Le Turonien de Normandie
et des confins picards

Volume 1
Stratigraphie générale
Stratigraphie du littoral





Bernard HOYEZ
Jérôme GIRARD
Nicolas COTTARD



Les auteurs

* Bernard HOYEZ, bhoyez@gmail.com
** Jérôme GIRARD, j76gir@gmail.com
*** Nicolas COTTARD, nicolas.cottard256@gmail.com

Photos de couverture

Face est de la Porte à la Reine, 49.769283°N, 0.37646°E (76400 Fécamp).

Micraster normanniae BUCAILLE, 1883, holotype déposé au Museum de Rouen réf 080804175 provenant de la falaise du Pollet à Dieppe. Turonien supérieur.

'Cretirhynchia' minor (PETTITT,1950),
collection GIRARD JG_1837, provenant de Criel-Mesnil-Val. Turonien supérieur.

Mammites nodosoides (SCHLÜTER,1871),
collection COTTARD NC_2837, provenant de Penly. Turonien inférieur.

Le Turonien de Normandie et des confins picards - volume 1 - Littoral

Résumé

Cet ouvrage constitue la première partie d'une monographie du Turonien de Normandie et de ses confins picards, fondée sur des levés de terrain systématiques le long de 130 km de falaises littorales entre la Seine et la Somme. Il couvre l'intégralité de l'étage, du Turonien inférieur (zones à *Fagesia catinus* et *Mammites nodosoides*) jusqu'au Turonien supérieur terminal (hardgrounds Navigation, limite Turonien/Coniacien). Il intègre également localement le Coniacien inférieur.

Les observations lithostratigraphiques sont combinées à la biostratigraphie (ammonites, inocérames, brachiopodes, échinides). Elles sont mises en parallèle avec d'autres référentiels biostratigraphiques (micro et nannofossiles) ou chimiostratigraphiques. Les repères événementiels (hardgrounds, bentonites ou horizons marneux, niveaux de silex) sont calés sur la nomenclature de référence anglo-normande permettant des corrélations précises à l'échelle du Bassin Anglo-Parisien. La série est subdivisée en huit intervalles lithostratigraphiques, chacun délimité par des marqueurs événementiels identifiables sur le terrain. Six secteurs géographiques clés sont délimités. Des coupes de référence détaillées, originales pour certaines, sont établies. Leur complémentarité est montrée avec les coupes anglaises (Sussex, Wight, Kent). Ces coupes font apparaître une forte différenciation latérale entre les séries septentrionales (secteur Dieppe-Tréport, à faciès homogène et pauvres en silex) et méridionales (secteur Étretat-Fécamp, à sédimentation en « monticules et cuvettes » et fortes concentrations de silex), contrôlée par la tectonique synsédimentaire sur les linéaments varisques (Bray-Wight et faille de Lillebonne-Fécamp). De nouveaux niveaux repères locaux sont introduits, facilitant les corrélations entre secteurs. Des phénomènes associés à des horizons stratigraphiques particuliers sont détaillés, comme les slumpings, les éléments dissociés ou déplacés, les sheet-flints. Certains d'entre eux sont considérés d'origine paléosismique. Une synthèse paléoenvironnementale est proposée. Elle intègre le signal climatique (maximum thermique s'étendant en partie sur le Turonien inférieur, refroidissements Pewsey et Hitch Wood, baisse eustatique associée aux hardgrounds Navigation) et le signal tectonique (inversion précoce, hauts-fonds structuraux).

Abstract

The Turonian of Normandy and of the Picard borderlands – Volume 1 – The coastline.-

