

Les craies cénomaniennes du Boulonnais. Comparaison avec l'Aube (France) et le Kent (Royaume Uni)*

Francis AMÉDRO (1)
Francis ROBASZYNSKI (2)

*The Cenomanian chalk of the Boulonnais.
Comparison with the Aube (France) and Kent (United Kingdom)*

Géologie de la France, n° 2, 1999, pp. 33-53, 8 fig. 2 pl.

Mots-clés : Craie, Cénomanien, Niveau repère, Pas-de-Calais, Boulonnais, Bassin de Londres, Kent, Aube.

Key words: Chalk, Cenomanian, Marker beds, Pas-de-Calais, Boulonnais, London Basin, Kent, Aube, France.

Résumé

En 1980, les présents auteurs ont défini une succession de formations, d'ensembles et d'unités lithologiques dans le Cénomanien des falaises du cap Blanc-Nez. La précision recherchée était d'ordre métrique à demi-métrique, ce qui était largement suffisant pour constituer un support lithologique à une étude principalement multi-biostratigraphique. En 1989, le creusement du tunnel sous la Manche a permis à l'un d'entre nous (F.A.) d'affiner la connaissance des 32 m de la partie inférieure du Cénomanien par des analyses lithostratigraphiques avec une précision d'ordre centimétrique. A cette occasion, plusieurs niveaux-repères ont été définis sur la base de caractères lithologiques et/ou bio-écologiques.

La méthodologie est aujourd'hui transposée à l'ensemble du Cénomanien dont l'épaisseur révisée atteint 75,20 m. Dans les neuf ensembles lithologiques des six formations constituant le Cénomanien, 19 niveaux repères sont décrits et permettent d'effectuer des corrélations très précises avec le Cénomanien du Kent distant d'une trentaine de kilomètres jus-

qu'à celui de l'Aube éloigné de plus de 350 km du Boulonnais.

Abridged English version

Introduction

The most complete Upper Cretaceous succession of the northern Paris Basin is exposed in the cliffs at Cap Blanc-Nez. The first descriptions of this succession were made by the pioneers of the regional geology in the late 19th century, namely Chellonneix (1872) and Barrois (1875, 1878) from Lille. A century later, the needs of modern stratigraphy led the authors to undertake a new geological survey of the Albian to Santonian, using the vertical distribution of various groups of macro-, micro- and nannofossils (Amédro et al., 1976; Robaszynski and Amédro, [coord.] et al. 1980). Nevertheless, the precision of this survey, which was at the metre to half-metre scale, proved insufficient when it came to interpreting the numerous boreholes used to monitor the progress of tunnel boring beneath the English Channel from 1989 to 1992. Detailed surveys of the cliffs were therefore carried out, at the decimetre to centimetre scale, in order to obtain a more thorough understanding of the Lower Cenomanian "Blue Chalk",

whose impermeability was favourable for constructing the Channel tunnel (Amédro, 1993, 1994).

Updating the geological boundaries of the 1:50,000-scale Marquise sheet from 1993 to 1996, ushered in a new phase in the study of the Cenomanian. The precision required for the lower part of the stage was extended to the upper part and into the Turonian. In addition, exceptional exposures resulting from intensive erosion of the foreshore by coastal currents provided an opportunity for further lithological observation and fossil collection to add to prior findings.

This body of work is now bringing to light a succession of lithologic and palaeontologic events within the 75 metres of the Cenomanian. Nineteen marker beds or 'events' have been described and located within the sedimentary column. These events provide valuable time-lines for establishing correlations with Kent, 35 km away, and also with the Aube, 350 km away.

Lithostratigraphy and events

The Cenomanian of Cap Blanc-Nez was divided by Amédro et al. (1976) into

* Manuscrit déposé le 14 septembre 1998, accepté après révision le 30 avril 1999

(1) 26 rue de Nottingham, 62100 Calais, France

(2) Faculté Polytechnique, Dépt. Mines-Géologie, 9, rue de Houdain, 7000 Mons, Belgique

lithological divisions (A, B, C,...) made up of depositional cycles or groups of cycles (units 1, 2, 3,...). Then, in 1980, the divisions and units were grouped into named formations (Robaszynski and Amédéo [coord.] et al., 1980).

• *Strouanne Formation (Division D; units 1-2): Lower Cenomanian (in part); Glauconitic Chalk or «Tourtia»; 2 m.*

A bioturbated glauconitic chalk, with abundant glauconite and small phosphatic nodules at the base. In each of the three cycles that make up the formation, the upper section is rich in sponges ('Plocoscyphia'). The ammonite Neostlingoceras carcitanense is found only in the phosphatic nodules of the lower 20 cm of the formation, whereas in Kent, it occurs over several metres. This would suggest a lacuna for the basal part of the Lower Cenomanian. The Strouanne Formation is the marker bed that represents event no. 1.

• *Petit Blanc-Nez Formation (Divisions E, F, G'; units 3-16'): Lower Cenomanian (in part) and base of the Middle Cenomanian; chalk/marl alternations; 30 m.*

Division E: 7.35 m, blue coloured and composed of 7 units;

- units 3 and 4 (1.60 m): 2 chalk/marl cycles, rich in sponges at the top; event no. 2 is marked by the abundance of Inoceramus crippsi;

- unit 5 (0.70 m): blue chalky marl with a little glauconite and quartz at the base; it represents event no. 3;

- units 6 to 9 (5.05 m): cycles dominated by blue-grey marl with a large number of ammonites of the genus Mantelliceras.

Division F = unit 10: 8.65 m, marl and chalk cycles, less coloured than E;

- unit 10i: 0.40 m, a friable layer recessed into the cliff, with glauconite, pyrite and quartz grains at the base; it marks event no. 4;

- unit 10ii: 5.45 m, several predominantly chalk cycles; event no. 5 is marked by the upper half of the unit, which contains a large number of Inoceramus virgatus;

- unit 10iii : 0.45 m, two beds standing out in relief, bioturbated, with numerous sponges; it marks event no. 6;

- unit 10 iv: 2.35 m, several minor cycles characterized by the first period of abundant Orbirhynchia mantelliana rhynchonellinids and marking event no. 7.

Division G': 14 m, chalk and marl of a pronounced blue colour:

- units 11 to 15: 8.70 m, cycles about a metre thick of extensive blue-coloured marl layers; the base of unit 11, very marly and very dark when wet, represents event no. 8;

- unit 15': 2.30 m, chalk/marl cycles with pyrite aggregates in the marl; this is the second level with abundant O. mantelliana and marks event no. 9;

- unit 16: 0.80 m, the base of the unit is light-coloured and chalky, with light-coloured burrows in the underlying dark marl, and represents event no. 10;

- unit 16': 2.20 m, chalk/marl cycles containing the first Acanthoceras rhotomagensis; the two beds of units 16 and 16' that stand out in relief represent event no. 11.

• *Cran Formation (= Division H'; units 17 to 20), Middle Cenomanian (in part); chalk/marl cycles with high chalk content; 10.70 m:*

- units 17-18: 4.00 m, chalk/marl cycles with numerous small fossils in the base, including Entolium orbiculare, and marking event no. 12;

- units 19-19': 5.55 m, chalk/marl cycles followed by resistant chalk beds, in relief; the lower part is marked by a third level of O. mantelliana, representing event no. 13;

- unit 20: 1.15 m, marl and chalk.

• *Escalles Formation (Divisions I-J; units 21-26); Middle Cenomanian (in part) and Upper Cenomanian (in part); thin rhythmically bedded chalk; 30.30 m.*

Division I: 17.90 m, chalk/marl cycles, greyish to bluish;

- units 21-22: 11.55 m, thinly bedded greyish-white chalk cycles; four dark

marl layers in the middle of unit 21 mark event no. 14; a layer with abundant Inoceramus atlanticus at the top of unit 22 marks event no. 15;

- unit 23: 3.25 m, calcarenite with laminated structures marking event no. 16;

- unit 24: 3.10 m, thinly bedded chalk cycles.

Division J, units 25-26: 12.40 m, more massive white to grey chalk;

A layer with common Amphidonte at the top of unit 25 marks event no. 17.

• *Crupes Formation (Division K; Plenus Marls), uppermost Cenomanian (in part); 1.15 m to 2.16 m, event no. 18. The same 8 beds defined by Jefferies (1963) at Merstham are found here.*

The top of bed 3 is distinguished by its perforated surface (noted by Dubois, 1925). The belemnite A. plenus can be found in beds 4 and 6, and locally in bed 5.

• *Grand Blanc-Nez Formation (in part), base of Division L, uppermost Cenomanian (in part) and lowermost Turonian, nodular chalk.*

Division L-a: 0.90 m, nodular chalk with 2 hardgrounds containing Sciponoceras bohemicum anterius and Inoceramus pictus, marking event no. 19.

Division L-b (in part): 0.90 m; the disappearance of S. bohemicum anterius is used here to locate the base of the Turonian, as this corresponds with the appearance of Watinoceras devonense in SW England, a bioevent that the Subcommission on Cretaceous Stratigraphy recommends using to locate the Cenomanian-Turonian boundary (Bengtson, 1996).

Comparison with Kent and the Aube

The succession exposed at Cap Blanc-Nez is very comparable to that in Kent (Fig. 6). The 19 events are found in both regions, demonstrating that sedimentary and biological conditions were identical over large areas. Most of these events can also be found in the Aube near Troyes, 350 km from the Boulonnais, and can be considered as

more precise time-lines than the macro- or micropaleontologic zones.

Remarks concerning the names of the Cenomanian chalk in the Boulonnais, the Strait of Dover and Kent

A comparison of the Blanc-Nez lithologic succession with that at Folkestone clearly demonstrates the continuity of all the lithologic units from the French to the British side.

On the French side, various formations were established by Robaszynski and Amédéo [coord.] et al., (1980) following the current international rules of stratigraphic nomenclature (Hedberg, 1976). On the British side, Price (1877) first proposed dividing the Lower Chalk into two, using the previously created terms of:

- the Chalk Marl (Mantell, 1818), at the base: 'Soft marly chalk' defined in Sussex;

- the Grey Chalk (Phillips, 1821), above: name applied to the argillaceous grey chalk found near Dover.

A few years later, Jukes-Browne and Hill (1903) named an additional lithologic unit, the White Bed at the top of the Lower Chalk: a massive greyish-white chalk found between their bed 7 and the Plenus Marls. Figure 7 shows all the lithological divisions recognized on each side of the Channel and in the Strait of Dover. All studies relating to the Channel tunnel recognized the division of the Lower Chalk into Chalk Marl ("Craie bleue") and Grey Chalk ("Craie grise"), with the latter sometimes including the White Bed ("Craie blanche"). These divisions were also adopted for the G.E.T.M. 1957-1974 project (Destombes and Shephard-Thorn, 1971) and for the construction of the Eurotunnel from 1988 to 1991 (Duffaut and Margron [eds.], 1990). Although this nomenclature does not fully comply with the International Stratigraphic Code, it is convenient at the regional level. However, since the terms Chalk Marl and Grey Chalk were proposed without defining their lithological boundaries - as often happened in the 19th century - interpretations have varied concerning the location of the boundary between the Chalk Marl and the Grey Chalk (see the discussion in Smart et al.,

1966). For example, Price (1877) clearly places the boundary below his "Cast Bed" (marker bed no. 12 at Cap Blanc-Nez, with *Entolium orbiculare*), whereas Jukes-Browne and Hill (1903) place it higher, between their beds 5 and 6. In 1987, the Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), Transmanche Link (TML) and Eurotunnel agreed to define the upper boundary of the «Craie bleue» (Chalk Marl) as the top of the Petit Blanc-Nez Formation as described by Robaszynski and Amédéo [coord.] et al. (1980) (in Duffaut and Margron [eds.], 1990). It is here, on either side of the Escalles valley, that a level of springs marks an interesting geotechnical boundary as far as permeability is concerned. The boundary thus located is framed by events no. 11 and 12 (Fig. 6), and can be easily identified in any outcrop or borehole to an accuracy of 1-5 centimetres.

In a recent study of the Cenomanian chalk of southeastern England, Jenkyns et al. (1994) interpret the boundary between Chalk Marl and Grey Chalk differently, placing it 8 m higher, where the chalk becomes finely rhythmic (i.e. in the upper third of the Blanc-Nez unit 19'). In our opinion, the location of the boundary between Chalk Marl and Grey Chalk is strictly conventional. Inasmuch as Margron and Rankin (1990) have published a clear definition of this boundary, there is no sense in introducing a new division that could cause confusion in the future. Conversely, separating the Glauconitic Marl from the Chalk Marl and the White Bed from the Grey Chalk is simply a matter of bracketing and is of little importance.

