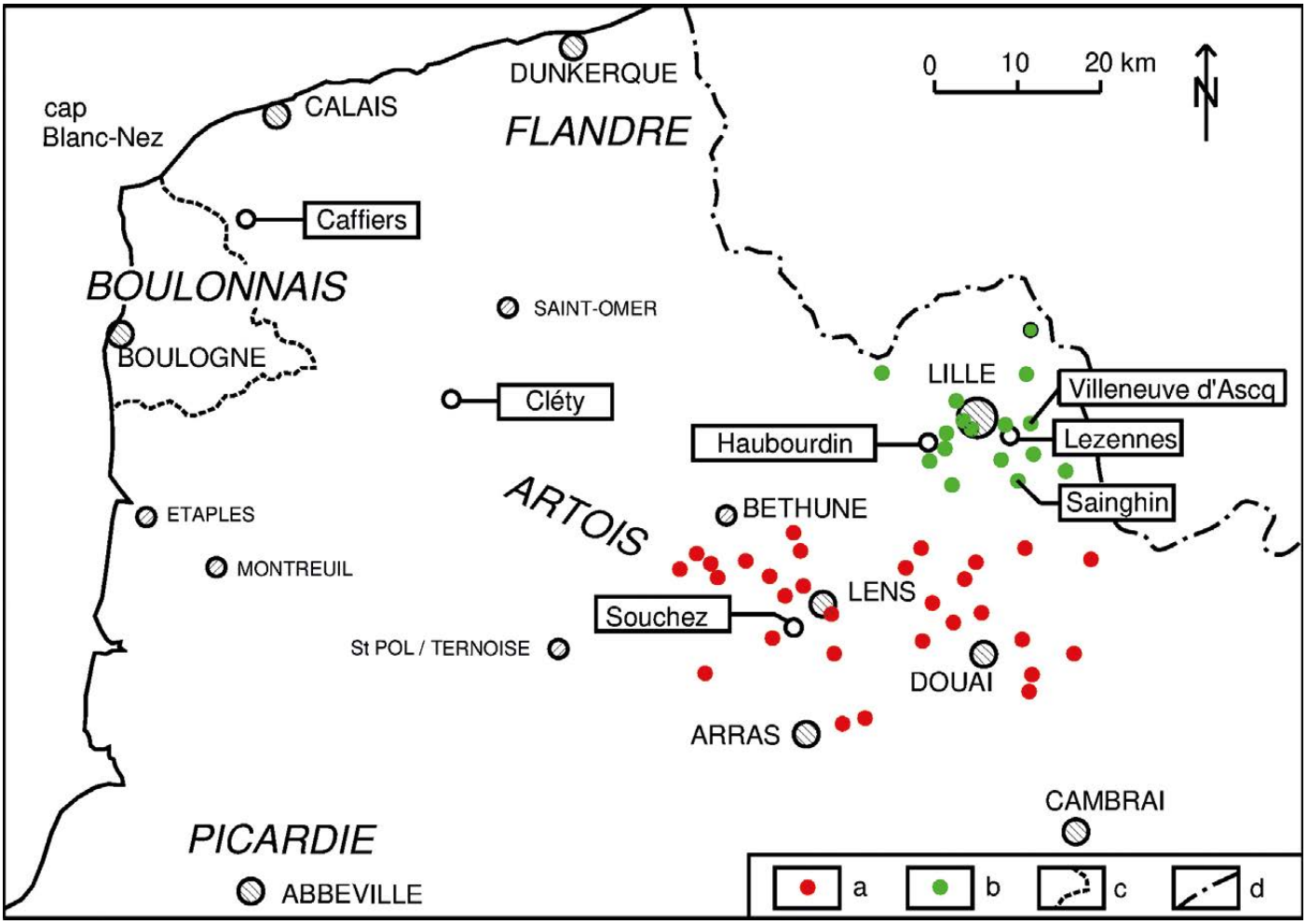


Fig. 6. – Localisation géographique des coupes citées dans le texte et extension de la « meule » et des « tuns » dans le nord de la France. a : présence de la « meule », b : présence des « tuns », c : escarpement crayeux du Boulonnais, d : frontière franco-belge.
Fig. 6. – Geographical location of the sections cited in the text and extension of the « meule » (millstone) and the « tuns » in northern France. a : presence of the « meule », b : presence of the « tuns », c : chalky escarpment of the Boulonnais, d : Franco-Belgian border.

COMPARAISON DES COUPES, DU BOULONNAIS À L'AGGLOMÉRATION LILLOISE (F.A.)

Les trois « tuns » décrits au sein de la Craie glauconieuse de Lezennes, échelonnés sur une hauteur de 4,50 m, ne sont pas les seuls niveaux crayeux condensés de moins de 10 m d'épaisseur connus dans le nord de la France. D'autres « tuns » sont décrits dans le sous-sol de la ville de Lille (Wazemmes, Porte des Postes), en particulier dans la partie occidentale de l'agglomération et ceci jusqu'à Emmerin, Loos et Haubourdin (Gosselet, 1905 ; Fenet, 1966 ; Amédro & Robaszynski, 1978). Il s'agit du « Gros Tun », surmonté de deux paires de « petits tuns ». Ces « tuns » sont constitués de nodules indurés, empâtés dans une craie plus ou moins cohérente, voire durcie. Par ailleurs, un autre niveau de craie durcie est connu en Artois : la « meule », un banc dur, dont l'épaisseur ne dépasse guère 3 m, rencontré par les mineurs du Bassin houiller Nord – Pas-de-Calais entre Béthune, Lens et Douai, à quelques mètres au-dessus de l'assise à *Terebratulina gracilis* (Gosselet, 1904, 1911).

La localisation géographique des coupes citées dans le texte est reportée sur la figure 6. L'extension de la « meule » et des « tuns » est également indiquée à travers les forages et fosses des charbonnages les ayant traversés. La figure 7 présente une corrélation des coupes les plus représentatives décrites dans les craies du Turonien supérieur-Coniacien depuis le Boulonnais au nord-ouest jusqu'aux environs de Lille au sud-est, en passant par l'Artois. Cette comparaison a déjà été présentée en partie par Amédro & Robaszynski (2006), mais elle est aujourd'hui complétée et étendue à la partie est de l'agglomération lilloise. Quatre coupes sont prises en compte en plus du forage de Villeneuve d'Ascq pour lequel une tentative d'interprétation est présentée ici : dans le Boulonnais la tranchée de chemin de fer de Caffiers, en Artois une ancienne carrière de craie à Cléty et une tranchée de l'autoroute A26 à Souchez et enfin dans la partie ouest de l'agglomération lilloise, les anciennes carrières des Ciments Lafarge à Haubourdin. Ces quatre sections ont livré

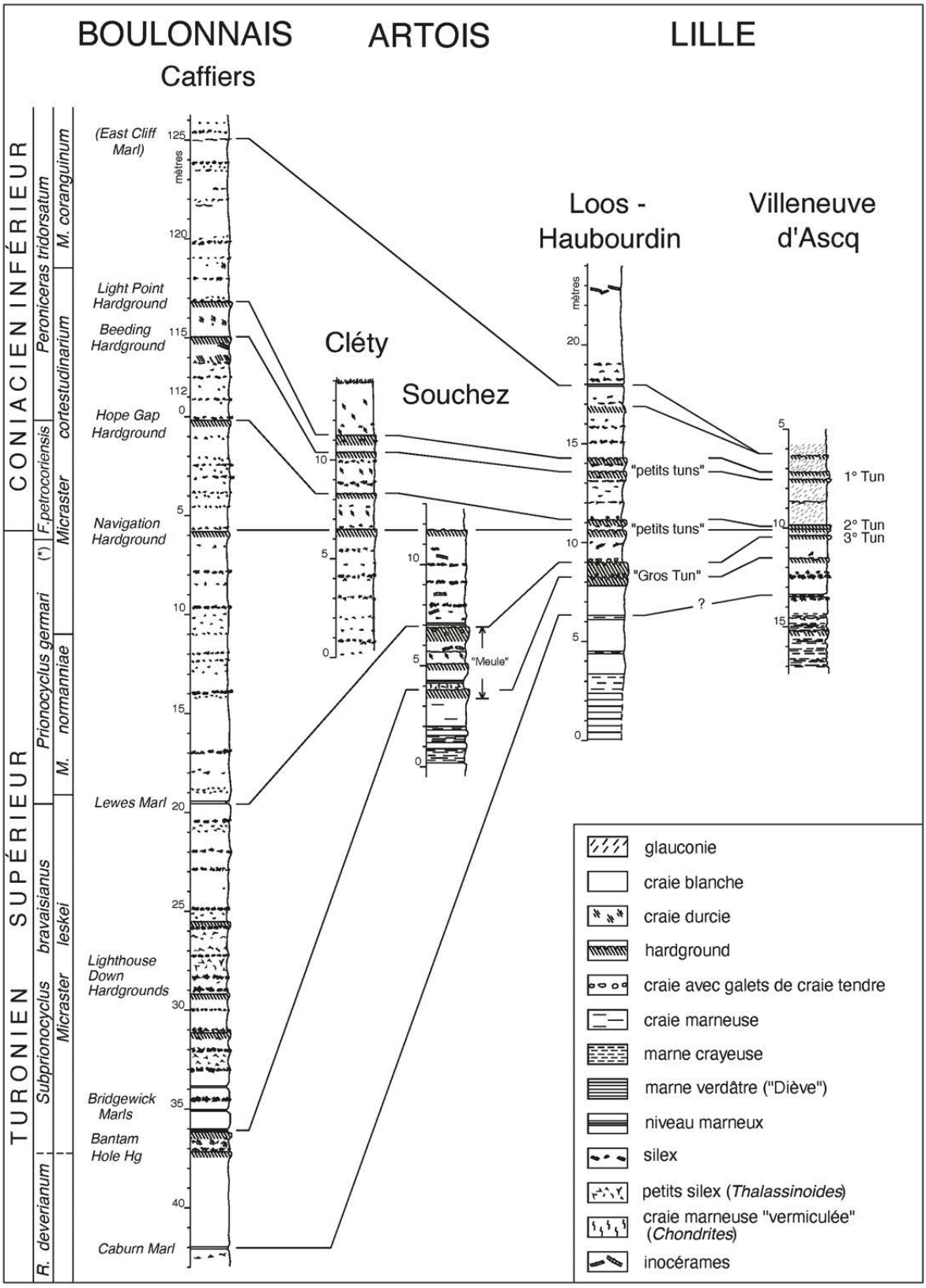


Fig. 7. – Corrélation à l'aide de la stratigraphie événementielle dans les craies du Turonien supérieur-Coniacien inférieur entre le Boulonnais, l'Artois et de la région de Lille (modifié d'après Amédro & Robaszynski, 2006).

Fig. 7. – Correlation using event stratigraphy in the Upper Turonian-Lower Coniacian chalks between Boulonnais, Artois and the Lille region (modified from Amédro & Robaszynski, 2006).

de nombreux fossiles (ammonites et échinides spatangoïdes en particulier) qui permettent de justifier les corrélations indiquées sur la figure.

Du Boulonnais (Caffiers) à l'Artois (Cléty et Souchez) : passage d'un enregistrement sédimentaire épais à une série crayeuse condensée

Les coupes de Cléty et de Souchez ont déjà été décrites de façon précise par Amédro & Robaszynski (2006). C'est la raison pour laquelle seuls les éléments les plus importants sont exposés ci-dessous.

✧ **Carrière de Cléty**

Le front de taille, toujours visible, expose 14 m de craie blanche à silex, entrecoupée de 4 *hardgrounds*, situés respectivement, en allant du bas vers le haut, à 6,60 m, 8,45 m, 10,30 m et 11,30 m. *Micraster normanniae* est recueilli à 6,00 m, tandis que *M. cortestudinarium* est présent à 7,10 m et 8,30 m.

Par comparaison avec la coupe de Caffiers, les quatre *hardgrounds* peuvent être corrélés, en allant du bas vers le haut, respectivement avec les *Navigation Hardground, Hope Gap Hardground, Beeding Hardground* et *Light Point Hardground*. Cette interprétation est supportée par la récolte de *M. normanniae* 0,20 m sous le premier *hardground*. À Caffiers, la distribution verticale totale de l'espèce coïncide avec l'intervalle compris entre le *Lewes Marl* et le *Navigation Hardground*, tandis que *M. cortestudinarium* est fréquent au-dessus.

✧ **Tranchée de l'A26 à Souchez**

Du bas vers le haut, la coupe visible en 1977 était la suivante :

0 à 2,20 m : alternance de niveaux pluridécimétriques de marne verdâtre et de bancs de craie marneuse (faciès « dièves ») ;

2,20 m à 4,10 m : craie blanc-grisâtre, homogène, terminée dans les 0,30 m supérieurs par un *hardground* ;

4,10 m à 4,30 m : craie marneuse remplie de bioturbations millimétriques de *Chondrites ;*

4,30 m à 4,35 m : niveau marneux verdâtre ;

4,35 m à 7,20 m : craie blanche, incluant un premier *hardground* à 5,30 m, un *firmground* à 6,10 m et un second *hardground* à 7,20 m. La macrofaune abonde dans cet intervalle, en particulier dans les niveaux durcis, avec des échinides (*Sternotaxis plana, Micraster leskei*), des fragments d'inocérames et des ammonites (*Scaphites geinitzii, Subprionocyclus bravaisianus*) ;

7,20 m à 7,24 m : niveau marneux gris-verdâtre ;

7,24 m à 13,70 m (fin de la coupe) : craie blanche contenant de nombreux lits de silex noirs et présentant, à 11,70 m, un *hardground*. Nombreux *Micraster cortestudinarium*.