This work constitutes the first part of a monograph on the Turonian of Normandy and its Picardy borders, based on systematic field surveys along 130 km of coastal cliffs between the Seine and the Somme rivers. It covers the entire stage, from the Lower Turonian (*Fagesia catinus* and *Mammites nodosoides* zones) to the uppermost Upper Turonian (Navigation hardgrounds, Turonian/Coniacian boundary). It also locally includes the Lower Coniacian. Lithostratigraphic observations are combined with biostratigraphy (ammonites, inoceramids, brachiopods, echinoids). They are correlated with other biostratigraphic (micro- and nannofossils) or chemostratigraphic reference frameworks. Event markers (hardgrounds, bentonites or marly horizons, flint levels) are calibrated against the Anglo-Norman reference nomenclature, allowing precise correlations across the Anglo-Paris Basin. The succession is subdivided into eight lithostratigraphic intervals, each bounded by event markers identifiable in the field. Six key geographical sectors are defined. Detailed reference sections, some of which are original, are established. Their complementarity with English sections (Sussex, Isle of Wight, Kent) is demonstrated. These sections reveal strong lateral differentiation between the northern series (Dieppe-Tréport sector, with a homogeneous facies and poor in flint) and the southern series (Étretat-Fécamp sector, with "mounds and troughs" sedimentation and high flint concentrations), controlled by synsedimentary tectonics along Variscan lineaments (Bray-Wight and Lillebonne-Fécamp fault). New local marker levels are introduced, facilitating correlations between sectors. Phenomena associated with specific stratigraphic horizons are detailed, such as slumpings, dissociated or displaced elements, and sheet-flints. Some of these are considered to be of paleoseismic origin. A paleoenvironmental synthesis is proposed. It integrates the climatic signal (thermal maximum extending partly into the Lower Turonian, Pewsey and Hitch Wood cooling events, eustatic fall associated with the Navigation hardgrounds) and the tectonic signal (early inversion, structural highs).

STRATIGRAPHIE

Introduction

Le Turonien est le second étage du Crétacé supérieur, succédant au Cénomanien et précédant le Coniacien. Il a été défini pour la première fois en 1842 par A. d'ORBIGNY dans la région de Touraine (Tours, en latin Turones). Selon la Commission Internationale de Stratigraphie (2022), cet étage s'étend de -93,9 millions d'années (Ma) à -89,8 ± 0,3 Ma, couvrant une période de 4,1 millions d'années. Le GSSP (Global Boundary Stratotype Section), qui sert de référence mondiale pour définir la limite de cet étage, est situé à Pueblo, dans le Colorado, aux États-Unis (KENNEDY *et al.*, 2005).