Bristow et al. (1997) have proposed a new lithostratigraphical division for the chalk of southern England that can be used in mapping. They recognize three members within the Lower Chalk Formation; i.e. from bottom to top, the Glauconitic Marl, the West Melbury Marly Chalk and the Zig Zag Chalk, which includes the Plenus Marls at the top. They place the lower boundary of the West Melbury Marly Chalk at the top of the Glauconitic Marl, with the upper boundary corresponding to the base of Price's Cast Bed (1877). Thus defined, this lithostratigraphical unit is exactly equivalent to the Petit Blanc-Nez Forma-

tion as established 17 years previously by Robaszynski and Amédéo [coord.] et al. (1980) in the Cap Blanc-Nez cliffs in France! The similarity between the lithological successions in the Cenomanian chalk on either side of the Strait of Dover were advanced as early as 1986 by Robaszynski and Amédéo, and were clearly demonstrated for the Lower Cenomanian and the base of the Middle Cenomanian by Amédéo (1993, 1994) and again by Gale (1995). If we accept the priority rule, this similarity should oblige the British geologists to adopt a standard terminology for both sides of the Channel. If we observe the terms of the International Stratigraphic Code, and specifically the priority rule, then the 1997 nomenclature (Bristow et al.) should be abandoned in favour of the nomenclature published by Robaszynski and Amédéo [coord.] et al. in 1980. Consequently, the lithological units defined for northern France should also apply to all the chalk of southern England.

Conclusion

Detailed surveys of the Cenomanian chalk undertaken since 1990 in Cap Blanc-Nez are now resulting in a reference lithostratigraphic sequence accurate down to the basic rhythmite of the chalk-marl rhythmic cycle, i.e. 1 to 5 cm in some cases. In addition, 19 levels displaying distinctive lithological and/or biological features form excellent marker horizons in the chalk succession. These events represent valuable time-lines for establishing correlations both over short distances (35 km with Kent) and over longer distances (350 km with the Aube).

Introduction

Le caractère exceptionnel des affleurements et la beauté du site du cap Blanc-Nez ont depuis longtemps séduit et attiré les géologues le long des falaises crayeuses du Pas-de-Calais. Plusieurs "assises" y ont été reconnues dès le XIX^e siècle, d'abord par Chellonneix (1872) puis par Barrois (1875, 1878), mais le premier levé lithologique répondant aux nécessités de la stratigraphie moderne a été réalisé en 1976 (Amédéo et al.). Ce levé a servi de référence pour toutes les études ultérieures concernant la stratigraphie des craies cénomano-turonniennes du Boulonnais. Ce fut le cas pour la construc-

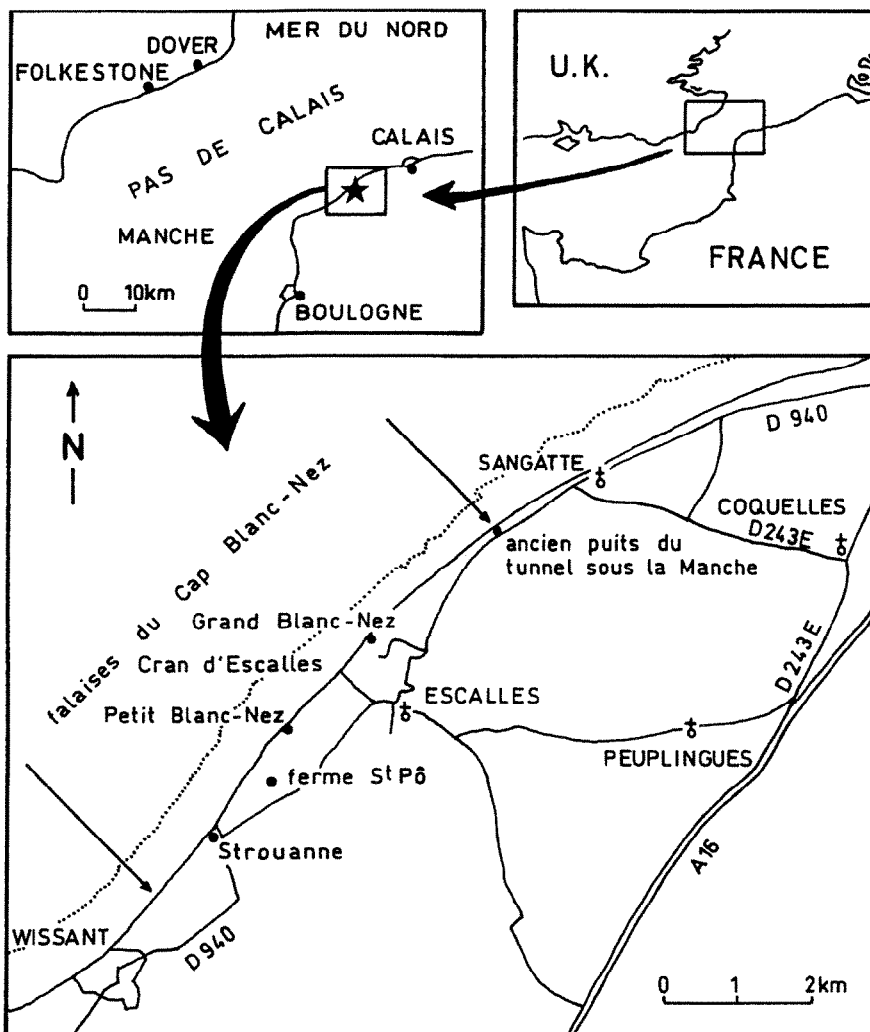


Fig. 1.- Localisation du secteur étudié.

Fig. 1.- Location of the study area.

tion d'échelles paléontologiques parallélisées associant macro-, micro- et nannofossiles (Amédéo *et al.*, 1978 a, 1978 b ; Robaszynski et Amédéo coord., 1980 ; Amédéo, 1986), ainsi que pour la formalisation du tracé du tunnel sous la Manche (Duffaut, Margron éd., 1990). Cependant, en 1989, l'étude de sondages liés au creusement du tunnel a révélé que la description de 1976, réalisée selon une maille métrique, était d'une précision insuffisante. C'est pourquoi des levés complémentaires ont dû être repris en falaise dans la moitié inférieure du Cénomanien pour une meilleure connaissance des niveaux impliqués dans le creusement. Le degré de résolution était alors voisin de quelques centimètres (Amédéo, 1993). Les levés lithologiques détaillés de tous les sondages carottés dans la partie française du détroit entre 1989 et 1992 ont servi ensuite à repérer systématiquement la position des tunneliers au sein de la " Craie bleue ". Les

corrélations lithologiques entre sondages successifs ont contribué à contrôler l'avancement des travaux de percement du tunnel (Amédéo, 1994).

La présente étude s'inscrit dans la continuité des travaux de 1993 et 1994. Elle concerne cette fois l'ensemble des craies cénomaniennes du cap Blanc-Nez, avec en particulier une reprise détaillée des levés pour le sommet du Cénomanien moyen, le Cénomanien supérieur et la limite avec le Turonien. Les nouveaux levés ont été réalisés entre octobre 1996 et octobre 1997 dans le but de disposer d'une grille de lecture cohérente pour l'ensemble du Cénomanien en vue de la réactualisation des contours du Cénomanien pour la nouvelle édition de la feuille Marquise à 1/50 000. Quelques observations ponctuelles enrichissent également les descriptions antérieures dans la partie inférieure de la succession.

Lithostratigraphie des craies cénomaniennes du cap Blanc-Nez

Les falaises crayeuses du cap Blanc-Nez bordent le rivage du Pas-de-Calais sur environ 6 km entre le hameau de Strouanne et le village de Sangatte (fig. 1). Grâce à un faible pendage de 1° à 3° vers le nord-est, la totalité des craies cénomaniennes est accessible en falaise en une succession continue de 75,20 m d'épaisseur (fig. 2). Des affleurements limités sont également visibles sur l'estran à marée basse. Depuis 1990, un amaigrissement du cordon de galets bordant la côte et un départ du sable de plage se manifestent entre les caps Petit et Grand Blanc-Nez. Ce phénomène entraîne un abaissement du niveau de la plage de plus de 3 m par rapport à 1976, avec comme conséquences :

- l'érosion et la disparition de la plupart des éboulis qui masquaient jusqu'à présent la base de la falaise en de nombreux endroits ;
- la mise à nu d'un platier crayeux au pied de la falaise ;
- des conditions d'observation exceptionnelles.

La base de la coupe est prise sur l'estran du Petit Blanc-Nez, à une dizaine de mètres du pied de la falaise. La section s'étend ensuite sur 3,5 km jusqu'à l'ancien puits du tunnel sous la Manche à Sangatte où une falaise fossile quaternaire recoupe en oblique le rivage actuel. Une zone fracturée interrompt localement l'observation des bancs à une distance comprise entre 100 et 200 m au sud-ouest du Cran d'Escalles.

Les formations cénomaniennes du cap Blanc-Nez ont été divisées par Amédéo *et al.*, 1976 en ensembles lithologiques (affectés d'une lettre majuscule) formés de cycles sédimentaires ou groupes de cycles (indexés par des chiffres). D'une manière générale, chaque cycle débute par une marne bleutée passant progressivement vers le haut à de la craie marneuse gris pâle dont le sommet est fréquemment souligné par une surface perforée parfois riche en éponges (Destombes, Shephard-Thorn, 1971).

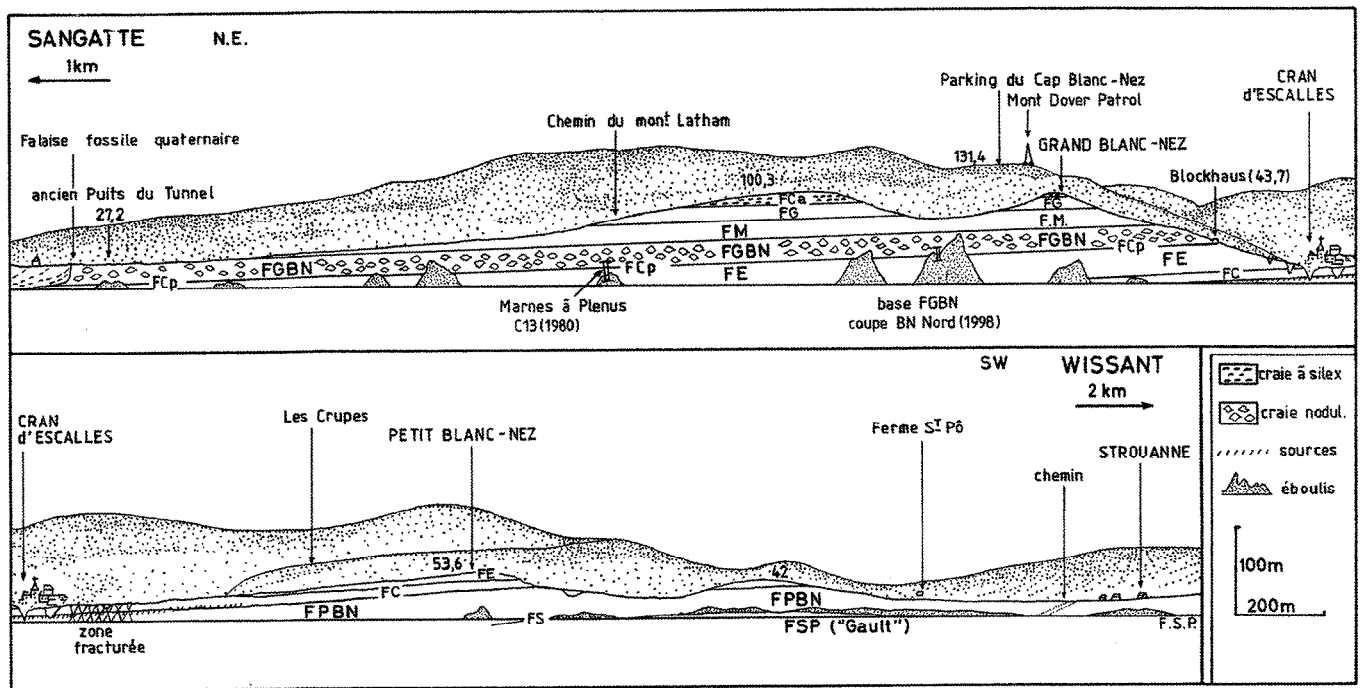


Fig. 2.- Coupe géologique des falaises du cap Blanc-Nez.

FSP : Formation de Saint-Pô (Gault) ; FS : Formation du Petit Blanc-Nez (alternances marno-crayeuses) ; FC : Formation du Cran (cycles à dominante crayeuse) ; FE : Formation d'Escalles (craie finement rythmée) ; FCp : Formation des Crupes (Marnes à Plenus) ; FGBN : Formation du Grand Blanc-Nez (craie noduleuse) ; FM : Formation des Mottelettes (craie marneuse, subnoduleuse) ; FG : Formation du Guet (craie blanche à silex rares) ; FCa : Formation de Caffiers (craie blanche à nombreux silex et hardgrounds). Les 75,20 m de craies cénomaniennes englobent l'intervalle allant de la base de la Formation de Strouanne aux 0,90 m inférieurs de la Formation du Grand Blanc-Nez.

Fig. 2.- Geological section of the Cap Blanc-Nez cliffs.

FSP : Saint-Pô Formation (Gault) ; FS : Petit Blanc-Nez Formation (chalk/marl alternations) ; FC : Cran Formation (predominantly chalk cycles) ; FE : Escalles Formation (finely bedded chalk) ; FCp : Crupes Formation (Plenus Marls) ; FGBN : Grand Blanc-Nez Formation (nodular chalk) ; FM : Mottelettes Formation (marly chalk, subnodular) ; FG : Guet Formation (white chalk with rare flint) ; FCa : Caffiers Formation (white chalk with common flint and hardgrounds). The 75.20 m of Cenomanian chalk extend from the base of the Strouanne Formation to the lower 0.90 m of the Grand Blanc-Nez Formation.