L'intervalle allant de 3,80 m à 7,20 m, caractérisé par la succession sur une hauteur de 3,40 m d'un premier *hardground*, d'un niveau marneux, d'un second *hardground*, d'un *firmground* et d'un troisième *hardground,* correspond à la « meule » des mineurs du Bassin houiller Nord – Pas-de-Calais. Ce banc de craie durcie, riche en macrofossiles (*Sternotaxis plana, Micraster leskei, Scaphites geinitzii* et *Subprionocyclus bravaisianus*), englobe l'intervalle allant des *Bantam Hole Hardgrounds* à la limite inférieure du *Lewes Marl*. À la base de la « meule », le niveau marneux inférieur situé à 4,30 m-4,35 m, représente probablement le *Bridgewick Marl 2*, nommé par Briquet (1920) « Argile à arborisations vertes ». Ce niveau marneux est bien développé dans une configuration identique dans la vallée de la Somme entre Abbeville et Amiens (Godet *et al.*, 2003). Le niveau supérieur est le *Lewes Marl.* Le *hardground* situé à 11,70 m correspond quant à lui au *Navigation Hardground.*

L'examen de la figure 7 montre qu'en partant de Caffiers et en se dirigeant vers Cléty et Souchez le fait le plus marquant est un net amincissement des couches. L'intervalle compris entre les *Bantam Hole Hardgrounds* et le *Light Point Hardground* passe ainsi de 44 m dans le Boulonnais à 13 m en Artois. Quelle appellation peut-on donner à cette dernière succession ? Suivant Loutit *et al.* (1988) « *condensed sections are anormally thin, but nominally complete sections embracing large stratigraphic intervals. They are subdivised with regard to sedimentation rate into condensed sections (at sedimentation rate of 0.5-1 cm/ka) and ultracondensed sections (with a sedimentation rate <0,5 cm/ka)* ». Dans le cas présent, il convient de calculer le taux de sédimentation dans l'intervalle concerné. Celui-ci englobe les deux dernières zones d'ammonites du Turonien supérieur (la zone à *Subprionocyclus bravaisianus* surmontée de la zone à *Prionocyclus germari* – tout au moins son équivalent), la première zone d'ammonite du Coniacien (à *Forresteria petrocoriensis*) et la moitié inférieure de la zone suivante (à *Peroniceras tridorsatum*). Dans le cas du Turonien dont la durée est estimée à 4,1 Ma, les dix zones d'ammonites reconnues en Europe correspondent chacune à un intervalle de temps de 400 ka si l'on accorde la même durée à toutes les zones, ce qui n'est certainement pas la réalité. Dans le cas du Coniacien, dont la durée est estimée à 3,5 Ma, les quatre zones d'ammonites représentent chacune 800 kA. Au total, on peut supposer que l'enregistrement sédimentaire allant des *Bantam Hole Hardgrounds* au *Light Point Hardground* s'est effectué en environ 2 Ma. En partant de cette hypothèse, le taux de sédimentation peut être estimé à 2,2 cm/ka dans le Boulonnais et à 0,65 cm/ka en Artois. Il s'agit ici clairement d'une série condensée dans laquelle on retrouve tous les niveaux repères, mais sur une épaisseur réduite.

De l'Artois à l'agglomération lilloise (Haubourdin) : une accentuation de la réduction d'épaisseur des

dépôts jusqu'à une succession « ultra condensée » (*sensu* Loutit *et al.*, 1988)

✧ **L'ancienne cimenterie et les carrières souterraines d'Haubourdin**

Les fronts de taille de ces anciennes carrières ont aujourd'hui disparu ou sont inaccessibles en ce qui concerne les galeries souterraines. La coupe synthétique décrite par Amédro & Robaszynski (1978, 2006) est, de façon résumée, la suivante, du bas vers le haut :

0 à 2,50 m : marnes verdâtres (faciès « dièves ») ;

2,50 m à 7,80 m : bancs de craie marneuse verdâtre alternant avec des bancs de craie blanc-grisâtre ;

7,80 m à 9,00 m : « Gros Tun », constitué par la superposition de deux *hardgrounds* demi-métriques. Le « Gros Tun » contient sur toute sa hauteur des *Micraster leskei*, surtout de petite taille. Le *hardground* supérieur est quant à lui très fossilifère et livre, outre les *Micraster* déjà cités, des inocérames et des ammonites avec *Sciponoceras bohemicum, Hyphantoceras reussianum* (d'Orbigny, 1850), *Lewesiceras mantelli, Subprionocyclus bravaisianus* et *S. hitchinensis* ;

9,00 m à 11,20 m : craie blanche contenant quelques silex et limitée au sommet par deux *hardgrounds* pluridécimétriques superposés (première paire de « petits tuns »). La macrofaune est encore abondante avec *Micraster leskei* de grande taille, *M. cortestudinarium, Conulus albogalerus* (Leske, 1778) et de nombreux *Echinocorys scutata* (Leske, 1778) ;

11,20 m à 14,30 m : craie blanche contenant des lits de silex, terminée au sommet par deux *hardgrounds* (deuxième paire de « petits tuns »). Les échinides sont toujours fréquents avec *Micraster cortestudinarium, Conulus albogalerus* et *Echinocorys scutata.* Une ammonite appartenant à l'espèce *Peroniceras subtricarinatum* a été recueillie entre les paires inférieure et supérieure de « petits tuns », tandis qu'un exemplaire de *P. tridorsatum* provient de la seconde paire de « petits tuns » (Amédro & Robaszynski, 2006) ;

14,30 m à 18,00 m : craie blanche à silex avec, à 16,80 m, un niveau de craie légèrement durcie (*firmground*) contenant l'ammonite *Peroniceras tridorsatum*, quelques *Micraster* rapportés à *M. cortestudinarium* et de nombreuses éponges ;

18,00 m à 18,03 m : niveau marneux grisâtre

18,03 m à 19,00 m : craie blanche à silex ;

19,00 m à 24 m (fin de la coupe) : craie blanche sans silex. Un lit riche en débris d'inocérames (*Platyceramus*) est présent au sommet à 23,00 m.

La présence de trois paires de *hardgrounds* répartis sur 6,50 m de hauteur constitue la première particularité de la suite lithologique des carrières d'Haubourdin, la seconde étant la disparition des niveaux marneux. Le *hardground* supérieur du « Gros Tun » contient l'association d'ammonites et échinides typique de l'intervalle compris entre les *Bridgewick Marls* et le *Lewes Marl*. Il peut être ainsi corrélé avec les *Lighthouse Down Hardgrounds,* tandis que le *hardground* inférieur du « Gros Tun » correspond aux *Bantam Hole Hardgrounds*.

Au-dessus du « Gros Tun », l'intervalle allant de 9,00 m à 11,20 m livre la même association que celle connue à Caffiers entre le *Lewes Marl* et le *Navigation Hardground*. De ce fait, la paire inférieure de « petits tuns » peut être corrélée avec le *Navigation Hardground* et le *Hope Gap Hardground*, tandis que la paire supérieure paraît correspondre aux *Beeding* et *Light Point Hardgrounds.* Quelques mètres plus haut, le niveau marneux présent à 18 m est situé dans une position équivalente à celle de l'*East Cliff Marl*.

Le contenu paléontologique des « tuns » permet en définitive d'interpréter de façon cohérente la succession crayeuse d'Haubourdin, que l'on retrouve de façon identique dans toute la partie ouest de l'agglomération lilloise (Loos, Emmerin) et dans le sous-sol de la plus grande partie de la ville de Lille (Wazemmes, Porte des Postes), à l'exception du quartier de Fives. La limite Turonien-Coniacien peut, quant à elle, être tracée de façon précise entre les deux *hardgrounds* constituant la paire inférieure de « petits tuns ». Quant aux *Bridgewick Marls* et au *Lewes Marl*, ils sont oblitérés et devraient géométriquement être situés aux limites inférieure et supérieure du *hardground* supérieur du « Gros Tun ». En revanche, il n'est pas possible de repérer la position du *Caburn Marl*. Notre levé lithologique date des années 1970, à une époque où les niveaux de bentonite n'étaient pas encore identifiés. La coupe n'existant plus, il est impossible d'actualiser nos observations.

Qu'en est-il maintenant de l'enregistrement sédimentaire ? De façon comparable au calcul réalisé en Artois, si l'on prend en compte les trois paires de tuns qui correspondent à Haubourdin à l'intervalle allant des *Bantam Hole Hardgrounds* au *Light Point Hardground,* le taux de sédimentation peut être estimé à 0,33 cm/ka. Il ne s'agit plus d'une série condensée, mais ultra condensée *sensu* Loutit *et al.* (1988).

Les « tuns » de la région lilloise ont souvent été assimilés à la « meule » de l'Artois dans le passé, par exemple par Sangnier *et al.* (1968) ou Delattre *et al.* (1973). La figure 5 montre que cette corrélation est inexacte. La « meule » correspond uniquement au « Gros Tun » de Loos-Haubourdin, c'est-à-dire à la première paire de *hardgrounds* sur une série qui en compte trois paires. La « meule » est intra-Turonien supérieur (elle est datée précisément de l'avant-dernière zone d'ammonites du Turonien supérieur, à *Subprionocyclus bravaisianus*), tandis que les « tuns » s'échelonnent du Turonien supérieur au Coniacien et couvrent quatre zones d'ammonites successives (dans le Turonien les zones à *S. bravaisianus* et à *Prionocyclus germari*, dans le Coniacien les zones à *Forresteria petrocoriensis* et à *Peroniceras tridorsatum*).

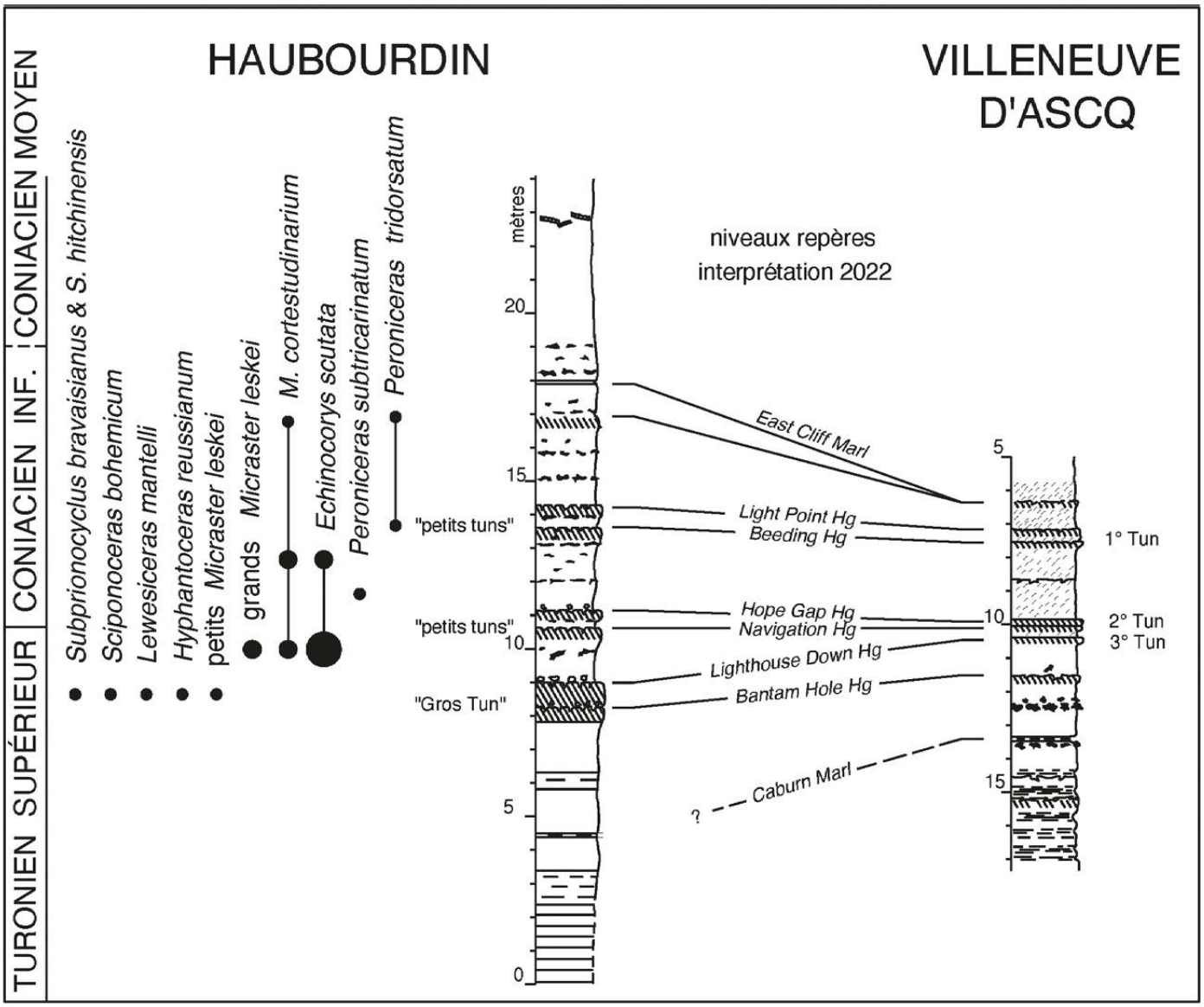


Fig. 8. – Tentative de corrélation détaillée à l'aide des niveaux marneux et *hardgrounds* entre les craies du Turonien supérieur-Coniacien de Lille-ouest (Haubourdin) et de Lille-est (Cité Scientifique à Villeneuve d'Ascq).
Fig. 8. – Attempted detailed correlation using marly levels and hardgrounds between the Upper Turonian-Coniacian chalks of Lille-Ouest (Haubourdin) and Lille-Est (Cité Scientifique in Villeneuve d'Ascq).