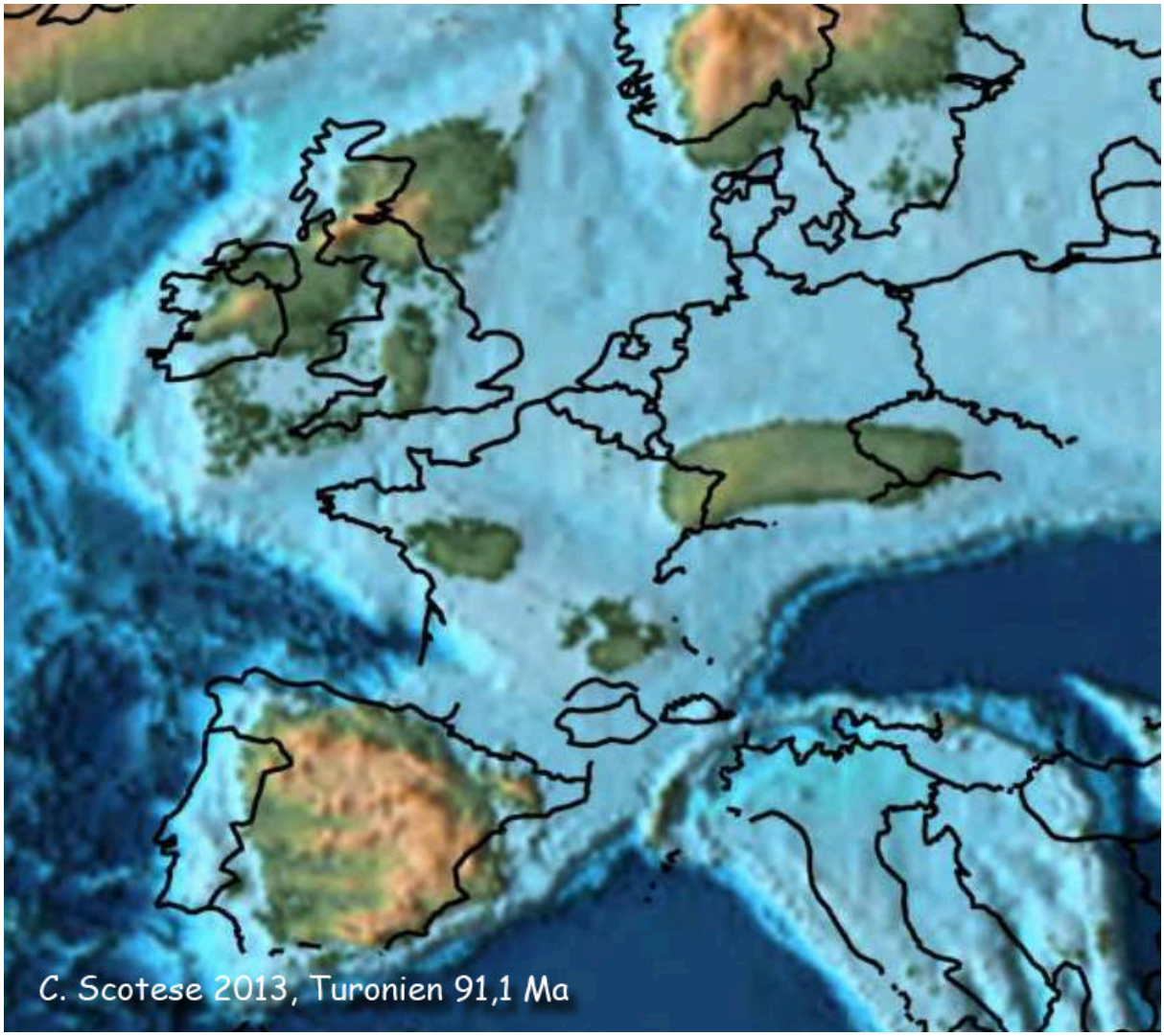


Fig. 1 - Paléogéographie de l'Europe occidentale au Turonien (91,1 Ma) d'après SCOTESE (2013). Bleu foncé: Océans - Bleu clair: mers épicontinentales - Brun: continent émergé

Le présent ouvrage est consacré au Turonien de la Normandie et de ses confins picards. Le Turonien y est représenté essentiellement sous forme de craie, une roche composée de débris squelettiques d'algues planctoniques (coccolithes et rhabdolites), auxquels s'ajoutent en quantité variable des fragments d'inocérames, d'échinodermes, de spongiaires ou de bryozoaires, ainsi que de foraminifères et de calcisphères. Cette craie normande s'est déposée au sein du bassin anglo-parisien, un vaste bassin intracratonique, subsident au cours du Mésozoïque, entouré d'îles héritées de l'orogène hercynien.