Les formations crayeuses du Céno-manien reposent au cap Blanc-Nez sur les argiles albiennes à faciès Gault de la Formation de Saint-Pô par l'intermédiaire d'un mince lit 1a d'argiles glauconieuses - également albiennes - remaniées (0 à 0,15 m d'épaisseur). Ce lit 1a correspond au démantèlement d'une formation représentée dans le reste du Boulonnais par plusieurs mètres de sédiments : la Formation de Lottinghen (dont l'équivalent anglais est constitué par les Beds XII et XIII du Gault de Folkestone). Au-dessus, la succession crayeuse est la suivante (fig. 3 et 4).

Formation de Strouanne

= ensemble D (Céno-manien inférieur pars) ; craie glauconieuse ou " Tourtia " (2 m)

Unités 1 et 2 - Epaisseur : 2,00 m. A la base, sur 0,25 m, glauconitite vert sombre, presque noire, très bioturbée et

riche en nodules phosphatés centimétriques noirs. La glauconitite pénètre par terriers jusqu'à 20 cm de profondeur dans le lit 1a et dans le toit des argiles albiennes à faciès Gault.

Le reste de la Formation est constitué par la superposition de trois cycles débutant chacun par un niveau marneux glauconieux gris verdâtre, à nombreuses traces de *Spongiomorpha* dans le cycle inférieur. Chaque cycle passe dans les 20 cm supérieurs à une craie mameuse gris clair, peu glauconieuse, dont la partie sommitale est riche en éponges ("*Plocoscyphia*") et taradée par des terriers de *Thalassinoides*. La partie inférieure de la Formation renferme de nombreux nodules centimétriques de phosphate noir ou brunâtre. Toutefois, des graviers et des granules millimétriques phosphatés épars existent jusqu'au sommet. De la même façon, la teneur en glauconie diminue progressivement vers le haut.

Suivant le terme régional utilisé dans le nord de la France pour désigner les niveaux de base glauconieux et conglomératiques du Crétacé, la Formation de Strouanne est équivalente au "Tourtia" des mineurs du Pas-de-Calais. Au point de vue paléontologique, la présence de l'ammonite *Neostlingoceras carcitanense* (Mathéron) est limitée aux nodules phosphatés situés au contact avec les argiles à faciès Gault (c'est-à-dire les 0,25 m inférieurs de la Formation de Strouanne). Bien qu'occasionnelle, cette espèce caractérise le premier horizon d'ammonites connu dans le Bassin anglo-parisien au sein de la Zone à *Mantelliceras mantelli* du Céno-manien inférieur (Gale, 1995). A l'inverse, une autre ammonite : *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe), est fréquente dans toute la Formation, sauf dans les 0,25 m inférieurs, sous la forme de moules internes en craie. Sa distribution verticale définit un second horizon repère dans la Zone à *M. mantelli*.

























	craie		Chondrites
	craie marneuse		Thalassinoides
	niveau marneux		struct. lamellaires
	argile		inocérames
	craie à filets arg.		huîtres
	craie noduleuse		serpules
	craie durcie		éponges
	hardground		Sciponoceras
	glaucanie		Orbirhynchia mantelliana
	phosphate		Grasirhynchia martini
	quartz		Monticlairella rectifrons
	pyrite		Entolium orbiculare

Fig. 3.- Figurés lithologiques.

Fig. 3.- Lithologic symbols.

A noter également la présence dans l'unité 2 de nombreux *Inoceramus crippii* (Mantell). La Formation de Strouanne constitue le **niveau repère n° 1**.

Formation du Petit Blanc-Nez

= ensembles E, F et G' (Cénomalien inférieur *pars* et extrême base du Cénomalien moyen) ; alternances marno-crayeuses (30 m)

La dominante marneuse ou crayeuse des cycles permet de distinguer trois ensembles lithologiques dans la Formation du Petit Blanc-Nez :

- un ensemble E, à teinte générale bleutée (unités 3 à 9) ;

- un ensemble F, plus clair (unité 10i à iv) ;

- un ensemble G', à teinte bleu prononcée (unités 11 à 16').

C'est dans les alternances imperméables de la Formation du Petit Blanc-Nez qu'est creusé le tunnel sous la Manche. Suivant la terminologie utilisée

par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), TML (Trans-Manche Link) et Eurotunnel lors des travaux de réalisation du tunnel, la Formation de Strouanne - ou Tourtia - et la Formation du Petit Blanc-Nez sont regroupées sous l'appellation " Craie bleue " (Duffaut, Margron éd., 1990).

Ensemble E (7,35 m)

Unités 3 et 4 - Epaisseur : 1,60 m. Succession de deux cycles de marne crayeuse gris bleuté passant vers le haut à une craie marneuse plus claire limitée au sommet par une surface perforée riche en éponges. Le banc crayeux de l'unité 4, assez épais, est très bioturbé, cohérent, presque durci et sa morphologie rappelle celle d'une ébauche de hardground. La surface supérieure du banc est couverte d'inocérames (*I. crippii*), d'ammonites (*Hypoturrilites*, *Schloenbachia*, *Mantelliceras* " enflés " : *M. mantelli* (Sowerby), *M. cantianum* (Spath) ; et d'éponges (" *Plocoscyphia* "). *Inoceramus crippii*, déjà cité dans l'unité 2 de l'ensemble D, abonde encore dans les unités 3 et 4. Ce niveau d'abondance d'*I. crippii* constitue

le **niveau-repère n° 2**. L'intervalle allant de l'unité 2 à l'unité 4, est également le niveau de récolte d'une huître caractéristique : *Rastellum carinatum* (Lamarck) [= *Alectryonia auct.*].

Unité 5 - Epaisseur : 0,70 m. Marne crayeuse franchement bleue, bioturbée dans sa totalité par des *Thalassinoides*. La base de l'unité contient une faible proportion de glaucanie fine et éparse et quelques grains de quartz. Ce niveau constitue un excellent repère visuel en falaise : c'est le **niveau repère n° 3**.

Unités 6 à 9 - Epaisseur : 5,05 m. Cycles à dominante marneuse gris bleuté, limités au sommet par des bancs crayeux décimétriques gris pâle riches en éponges (sauf dans le mètre supérieur de l'unité 9) et présentant un aspect noduleux par suite du développement de nombreuses bioturbations de type *Thalassinoides*). A noter la récolte fréquente à partir de l'unité 8 d'une petite rhynchonelle : *Monticlairella rectifrons* (Pictet) qui persiste jusqu'au sommet de l'unité 10 (toutefois des spécimens isolés existent déjà plus bas, au moins dès l'unité 3). Les ammonites abondent avec une forte proportion de *Mantelliceras* comprimés tels *M. saxbii* (Sharpe), l'inversion du rapport entre les formes épaisses et comprimées se situant à la base de l'unité 5.

Ensemble F (8,65 m)

Unité 10 (i) - Epaisseur : 0,40 m - La base est constituée par un niveau décimétrique gris foncé, friable, légèrement en retrait dans la falaise, de marne sableuse (20 % de quartz) finement piquetée de glaucanie et de cristaux inframillimétriques de pyrite. Cette marne contient également des graviers phosphatés noirs, souvent anguleux et épars ainsi que de petites huîtres. La base du cycle pénètre par terriers (*Thalassinoides*) le sommet de l'unité 9 sur une profondeur pouvant dépasser 20 cm. Sous l'effet de la bioturbation intense, la limite supérieure de l'unité 9 paraît constituée de " nodules " crayeux centimétriques blanc grisâtre enrobés dans la marne, ce qui la rend facilement repérable en falaise. C'est le **niveau repère n° 4**.

Le reste de l'unité est plus crayeux mais contient toujours de la glaucanie, de la pyrite pulvérulente et des grains de quartz, ce qui confère à la craie un

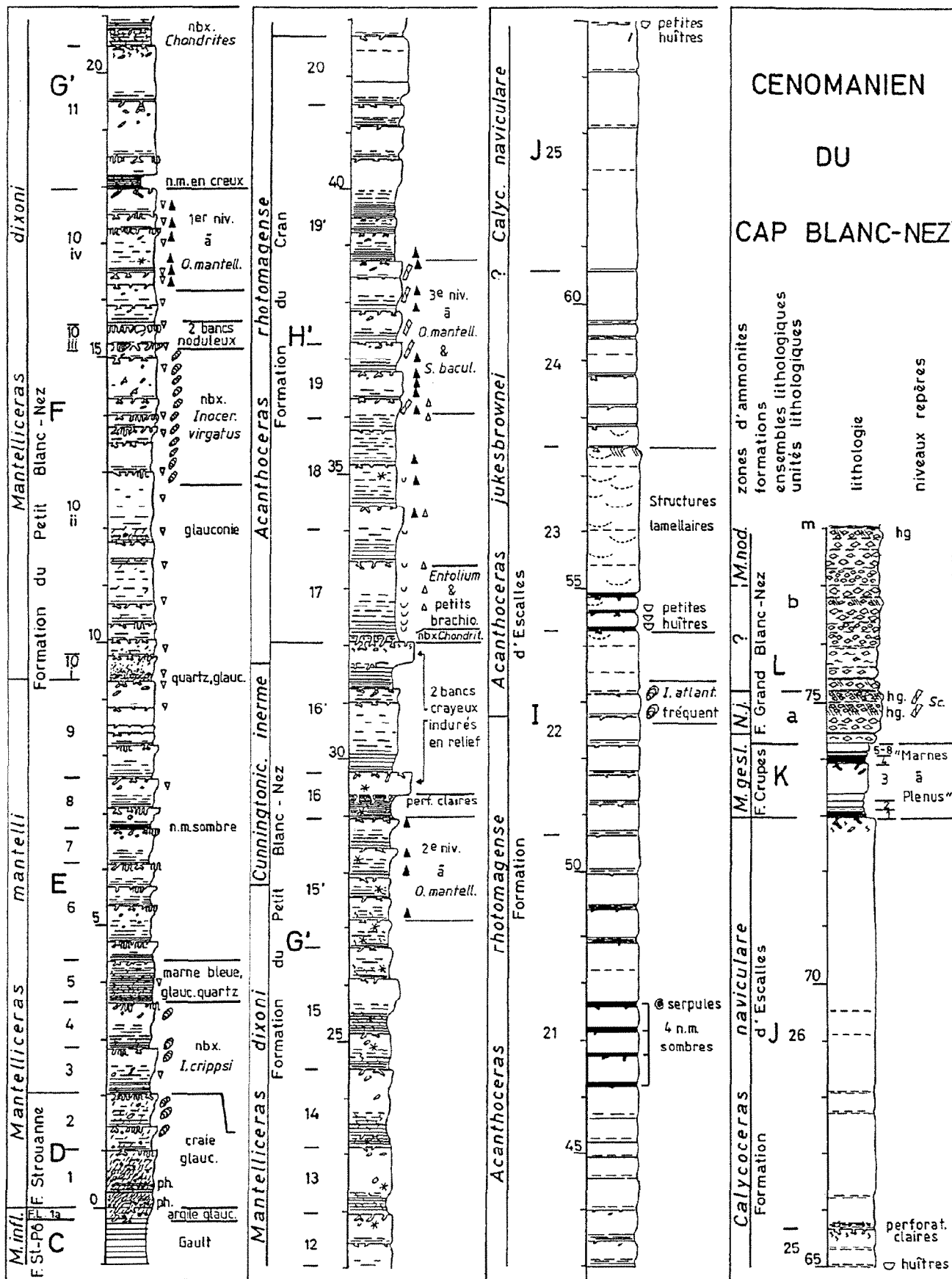


Fig. 4.- Lithostratigraphie des craies cénomaniennes du cap Blanc-Nez.

Fig. 4.- Lithostratigraphy of the Cap Blanc-Nez Cenomanian chalk.

toucher rêche. Quelques très minces lits de craie grossière, partiellement phosphatisée, existent de place en place. La limite supérieure de l'unité est soulignée par une surface perforée associée à quelques éponges.

Unité 10 (ii) - Epaisseur : 5,45 m. Cycles pluridécimétriques à dominante crayeuse, de teinte grisâtre, parfois mal individualisés, limités à la base par de minces lits plus marneux gris sombre et au sommet par des surfaces perforées livrant quelques éponges. La moitié inférieure de l'unité contient encore un peu de glauconie inframillimétrique et de quartz, avec une plus forte concentration dans un niveau marneux situé à 2 m de la base. Ce niveau renferme en outre quelques nodules centimétriques de phosphate beige et de nombreux débris millimétriques de coquilles de lamellibranches. *Inoceramus virgatus* Schlüter abonde dans les 2,30 m supérieurs de l'unité. C'est le **niveau repère n° 5**. Les ammonites sont toujours fréquentes, avec en particulier la coexistence de *Mantelliceras* à coquille comprimée : *M. saxbii*, et de *Mantelliceras* à section ovale et à côtes alternativement longues et courtes : *M. dixoni* Spath.