La principale particularité des coupes de Villeneuve d'Ascq, Lezennes et Sainghin-en-Mélantois est la présence d'un banc de 4,25 m d'épaisseur (dans le forage réalisé devant le bâtiment SN5 sur le site de la Cité Scientifique à Villeneuve d'Ascq) de craie glauconieuse (Craie grise de Gosselet, 1870 = « craie verte » de Robaszynski *in* Colbeaux *et al.*, 1975) intercalé entre les 1er et 2e Tuns et qui monte jusqu'à 1,45 m au-dessus du 1er Tun sous le faciès de Craie piquetée. Dans la mesure où les données paléontologiques sont insuffisantes et en l'absence d'études géochimiques (isotopes du carbone et de l'oxygène) qui pourraient apporter des informations complémentaires, seul le recours à la stratigraphie événementielle permet d'envisager des lignes de corrélation. Suivant les concepts actuels de la stratigraphie séquentielle, les *hardgrounds* reconnaissables sur de vastes surfaces (plusieurs centaines à milliers de km²) sont interprétés comme les témoins d'événements eustatiques à caractère global. Dans le cas présent, ces *hardgrounds* coïncident avec une abondance de macrofossiles, en particulier des formes cosmopolites ou issues du domaine boréal. Ils sont communément phosphatisés, associés à de la glauconie et peuvent présenter une structure complexe élaborée lors de périodes intermittentes de sédimentation, de lithification et d'érosion. Pour ces raisons, leur genèse pourrait s'être opérée sur des plateformes à l'occasion d'élévations rapides de hauteur relative du niveau marin. En revanche, certains *hardgrounds* localisés sur des surfaces moins grandes correspondent à des sédimentations condensées dans des zones hautes dépendant par exemple d'influences tectoniques locales.

En partant d'Haubourdin et en se dirigeant vers la Cité Scientifique de Villeneuve d'Ascq, quelles corrélations peut-on envisager ? Six *hardgrounds* répartis en trois paires sont présents à Haubourdin. Dans la Craie glauconieuse de Lezennes à Villeneuve d'Ascq, les 1er et 2e Tuns sont constitués chacun par la superposition de deux *hardgrounds* décimétriques noduleux. Juste en dessous, très exactement à 0,22 m (= 3e Tun) et 1,21 m plus bas, on trouve deux autres *hardgrounds* moins développés (*firmgrounds*) séparés par 0,90 m de craie gris-blanc qui semble riche en macrofaune. Enfin, dans les deux localités, une ébauche de *firmground* est présente 1 à 2 m au-dessus des tuns. En tenant compte de ces observations, l'interprétation la plus plausible consiste à corréler respectivement et du haut vers le bas pour suivre le sens de la description du forage :

- ✧ le 1er Tun de la Craie glauconieuse de Lezennes avec la paire supérieure des « petits tuns » d'Haubourdin, c'est-à-dire avec les *Light Point* et *Beeding Hardgrounds* ;
- ✧ le 2e Tun de la Craie glauconieuse de Lezennes avec la paire inférieure des « petits tuns » d'Haubourdin, soit avec les *Hope Gap* et *Navigation Hardgrounds* ;
- ✧ le 3e Tun situé immédiatement sous la Craie glauconieuse de Lezennes et le *firmground* situé 0,90 m en dessous d'une part avec le « Gros Tun » d'Haubourdin et d'autre part avec les *Lighthouse Down* et *Bantam Hole Hardgrounds*.

Le niveau plus marneux présent vers 6,10 m à Haubourdin pourrait également correspondre à celui-ci décrit à 13,42 m dans le forage de Villeneuve d'Ascq. Dans une première interprétation, nous avions envisagé de corréler cette marne avec le *Caburn Marl*. Mais, il ne s'agit pas d'une bentonite. Ce niveau est trop carbonaté et la smectite n'est pas pure. Il y a de l'illite associée et celle-ci est plus abondante que dans la craie encaissante. Dans le cas d'une bentonite, on devrait observer l'inverse.

Si cette tentative de corrélation se révélait exacte, la limite Turonien-Coniacien pourrait être placée à la base de la Craie glauconieuse de Lezennes au sein du 2e Tun. Le développement de nombreux *hardgrounds* et l'absence des niveaux de bentonite dans la Craie glauconieuse de Lezennes (*Caburn Marl, Bridgewick Marls* et *Lewes Marl*), comme d'ailleurs à Haubourdin, c'est-à-dire sur tout le territoire de l'agglomération lilloise, montre que l'enregistrement sédimentaire est ici particulièrement réduit et incomplet, avec vannage des particules fines sous l'action des courants marins. En considérant l'intervalle allant du 1er Tun au *hardground* situé 0,90 m sous le 3e Tun, c'est-à-dire l'intervalle allant du *Light Point Hardground* au *Bantam Hole Hardground,* on obtient un taux de sédimentation de 0,22 cm/ka. Il s'agit encore d'une série ultra condensée.

LA GENÈSE DE LA CRAIE GLAUCONIEUSE DE LEZENNES : RÉSULTAT PROBABLE D'UNE COMBINAISON DE FACTEURS PALÉOGÉOGRAPHIQUES, EUSTATIQUES ET STRUCTURAUX (F.A., F.G.)

Les aspects paléogéographiques et eustatiques

Il est clair qu'au Turonien supérieur-Coniacien inférieur, toute l'aire géographique englobant l'agglomération lilloise (l'actuelle région géologique correspondant au Mélantois) s'est comportée comme une plate-forme marginale ou comme une zone de haut fond bathymétrique, contrôlée potentiellement par la tectonique et sur laquelle le taux de sédimentation a été particulièrement faible. Cette caractéristique a contribué à la genèse d'une succession de *hardgrounds* limités au sommet par des surfaces d'érosion qui coïncident avec des lacunes de sédimentation. Le caractère ultra condensé de la succession crayeuse est encore plus accentué dans la partie est de l'agglomération lilloise (secteur de Lille-Fives, Hellemmes, Lezennes, Villeneuve d'Ascq et Sainghin-en-Mélantois) qui, géographiquement, est plus proche du Massif du Brabant et de la bordure littorale du Bassin de Paris. Au sein de la Craie glauconieuse de Lezennes, les *hardgrounds* sont ici franchement noduleux, riches en phosphate et surtout associés à de la glauconie. Ces deux minéraux se forment dans des environnements marins à faible taux de sédimentation, le plus souvent en contexte transgressif et, en ce qui concerne la glauconie, dans un milieu réducteur. À ces minéraux s'ajoute la présence de quartz, en proportion certes faible (jusqu'à 2,7 % dans les échantillons analysés), mais significative. Ce quartz provient probablement en grande partie du décapage de reliefs varisques situés plus à l'est (Brabant et Ardenne). Selon Gale (1996), le sommet du Turonien supérieur et la base du Coniacien coïncident avec l'intervalle transgressif d'un cycle eustatique de 3e ordre superposé à une phase transgressive de 2e ordre. Barbarand *et al.*, 2013) ont suggéré que le Morvan a été recouvert à la fin du Mésozoïque par une épaisseur d'environ 400 m de sédiments d'âge Crétacé supérieur qui ont été érodés ultérieurement. Le Brabant et l'Ardenne étant situés dans la zone externe de l'orogène varisque, ces massifs devaient présenter une topographie à plus faible relief que celle du Morvan et, de ce fait, être aussi être immergés aux confins de la limite Turonien-Coniacien, tout en constituant de vastes hauts fonds.

Au-dessus de la Craie glauconieuse de Lezennes, la Craie piquetée présente également un net changement de faciès sur une distance de 2 km entre Lezennes et Villeneuve d'Ascq, celui-ci étant caractérisé par un enrichissement de la teneur en glauconie. Là aussi, il semble que l'on se rapproche de la bordure du bassin en se dirigeant vers l'Est.

La Craie glauconieuse de Lezennes, ultra condensée et phosphatisée, rappelle un peu par son faciès les « Tourtias » cénomaniens du nord du Bassin de Paris et du Bassin de Mons, qui sont des niveaux glauconieux plus ou moins conglomératiques et transgressifs (Amédro & Robaszynski, 2010). Elle peut également être comparée aux faciès glauconieux, conglomératiques, des Formations de Duisbourg et de Salder dans le Bassin de Münster en Rhénanie-Westphalie au NW de l'Allemagne dont l'âge est comparable à celui des « tuns » de la région lilloise (Kaplan, 2015 ; Kennedy & Kaplan, 2019).

Les aspects morphostructuraux

À quelle particularité géologique pourrait correspondre l'aire à sédimentation réduite centrée sur l'agglomération lilloise, en dehors du fait que l'on se situe sur la bordure du Bassin de Paris ? On se trouve géographiquement sur ce que Gosselet (1905) a nommé le « Dôme du Mélantois ». Il s'agit d'un anticlinal faillé crayeux qui sépare actuellement les bassins tertiaires de la Flandre et d'Orchies. Sa partie méridionale inclut une faille à direction varisque : la faille d'Haubourdin, présentant un rejet vertical du toit du socle Paléozoïque d'une dizaine de mètres (Sangnier *et al.*, 1968). La carte du toit du Paléozoïque publiée par Gosselet (1905), affinée par les compagnies pétrolières (C.F.P., COPESEP, R.A.P & S.N.P.A., 1966) et actualisée dernièrement par plusieurs travaux de synthèse géologique utilisant des logiciels de géomodelage (Minguely, 2007 ; Laurent, 2021) montre des ondulations de la surface du socle primaire et en particulier un bombement est-ouest au niveau du Mélantois. L'amplitude du relief du socle paléozoïque par rapport au substratum ante-mésozoïque des Flandres (au Nord) et de la Pévèle (au Sud) atteint une centaine de mètres.

L'analyse des cartes des profondeurs et d'épaisseur des formations marneuses (Dièves cénomano-turoniennes) et crayeuses (correspondant au Turonien supérieur et au Coniacien) suggère que la genèse de la structure du Mélantois est « *postérieure aux dépôts du Turonien inférieur et moyen et contemporaine du dépôt de la craie du Turonien supérieur, puis du Coniacien* » (Minguely, 2007). Quant à l'enregistrement de l'activité de soulèvement du Mélantois durant le Paléocène-Eocène, potentiellement enregistré par le Landénien et l'Yprésien, la question reste ouverte. En effet, certains auteurs identifient des variations d'épaisseur et d'inclinaison des séries thanétiennes et yprésiennes au nord du Mélantois (Bonte, 1957), tandis que d'autres considèrent que le Landénien ne montre aucune variation d'épaisseur entre le nord et le sud de la métropole de Lille (Desoignies *et al.*, 1965). Dans le premier cas, une augmentation des épaisseurs vers le nord et la diminution des valeurs du pendage du bas vers le haut dans la série pourraient illustrer un modèle de type « strate de croissance » avec un éventail des pendages (*fanning of dip* suivant la terminologie anglo-saxonne) caractéristique du dépôt de formations syn-soulèvement.

Gosselet (1905) a émis l'hypothèse qu'en plus des déformations tertiaires, « *la saillie du dôme primaire du Mélantois doit avoir été en partie façonnée par érosion, avant l'époque crétacée et qu'elle a arrêté l'extension vers le Nord de la mer Cénomanienne* ». Selon Bonte (1957), « *il est vraisemblable que l'accident du Mélantois corresponde dans le socle à une zone faillée, conclusion à laquelle ont abouti précédemment M. Pruvost (1914) et Delepine & Joly (1954). Ces failles existaient sans doute avant la transgression crétacée, dans un pays partiellement arasé ; rejouant au cours du Secondaire et jusqu'à nos jours…* ». Si ces deux interprétations convergentes sont confirmées dans le futur par des études géophysiques ou structurales, l'aire à sédimentation réduite centrée sur la région lilloise au Turonien supérieur-Coniacien pourrait être liée à un contrôle tectonique de la sédimentation, plus qu'à un paléorelief.

LE 1ER TUN : MORPHOLOGIE D'UN HARDGROUND (F.A., F.G., A.T., N.T.)