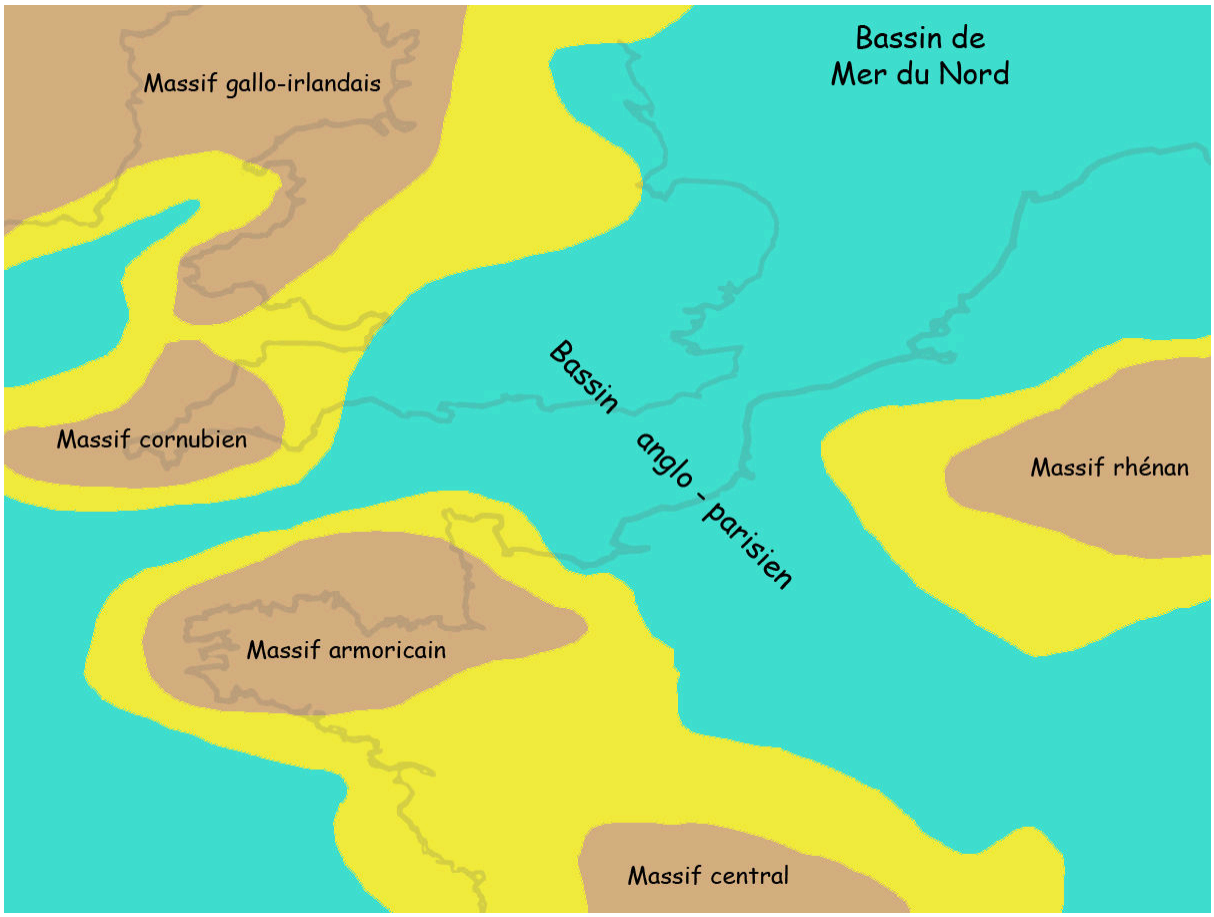


Fig. 2 - Paléogéographie au début du Turonien, modifié d'après DERCOURT* et al. *(2000)- Jaune : faciès côtiers néritiques ou silico-clastiques - Turquoise : faciès pélagiques.

L'existence du Turonien en Normandie a été reconnue très tôt. En 1873, lors de la création de la Société Géologique de Normandie et de la publication du premier numéro de son bulletin, BIOCHET mentionne : « La craie turonienne a été constatée à Pavilly et dans diverses localités de la vallée de Sainte-Austreberthe, par deux membres de la Société, guidés dans leurs recherches par M. J. ADAM, fils, manufacturier à Sainte-Austreberthe ». Les similitudes entre les craies des deux côtés de la Manche ont permis d'établir des corrélations biostratigraphiques, notamment grâce aux travaux de HÉBERT (1874) et de BARROIS (1876). Cependant, ce n'est qu'un siècle plus tard que des comparaisons transmanche précises, entre le Boulonnais et le Kent, ont été réalisées par ROBASZYNSKI & AMÉDRO (1986a). Pour la Normandie et jusqu'au SW du Bassin Parisien, MORTIMORE et POMEROL (1987) ont publié des coupes détaillées et comparatives qui font toujours référence

aujourd'hui. À la suite d'une monographie collective sur les craies anglaises (MORTIMORE, WOOD & GALLOIS, 2001), MORTIMORE a publié différents articles (2010, 2018, 2019) dans lesquels les craies normandes sont largement évoquées. GALE (2019a, 2019b), s'appuyant sur son expertise des craies anglaises, a présenté des coupes de référence en Normandie, en particulier grâce à une biostratigraphie détaillée des microcrinoïdes.
À l'échelle régionale, la biostratigraphie et la stratigraphie séquentielle ont été étudiées par JUIGNET (1980, 1991), JUIGNET & BRETON (1994) et LASSEUR (2007), tandis que la sédimentologie a été abordée par QUINE (1988), QUINE & BOSENCE (1991) et KENNEDY & JUIGNET (1974).
Les niveaux de condensation sédimentaire, tels que la craie noduleuse et les hardgrounds (surfaces durcies), ont fait l'objet d'une attention particulière. Leur identification, leur datation, leurs relations et leur signification sont souvent débattues (MORTIMORE, 2010 ; KENNEDY & GALE, 2015a ; GALE, 2019a).