Unité 10 (iii) - Epaisseur : 0,45 m. Deux bancs crayeux décimétriques, gris clair, cohérents, en relief dans la falaise, remplis d'éponges et bioturbés, ce qui leur donne un aspect noduleux, séparés par 20 cm de marne gris sombre. Bien visible en falaise, c'est le **niveau repère n° 6**.

Unité 10 (iv) - Epaisseur : 2,35 m. Petits cycles à base marneuse plus développée et plus sombre que précédemment et où le sommet des bancs crayeux est le plus souvent souligné par des spongiaires. L'unité coïncide avec la première période d'abondance d'une rhynchonelle à grosses côtes : *Orbirhynchia mantelliana* (d'Orbigny). Au sommet de l'ensemble F disparaît *Monticlarella rectifrons*. Cette unité forme le **niveau repère n° 7**.

Ensemble G' (14,00 m)

Unités 11 à 15 - Epaisseur : 8,70 m. Cycles métriques débutant par de larges niveaux marneux fortement bioturbés par les traces-fossiles de diamètre millimé-

trique du type *Chondrites*, à teinte bleue prononcée. La partie supérieure des cycles est constituée par une craie marneuse gris clair. Le plus souvent, la surface perforée qui limite le sommet des cycles est dépourvue d'éponges. Des nodules de pyrite abondent à partir de l'unité 13.

A noter que la base de l'unité 11 apparaît en creux dans la falaise par un niveau de marne gris foncé, presque noir à l'état humide (un peu d'eau en suinte fréquemment). Elle constitue de ce fait un excellent repère visuel. C'est le **niveau repère n° 8**. Au-dessus, la concentration exceptionnelle en *Chondrites* de teinte gris sombre à la base de l'unité 12 est également à souligner.

Unité 15' - Epaisseur : 2,30 m. Suite de cycles de 0,30 m à 0,50 m d'épaisseur, de marnes crayeuses passant vers le haut à une craie marneuse. Les deux cycles supérieurs se terminent par un banc crayeux cohérent. De nombreux agrégats de pyrite parsèment l'unité. C'est ici le second niveau d'abondance du brachiopode *Orbirhynchia mantelliana*, ce qui donne le **niveau repère n° 9**. Dans la partie moyenne de l'unité apparaissent les premières ammonites caractéristiques du Cénomanien moyen avec *Cunningtoniceras inerme* (Pervinquière).

Unité 16 - Epaisseur : 0,80 m. Superposition d'un niveau marneux gris foncé riche en nodules de pyrite et d'un banc crayeux induré de 0,40 m d'épaisseur, blanc grisâtre, en relief dans la falaise. La base du banc crayeux s'insinue à la faveur de terriers de teinte claire (*Thalassinoides* et *Chondrites*) dans la partie supérieure du niveau marneux gris foncé (à l'inverse de ce que l'on observe habituellement où les sommets des bancs crayeux, blanc grisâtre, sont traversés de perforations remplies de marnes gris foncé sus-jacentes). Cette particularité détermine le **niveau repère n° 10**.

Unité 16' - Epaisseur : 2,20 m. Cycles marno-crayeux. Le dernier d'entre eux est terminé à sa partie sommitale par un banc crayeux induré de 0,40 m d'épaisseur, blanc-grisâtre, en relief dans la falaise. Localement, ce banc crayeux pénètre par terriers le niveau marneux sous-jacent, répétant de façon moins marquée ce que l'on observe dans l'unité 16. C'est dans ce banc crayeux qu'apparaît

l'espèce *Acanthoceras rhotomagense* (Brongniart), index de zone. Les deux bancs en relief du sommet des unités 16 et 16' forment le **niveau repère n° 11**.

L'unité 16' marque un niveau de sources de part et d'autre du Cran d'Escalles. A noter qu'à une centaine de mètres au nord-est du Cran, une faille de direction N 120° E avec un rejet de 2,20 m, met en continuité apparente la partie sommitale indurée des bancs calcaires de l'unité 16 d'un côté de la faille et de l'unité 16' de l'autre côté. C'est au sommet de l'unité 16', c'est-à-dire au sommet de la Formation du Petit Blanc-Nez, qu'est placée la limite entre la "Craie bleue" et la "Craie grise" dans toutes les études relatives au tunnel sous la Manche (Duffaut, Margron, éd., 1990).

Formation du Cran

= ensemble H' (Cénomanien moyen *pars*) : Cycles à dominante crayeuse, souvent cohérents, en relief dans la falaise (10,70 m)

Unités 17 et 18 - Epaisseur : 4,00 m. Cycles métriques, marno-crayeux, gris pâle. La base de l'unité 17 repose sur la partie supérieure durcie de l'unité 16' par l'intermédiaire d'un mince lit marneux (0,10 m), gris clair, riche en *Chondrites* et *Thalassinoides* remplis de marne gris sombre provenant du niveau marneux immédiatement sus-jacent. Le mètre inférieur de l'unité 17 est très fossilifère et constitue le **niveau repère n° 12**. Il renferme par centaines d'individus un petit lamellibranche : *Entolium orbiculare* (Sowerby), des brachiopodes : *Modesella geinitzi* (Schloenbach), *Kingena concinna* (Owen), *Grasirhynchia martini* (Mantell) et un coralliaire : *Micrabacia coronula* (Goldfuss). Cette association est présente en moindre abondance jusqu'au sommet de l'unité 18 avec encore quelques *Orbirhynchia mantelliana*.

Unités 19 et 19' - Epaisseur : 5,55 m. Suite de cycles débutant par de minces niveaux marneux passant presque sans transition à des bancs crayeux demi-métriques cohérents, en relief dans la falaise. Chaque cycle est limité à la partie supérieure par une surface perforée. Les trois derniers cycles de l'unité 19' surmontent un intervalle plus marneux épais de 1,30 m et forment un surplomb à

la base de la falaise du Grand Blanc-Nez au pied sud du grand éboulis. L'unité 19 et le 1,50 m inférieur de l'unité 19' contiennent le troisième horizon riche en *Orbirhynchia mantelliana* - le **niveau repère n° 13** - associé ici à une ammonite déroulée très abondante : *Sciponoceras baculoides* (Mantell) ainsi qu'à de nombreux *Turrilites costatus* Lamarck, *Cunningtoniceras inerme* (Pervinquier) et *Acanthoceras rhotomagense*.

Unité 20 - Epaisseur : 1,15 m. Un niveau décimétrique de marne gris pâle est surmonté par un épais banc de craie grisâtre incluant une surface perforée mal individualisée et, de ce fait, paraissant assez massif. Ce banc crayeux est localement en relief dans la falaise, en particulier au pied du Grand Blanc-Nez. Le sommet de l'unité 20 fixe la limite supérieure de la Formation du Cran.

Formation d'Escalles

= ensembles I et J (Cénomaniens moyen *pars* et Cénomaniens supérieur *pars*);
craie finement rythmée (30,30 m)

L'augmentation progressive de la teneur en CaCO₃ vers le haut se traduit par le développement d'un faciès de craie blanche d'où la reconnaissance de deux ensembles lithologiques au sein de la Formation d'Escalles :

- ensemble I, à teinte générale gris-bleu, avec une cyclicité bien marquée ;

- ensemble J, blanc grisâtre, plus massif.

Ensemble I (17,90 m)

Unités 21 et 22 - Epaisseur : 11,55 m. Succession de cycles pluridécimétriques finement rythmés montrant une alternance régulière de bancs crayeux blanc grisâtre épais de quelques décimètres séparés par de minces lits marneux bleuâtres. La partie moyenne de l'unité 21 est bien visible entre le Cran d'Escalles et le Grand Blanc-Nez où elle apparaît comme un faisceau de quatre niveaux marneux sombres surmontés d'un banc crayeux plus massif : c'est le **niveau repère n° 14**. Le niveau marneux supérieur contient de nombreuses ser-pules dont le tube est enroulé en une spire plane de 5 à 8 mm de diamètre. Quelques mètres plus haut, la partie supérieure de l'unité 22 correspond à un niveau d'abon-

dance d'*Inoceramus atlanticus* Heinz et forme le **niveau repère n° 15**.

Unité 23 - Epaisseur : 3,25 m. Craie calcarénitique assez grossière, blanc grisâtre à jaunâtre, lardée de filets argileux millimétriques gris verdâtre et contenant des masses aplaties et lenticulaires de craie rêche dans la falaise (" laminated structures " de Kennedy, 1967). La base de l'unité 23 est soulignée par un groupe de trois niveaux marneux sombres, très apparents, tandis que le reste de l'unité est plus massif. Par ses particularités lithologiques, l'unité 23 constitue un excellent repère visuel en falaise (**niveau repère n° 16**) depuis les abords nord du Cran d'Escalles jusqu'à l'aplomb du monument Latham. Dans les affleurements situés sur l'estran vers l'ancien puits du tunnel sous la Manche à Sangatte, le sommet de l'unité 23 est durci en un hardground, avec des nodules phosphatés centimétriques brunâtres plus ou moins enduits de glauconie, ce qui n'apparaît pas en falaise vers le Grand Blanc-Nez où existe une simple surface perforée. Au point de vue paléontologique, l'intervalle délimité par les trois niveaux marneux inférieurs, c'est-à-dire les 0,60 m inférieurs de l'unité 23, coïncide avec un niveau d'abondance d'une petite huître appartenant au genre *Pycnodonte*. L'ammonite *Acanthoceras jukes-brownei* (Spath), représentée par des exemplaires de grande taille, est particulièrement fréquente dans l'unité 23.

Unité 24 - Epaisseur : 3,10 m. Cycles pluridécimétriques finement rythmés et bien soulignés, ayant les mêmes caractères que ceux des unités 21 et 22.

Ensemble J (12,40 m)

Unités 25 et 26 - Epaisseur : 12,40 m. Craie blanc grisâtre d'aspect massif dans laquelle les cycles sont mal individualisés. Quelques niveaux marneux gris pâle sont un peu plus apparents dans la partie supérieure de l'unité 25 qui inclut également à 0,80 m du sommet un horizon à *Amphidonte* (huître) fréquent qui constitue le **niveau repère n° 17**. La limite entre les unités 25 et 26 est soulignée par un niveau marneux riche en perforations (*Thalassinoides* et surtout *Chondrites*) de teinte claire.

La limite supérieure de l'unité 26, au contact avec la base des marnes à

Actinocamax plenus, est une surface durcie, perforée sur 30 à 50 cm de profondeur. Sur l'estran, à quelques centaines de mètres au nord-est de la falaise fossile quaternaire de Sangatte, cette surface devient un véritable hardground truffé de nodules phosphatés centimétriques brunâtres, à patine verdie de glauconie.

La macrofaune est relativement rare dans le faciès craie blanche de l'ensemble J. Quelques ammonites existent de façon occasionnelle dans les 2 m supérieurs de l'unité 26 : *Calycoceras* (*Calycoceras*) *naviculare* (Mantell) et *C. (Proeucalyco-ceras) guerangeri* (Spath).

Formation des Crupes

= Ensemble K (Cénomaniens supérieur *pars*) : Niveau à *Actinocamax plenus*
(2,16 m au Grand Blanc-Nez, se réduisant progressivement à 1,15 m vers la falaise fossile quaternaire de Sangatte)

On retrouve au cap Blanc-Nez la succession lithologique des 8 " beds " définis par Jefferies (1963) à Merstham dans le sud-est de l'Angleterre, soit du bas vers le haut (les épaisseurs indiquées sont prises le long d'un éboulis à 800 m au nord-est du Grand Blanc-Nez où la formation mesure 1,30 m : coupe c13 in Robaszynski et Amédéo coord., 1980) :

Bed 1 : 14 cm, débutant à la base par un large lit marneux gris et passant progressivement vers le haut à une marne crayeuse gris-blanc. Vers le Grand Blanc-Nez, le bed 1 s'épaissit sensiblement pour atteindre 50 cm ;

Bed 2 : un banc crayeux de 12 cm encadré par deux niveaux marneux de 2 cm chacun ;

Bed 3 : 60 cm de craie grisâtre massive incluant à 8 cm de la base un lit centimétrique marneux plus ou moins apparent suivant les endroits. Les ammonites sont fréquentes dans ce banc : *Calycoceras* (*C.*) *naviculare*, *Metioceras geslinianum* (d'Orbigny), *Sciponoceras gracile* (Shumard.). Le sommet du Bed 3 est limité par une surface perforée caractérisée par un entremêlement très dense de *Thalassinoides*. Ceci est bien visible sur l'estran entre la falaise fossile quaternaire et Sangatte où la surface du

banc est localement durcie en une ébauche de hardground. A noter que la particularité lithologique de cet affleurement a été mise en évidence dès 1925 par Dubois avec la description d'une " Craie verte qui pénètre en arborisations dans la craie blanche sous-jacente et qui renferme *Actinocamax plenus* ".