Les craies du Turonien supérieur et du Coniacien du nord de la France sont essentiellement des craies blanches, tendres, fines, traçantes, « *constituées dans leur majeure partie par l'accumulation, sans ciment, de coccolithes ou de leurs pièces constitutives* » (Robaszynski & Amédro, 2003). Cette boue crayeuse s'est déposée à la vitesse de 1 à 3 mm par siècle dans un environnement d'*offshore* inférieur, à des profondeurs variant entre 50 et 300 m (Kennedy & Garrison, 1975). Cette boue calcaire, d'abord gorgée d'eau et semi-fluide avant d'être progressivement compactée, est affectée par des bioturbations dues à l'action d'animaux fouisseurs (vers, mollusques, crustacés, oursins, etc.).

Mais dans certains cas, un ralentissement de la sédimentation ou des courants sous-marins ont plus ou moins empêché le dépôt de la boue à coccolithes, entraînant le développement d'une surface d'omission, parfois même d'une surface d'érosion (fig. 9). À partir de ce stade, une cimentation par cristallisation de calcite dans la craie peu consolidée provoque des concentrations calcitiques en nodules et un fond durci s'ébauche : il s'agit d'un *firmground*. Dans la mesure où la cimentation est encore incomplète, la consistance du substrat est ferme, comme une pâte à modeler. Dans les craies, la cimentation s'opère souvent autour de terriers (Juignet & Kennedy, 1974 ; Kennedy & Garrison, 1975). Si cette cimentation se poursuit et devient encore plus importante, le sédiment acquiert une consistance dure et la surface perforée devient alors un véritable fond durci ou *hardground*. Ces derniers peuvent aussi être érodés sous l'action de courants ou au cours d'événements eustatiques ou tectoniques : le *hardground* devient alors tronqué. La plupart des *hardgrounds* et *firmgrounds* forment des niveaux repères qui peuvent être suivis sur des centaines, voire des milliers de kilomètres carrés, comme dans le cas des « tuns » de la région

lilloise. Tous coïncident avec des lacunes de sédimentation plus ou moins longues.

En prenant comme exemple le 1er Tun de la Craie glauconieuse de Lezennes, celui-ci mesure 43 cm d'épaisseur dans le forage du Campus de la Cité Scientifique et montre la superposition de deux *hardgrounds* : au-dessus un important *hardground* dont la puissance atteint 29 cm (interprété comme correspondant au *Light Point Hardground* du sud de l'Angleterre), en dessous un *hardground* plus mince, de 8 cm (corrélé au *Beeding Hardground*). Le *hardground* supérieur a été observé au printemps 2022 au fond d'une excavation creusée à Villeneuve d'Ascq, sur le site d'un chantier de construction d'un magasin « *Kiabi* » (coord. L93 : X = 708 600 ; Y = 7 057 770). Des échantillons prélevés à cette occasion, sciés et polis, permettent de décrire de façon plus précise sa structure (Annexe 2). Les nodules présents au sein du *hardground* sont constitués d'une craie glauconieuse indurée, phosphatisée, gris-verdâtre. Les nodules ne sont ni roulés, ni usés, mais correspondent à une cimentation précoce et importante du substrat autour de terriers (*Thalassinoides* principalement) réalisée lors d'un arrêt de la sédimentation durant un temps assez long. Certains nodules sont eux-mêmes bioturbés, percés de fines tubules remplies de craie plus glauconieuse ou d'une seconde génération de phosphate. Les nodules situés à la partie supérieure du *hardground* sont beaucoup plus riches en phosphate de calcium et présentent une teinte beige à marron. La phosphatisation apparaît souvent diffuse et centripète. La plupart des nodules, dont la taille varie de 1 à 5 cm, sont couverts d'un enduit glauconieux verdâtre qui forme une patine jaunâtre après hydroxydation. Le ciment emballant les nodules est formé d'une craie nettement plus glauconieuse, gris sombre, également indurée.

ANALYSES MINÉRALOGIQUES (A.T., N.T.)

Bien que constitués essentiellement de calcite, les niveaux échantillonnés contiennent une fraction insoluble à l'acide chlorhydrique. La quantité de $CaCO_3$ a été évaluée par calcimétrie. La fraction insoluble correspond essentiellement à des argiles, du quartz et de la glauconite.

Calcimétries

La teneur en calcite a été mesurée au calcimètre de Bernard sur 20 échantillons répartis sur l'intervalle crayeux et comprenant un échantillon dans les limons.

Si l'on excepte l'échantillon pris dans les limons et dont la teneur en $CaCO_3$ est de 38 %, les autres échantillons sont très carbonatés (tableau. 1). La partie crayeuse contient en moyenne 84 % de $CaCO_3$. Les teneurs suivent les descriptions lithologiques, les niveaux glauconieux étant un peu moins riches en $CaCO_3$, tandis que les interbancs marneux le sont encore moins.

Minéraux argileux

Le cortège argileux a été étudié par diffraction des rayons X sur la fraction décarbonatée inférieure à 2 microns.

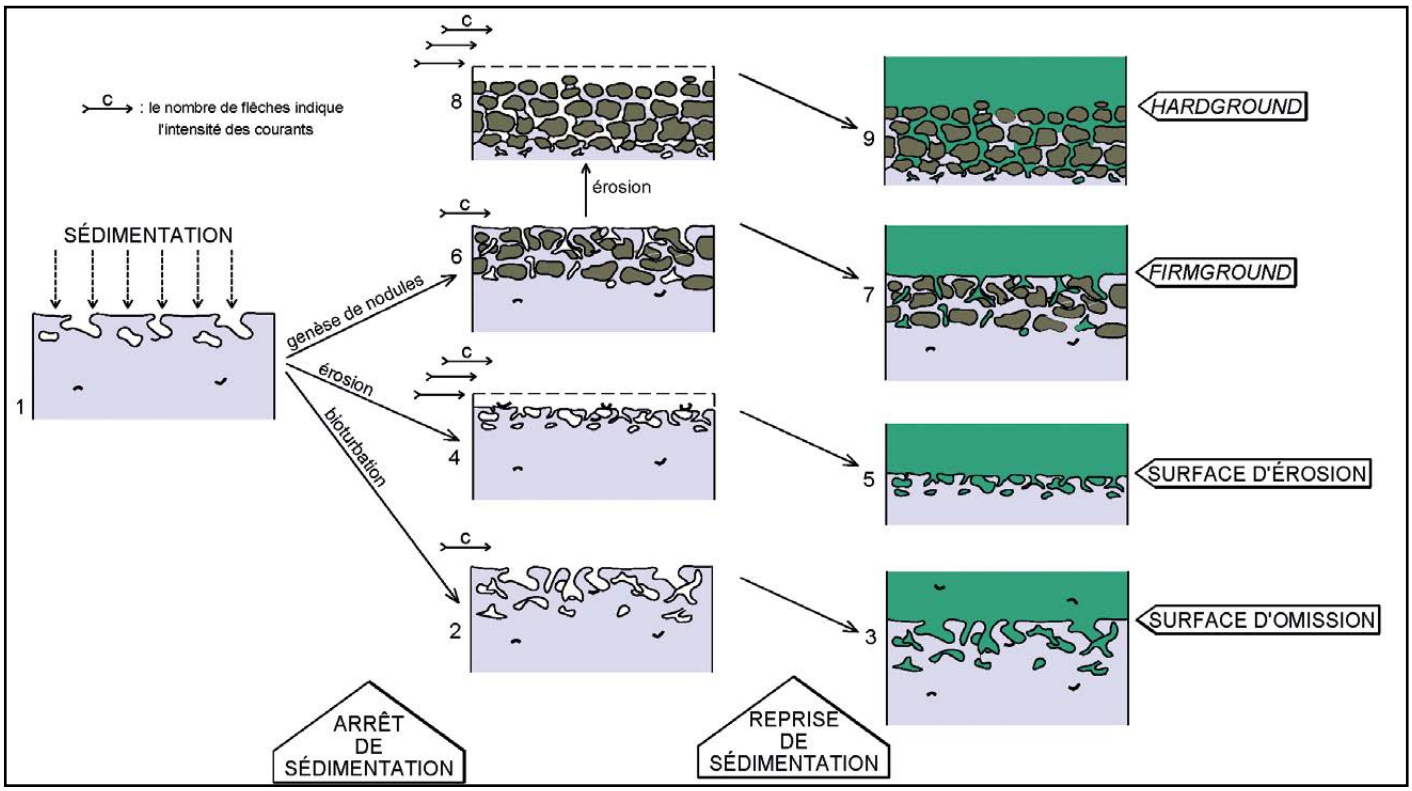


Fig. 9. – Genèse des différents types de discontinuités dans les craies (d'après Amédro, Matrion & Robaszynski coord., 2018).
Fig. 9. – Genesis of the different types of discontinuities in chalks (after Amédro, Matrion & Robaszynski, coord., 2018).

C'est la même méthode que celle employée par Vanderaveroet *et al.* (2000) pour analyser les niveaux de bentonite de la craie du Bassin de Paris. L'interprétation des diffractogrammes se fait à partir de 3 essais : 1) sur la fraction naturelle séchée à température ambiante, 2) une fois l'échantillon saturé à l'éthylène-glycol et 3) une fois l'échantillon porté à des températures supérieures à 490°C pendant deux heures (Holtzapffel, 1985). La lecture des 3 essais permet de caractériser les espèces minérales présentes et l'essai à l'éthylène-glycol de faire une analyse semi-quantitative des teneurs en minéraux argileux. Si les valeurs sont données au pourcent près, les analyses sont considérées comme précises à 5 % (Holtzapffel, 1985).

Cote (m)	smectite (%)	illite (%)	kaolinite	chlorite	zéolite	quartz	$CaCO_3$ (%)
4,80	93	6	?	+	+	-	38
5,50	92	8	?	?	+	-	100
6,00	86	14			+	-	88
6,90	78	21			+	-	88
7,90	59	41				+	76
9,03	60	40				-	89
10,20	85	15				-	86
11,00	84	15			+	-	79
12,00	90	10			+	-	99
13,00	90	10			+	-	95
13,30	90	10				-	81
13,38	90	10				-	79
13,39	90	10				-	80
13,40	83	17				+	91
14,00	89	11				-	88
14,50	88	11				-	87
14,80	89	11			+	-	67
16,00	86	13	?	+		-	70
16,80	85	14	?	+		-	67
17,00	86	13	?	+		+	85

Tableau 1. – Pourcentage des principaux minéraux argileux présents dans le forage du campus de la Cité Scientifique : smectite et illite. Pour la kaolinite, la chlorite et les zéolites, le signe + indique les échantillons contenant des traces difficilement quantifiables de ces espèces minérales. Pour le quartz, les signes '-' et '+' permettent de distinguer les échantillons ayant les pics les plus importants. Les teneurs sont très faibles et non quantifiées. Dernière colonne : teneurs en $CaCO_3$.
Table 1. – Percentage of main clay minerals present in the Cité Scientifique Campus drilling : smectite and illite. For kaolinite, chlorite and zeolites, the + sign indicates samples containing hardly quantifiable traces of these mineral species. For quartz, the ' -' and ' +' signs make it possible to distinguish the samples with the highest peaks. The contents are very low and not quantified. Last column : $CaCO_3$ contents.

Les résultats montrent que deux minéraux argileux dominent largement le cortège : la smectite (entre 60 et 90 %) et l'illite (entre 10 et 40 %). La smectite est probablement une montmorillonite comme le signale un dôme de diffraction centré sur 8,5 angströms et un autre sur 5,5 angströms, tous deux sur l'essai saturé à l'éthylène-glycol (Fig. 10). Ce dôme n'est pas présent dans l'essai réalisé sur la fraction naturelle et disparaît dans l'essai après chauffage. Des traces de kaolinite et/ou de chlorite sont visibles sur de rares échantillons de la Craie blanche et en dessous de 16 m dans les « Bleus ». Ces minéraux sont absents ou en trop faible quantité pour être détectés dans les autres échantillons. Sur certains diffractogrammes (4,8 ; 5,5 ; 6,0 ; 6,9 ; 11 ; 12 ; 13 et 14,8 m) un pic est présent à 9,5 angströms sur les trois essais, même s'il est moins visible sur l'essai après chauffage en raison de l'élargissement du pic centré sur 10 angströms qui concentre tous les autres minéraux argileux. Il pourrait s'agir de zéolites ce qui n'est pas incompatible avec l'observation fréquente de niveaux de cendres volcaniques dans les craies du bassin de Paris (Vanderaveroet *et al.*, 2000). Le quartz, non quantifié par l'analyse de la diffraction des rayons X, est présent en faible quantité comme le révèlent trois prélèvements réalisés à 6,50 m, 8,00 m et 9,50 m (tableau 2).