La tectonique affecte substantiellement l'ensemble des craies du Bassin Anglo-Parisien et donc la craie turonienne normande. Elle est la conséquence de la convergence des plaques africaine et européenne initiée au Crétacé supérieur (anomalie magnétique 34). Des déformations se produisent dans la plaque européenne, plus spectaculairement au Nord de l'axe Londres - Brabant (phase subhercynienne turono-campanienne). L'un des effets de cette convergence est l'inversion tectonique, caractérisée par le passage d'une phase d'extension à une phase de compression. Ce phénomène est particulièrement bien visible dans les grabens de la mer du Nord. Les déformations se concentrent principalement à l'aplomb des grands accidents du socle varisque (chevauchements, décrochements) qui réagissent en transpression. Dans la couverture sédimentaire, elles se manifestent par la formation de périclines (brachyanticlinaux et brachysynclinaux) dont les axes sont disposés de manière oblique et en échelons le long des fractures sous-jacentes.

Selon MORTIMORE (2010), ces déformations dans le sud de l'Angleterre ont débuté précocement, pendant le dépôt même de la boue crayeuse. Cette synchronie déformation-sédimentation explique la présence de hauts-fonds à sédimentation condensée au-dessus des anticlinaux de croissance, tandis que l'inverse s'observe au-dessus des synclinaux. L'auteur propose même une extension spéculative de ce processus pour expliquer les monticules et cuvettes sédimentaires de son « complexe d'Étretat ».

La fracturation présente différents aspects : failles normales avec des rejets de quelques centimètres à quelques mètres, failles décrochantes parfois striées, master-joints (fractures principales) traversant toute la hauteur des falaises, joints sans rejet apparent, et fractures remplies de silex (sheet-flints) ou de calcite (chevelus). Parmi les six directions de fractures mesurées, les deux directions armoricaines N120-130° et N150-160° sont les plus fréquentes.
Depuis sa thèse (1979), MORTIMORE a démontré que le style et l'orientation de la fracturation sont partiellement liés à la stratigraphie. Les réseaux de fractures contraints entre deux horizons stratigraphiques sont qualifiés de "strata-bound". Bien que ce phénomène soit avéré, son interprétation peut être débattue (DUPERRET *et al.*, 2012).

Deux failles majeures traversent la zone étudiée : la faille du Bray et la faille de Lillebonne-Fécamp.