Bed 4 : 13 cm de marne gris verdâtre, à nombreuses traces millimétriques de *Chondrites*. La partie médiane du Bed 4 est plus carbonatée et plus claire. Ceci est particulièrement bien exprimé au pied du Grand Blanc-Nez où un niveau crayeux pluricentimétrique tend à s'individualiser au sein du Bed 4 et se réduit latéralement vers Sangatte. Le Bed 4 passe ainsi de 23 cm au Grand Blanc-Nez à 13 cm au droit du monument Latham et à 5 cm vers la falaise quaternaire de Sangatte. Plusieurs dizaines de rostrés de la bélemnite *Actinocamax plenus* ont été récoltés dans le Bed 4, dans le Bed 6, et occasionnellement dans le Bed 5.

Bed 5 : 7 cm de craie grisâtre avec *M. geshlinianum* ;

Bed 6 : 3 cm de marne gris verdâtre ;

Bed 7 : 14 cm de craie grise à filets marneux avec *Euomphaloceras septemseriatum* (Cragin) ;

Bed 8 : 3 cm de marne gris verdâtre.

Le Niveau à *Actinocamax plenus*, constitué de lits marneux et crayeux, est très sensible à l'action des agents atmosphériques. En se délitant, il apparaît en creux tout au long de la falaise entre le Cran d'Escalles et la falaise fossile quaternaire de Sangatte dont il constitue le soubassement. Il affleure également sur l'estran lorsque les bancs de sable ne le recouvrent pas. C'est le **niveau repère n° 18**.

Formation du Grand Blanc-Nez pars

= base de l'ensemble L (Cénomaniens supérieur *pars* et Turonien inférieur *pars*) :
craie noduleuse (décrite sur 3,70 m)

Les aspects différents de la craie noduleuse conduisent à distinguer deux sous-ensembles lithologiques dans la partie inférieure de la Formation du Grand Blanc-Nez :

- un sous-ensemble L-a : bancs pluridécimétriques bien distincts et hardgrounds en relief dans la falaise ;

- un sous-ensemble L-b : masse plus homogène de craie très noduleuse.

Sous-ensemble L-a (0,90 m) - Craie noduleuse en bancs séparés par des lits marneux centimétriques. Les " nodules ", ovoïdes, de 1 à plusieurs centimètres de diamètre, sont formés d'une craie dure, compacte, jaunâtre, et sont enrobés de marne crayeuse jaune-verdâtre ou séparés par des filets argileux verdâtres, onduleux. A 0,75 m et à 0,90 m au-dessus de la base du sous-ensemble L-a se trouvent deux hardgrounds superposés, en relief dans la falaise, formés de nodules centimétriques et remplis de petites ammonites : *Sciponoceras bohemicum anterius* Wright, Kennedy, accompagnés d'inocérames : *Inoceramus pictus* Sowerby. Ces hardgrounds forment le **niveau-repère n° 19**.

Les limites supérieures des deux hardgrounds et du banc décimétrique de craie noduleuse qui les surmonte sont soulignées par de minces lits argileux gris verdâtre. Sous l'effet de l'altération atmosphérique, ces lits apparaissent fréquemment en creux dans la falaise, ce qui en fait d'excellents repères visuels, en particulier le troisième d'entre eux. C'est au sommet des hardgrounds à *Sciponoceras* qu'est prise la limite entre les sous-ensembles L-a et L-b. A noter que le sommet du sous-ensemble L-a avait été placé 0,60 m plus haut par Robaszynski et Amédéo coord. (1980). Les conditions d'affleurement, excellentes aujourd'hui par rapport à 1980, justifient ce léger décalage vers le bas.

Sous-ensemble L-b (décrit sur 2,80 m). Masse cohérente et plus homogène de craie très noduleuse montrant cependant une certaine rythmicité dans le détail. La première ammonite du Turonien inférieur trouvée en place est un *Mammites nodosoides* provenant d'un banc de craie plus noduleuse situé à 1,90 m au-dessus de la base du sous-ensemble L-b (c'est-à-dire 2,80 m au-dessus des marnes à *A. plenus*). Toutefois, c'est la disparition de *S. bohemicum anterius*, à 0,90 m au-dessus de la base du sous-ensemble L-a qui est le critère retenu ici pour situer la base de l'étage Turonien dans la succession crayeuse du cap Blanc-Nez. Cet événement coïncide

en effet dans le sud-ouest de l'Angleterre (Gale, 1996), avec l'apparition de *Watinoceras devonense* ammonite choisie lors du second symposium sur les limites des étages du Crétacé tenu à Bruxelles en septembre 1995 pour définir la base du Turonien (Bengtson, 1996).

La figure 5 montre le détail de la succession lithologique du Niveau à *Actinocamax plenus* et de la base de la craie noduleuse tels que l'on peut les observer dans deux coupes. La partie inférieure correspond à la coupe c13 levée au droit du monument Latham (*in* Robaszynski et Amédéo coord., 1980), la partie supérieure a été levée en falaise à 200 m au nord du Grand Blanc-Nez. La même succession est visible près de la falaise fossile quaternaire de Sangatte, avec cependant une légère réduction d'épaisseur des marnes à *A. plenus* (1,15 m contre 1,30 m au droit du monument Latham et jusqu'à 2,16 m au pied du Grand Blanc-Nez). A noter que la base de la falaise quaternaire repose sur les hardgrounds à *Sciponoceras* du sous-ensemble L-a, tandis que la surface de la plage fossile coïncide en grande partie avec les beds 1 et 2, argileux, des marnes à *A. plenus*.

Au terme de cette description des formations cénomaniennes du Cap Blanc-Nez, il faut préciser que les levés effectués par Amédéo (1993,1994) ont montré que trois intervalles totalisant 8,75 m avaient été omis de la suite lithologique publiée par Amédéo *et al.* (1976), à la base du Cénomaniens moyen (les unités 15', 16' et 19'). En tenant compte de l'actualisation des métrages, il en résulte les épaisseurs suivantes pour les différentes formations et ensembles lithologiques :

Formation de Strouanne = ensemble D : 2,00 m ;

Formation du Petit Blanc-Nez : 30 m avec

- ensemble E : 7,35 m ;
- ensemble F : 8,65 m ;
- ensemble G' : 14,00 m ;

Formation du Cran = ensemble H' : 10,70 m ;

Formation d'Escalles : 30,30 m avec

- ensemble I : 17,90 m ;
- ensemble J : 12,40 m ;

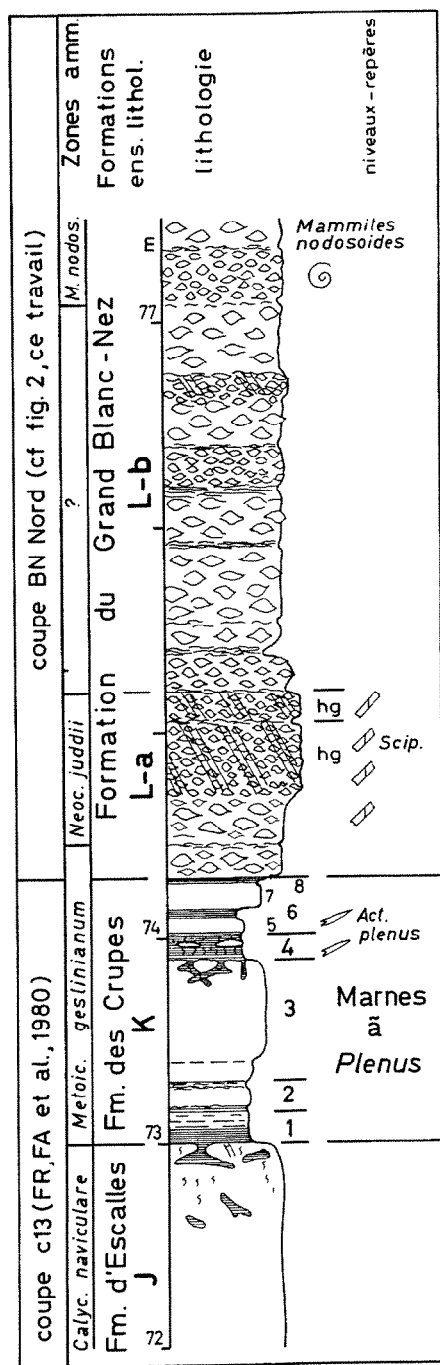


Fig. 5.- Lithostratigraphie des marnes à *A. plenus* et de la base de la craie noduleuse aux confins de la limite Cénomanien-Turonien au cap Blanc-Nez (coupe composite ; partie inférieure = coupe c13 in FR., F.A. et al., 1980 ; partie supérieure = coupe BN Nord, levée en falaise à 200 m au nord du Grand Blanc-Nez).

Fig. 5.- Lithostratigraphy of the Plenus Marls and base of the nodular chalk at the Cenomanian-Turonian boundary at Cap Blanc-Nez (composite section; lower part = section c13 in FR., F.A. et al., 1980; upper part = BN North section, surveyed in the cliff 200 m north of Grand Blanc-Nez).

Formation des Crupes = ensemble K : 1,30 m ;

Formation du Grand Blanc-Nez (pars) = ensemble L (pars) ;

- sous-ensemble L-a : 0,90 m
- sous-ensemble L-b pars.

Au total, on obtient pour la succession des formations cénomaniennes du cap Blanc-Nez une puissance de 75,20 m contre 68,50 m publiée auparavant (Amédéo et al., 1976 ; Robaszynski et Amédéo coord., 1980). Cette puissance doit cependant être considérée comme une moyenne applicable surtout entre les caps Petit et Grand Blanc-Nez. Les sondages du tunnel sous la Manche ont, en effet, révélé un amincissement des couches vers Sangatte avec une réduction d'épaisseur de la Formation du Petit Blanc-Nez ("Craie bleue"), d'environ 10 à 15 % (Amédéo, 1994). Cette observation et la présence de plusieurs hardgrounds développés uniquement sur l'estran vers l'ancien puits du tunnel sous la Manche à Sangatte traduisent l'influence d'une structure tectonique locale située à peu de distance de la côte devant Sangatte : la structure des Quénocs (Destombes, et Destombes, 1963). Cette structure, orientée N 100° E, peut être interprétée comme un anticlinal faillé ou un petit horst actif de l'Albien terminal aux confins de la limite Cénomanien Turonien, mais dont l'influence s'atténue avec le temps. Les conséquences sur le plan de la sédimentation ont été détaillées par Amédéo (1993,1994) et peuvent se résumer de la façon suivante :

- une lacune de la Formation de Lottinghen datée de l'Albien terminal ;
- une lacune de la partie la plus inférieure du Cénomanien située sous le banc à *Inoceramus crippei* ;
- un diachronisme du Tourtia ;
- une réduction sensible d'épaisseur des craies cénomaniennes, et en particulier de la " Craie bleue " du Cénomanien inférieur (la réduction atteint 40 % dans l'axe de la structure).

A ces faits, il convient d'ajouter maintenant la genèse de hardgrounds locaux dans le Cénomanien moyen et supérieur, au sommet de l'unité 23 à structures lamellaires, au sommet de

l'unité 26 sous les marnes à *A. plenus*, et au sommet du Bed 3 des marnes à *A. plenus*.

Remarque. L'étude biostratigraphique des foraminifères dans les coupes de la côte du cap Blanc-Nez a été menée sur tout ou partie du Cénomanien et plus spécialement par Marie (1960), Andreieff (1964), Robaszynski (in Amédéo et al., 1978), Jouchoux (1994) et Robaszynski (sous presse).

Elle a permis de situer un certain nombre de bioévénements valables à l'échelle régionale tant pour les formes benthiques que planctoniques (comme par exemple l'apparition et la distribution verticale de *Rotalipora appenninica*, *R. reicheli*, *R. cushmani* et *R. greenhornensis*). Ces bioévénements peuvent être comparés à ceux mis en évidence de l'autre côté du Pas-de-Calais (Carter, Hart, 1979).

Comparaisons avec le Kent et l'Aube

De l'autre côté du Pas-de-Calais, les craies cénomaniennes affleurent dans les falaises à l'est de Folkestone, vers Douvres. La suite lithologique de Folkestone a fait l'objet de levés d'une précision équivalente à celle des coupes présentées ici (Gale, 1989, 1990, 1995 ; Jenkyns et al. 1994). La corrélation de l'ensemble des craies cénomaniennes de Folkestone et du Cap Blanc-Nez est présentée dans la figure 6. Celle-ci montre que les successions visibles dans les deux coupes sont très comparables. En particulier les 19 niveaux repères définis au Blanc-Nez se retrouvent à Folkestone et sont caractérisés soit par un signal lithologique (présence de glauconie ou de quartz, niveaux marneux sombres, bancs crayeux cohérents, hardgrounds) soit par un signal bio-écologique (abondance d'inocérames, *Orbirhynchia*, *Entolium*, *Pycnodonte*, serpules, *Sciponoceras* ...). Cette démonstration a déjà été réalisée dans la partie inférieure du Cénomanien à l'occasion des travaux préparatoires au chantier du tunnel sous la Manche (Amédéo, 1993).