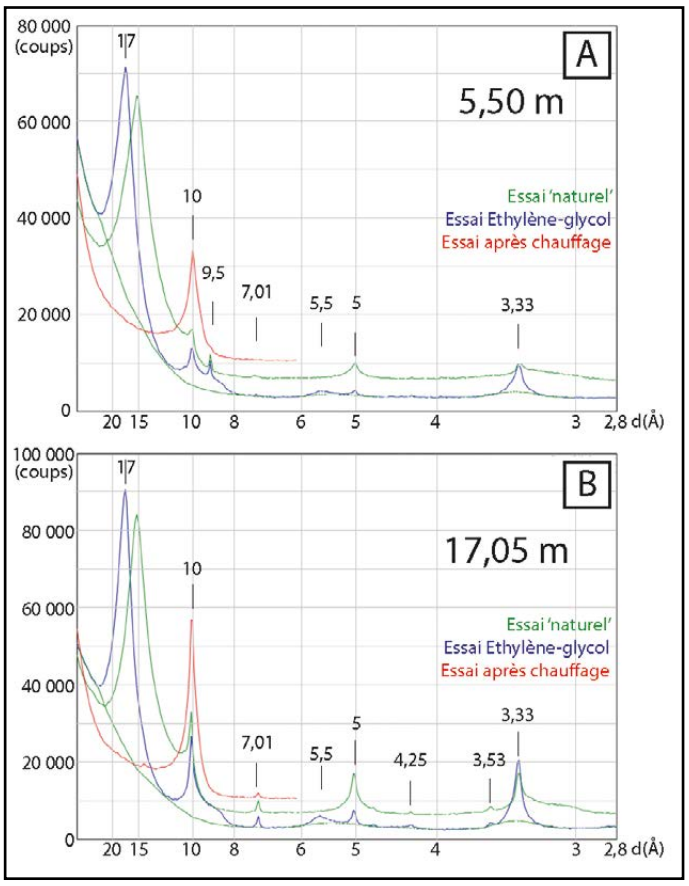


Fig. 10. – Diffractogrammes représentatifs de la fraction argileuse de la série étudiée. En vert, l'essai au naturel, en bleu saturé à l'éthylène-glycol, en rouge après chauffage.
Fig. 10. – Diffractograms representative of the clay fraction of the studied series. In green, the natural test, in blue saturated with ethylene glycol, in red after heating.

Cote (m)	Proportion glauconite (% pondéral)	Proportion quartz (% pondéral)
6,50 m	2,6	0,5
8,00 m	9,3	2,7
9,50 m	3,0	1,9

Tableau 2. – Teneurs en glauconie et quartz dans trois échantillons prélevés dans la Craie piquetée (6,50 m) et la Craie glauconieuse de Lezennes (8,00 m et 9,50 m).
Table 2. – Glauconite and quartz content in three samples taken from the Craie piquetée (6,50 m) and the glauconitic chalk of Lezennes (8,00 m and 9,50 m).

La smectite est le principal minéral argileux de la série. On note cependant une décroissance de ce minéral dans la craie glauconieuse, décroissance d'autant plus marquée que les teneurs en glauconie évaluées sur le forage sont plus élevées. Les fortes teneurs en smectite au cours du Turonien supérieur avaient déjà été observées dans les craies du Boulonnais (Deconinck *et al.*, 1989), de Haute-Normandie (Deconinck *et al.*, 1991) ou dans l'est du bassin de Paris (Debrabant *et al.*, 1992 ; Bougeault & Deconinck, 2018). Cette richesse en smectite a été interprétée comme le résultat du haut niveau marin maximal du Turonien supérieur qui, réduisant les surfaces continentales et les éloignant ne permettait qu'à des argiles de type smectite de se déposer. Il est remarquable que, même dans des conditions ultra condensées, le message argileux soit le même quand bien même la bathymétrie était sans doute nettement inférieure dans la région lilloise que dans le Boulonnais. Dans le forage, la baisse de la smectite coïncide avec l'arrivée de la craie glauconieuse et peut être le témoin d'une nouvelle phase de transgression à la base du Coniacien conduisant progressivement à la Craie blanche à la fois très pure en $CaCO_3$ et en smectite.

Glauconite et quartz

Les grains de glauconite et de quartz ont été isolés selon le protocole suivant. Les échantillons (pesant environ 100 g chacun) ont été attaqués avec de l'acide chlorhydrique pour dissoudre les phases carbonatées avant d'être rincés. Plusieurs rinçages ont été effectués en laissant le temps nécessaire aux minéraux plus lourds que les argiles de se déposer et aux argiles d'être éliminées avec le surnageant. Cette opération a été répétée au moins 25 fois, jusqu'à ce que le liquide reste limpide. Il ne restait alors dans les béchers que des grains de glauconite et de quartz. La glauconite a ensuite été séparée du quartz à l'aide d'un séparateur magnétique Frantz. Les deux fractions minéralogiques ont enfin été pesées, ce qui a permis de déterminer les proportions pondérales de la glauconite et du quartz. Une fois séparées, ces deux fractions ont pu être analysées pour en déterminer la distribution des fractions granulométriques grâce à un appareil Malvern Mastersizer à faisceau laser, selon le protocole décrit par Trentesaux *et al.* (2001).

Sans surprise, la glauconite est assez abondante puisqu'elle atteint 9,3 % pondéral de la roche à la profondeur de 8 mètres. C'est dans cet échantillon, prélevé dans une zone où les résultats de calcimétrie montrent une teneur en $CaCo_3$ faible, que les teneurs en quartz sont également les plus élevées avec 2,7 % pondéral. En ce qui concerne la granulométrie du quartz et de la glauconie, l'examen du tableau 3 montre que, pour les trois échantillons prélevés au sein de la Craie piquetée (à 6,50 m) et de la Craie glauconieuse de Lezennes (à 8,00 m et 9,50 m), la fraction constituée de quartz a un mode sensiblement plus grossier et un tri meilleur que celui de la fraction glauconite. L'interprétation retenue ici est une origine allochtone du quartz et autochtone, c'est-à-dire authigénique, de la glauconie. Cette interprétation est confortée par le fait que la courbe granulométrique des glauconies montre un renflement vers les fractions de petite taille, alors que les particules de cette taille ont été ôtées lors de la préparation des échantillons (fig. 11). En fait, les grains de glauconite ont été usés pendant l'analyse, en raison de la circulation du fluide dans l'instrument de mesure granulométrique qui a arraché des particules de taille micrométrique. Cette fragilité a été remarquée à chaque fois que la glauconie est authigénique, alors que les sédiments dans lesquels la glauconie est remaniée et usée préalablement au dépôt définitif ne montrent pas un tel renflement. Les particules remaniées ont déjà perdu leur « cortex » fragile et ne libèrent plus de particules fines pendant l'analyse.

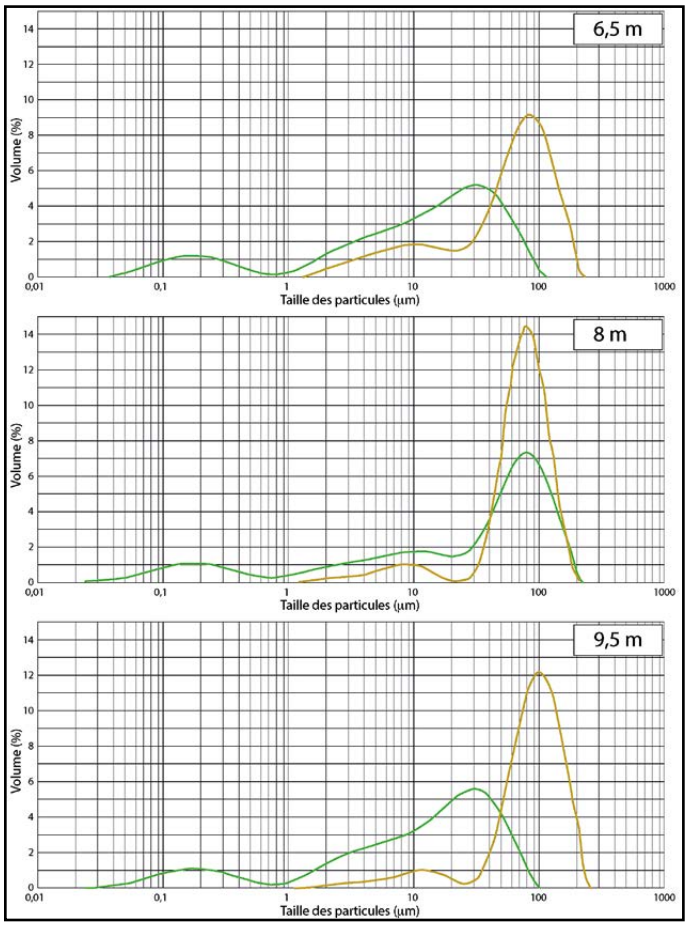


Fig. 11. – Courbes granulométriques des fractions constituées respectivement de glauconite et de quartz.
Fig. 11. – Particle size curves of the fractions consisting of glauconite and quartz, respectively.

Échantillons	d(0,250) µm	d(0,500) µm	d(0,750) µm	Moyenne µm	Mode µm	So	Sk
6,50 - glauconite	3,9	14,3	32,5	21,1	31,8	2,9	
8,00 - glauconite	6,9	47,4	85,6	53,2	80,5	3,5	
9,50 - glauconite	3,9	14,5	31,3	20,2	30,6	2,8	
6,50 - quartz	28,1	65,3	100,4	68,9	86,0	1,9	0,7
8,00 - quartz	64,0	93,0	128,5	96,9	101,9	1,4	1,0
9,50 - quartz	57,0	77,2	101,8	79,7	81,1	1,3	1,0

Tableau 3. Résultats granulométriques des trois échantillons prélevés dans la Craie piquetée (6,50 m) et la Craie glauconieuse de Lezennes (8,00 m et 9,50 m). Les deux fractions quartz et glauconite sont distinguées. Le tableau montre les quartiles 25 %, 50 % (aussi appelé médiane) et 75 %, ainsi que la taille moyenne des particules et la taille de grain correspondant au mode, c'est-à-dire le pic de la courbe de distribution des fractions granulométriques rencontrées. Ces paramètres ont permis de calculer deux indices décrivant la distribution des tailles de grains : le tri ou sorting (So) et l'asymétrie ou skewness (Sk). Ce second paramètre n'est ici calculé que pour les courbes unimodales : celles du quartz. Une valeur de So comprise entre 0,5 et 1 (quartz) correspond à un très bon classement, une valeur comme celles observées pour la glauconite correspond à un faible classement. Un indice d'asymétrie (Sk) proche de 1 montre que la distribution des grains de quartz est très homogène en taille.

Table 3. – Granulometric results of the three samples taken from the Craie piquetée (6,50 m) and the glauconitic chalk of Lezennes (8,00 m and 9,50 m). The two fractions quartz and glauconite are distinguished. The table shows the 25 %, 50 % (also called median) and 75 % quartiles, as well as the average particle size (moyenne) and the grain size corresponding to the mode, i.e. the peak of the distribution curve of the grain size fractions encountered. These parameters made it possible to calculate two indices describing the distribution of grain sizes : sorting (So) and skewness (Sk). This second parameter is only calculated here for the unimodal curves : those of quartz. A value of So between 0,5 and 1 (quartz) corresponds to a very good sorting, a value like those observed for glauconite corresponds to a low sorting. An skewness index (Sk) close to 1 shows that the size distribution of quartz grains is very homogeneous.

À la loupe binoculaire, les grains de quartz montrent une variété de morphologies et d'états de surface. Certains sont limpides et brillants, d'autres sont mats et usés. Il semble que les grains de quartz aient plusieurs origines. La plupart d'entre eux proviennent certainement de l'érosion des massifs brabançon et ardennais qui étaient immergés au Turonien supérieur-Coniacien inférieur et formaient des hauts-fonds (Barbarand *et al.*, 2013). Toutefois, la fraction la plus fine (<63 µm) pourrait aussi trouver son origine dans la chute de poussières issues de la circulation stratosphérique, suite à des éruptions volcaniques pyroclastiques (Kimbli, 1992). L'existence d'éruptions explosives ultrapliniennes majeures au cours du Turonien supérieur est aujourd'hui bien documentée dans le nord-ouest du Bassin de Paris (Deconinck *et al.*, 1991 ; Vanderaveroet *et al.*, 2000 ; Godet *et al.*, 2003). Ces éruptions sont à l'origine des niveaux de bentonites (niveaux argileux résultant de l'altération sous-marine de verres volcaniques) connus dans le Boulonnais et en Artois (*Caburn Marl, Bridgewick Marls* et *Lewes Marl*) et qui constituent autant de lignes-temps utilisées pour les corrélations.

LE FORAGE DU CAMPUS DE VILLENEUVE D'ASCQ ET LES CARACTÈRES PIÉZOMÉTRIQUES DE LA CRAIE GLAUCONIEUSE DE LEZENNES (A.H.)

Le forage carotté SC1, réalisé sur le campus de la Cité Scientifique de Villeneuve d'Ascq et équipé d'un piézomètre, a révélé la présence d'une nappe aquifère vers 10 m de profondeur. Il s'agit de la nappe de la craie turono-coniacienne qui est une nappe libre dont le mur est constitué par les formations marneuses du Turonien moyen et supérieur basal (« Bleus »). La couche aquifère est peu épaisse et très perméable. Il s'agit d'un aquifère fragile étudié dans un but pédagogique, mais aussi dans le contexte du changement climatique actuel. Les premières mesures, présentées dans la figure 12, montrent une surface piézométrique variable, oscillant entre 8,75 m et 10,73 m de profondeur (30,10 et 28,10 m NGF) sur la période d'observation de mai 2022 à octobre 2023, en relation avec l'évolution des précipitations.