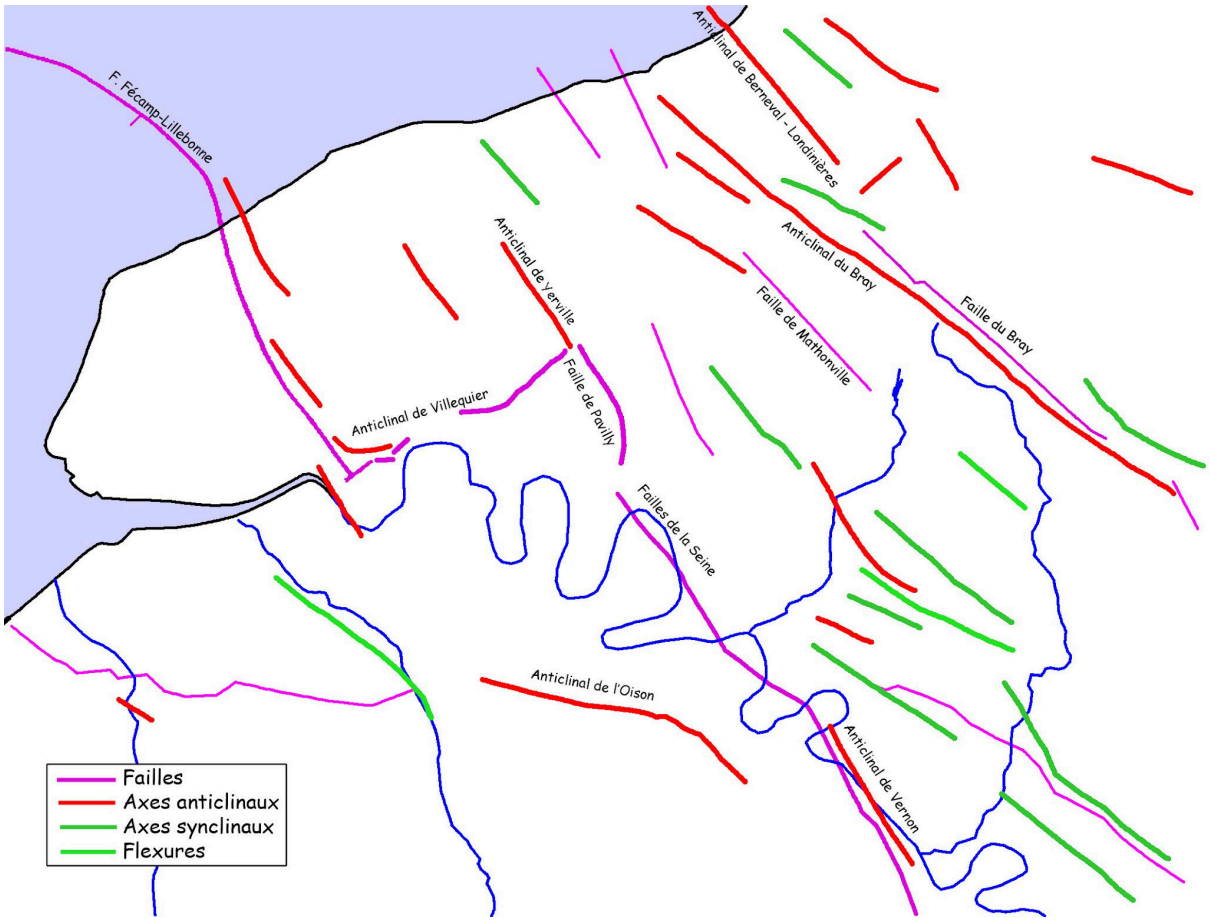


Fig. 3 - Schéma structural de la Seine Maritime (CAVELIER & MEDIONI, 1980, modif.)

La faille du Bray est considérée comme un ancien et profond décrochement dextre hercynien, inversé à partir du Crétacé terminal. Elle se prolonge vers l'est par la faille de Bouchy et la faille de Vittel. Elle traverse la Manche vers le nord-ouest, où elle se manifeste par la zone faillée de Portland-Wight, illustrée par la verticalisation des couches de craie aux Needles. Entre Beauvais et Neufchâtel-en-Bray, la faille du Bray est flanquée au Sud par un anticlinal dissymétrique crevé par la "Boutonnière du Bray". Sur le littoral à Dieppe, il n'existe plus aucune trace visible de ces deux structures, hormis une forte karstification sur les fractures.

La faille de Lillebonne-Fécamp est une faille normale-décrochante dextre, orientée N150, bien identifiée à terre (RAGOT & MEIRE, 2022) et en mer par la géophysique (MEIRE *et al.*, 2018). Son rejet vertical apparent, de l'ordre de la centaine de mètres, peut être estimé visuellement en observant le décalage d'un même niveau stratigraphique, la bentonite Shoreham. Ainsi, cette bentonite se trouve au niveau du platier de Grainval-Fécamp, côté sud-ouest, et elle s'élève à une dizaine de mètres du sommet du Cap Fagnet, côté nord-est. Le prolongement de la faille de Fécamp est sujet à conjecture. Vers le sud, elle ne traverse pas directement la Seine, mais est relayée en baïonnette par la faille de Rouen, via un accident appelé la faille ou le dôme faillé de Villequier-Triquerville. Cette faille de Rouen n'est elle-même que l'extrémité de la faille de la Seine qui traverse le Bassin Parisien jusqu'à la Limagne. Vers le nord, l'interprétation la plus courante est que la faille de Fécamp se courbe et adopte une orientation ouest-est en Manche, mais il est également possible qu'elle rejoigne la zone faillée de l'île de Wight au nord.