Les seules différences entre les coupes de Folkestone et du Cap Blanc-Nez concernent la craie glauconieuse de

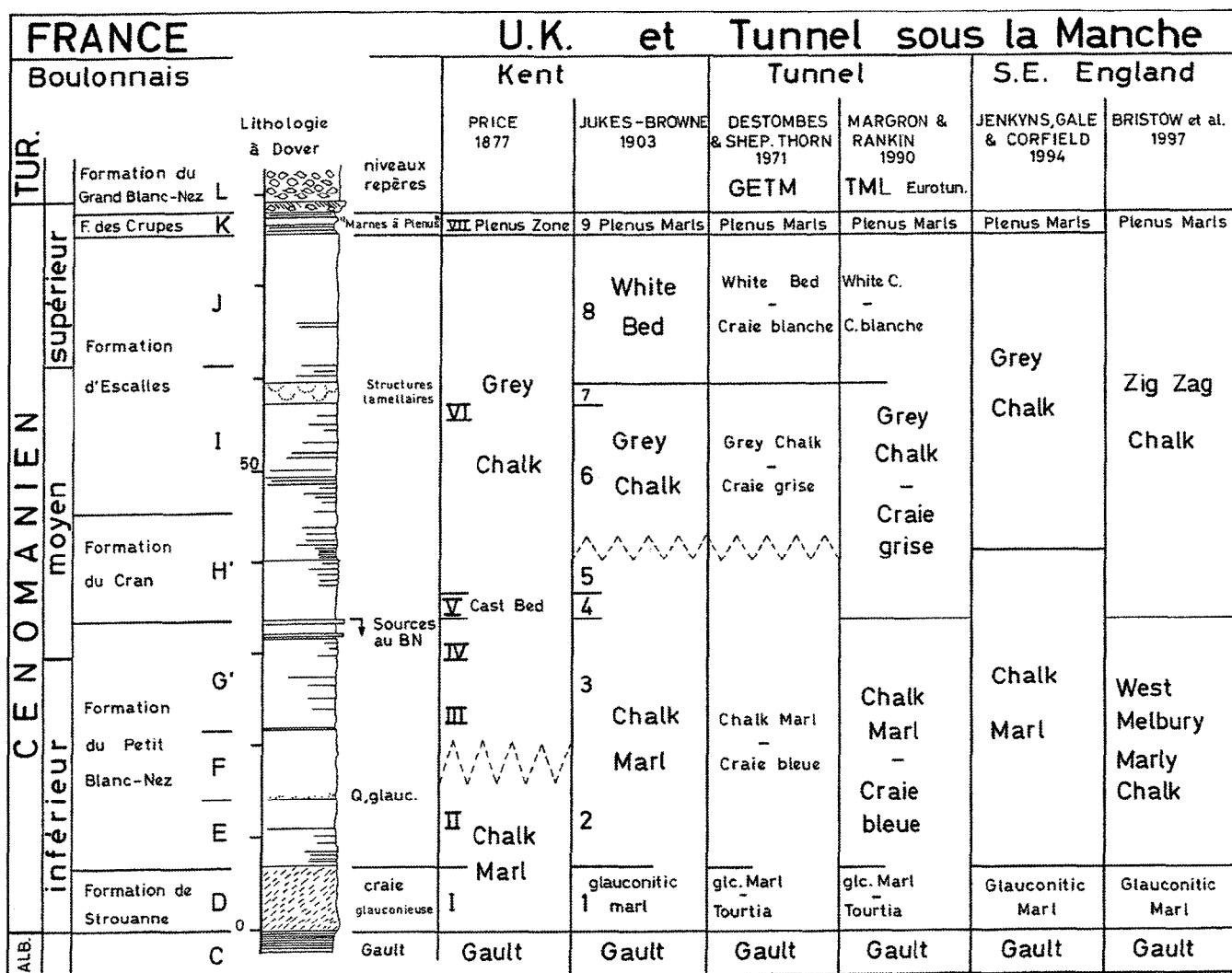


Fig. 7.- Comparaison des principales divisions reconnues dans les craies du Boulonnais et du Kent

Fig. 7.- Comparison of the main subdivisions established for the Boulonnais and Kent chalks.

la Formation de Strouanne, c'est-à-dire le "Tourtia". Les épaisseurs varient tout d'abord considérablement : 7 m à Folkestone contre 2 m au cap Blanc-Nez. Mais c'est surtout le caractère diachrone de cette formation transgressive qui est à souligner, la démonstration étant apportée d'une part par la position géométrique de l'horizon riche en *Inoceramus crippei* (au Blanc-Nez en partie dans le Tourtia ; à Folkestone 2 m au dessus du Glauconitic Marl) et d'autre part par la distribution verticale de l'ammonite *Neostlingoceras carcitanense* recueillie à Folkestone dans le Glauconitic Marl jusqu'au repère M2, connue au Blanc-Nez uniquement à l'état de nodules phosphatés remaniés à la base du Tourtia (Amédéo, 1994)

La continuité des niveaux repères à travers le Pas-de-Calais a servi à situer avec une grande précision la position des tunneliers au sein de la "Craie bleue" lors du creusement des galeries (Amédéo, 1994). Ces niveaux témoignent d'événements biologiques et écologiques qui ont affecté de vastes surfaces dans la mer de la craie et la plupart d'entre eux se retrouvent jusqu'à 350 km plus au sud, aux environs de Troyes dans le département de l'Aube (Amédéo et al., 1994, 1997). Il n'existe aucune coupe continue dans les craies cénomaniennes de l'est du Bassin de Paris, faute d'affleurements. Cependant, de petites carrières dévoilent des parties de la succession surtout dans la moitié supérieure de l'étage. La figure 8 illustre la corrélation de trois intervalles dans lesquels six niveaux repères sont

communs à l'Aube et au Boulonnais. En définitive, ces niveaux sont très précieux à l'échelle régionale ou supra-régionale dans la mesure où ils constituent des lignes-temps très fines en regard des zones macro- ou micropaléontologiques beaucoup plus larges. La précision de la corrélation peut d'ailleurs être encore affinée et atteindre la rythmicité élémentaire marne-craie réduite parfois à quelques centimètres comme le montre l'exemple de la figure 8 dans le troisième niveau à *Orbirhynchia mantelliana*. Les six cycles marno-crayeux se retrouvent de façon identique dans l'Aube et le Boulonnais. Ceci montre l'intérêt de levés lithologiques détaillés à partir desquels peuvent être fondées des études biostratigraphiques (Andréieff, Monciardini, 1990 ; Bignot, 1991).

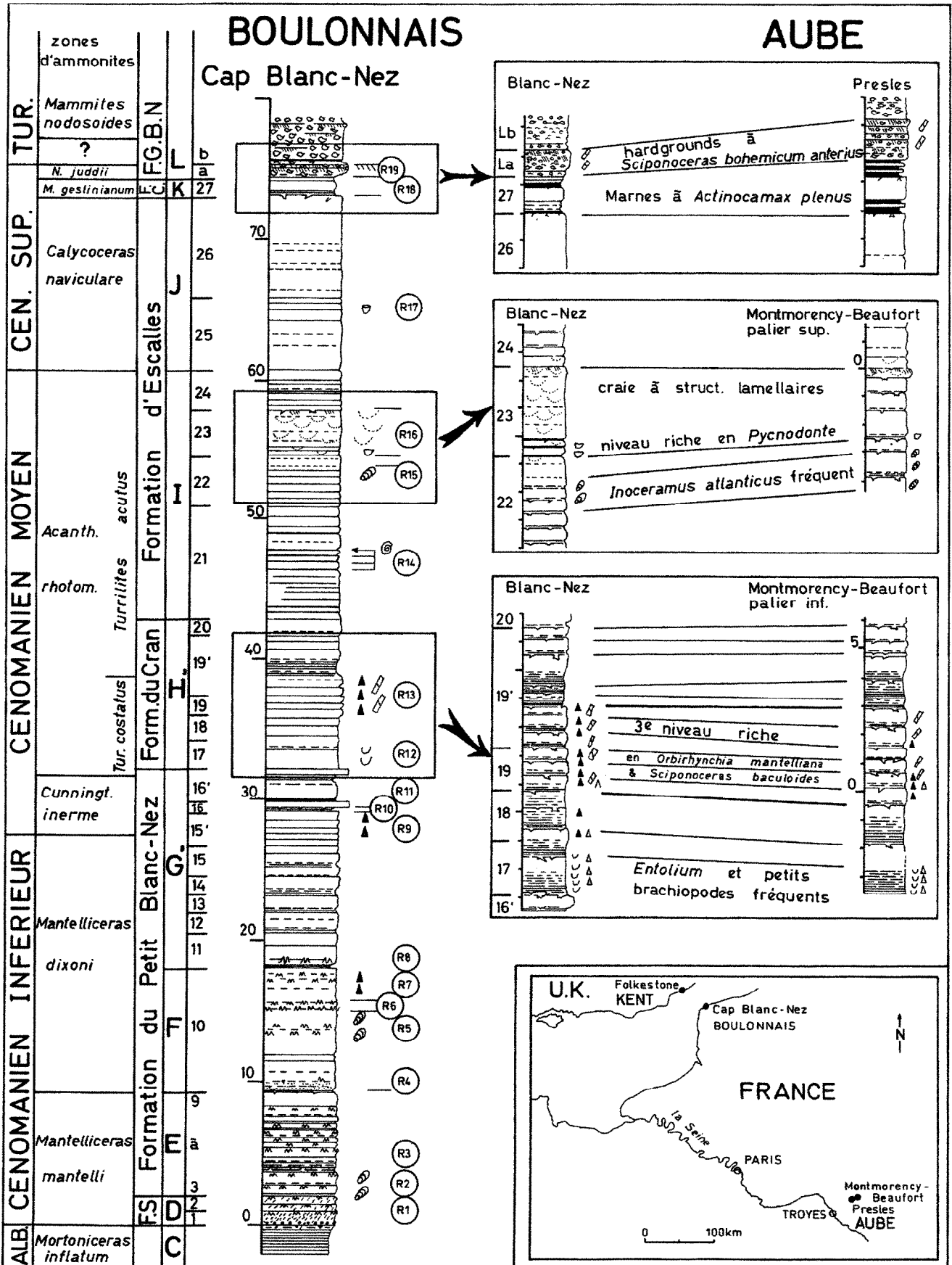


Fig. 8.- Correspondances litho-biostratigraphiques de coupes partielles dans le Cénomaniens de l'Aube avec la coupe de référence du Boulonnais.

Fig. 8.- Litho-biostratigraphic correlation between partial sections of the Aube Cenomanian and the Boulonnais reference section.

Remarque sur les appellations des craies cénomaniennes dans le Boulonnais, le détroit du Pas-de-Calais et le Kent

La comparaison des successions lithologiques du cap Blanc-Nez et de Folkestone démontre clairement la continuité de toutes les unités lithologiques de la France à la Grande-Bretagne.

Côté français, différentes formations ont été créées par Robaszynski et Amédéo coord., (1980) en respectant les règles de la nomenclature stratigraphique internationale actuelle (Hedberg, 1976).

Côté britannique, une division en deux du Lower Chalk a d'abord été proposée par Price (1877) en utilisant des termes créés antérieurement, soit :

- à la base : the Chalk Marl (Mantell, 1818) : "Soft marly chalk" défini dans le Sussex ;

- au-dessus : the Grey Chalk (Phillips, 1821) : nom appliqué à la craie grise, argileuse, près de Douvres.

Quelques années plus tard, Jukes-Browne et Hill (1903) ont individualisé une unité lithologique supplémentaire au sommet du Lower Chalk, the White bed : craie blanc grisâtre, massive, comprise entre leur bed 7 et les Plenus Marls. La figure 7 illustre l'ensemble des divisions lithologiques reconnues de part et d'autre de la Manche et dans le détroit. Tous les travaux relatifs au tunnel sous la Manche ont consacré la division du Lower Chalk en Chalk Marl ("Craie bleue") et Grey Chalk ("Craie grise"), cette dernière incluant ou non le White Bed ("Craie blanche"). Ces divisions ont été adoptées aussi bien lors du projet G.E.T.M. de 1957-1974 (Destombes, Shephard-Thorn, 1971) que dans la réalisation de l'ouvrage d'Eurotunnel entre 1988 et 1991 (Duffaut, Margron, éd., 1990). Même si cette nomenclature n'est pas strictement conforme au code stratigraphique international, son usage est commode au niveau régional. Les termes de Chalk Marl et de Grey Chalk ayant cependant été proposés sans définition de limites lithologiques - comme souvent au XIX^e siècle - l'interprétation de la limite entre la "Craie bleue" et la "Craie

grise" est restée longtemps variable suivant les auteurs (voir la discussion in Smart *et al.*, 1966). Ainsi, Price (1877) la place nettement sous son "Cast Bed" (12^e niveau repère du cap Blanc-Nez à *Entolium orbiculare*), tandis que Jukes-Browne et Hill (1903) la situent au dessus, entre leurs "Beds" 5 et 6. Par convention depuis 1987, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Transmanche Link (TML) et Eurotunnel ont décidé de définir la limite supérieure de la "Craie bleue" au sommet de la Formation du Petit Blanc-Nez de Robaszynski et Amédéo, coord. (1980) (in Duffaut, Margron éd., 1990). C'est là que, de part et d'autre du cran d'Escalles, se trouve un niveau de sources qui constitue une limite géotechnique intéressante du point de vue de la perméabilité. La limite ainsi posée est encadrée par les niveaux-repères n° 11 et n° 12 (fig. 6) et peut être aisément identifiée dans tous les affleurements et sondages avec une précision de l'ordre de 1 à 5 centimètres.