Les « Bleus » constituent dans la région, de par leur suite répétitive de niveaux marneux, la couche aquitarde, c'est-à-dire imperméable. Cette unité stratigraphique étant identifiée à partir de 13,80 m de profondeur, on peut estimer à 3 à 5 m l'épaisseur de l'aquifère au droit du forage. Cette couche d'eau très mince remplit la Craie à cornus et les 0,40 m inférieurs de la Craie glauconieuse de Lezennes jusqu'au 2e Tun. La roche constituant la carotte apparaît comme très fracturée au niveau de la Craie à cornus. Cette fracturation se répercute sur la perméabilité de l'aquifère, à son tour élevée. Un essai à charge variable en forage ouvert a permis de déterminer un coefficient de perméabilité de 9,8 x 10^{-5} m/s.

L'aquifère de la craie recouvre 90 % du territoire du Nord – Pas-de-Calais, s'étendant du Calaisis au NW jusqu'à Valenciennes – Le Cateau Cambrésis au SE (Caulier, 1974 ; Picot, 2009). Les formations crayeuses hébergent deux nappes phréatiques majeures. La première est la nappe de la Craie du Cénomanien moyen-supérieur, située juste au-dessus de la Craie bleue argileuse du Cénomanien inférieur. La seconde est la nappe du Turonien supérieur – Coniacien, située au-dessus des Dièves, également argileuses, du Turonien inférieur et moyen. Prises ensemble, les deux nappes atteignent une puissance de plus de 100 m à l'ouest. A l'est du territoire cependant, seul le Turonien supérieur-Coniacien est aquifère. L'épaisseur de la nappe se réduit d'ouest en est et celle-ci vient mourir dans la région de Tournai où les terrains paléozoïques affleurent.

Sur le territoire de la commune de Lezennes, le battement inter annuel de la surface piézométrique est au maximum de 4 m et, dans ce secteur, l'écoulement de la nappe de la Craie du Turonien supérieur-Coniacien se fait du sud-est vers le nord-ouest (Ricour & Leplat, 1990). Dans la mesure où la

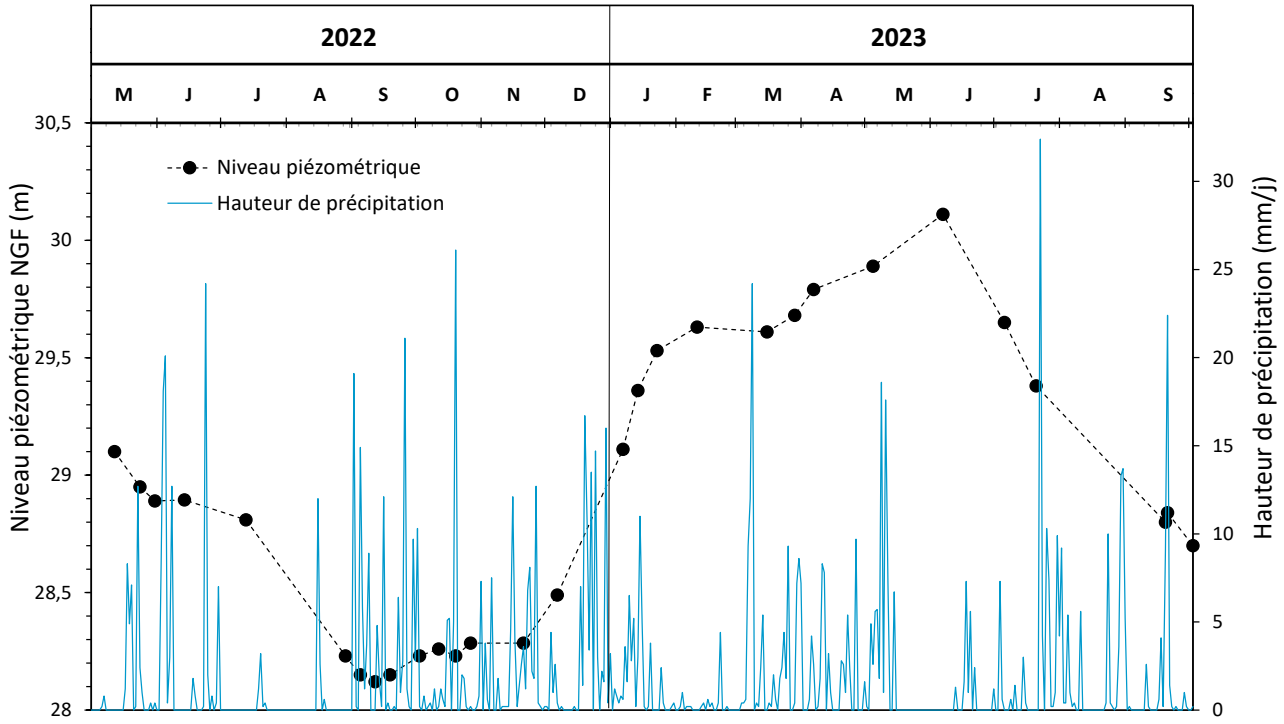


Fig. 12. – Variations saisonnières de la surface piézométrique de la nappe de la craie dans le du forage SC1 depuis sa création en mai 2022. Chronique de la hauteur des précipitations sur la même période (données mises à disposition par Météo-France, station de Lille-Lesquin).
Fig. 12. – Seasonal variationg of the surface of the chalk aquifer in borehole SC1 since its creation in May 2022. History of the amount of precipitation over the same period (Precipitation data provided by Meteo-France, Lille-Lesquin station).

construction de la plateforme de piézomètres sur le campus de la Cité Scientifique n'est pas terminée, il n'est pas possible pour l'instant d'affiner la question du sens d'écoulement de la nappe. En revanche, la campagne de mesures piézométriques réalisée depuis le mois de mai 2022, qui a débuté dans une période de sécheresse exceptionnelle, a révélé un niveau particulièrement bas de la nappe au cours de l'été 2022 (fig. 12). Sur les 17 premiers mois de suivi, un battement de la nappe de 2 m est d'ores et déjà observé. Il faut espérer que des précipitations hivernales suffisantes se produisent dans l'avenir afin d'assurer une recharge pérenne de cette nappe qui alimente en grande partie l'agglomération lilloise.

Remerciements. Monsieur Ireneusz Walaszczyk (University of Warszaw, Pologne) a déterminé l'inocérame collecté dans le forage. Messieurs Jean-François Deconinck (Université de Bourgogne – Franche-Comté à Dijon) et Bertrand Matrion (Troyes) ont mis au net plusieurs figures. Monsieur Michel Dubois (Université de Lille) et l'IMT de Douai ont permis le sciage et polissage de plusieurs échantillons de tuns. Messieurs Jean-François Deconinck et Francis Robaszynski (Saintes) ont accepté de relire cet article en y apportant de nombreuses remarques constructives. Madame Marion Delattre (Université de Lille) a effectué les analyses diffractométriques et de teneur en $CaCO_3$. Monsieur Romain Abraham (Université de Lille) a réalisé l'analyse granulométrique du quartz et de la glauconie. Monsieur Gaëtan Cheppe, responsable du Service Commun des Carrières Souterraines de la Ville de Lille, nous a autorisé l'accès aux carrières souterraines de Lezennes. Madame Léa Devaere et monsieur Jean-Marie Boussin, tous deux techniciens géologues dans ce service, nous ont guidé dans le dédale des galeries, jusqu'au « lac bleu ». Monsieur Francis Meilliez (Université de Lille), nous a accompagné dans notre périple au sein des carrières de Lezennes. Enfin, l'entreprise Geotec Carvin a mis à notre disposition les enregistrements des données mécaniques du forage. Que toutes et tous en soient chaleureusement remerciés.

BIBLIOGRAPHIE

Amédro F., Manivit H. & Robaszynski F. (1979). – Échelles biostratigraphiques du Turonien au Santonien dans les craies du Boulonnais (macro-micro-nannofossiles). *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **98 :** 287-3055, pl. 24-25.

Amédro F. & Robaszynski F. (1978). – *Peroniceras*, faunes et microfaunes associées dans le Nord de la France. Comparaison de quelques sections dans le Turonien-Coniacien. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **98 :** 35-50, pl. 1-3.

Amédro F. & Robaszynski F. F. (2001 a). – Les craies à silex du Turonien supérieur au Santonien du Boulonnais (France) au regard de la stratigraphie événementielle. Comparaison avec le Kent (U.K.). *Géologie de la France*, **4 :** 39-56.

Amédro F. & Robaszynski F. (2001 b). – Les craies turoniennes du Boulonnais (France) au regard de la stratigraphie événementielle. Comparaison avec le Kent (UK) et la Normandie (F). *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des amis du Muséum du Havre*, **87**, (2 et 3) : 31-49, 2 pls.

Amédro F. & Robaszynski F. (2001 c). – Événements sédimentaires et bio-écologiques dans les craies de Boulonnais : des repères pour des corrélations précises intra- et inter bassins. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **13** (2e série) : 123-135.

Amédro F. & Robaszynski F. (2006). – Les craies à niveaux durcis du Turonien supérieur-Coniacien inférieur du Nord de la France (Boulonnais, Artois, environs de Lille) : un essai de corrélation à l'aide de la stratigraphie événementielle. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **8** (2e série) : 159-171.

Amédro F. & Robaszynski F. (2010). – La transgression cénomanienne et l'âge des « Tourtias » du nord du Bassin de Paris (F.) et du Bassin de Mons (B.). *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris*, **47** (4) : 7-35, pl. 1-5.

Barbarand J., Quesnel F. & Pagel F. (2013). – Lower Paleogene denudation of Upper Cretaceous cover of the Morvan Massif and southeastern Paris Basin (France) revealed by AFT thermo chrononology and constrained by stratigraphy and paleosurfaces. *Tectonophysics*, **608 :** 1310-1327.

Barrois Ch. (1878). – Mémoire sur le Terrain crétacé des Ardennes et des régions voisines. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **5 :** 227-487.

Bonte A. (1957). – Observations sur le Dôme du Mélantois. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **77 :** 154-163.

Bonte A. (1966). – Le sous-sol de la Cité Scientifique d'Annapes. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **85 :** 357-368.

Bougeault c. & Deconinck J.-F. (2018). – La minéralogie et les assemblages argileux du sondage de Civray-de-Touraine. *In* Amédro F., Matrion B. & Robaszynski F. (coord.). Stratotype Turonien. *Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris ; Biotope, Mèze*, 416 p.

Briquet A. (1920). – Turonien supérieur et Coniacien inférieur dans le Nord de la France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **44 :** 1-11.

Bromley R.G. & Gale A.S. (1982). – The lithostratigraphy of the English Chalk Rock. *Cretaceous Research*, **3 :** 273-306.

Caulier P. (1974). – Étude des faciès de la Craie et de leurs caractéristiques hydrauliques dans la Région du Nord. *Thèse 3e cycle Université des Sciences et Techniques de Lille. Mention Géologie appliquée*, 156 p., 32 pls.

Cayeux L. (1889). – La Faune du Tun ; extension en épaisseur de la zone à *Micraster breviporus*. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **16 :** 123-131.

c.f.p. (m), copesep, r.a.p & s.n.p.a. (1966). – Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **85 :** 273-281, 3 tableaux.

Colbeaux J.-P., Debrabant P., Leplat J. & Robaszynski F. (1975). – Les craies de Sainghin-en-Mélantois (Nord) : faunes du passage turono-coniacien, tectonique cisaillante, physico-chimie. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **95 :** 17-35.

Debrabant P., Chamley H., Deconinck J.-F., Recourt P. & Trouiller A. (1992). – Clay sedimentology, mineralogy and chemistry of Mesozoic sediments drilled in the Northern Paris Basin. *Scientific Drilling*, **3 :** 138-152.

Deconinck J.-F., Amédro F., Desprairies A., Juignet P. & Robaszynski F. (1991). – Niveaux repères de bentonite d'origine volcanique dans les craies du Turonien du Boulonnais et de Haute-Normandie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **312** (série 2) : 897-903.

Deconinck J.-F., Holtzapffel T., Robaszynski F. & Amédro F. (1989). – Données minéralogiques, géochimiques et biologiques comparées dans les craies cénomaniennes à santoniennes du Boulonnais. *Geobios*, Lyon, mémoire spécial **11** : 179-188.

Delattre Ch., Mériaux E., Waterlot M. & Marlière R. (1973). – Région du Nord – Bassin de Mons. Guides géologiques régionaux, Masson édit., 176 p.

Delépine G. & Joly F. (1954). – Forage des Établissements Le Blan à Lille (Avenue de Bretagne). *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **74 :** 31-38.

Desoignies J., Dezwarte J.-M., Plat R., Syssau A. & Waterlot G. (1965). – Feuilles topographiques au 1/20 000 n° 9 HALLUIN 5-6-7, n° 14 LILLE 1 à 8, n° 15 LEERS 1 et 5 – Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 30 octobre 1965. Rapport BRGM accessible via http://infoterre.brgm.fr/rapports/SGR 65A62.pdf

Dubois M. (2009). – La nature du sous-sol lezennois. *In* « Voyage au cœur de Lezennes. Chronique des carrières souterraines de Lezennes ». Cercle de Recherche Historique Lezennois, 223 p.

Ernst G., Schmid F. & Seibertz E. (1983). – Event-stratigraphie in Cenoman und Turon von NW-Deutschland. *Zitteliana*, **10** : 531-554.

Fenet B. (1966). – Observations récentes sur la partie ouest de l'anticlinal du Mélantois. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **85 :** 241-245, pl. 21.