Outre les grandes fractures, la craie présente des ondulations à grand rayon de courbure. En suivant la muraille littorale, sur 130 km entre la Seine et la Somme, ces ondulations permettent au Turonien d'apparaître à plusieurs reprises au niveau du platier. La figure 4, avec son échelle verticale amplifiée, illustre clairement ces structures. Successivement d'Ouest en Est, on distingue :

- l'axe synclinal du Cap d'Ailly, à cœur campanien,
- l'axe anticlinal de Penly, à cœur turonien inférieur,
- l'axe synclinal de Criel, à cœur coniacien,
- l'axe anticlinal du Tréport, à cœur turonien inférieur.

Selon MORTIMORE (2010), certains de ces plis ne seraient qu'une réponse adaptative dans la couverture superficielle de failles plus profondes (faille de la vallée de la Bresle, linéament faillé St. Valéry-Pavilly, faille de la vallée de la Béthune). Cette interprétation n'est pas étayée par la géophysique.
Dans le cas de l'anticlinal du Tréport, il y a une correspondance évidente du développement des hardgrounds (hardgrounds Mers de la littérature) avec le sommet de cet anticlinal. Il est donc très probable qu'un haut-fond structural existait lors du dépôt du Turonien (soit figé, soit vivant).
Les structures tectoniques mentionnées permettent de définir six grands secteurs littoraux, dont les propriétés stratigraphiques seront analysées à la suite : Le Fourquet à Vaucottes, Fécamp aux Petites Dalles, Dieppe à Penly, Penly à Criel, Criel au Tréport et Mers-les-Bains à Ault.

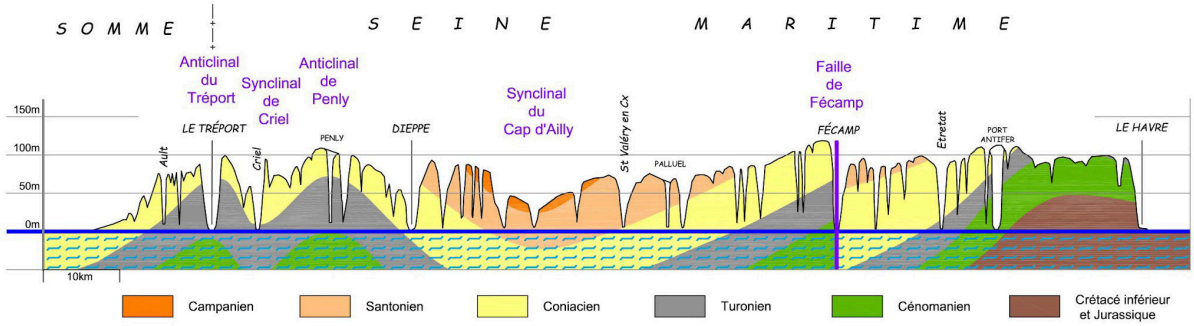


Fig. 4 - Profil développé des falaises entre la Somme et la Seine

Stratigraphie générale

Le Turonien est subdivisé en trois parties, d'après des zonations d'ammonites distinctes selon les régions. En Europe nord-occidentale, la zonation suivante est adoptée :

- **Turonien inférieur** : caractérisé par les 3 zones à *Watinoceras devonense*, *Fagesia catinus* et *Mammites nodosoides*. Sa base correspond également environ à l'apparition de *Mytiloides puebloensis*.
- **Turonien moyen** : incluant les zones à *Kamerunoceras turoniense*, *Romaniceras kallesi*, *R. ornatissimum* et *R. mexicanum*. Sa base correspond aussi à l'apparition de *Mytiloides hercynicus.*
- **Turonien supérieur** : défini par les zones à *R. deverianum*, *Subprionocyclus bravaisianus* et *Prionocyclus germari*. Dans le domaine subboréal de la craie, c'est l'apparition de *Subprionocyclus neptuni* qui est plus fréquemment adoptée pour en définir la base ou encore celle du bivalve *Inoceramus perplexus*.