Dans un travail récent concernant les craies cénomaniennes du sud-est de l'Angleterre, Jenkyns *et al.* (1994) interprètent cependant de façon différente la limite entre le Chalk Marl et le Grey Chalk et la placent 8 m plus haut, au niveau où la craie devient finement rythmée (c'est-à-dire dans le tiers supérieur de l'unité 19' du Blanc-Nez). A notre avis, la position de la limite entre la "Craie bleue" et la "Craie grise" est purement conventionnelle. Dans la mesure où une définition claire de cette limite a été publiée par Margron et Rankin (1990), il n'est pas souhaitable d'introduire un nouveau découpage qui risque de provoquer des confusions dans l'avenir. En revanche, le fait de séparer le Glauconitic Marl du Chalk Marl et le White Bed du Grey Chalk n'est qu'une question d'accolades et ne présente que peu d'importance.

Pour terminer, Bristow *et al.* (1997) viennent de proposer un nouveau découpage lithostratigraphique des craies du sud de l'Angleterre utilisable pour la cartographie. Ils reconnaissent trois membres au sein de la Lower Chalk Formation, soit du bas vers le haut : the Glauconitic Marl, the West Melbury Marly Chalk and the Zig Zag Chalk incluant au sommet les Plenus Marls. La limite inférieure de la West Melbury Marly Chalk est prise au sommet de la

Glauconitic Marl, tandis que la limite supérieure coïncide avec la base du Cast bed de Price (1877). Ainsi définie, cette unité lithostratigraphique équivaut très exactement à la Formation du Petit Blanc-Nez créée 17 ans auparavant par Robaszynski et Amédéo coord. (1980) dans les falaises du cap Blanc-Nez en France ! ... La similitude des successions lithologiques dans les craies cénomaniennes situées de part et d'autre du Pas-de-Calais a été argumentée dès 1986 par Robaszynski et Amédéo, et clairement démontrée pour le Cénomaniens inférieur et la base du Cénomaniens moyen par Amédéo (1993, 1994) et Gale (1995). Elle devrait engager les géologues d'outre-Manche à adopter une terminologie qui, si l'on accepte la règle de priorité, a droit de cité de part et d'autre du Channel. Si l'on veut respecter les termes du code stratigraphique international, et en particulier la règle d'antériorité, la nomenclature de 1997 (Bristow *et al.*) devrait être abandonnée au profit de celle publiée en 1980 (Robaszynski et Amédéo coord.). En conséquence, les unités lithologiques définies dans le nord de la France devraient également s'appliquer à toutes les craies du sud de l'Angleterre.

Conclusion

Des levés détaillés entrepris depuis 1990 dans les craies cénomaniennes du cap Blanc-Nez aboutissent aujourd'hui à la construction d'une suite lithostratigraphique de référence dont la précision atteint la rythmicité élémentaire marne-craie, soit 1 à 5 cm dans certains cas. Par ailleurs, 19 niveaux caractérisés par une particularité lithologique et/ou biologique forment d'excellents repères dans la succession crayeuse. Ces événements constituent des lignes-temps précieuses pour fonder des corrélations à courte distance (35 km avec le Kent par exemple) ou à plus longue distance (350 km, avec l'Aube).

Au point de vue de la méthodologie, à partir du moment où une coupe lithologique de référence détaillée est établie et que sa biostratigraphie est parfaitement contrôlée, la position de coupes lithologiques partielles par rapport à la coupe de référence peut s'effectuer avec une précision souvent voisine du décimètre. Les temps de mise en œuvre sont compatibles avec les avancements rapides de certains travaux de génie civil.

Références

- Amédéo F. (1986) - Biostratigraphie des craies cénonmaniennes du Boulonnais par les ammonites. *Ann. Soc. géol. Nord*, **105**, 159-167.
- Amédéo F. (1993). - La lithostratigraphie et les biofaciès : des outils de corrélation dans les craies cénonmaniennes du détroit du Pas de Calais. *Ann. Soc. géol. Nord*, **2**, (2), 73-80.
- Amédéo F. (1994). - Corrélations dans les craies cénonmaniennes traversées par le Tunnel sous la Manche (côté France). *Bull. Soc. géol. Normandie et Amis Museum du Havre*, **81**, 11-44.
- Amédéo F., Bidar A., Damotte R., Manivit H., Robaszynski F., Sornay J. (1978a) - Echelles biostratigraphiques dans le Turonien du Cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais, F.). *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, **15**, 3-20.
- Amédéo F., Colleté C., Fricot C., Robaszynski F. (1994) - Extension inter-régionale de niveaux-repères dans les craies cénonmaniennes du Bassin anglo-parisien (Boulonnais, Aube, Kent). *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, **31**, 3-8.
- Amédéo F., Damotte R., Manivit H., Robaszynski F., Sornay J. (1978 b) - Echelles biostratigraphiques dans le Cénomanien du Boulonnais (Macro-, micro-, nanofossiles). *Géol. Médit.*, **5**, 5-18.
- Amédéo F., Dejonghe L., Dupuis Ch., Robaszynski F. (1976) - Les falaises crayeuses du Boulonnais : lithostratigraphie et repères biostratigraphiques de l'Aptien au Sénonien. *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, **3**, 91-94.
- Amédéo F., Robaszynski F., Colleté C., Fricot C. (1997) - Les craies du Cénomanien-Turonien de l'Aube et du Boulonnais : des événements litho- et biosédimentaires communs. *Ann. Soc. géol. Nord*, **5**, (2e), 189-197.
- Andréieff P. (1964) - Existence d'un niveau à *Rotalipora reicheli* dans la craie cénonmanienne du Cap Blanc-Nez. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 140-142.
- Andréieff P., Monciardini C. (1990) - La méthode biostratigraphique et la micropaléontologie : application au repérage du toit de la «Craie bleue» du Pas-de-Calais. In: Duffaut P. & Margron P. *édit.* Le Tunnel sous la Manche - Géologie et Géotechnique. *Presses Ecole nat. Ponts & Chaussées*, Paris, 111-116.
- Barrois Ch. (1875) - La zone à *Belemnites plenus*. Etude sur le Cénomanien et le Turonien du Bassin de Paris. *Ann. Soc. géol. Nord.*, **2**, 146-193.
- Barrois Ch. (1878) - Mémoire sur le terrain crétacé des Ardennes et des régions voisines. *Ann. Soc. géol. Nord*, **5**, 227-487.
- Bengtson P. coord. (1996) - The Turonian stage and substage boundaries. *Bull. Inst. royal Sc. nat. Belgique* ; Science terre, **66**, suppl., 69-79.
- Bignot G. (1991) - Le Pas-de-Calais et l'Eurotunnel. Aspects géologiques. *Bull. trim. Soc. géol. Normandie et Amis Museum du Havre*, **78**, 9-31.
- Bristow R., Mortimore R., Wood C. (1997) - Lithostratigraphy for mapping the Chalk of southern England. *Proc. Geol. Ass.*, **109**, 293-315.
- Carter D.J., Hart M.B. (1979) - Aspects of mid-Cretaceous stratigraphical micropalaontology. *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist. (Geol.)*, **29**, 1-135.
- Chellonneix E. (1872) - Note sur le Diluvium de Sangatte et les assises crétaées du Cap Blanc-Nez. *Mém. Soc. Sc., Agric. Arts de Lille*, **3**, 1-27, 1 coupé.
- Destombes J.P., Destombes P. (1963) - L'anticlinal des Quénois au Cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais). *Ann. Soc. géol. Nord*, **83**, 47-56.
- Destombes J.P., Shephard-Thorn E.R. (1971) - Geological results of the Channel Tunnel site investigation 1964-65. *Nat. Env. Research Council., Instit. Geol. Sci.*, Report n° 71/11, 12 p., 3 fig., 3 tabl., 1 carte.
- Dubois G. (1925) - Sur quelques points de la tectonique du Blanc-Nez. *Ann. Soc. géol. Nord*, **50**, 138-146, pl. 8.
- Duffaut P., Margron P. *édit.* (1990) - Le Tunnel sous la Manche - Géologie et Géotechnique. *Presses Ecole nat. Ponts & Chaussées*, Paris, 329 p.
- Gale A.S. (1989) - Field Meeting at Folkestone Warren, 29th, November, 1987. *Proc. Geol. Assoc.*, **100**, 73-82.
- Gale A.S. (1990) - A Milankovitch scale for Cenomanian time. *Terra Nova*, **1**, 420-425.
- Gale A.S. (1995) - Cyclostratigraphy and correlation of the Cenomanian stage in Western Europe. *Geol. Soc.*, spec. publ., **85**, 177-197.
- Gale A.S. (1996) - Turonian correlation and sequence stratigraphy of the Chalk in southern England in Hesselbo S.P. & Parkinson D.N. (*edit*), 1996, Sequence stratigraphy in British Geology. *Geol. Soc. spec. publ.* **103**, 177-195.
- Hedberg H.G. (1976) - International stratigraphic guide. *J. Wiley and Sons, London*, 200 p.
- Jefferies R.P.S. (1963) - The stratigraphy of the *Actinocamax plenus* Subzone in the Anglo-Paris Basin. *Proc. Geol. Ass.*, **74**, 1-33.
- Jenkyns H. C., Gale A.S., Corfield R.M. (1994) - Carbon and oxygen - isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its paleoclimatic significance. *Geol. Mag.*, **131**, 1-34.
- Jouchoux A. (1994) - Les apports de la micropaléontologie pendant le creusement du tunnel sous la Manche : corrélations dans la partie française du Déroit. *Bull. trim. Soc. Géol. Normandie et Amis Mus. Havre*, **81**, 45-60.
- Jukes-Browne A.J., Hill W. (1903) - The Cretaceous Rocks of Great Britain - vol. 2 : Lower and Middle Chalk of England. *Mem. Geol. Surv. U.K.*, 568 p., 8 pls.
- Kennedy W.J. (1967) - Burrows and surface traces from the Lower Chalk of southern England. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Geol.)*, **15**, 125-167.
- Mantell G.A. (1818) - A sketch of the Geological Structure of the south-eastern part of Sussex. *Provincial Magazine*, Lewes, 68-71.
- Margron P., Rankin W. (1990) - L'enjeu des études géologiques et géotechniques. Enseignement des études anciennes et apport des nouvelles reconnaissances in Duffaut P. & Margron P. *édit.* Le Tunnel sous la Manche. Géologie et Géotechnique. *Presses Ecole nat. Ponts & Chaussées*, Paris, 91-103.
- Marie P. (1960) - Le sondage d'Escalles. Rapport BRGM, 45 p., 1 fig.
- Phillips W. (1821) - Remarks on the Chalk Cliffs in the neighbourhood of Dover, and on the Blue Marl covering the Greensand near Folkestone. *Trans. Geol. Soc. London*, **5**, 16-46.

Price F.G.H. (1877) - On the beds between the Gault and the Upper Chalk near Folkestone. *Q. Jl. Geol. Soc. London*, **33**, 431-448.

Robaszynski F. (1978) in Amédéo *et al.* : Echelles biostratigraphiques dans le Cénomaniens du Boulonnais (macro-, micro-, nannofossiles). *Géol. Médit.*, **5**, 5-18, 5 tabl.

Robaszynski F. (sous presse) in Mansy J. L. *et al.* : Notice de la feuille Marquise, carte géologique à 1/50 000.

Robaszynski F., Amédéo F. (1986) - The Cretaceous of the Boulonnais (France) and a comparison with the Cretaceous of Kent (United Kingdom). *Proc. Geol. Ass.*, **97**, 171-208.

Robaszynski F., Amédéo F. (coord.), Foucher J.C., Gaspard D., Magniez-Jannin F., Manivit H., Sornay J. (1980) - Synthèse biostratigraphique de l'Aptien au Santonien du Boulonnais à partir de sept groupes paléontologiques : foraminifères, nannoplancton, dinoflagellés et macrofaunes. *Rev. micropal.*, **22**, 195-321.

Smart J.G.O., Bisson G., Worssam B.S. (1966) - Geology of the Country around Canterbury and Folkestone. *Mem. Geol. Surv. Great Brit.*, 337 p.

Planche 1/ Plate 1

Fig. 1.- La falaise du Grand Blanc-Nez vue immédiatement au nord du Cran d'Escalles. La succession visible au premier plan est celle de la base du Cénomaniens moyen (sommets de l'ensemble G', ensemble H' et base de I). Les étoiles à cinq branches sont placées sur les bancs crayeux sommitaux des unités 16 et 16'. Ces deux bancs crayeux plus clairs, indurés, en relief dans la falaise, constituent le 11e niveau-repère. Quelques mètres plus haut, l'étoile pétaoloïde à 6 branches permet de situer le 13e niveau-repère à *Orbirhynchia mantelliana* et à *Sciponoceras baculoïdes* compris entre les deux petites flèches.