Fouray M. (1981). – L'évolution des *Micraster* (échinides, spatangoïdes) dans le Turonien-Coniacien de Picardie occidentale (Somme). Intérêt biostratigraphique. *Annales de Paléontologie, Invertébrés*, **67** (2) : 81-134, 4 pls.

Gale A.S. (1996). – Turonian correlation and sequence stratigraphy of the chalk in southern England. *In* Hesselbo S.P. & Parkinson D.N. (Eds), 1996, Sequence Stratigraphy in British Geology, *Geological Society*, special publication **103** : 177-195.

Gale A.S. & Smith A.B. (1982). – The palaeobiology of the irregular echinoids *Infulaster* and *Hagenowia*. *Palaeontology*, **25 :** 11-42.

Godet A., Deconinck J.-F., Amédro F., Dron P., Pellenard P. & Zimmerlin I. (2003). – Enregistrement sédimentaire d'événe-

ments volcaniques dans le Turonien du Nord-Ouest du Bassin de Paris. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **10** (2e série) **:** 147-162, pl. 15-16.

Gosselet J. (1870). – Notice sur la Craie de Lezennes. *Mémoires de la Société impériale des Sciences, de l'Agriculture et des Arts de Lille*, 3e série, **7**, (pour l'année 1869) : 241-247.

Gosselet J. (1881). – Esquisse Géologique du Nord de la France et des Contrées voisines. 2e fascicule, Terrains secondaires. Texte : 278 p., Planches : 15 pls., Imprimerie Six-Horemans, Lille.

Gosselet J. (1904). – Études des Gîtes minéraux de la France. Les Assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du Nord de la France. Fascicule 1, région de Douai. Paris, Imprimerie nationale, 142 p.

Gosselet J. (1905). – Études des Gîtes minéraux de la France. Les Assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du Nord de la France. Fascicule 2, région de Lille. Paris, Imprimerie nationale, 99 p.

Gosselet J. (1911). – Études des Gîtes minéraux de la France. Les Assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du Nord de la France. Fascicule 3, région de Béthune. Paris, Imprimerie nationale, 182 p.

Holtzapffel T. (1985). – Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Mémoires de la Société Géologique du Nord*, Lille, **12 :** 135 p.

Jenkyns H.C., Gale A.S. & Corfield R.M. (1994). – Carbon- and oxygen-isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its palaeoclimatic significance. *Geological Magazine*, **131** (1) : 1-34.

Juignet P. & Kennedy W.J. (1974). – Structures sédimentaires et mode d'accumulation de la craie du Turonien supérieur et du Sénonien du Pays de Caux. *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Orléans, **2** (section 4) : 19-47, pl. 1-3.

Kaplan U. (2015). – Oerlinghausen- und Salder-Formation (Mittel- und Oberturonium, Oberkreide) der Paderborner Hochfläche und des Haarstrangs zwischen Borchen und Anröchte (Südöstliches Münsterlander Kreidebecken). *Geologie und Paläontologie in Westfalen*, **87** : 5-74.

Kauffman E.G., Kennedy W.J. & Wood C.J. (1996). – The Coniacian stage and substage boundaries. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, Sciences de la Terre, **66**- supplément : 81-94.

Kennedy W.J. (2019). – The Ammonoidea of the Upper Chalk. Part 1. *Monograph of the Palaeontographical Society*, London, **654 :** 1-112, pl. 1-37.

Kennedy W.J. & Garrison R.E. (1975). – Morphology and genesis of nodular chalks and hardgrounds in the Upper Cretaceous of southern England. *Sedimentology*, **22 :** 311-386.

Kennedy W.J. & Kaplan U. (2019). – Ammoniten aus dem Turonium des Münsterlander Kreidebeckens. *Geologie und Paläontologie in Westfalen*, **92** : 3-223, pl. 1-52.

Kimbli R.T. (1992). – The origin of clay minerals in the Coniacian Chalk of London. *Clay Minerals*, **27** : 389-392.

Laurent A. (2021). – Modélisation géologique 3D du bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais et de son substratum dévonien – carbonifère inférieur : vers une meilleure definition des reservoirs géothermiques profonds. Thèse 3e cycle Université de Lille, 314 p.

Loutit T.S., Hardenbol J., Vail P.R. & Baum G.R. (1988). – Condensed sections: the key to age-dating and correlation of continental margin sequences. *In* Wilgus C.K., Hastings B.S., Kendall C.G., Posamentier H.W., Ross C.A. & Van Wagoner J.C. (Eds). – Sea Level Changes – An Integrated Approach. *S.E.P.M. Special publication*, **42 :** 183-213.

Mégnien C. & Mégnien F. coord. (1980). – Synthèse Géologique du Bassin de Paris. Lexique des formations. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Orléans, **103**, 467 p.

Mortimore R.N. (1983). – The stratigraphy and sedimentation of the Turonian-Campanian in the Southern Province of England. *Zitteliana*, **10**, 27-41.

Mortimore R.N. (1986). – Stratigraphy of the Upper Cretaceous White Chalk of Sussex. *Proceedings of the Geologists' Association*, **97** (2) : 97-139.

Mortimore R.N., Wood C.J. & Gallois R.W. (2001). – British Upper Cretaceous Stratigraphy. Geological Conservation Review Series, **23**, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 558 p.

Parent H. (1893 a). – L'âge du tun de Lezennes. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **26 :** 16-19.

Parent H. (1893 b). – Note sur les couches inférieures au 1er tun et sur la craie grise de Lezennes. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **26 :** 19-21.

Phillips W. (1819). – Remarks on the Chalk Cliffs in the neighborhood of Dover, and on the Blue Marl covering the Greensand near Folkestone. *Transactions of the Geological Society of London*, **1** (5) : 16-46.

Picot J. (2009). – Synthèse sur les aquifères de la région Nord – Pas-de-Calais. *Rapport BRGM* accessible via http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57368-FR.pdf

Pruvost P. (1914). – Note sur les résultats de quelques sondages profonds exécutés au sud-ouest de la ville de Lille. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **43** : 177-189.

Reiffsteck Ph. (2010). – Utilisation des paramètres de forage en reconnaissance géologique. Journées nationales Géotechnique et Géologie de l'Ingénieur, Grenoble 7-9 juillet 2010 : 157-164.

Ricour J. & Leplat J. (1990). – Surveillance piézométrique de la nappe de la craie et suivi expérimental des carrières souterraines sur le site de Lezennes. Rapport BRGM accessible via http://infoterre.brgm.fr/rapports/RR-31239-FR.pdf

Robaszynski F. & Amédro F., coord. (1980). – Synthèse biostratigraphique de l'Aptien au Santonien du Boulonnais à partir de sept groupes paléontologiques : foraminifères, nannoplancton,

dinoflagellés et marcofaunes. *Revue de Micropaléontologie*, **22** (4) : 195-321, pl. 1-20.

Robaszynski F. & Amédro F. (1986). – The Cretaceous of the Boulonnais (France) and a comparison with the Cretaceous of Kent (United Kingdom). *Proceedings of the Geologists' Association*, **97** (2) : 171-208.

Robaszynski F. & Amédro F. (2003). – Le Crétacé du Nord de la France : évolution des concepts et aspects nouveaux depuis Jules Gosselet. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **10** (2e série) : 163-181.

Robaszynski F. & Amédro F. (2014). – Actualisation des distributions verticales de foraminifères dans les craies du Cénomanien-Turonien du Boulonnais (nord de la France). *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **21** (2e série) : 7-23.

Robinson N.D. (1986). – Lithostratigraphy of the Chalk Group of the North Downs, southern England. *Proceedings of the Geologists' Association*, **97** (2) : 141-170.

Sangnier P., Bonte A., Waterlot G. & Clément B. (1968). – Carte géologique de la France à 1/50 000, notice explicative de la feuille de Lille-Halluin. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Orléans : 226-240.

Smith A.B. & Wright C.W. (2012). – British Cretaceous Echinoids. Part 9, Atelostomata, 2. Spatangoida (2). *Monograph of the Palaeontographical Society*, London, **639 :** 635-754, pl. 210-253.

Stokes R.B. (1975). – Royaumes et provinces fauniques du Crétacé établis sur la base d'une étude systématique du genre *Micraster*. *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris*, série C, **31 :** 1-94, 12 pls.

Trentesaux A., Recourt Ph., Bout-Roumazelles V. & Tribovillard N. (2001). – Carbonate grain size distribution in hemipelagic sediments from a laser particle sizer. *Journal Sedimentary Research*, **71/5 :** 859-863.

Vanderaveroet P., Amédro F., Colleté C., Deconinck J.-F., Recourt P. & Robaszynski F. (2000). – Caractérisation et extension de niveaux repères de bentonites dans le Turonien supérieur du Bassin de Paris (Boulonnais, Aube). *Geodiversitas*, **22** (3) : 457-469.

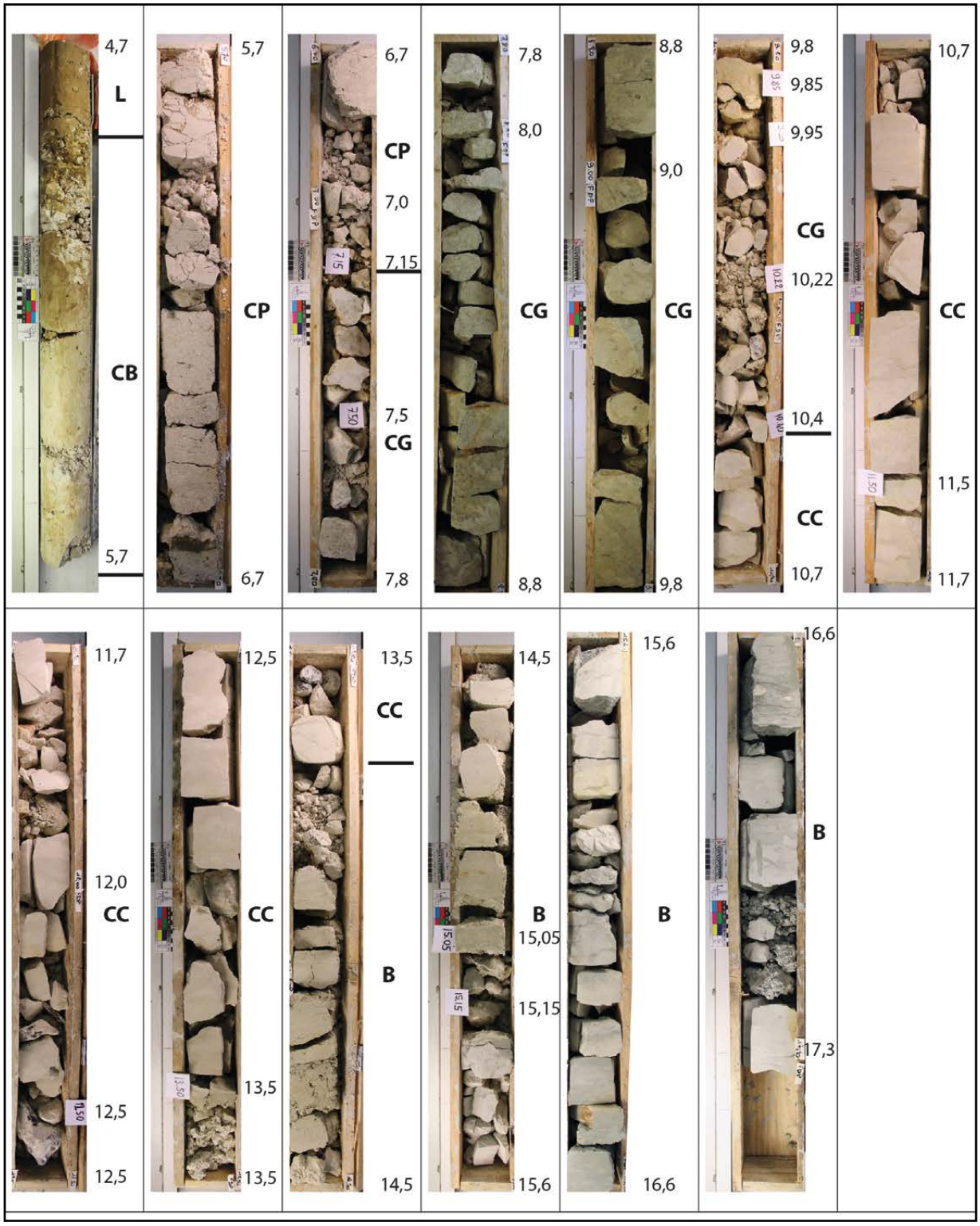
Voigt S. & Wiese F. (2000). – Evidence for Late Cretaceous (Late Turonian) climate cooling from oxygen-isotope variations and palaeogeographic changes in Western and Central Europe. *Journal of the Geological Society, London*, **157 :** 737-743.

Walaszczyk I. & Cobban W.A. (2006). – Palaeontology and biostratigraphy of the Middle-Upper Coniacian and Santonian inoceramids of the US Western Interior. *Acta Geologica Polonica*, **56** (3) : 241-348.