*Fig. 1. - The Blanc-Nez cliff just north of Cran d' Escalles. The succession in the foreground is the base of the Middle Cenomanian (the top of Division G', all of Division H' and the base of Division I). The five-pointed stars indicate the top chalk beds of units 16 and 16'. These two lighter chalk beds, indurated and standing out in relief, form marker bed no. 11. A few metres higher, the petaloid 6-pointed star indicates marker bed no. 13, with *Orbirhynchia mantelliana* and *Sciponoceras baculoïdes* shown between the two small arrows.*

Fig. 2. - La falaise du Petit Blanc-Nez montrant le Cénomaniens inférieur (ensembles D,E,F et 2/3 inférieurs de G') et la base du Cénomaniens moyen (1/3 supérieur de G' et H'). La craie glauconieuse D est partiellement masquée par le sable de la plage. En revanche, les niveaux en creux de la falaise, formés de marne sableuse et de marne gris foncé limitant respectivement la base des ensembles F et G' sont nettement visibles. Vers le haut, les bancs crayeux sommitaux des unités 16 et 16', plus résistants, sont repérés par des étoiles. En prenant du recul par rapport à la falaise, l'ensemble F à dominante crayeuse apparaît plus clair que les ensembles lithologiques qui l'encadrent : E en dessous, gris-bleu ; G' au-dessus, plus grisâtre et bien rythmé.

N.B. Par rapport aux trois autres illustrations présentées dans les planches photographiques, cette figure paraît peu contrastée. Ceci ne résulte pas des conditions d'éclairage et de prise de vue, mais d'une teneur relativement faible des craies du Cénomaniens inférieur en CaCO_3 (inférieure à 80 %), ce qui rend le Petit Blanc-Nez globalement plus marneux et plus grisâtre par rapport au Grand Blanc-Nez plus blanc.

Fig. 2. - Petit Blanc-Nez cliff, showing the Lower Cenomanian (Divisions D, E, F and the lower 2/3 of Division G') and the base of the Middle Cenomanian (the upper 1/3 of Division G' and Division H'). The glauconitic chalk D is partially hidden by beach sand. However, the recessed layers in the cliff, made of sandy marl and dark-grey marl, are clearly visible at the lower boundaries of Divisions F and G' respectively. Toward the top, the top chalk beds of units 16 and 16', which are more resistant, are marked with stars. At a distance from the cliff, Division F, predominantly chalky, appears lighter than the lithological divisions framing it: E (below) is blue-grey; G' (above) is more greyish and rhythmically layered.

N.B. Compared with the other three illustrations in the photo plates, this figure seems to have less contrast. This is not due to lighting conditions or camera angle, but to the relatively low CaCO_3 content (less than 80%) of the Lower Cenomanian chalk, which makes the Petit Blanc-Nez more marly and greyer overall than the whiter Grand Blanc-Nez.

1



2



Planche 2/ Plate 2

Fig. 1. - La falaise cénomaniennne au pied du Grand Blanc-Nez. Les craies exposées sur la photographie vont du Cénomanienn moyen (ensemble H') au Turonien inférieur (ensemble L pars). Trois niveaux-repères sont soulignés : le 13e (3e niveau riche en *Orbirhynchia mantelliana* et *Sciponoceras baculoides*, indiqué par une étoile pétaoloïde à 6 branches) ; le 16e (unité 23 ; banc de craie jaunâtre à structures lamellaires) ; le 18e (marnes à *A. plenus*, en creux dans la falaise = ensemble K).

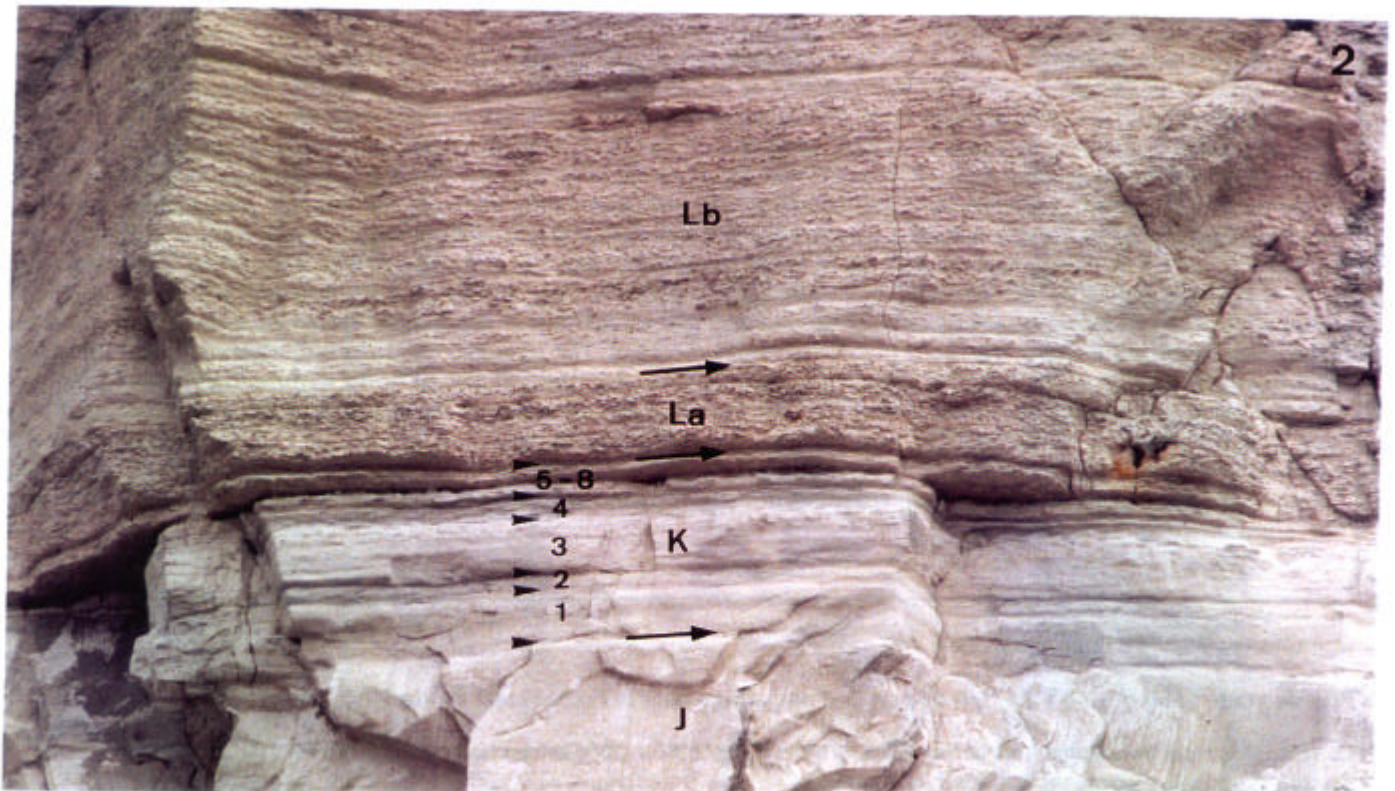
Fig. 1.- The Cenomanian cliff at the base of Grand Blanc-Nez. The exposed chalks in the photograph extend from the Middle Cenomanian (Division H') to the Lower Turonian (Division L in part). Three marker beds are shown: no. 13 (3rd level, rich in *Orbirhynchia mantelliana* and *Sciponoceras baculoides*, marked with a petaloid six-pointed star); no. 16 (unit 23; a yellowish chalk bed with lamellar structures); and no. 18 (*Plenus* Marls, recessed = Division K).

Fig. 2. - Détail de la falaise pris à l'aplomb du Grand Blanc-Nez (coupe BN Nord).

On distingue du bas vers le haut les marnes à *A. plenus* (ensemble K = 18e niveau-repère) en creux, avec la succession des 8 Beds définis par Jefferies (1963), les hardgrounds à *Sciponoceras bohemicum anterius* en relief (L-a = 19e niveau-repère) et la craie noduleuse jaunâtre du sous-ensemble L-b. Actuellement, la limite Cénomanienn-Turonien est placée au sommet des hardgrounds à *Sciponoceras*, c'est-à-dire à la limite entre les sous-ensembles L-a et L-b. Un niveau marneux situé 20 cm plus haut apparaît fréquemment en creux et constitue un excellent repère visuel. Un autre niveau marneux est également très sensible à l'action de l'altération 4 m plus haut dans la craie noduleuse. Dans cette coupe BN Nord, l'épaisseur des marnes à *A. plenus* (ensemble K) est de 2,16 m.

Fig. 2.- Detail of the cliff taken at the base of the Grand Blanc-Nez (BN North section).

From the base up one notes the recessed *Plenus* Marl (Division K = marker bed no. 18), with the 8-bed succession defined by Jefferies (1963), the hardgrounds with *Sciponoceras bohemicum anterius* standing out in relief (L-a = marker bed no. 19) and the nodular yellowish chalk of sub-division L-b. The Cenomanian/Turonian boundary is currently placed at the top of the hardgrounds containing *Sciponoceras*, which is the boundary between sub-divisions L-a and L-b. A marl layer located 20 cm higher is commonly recessed and forms an excellent visual marker. Another marl layer, occurring 4 m higher in the nodular chalk, is also very sensitive to weathering. In this BN North section, the thickness of the *Plenus* Marls (Division K) is 2.16 m.



**ANALYSE STRUCTURALE
ET THERMO-BAROMÉTRIQUE D'UN SYSTÈME
DE CHEVAUchemENTS VARISQUE :
Les Cévennes centrales (Massif central français).
Microstructures et mécanismes de déformation
dans les zones de cisaillement schisteuses**

par
F. Arnaud

Document du BRGM n° 286

Une approche pluri-disciplinaire sur la carte géologique à 1/50 000 de Saint-André-de-Valborgne permet de replacer les Cévennes centrales au sein de la chaîne varisque d'Europe occidentale. Ce secteur est constitué de séries présumées paléozoïques affectées par la déformation varisque. L'analyse structurale et microstructurale permet la caractérisation de zones de cisaillement dans les séries schisteuses. Le mécanisme de déformation dominant dans ces zones, où les exsudats de quartz sont très abondants, est la dissolution-cristallisation. Ces zones de cisaillement définissent une structuration des Cévennes en duplex à vergence S à SE. En tenant compte de cette géométrie, un nouveau log stratigraphique est proposé. L'étude thermo-barométrique sur les paragenèses minérales et des inclusions fluides indique que la déformation est contemporaine d'un métamorphisme sous des conditions de $\sim 500^{\circ}\text{C}$ et $4,3 \pm 0,4$ Kb, daté dans la littérature entre 340 et 330 Ma. Ces chevauchements sont associés aux processus d'épaississement crustal de la chaîne varisque. Après les chevauchements, les inclusions fluides enregistrent une chute de pression et de température correspondant à l'exhumation des nappes. L'orientation des plans d'inclusions fluides suggère que cette exhumation s'effectue en contexte tectonique régional en extension. Par la suite, les Cévennes sont affectées par une extension contemporaine d'intrusions de granodiorites entre 330 et 290 Ma, d'une déformation fragile entre 300 et 280 Ma et de la formation du bassin sédimentaire d'Alès à cette même période. La direction de cette extension varie dans le temps de ENE-WSW à NNE-SSW. L'ensemble du scénario proposé s'intègre dans le modèle d'évolution de la branche Sud de la chaîne varisque d'Europe occidentale. D'après les modélisations analogiques d'une lithosphère en extension, nous proposons que les Cévennes constituent un secteur affecté de manière fragile en horst et grabens au sein duquel les structures compressives sont conservées.

A multidisciplinary approach to the 1:50,000-scale geological map of Saint-André-de-Valborgne has made it possible to situate the Central Cevennes within the Variscan belt of Western Europe. The area is underlain by Variscan-deformed rocks of presumed Paleozoic age where structural and microstructural analysis has characterized shear zones in the schistose series. Abundant quartz segregations in these zones indicate that the dominant mechanism of deformation was dissolution-crystallization. The shear zones define a S- to SE-verging duplex structure for the Cevennes, and a new stratigraphic log is proposed that takes this geometry into consideration. Thermo-barometric study of the mineral parageneses and fluid inclusions indicates that the deformation was contemporaneous with a metamorphism that took place under T-P conditions of $\sim 500^{\circ}\text{C}$ and 4.3 ± 0.4 kb, and which is dated in the literature at between 340 and 330 Ma. The thrusts were associated with crustal thickening of the Variscan belt. The fluid inclusions also register a post-thrusting fall in pressure and temperature corresponding to exhumation of the nappes; the orientation of the fluid-inclusion planes suggests that this exhumation occurred under a regional extensional tectonic regime. The Cevennes were then affected by further extension contemporaneous with a) the intrusion of granodiorites between 330 and 290 Ma, b) brittle deformation between 300 and 280 Ma, and c) the opening of the Alès sedimentary basin during the same period; the direction of this extension varied with time from ENE-WSW to NNE-SSW. The whole of the proposed scenario can be integrated into the evolution model of the southern branch of the Variscan belt of Western Europe. Based on the analogue modelling of a lithosphere under extension, we consider that the Cevennes area underwent brittle deformation with the formation of horsts and grabens that have preserved the compressive structures.

Prix de vente : 580 F + 50 F de frais de port et d'emballage pour la France et 60 F pour l'Étranger.

En vente chez votre libraire habituel ou aux Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 30 28.
Fax : 02 38 64 36 82 accompagné de votre titre de paiement.