Walaszczyk I. & Wood C.J. (1999). – Inoceramids and biostratigraphy at the Turonian/Coniacian boundary ; based on the Salzgitter-Salder Quarry, Lower Saxony, Germany, and the Slupia Nadbrzezna section, Central Poland. *Acta Geologica Polonica*, **48** (4) : 395-434.

Walaszczyk I. & Wood C.J. (2018). – Inoceramid bivalves from the Coniacian (Upper Cretaceous) of the Staffhorst shaft (Lower Saxony, Germany). Stratigraphical significance of a unique succession. *Cretaceous Research*, **87** : 226-240.

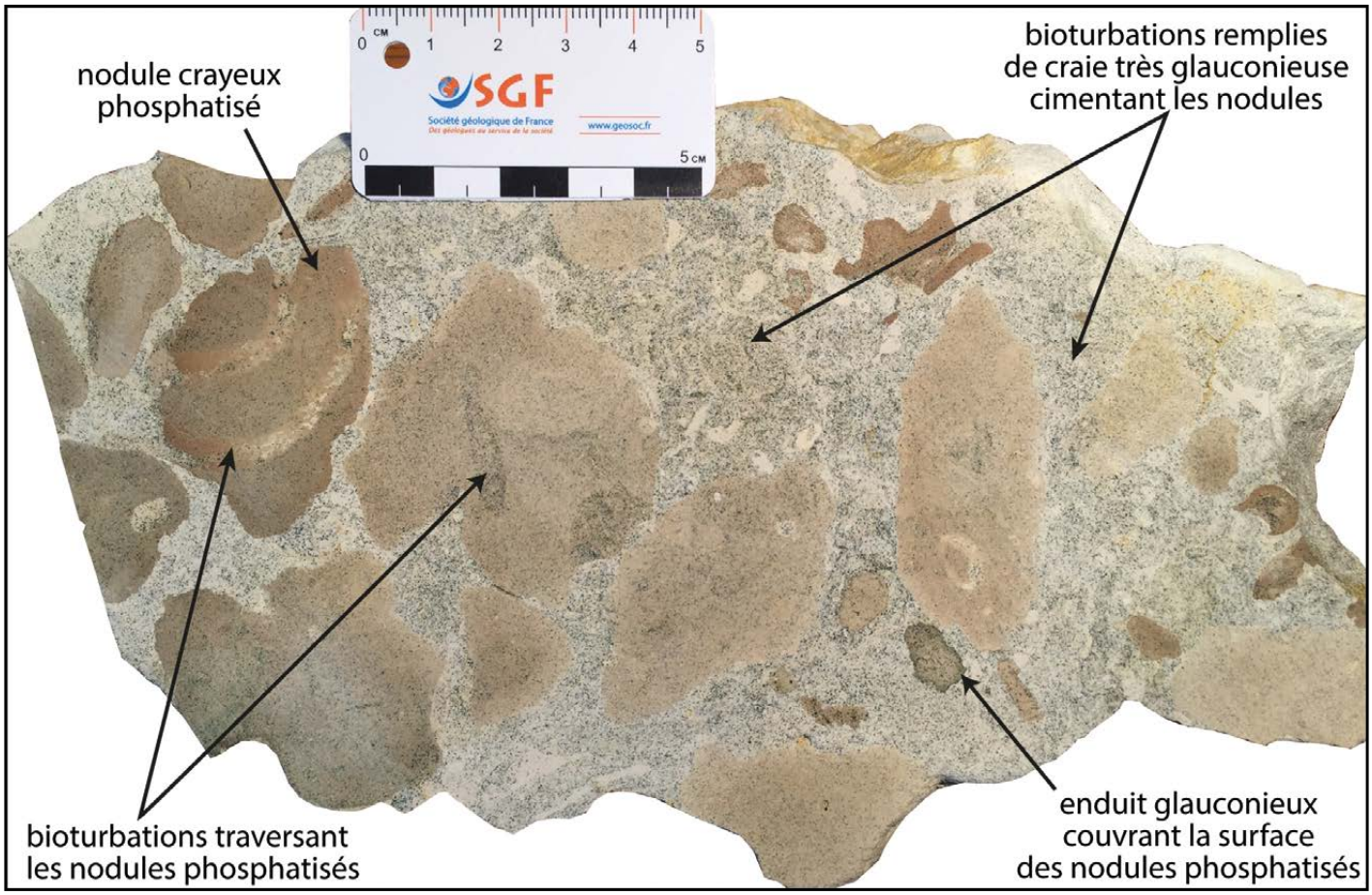
ANNEXES



Annexe 1. - Photographie des échantillons carottés du forage SC1, implanté sur le campus de la Cité Scientifique de Villeneuve d'Asq, en face du bâtiment SN5 (F.G., A.T.). L : Limons, CB : Craie blanche, CP : Craie piquetée, CG : Craie glauconieuse de Lezennes, CC : Craie à cornus, B : Bleus.

Appendix 1. – Photos of drilled samples from SC1 borehole, located on the Villeneuve d'Ascq Cité Scientifique, in front of the SN5 building (F.G., A.T.).

L : Limons, CB : white chalk, CP : weakly glauconitic chalk, CG : Lezennes glauconitic chalk, CC : chalk with flints, B : marly chalk.



Annexe 2. – Photographie d'une section sciée d'un fragment du *hardground* supérieur du 1er Tun, (échantillon provenant du site de l'entreprise « KIABI » à Villeneuve d'Ascq) (F.G.).
Appendix 2. – Photos of a sample cross-section from the upper hardground of 1s Tun (sample coming from the « KIABI » firm at Villeneuve d'Ascq).

Annexe 3. - Corrélation entre la suite stratigraphique et les données mécaniques obtenues lors de la réalisation du forage SC1, en particulier la pression du couple de rotation de la machine de forage (A.H.).
Appendix 3. – Correlation between the stratigraphic series and the mechanical machine data recording during the boring of core SC1, in particular the motor torque pressure data.

Dans un forage par pression d'appui et rotation, les paramètres enregistrés conformément à la norme ISO 22475-1 sont les pressions hydrauliques de poussée p, de couple de rotation pCR, de retenue pR, la pression du fluide d'injection pF, l'avancement A de l'outil, la vitesse de rotation de la tête VR et le débit du fluide QI. Différents auteurs ont élaboré, à partir de ces données de « diagraphie immédiate », des combinaisons de paramètres visant à se rapprocher de paramètres mécaniques d'autres essais ou cherchant à exprimer l'énergie dépensée (Reiffsteck, 2010).

Le forage SC1 a été réalisé avec une machine de forage de type GEOTEC TB350. Le fluide de forage était de l'eau. Dans le cas présent, le fait le plus remarquable est l'excellente corrélation existant entre le profil de pression du couple de rotation pCR et le profil lithostratigraphique détaillé établi dans le cadre de l'étude de la carotte (fig. Annexe 3 -1). L'avancement du forage est obtenu par une pression d'appui exercée sur l'outil de forage, lui-même soumis à rotation. La pression du couple de rotation pCR correspond à la pression envoyée au moteur de rotation. Le profil pCR fait clairement ressortir les bancs de Tuns. Les « Bleus » du Turonien moyen et supérieur basal, caractérisés par une alternance de niveaux marneux et de bancs plus carbonatés (crayeux), se démarquent aussi très bien. Il est également clair que les limons superficiels (0 à 5 m) nécessitent une force de rotation bien moindre que les niveaux argileux des « Bleus ».

La figure Annexe 3-2 présente quant à elle les valeurs moyennes de pression CR obtenues pour les principales unités lithologiques rencontrées dans la carotte de forage. Cette échelle de pression est obtenue à partir des données brutes et n'a été soumise à aucun étalonnage. Elle est de ce fait conditionnée aux paramètres techniques du forage. Elle met néanmoins en évidence la résistance relative des différentes roches rencontrées dans le forage.

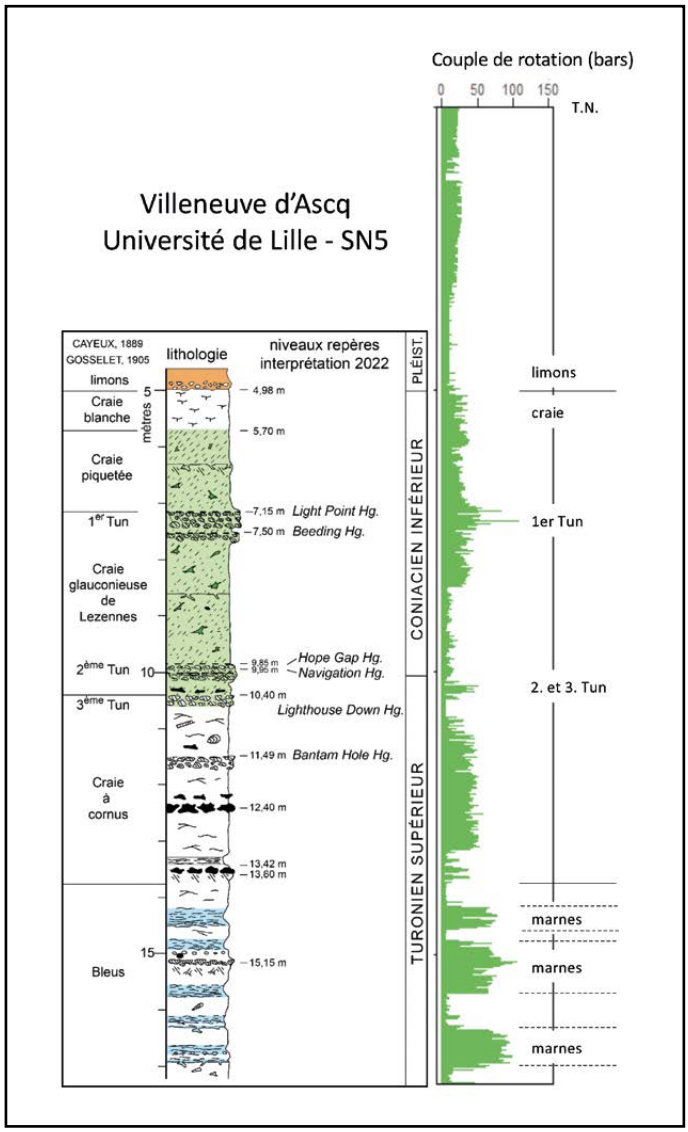
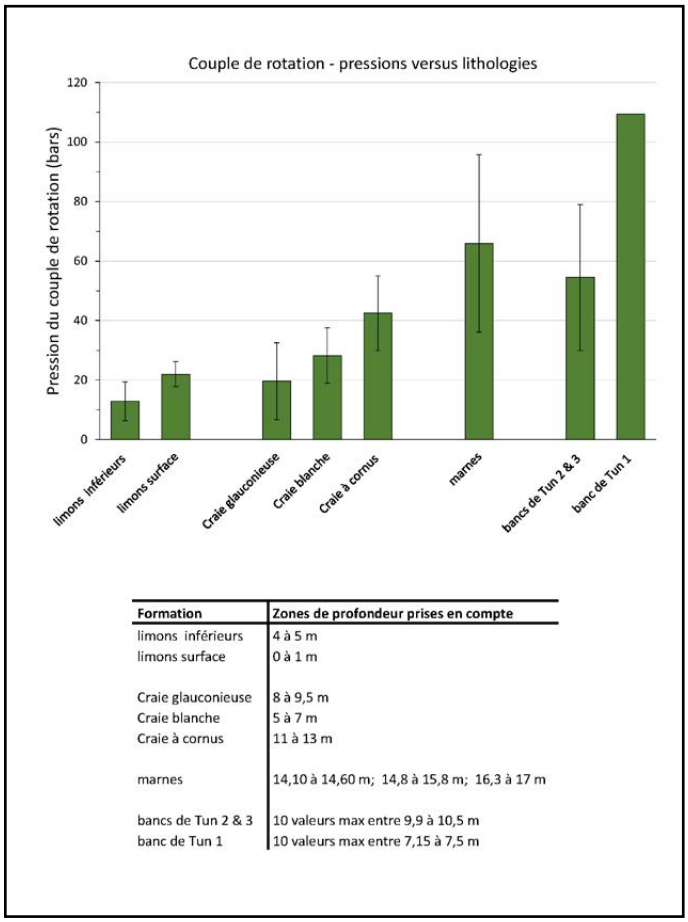


Fig. Annexe 3-1. – Corrélation des profils lithostratigraphique et de pression du couple de rotation obtenu lors de la réalisation du carottage.
Fig. Appendix 3-1. – Correlation of the lithostratigraphic profile with the motor torque pressure profile recording during the boring.



Formation	Zones de profondeur prises en compte
limons inférieurs	4 à 5 m
limons surface	0 à 1 m
Craie glauconieuse	8 à 9,5 m
Craie blanche	5 à 7 m
Craie à cornus	11 à 13 m
marnes	14,10 à 14,60 m; 14,8 à 15,8 m; 16,3 à 17 m
bancs de Tun 2 & 3	10 valeurs max entre 9,9 à 10,5 m
banc de Tun 1	10 valeurs max entre 7,15 à 7,5 m

Fig. Annexe 3-2. – Valeurs moyennes des données de pression du couple de rotation prises entre les profondeurs indiquées et écart type.
Fig. Appendix 3-2. – Mean values of the motor torque pressure data, given for the indicated depth intervals, and the standard deviation.