Les limites lithologiques approximatives qui se rapprochent le plus de ces subdivisions (voir ci-après) sont :

- la marne Lulworth, qui sépare le Turonien inférieur du Turonien moyen.
- la marne Southerham, qui sépare le Turonien moyen du Turonien supérieur.

Différents référentiels concourent à établir une stratigraphie du Turonien :
1) **La biostratigraphie**. Les principaux groupes fossiles utilisés sont les Ammonites, les Bivalves et particulièrement les Inocérames, les Échinides, les Microcrinoïdes, les Brachiopodes, les Foraminifères, les Nannoflores calcaires et les Dinoflagellés.
2) **La géochimie.** Les isotopes stables du carbone et de l'oxygène offrent un calage à l'échelle globale. Mais d'autres éléments chimiques, par leur abondance ou leurs rapports, offrent également un intérêt.
3) **La lithostratigraphie.** Dans ce cadre, la stratigraphie événementielle retient les marqueurs stables à l'échelle d'un bassin sédimentaire. Elle servira ici de fil d'Ariane auquel nous nous référerons. La stratigraphie séquentielle qui étudie l'enchaînement vertical (temporel) et latéral (spatial) des faciès sera également rappelée.

Macrofaunes de référence

Les datations présentées dans cette étude reposent presque exclusivement sur l'analyse de macrofaunes récoltées sur le terrain, complétée par l'observation de spécimens issus de collections publiques ou privées. Une description détaillée de certains groupes et espèces est traitée dans des volumes distincts, dédiés à la paléontologie.

Référentiel Ammonites

L'évolution rapide et leur distribution étendue font des ammonites le marqueur stratigraphique en usage. Il a été reconnu 10 zones d'ammonites successives dans l'étage turonien. Elles sont décrites dans le tableau ci-dessous .

Étage	Sous-Étage	Zone d'Ammonite	Code
CONIACIEN		*Forresteria petrocoriensis*	
TURONIEN	**supérieur**	*Prionocyclus germari*	Ts 3
		Subprionocyclus bravaisianus	Ts 2
		Romaniceras deverianum	Ts 1
	moyen	*Romaniceras mexicanum*	Tm 4
		Romaniceras ornatissimum	Tm 3
		Romaniceras kallesi	Tm 2
		Kamerunoceras turoniense	Tm 1
	inférieur	*Mammites nodosoides*	Ti 3
		Fagesia catinus	Ti 2
		Watinoceras devonense	Ti 1
CÉNOMANIEN SUPÉRIEUR		*Neocardioceras juddii*	
		Metoicoceras geslinianum	

Fig. 5 - Zonation des Ammonites (d'après AMÉDRO, MATRION & ROBASZYNSKI, 2018)

Dans le secteur d'étude, le Turonien inférieur est caractérisé par l'occurrence relativement courante de grandes ammonites, notamment les genres *Fagesi*a et *Mammites*.
En revanche, les découvertes d'ammonites sont rares dans le Turonien moyen et supérieur. Le genre *Romaniceras* est particulièrement exceptionnel et n'est attesté que par de très rares spécimens.
Le passage au Coniacien est normalement indiqué par l'apparition de l'ammonite *Forresteria petrocoriensis*, un fossile jamais signalé en Normandie. Par conséquent, l'apparition du grand inocérame *Cremnoceramus deformis erectus* est souvent utilisée comme marqueur biostratigraphique de substitution pour définir la base du Coniacien.

Référentiel Inocérames

La faune d'inocérames du Turonien se prête à une échelle biostratigraphique. Leur évolution est rapide et ils sont bien distribués tout au long de l'étage turonien. Cependant, les conditions de conservation rendent les individus entiers rares et leur détermination reste très délicate. Les travaux de WALASZCZYK sont une référence majeure dans l'étude de ces bivalves. Plusieurs propositions d'échelles biostratigraphiques sont basées sur les inocérames. Le schéma présenté ci-dessous est redessiné à partir de la publication de MORTIMORE, WOOD & GALLOIS (2001).

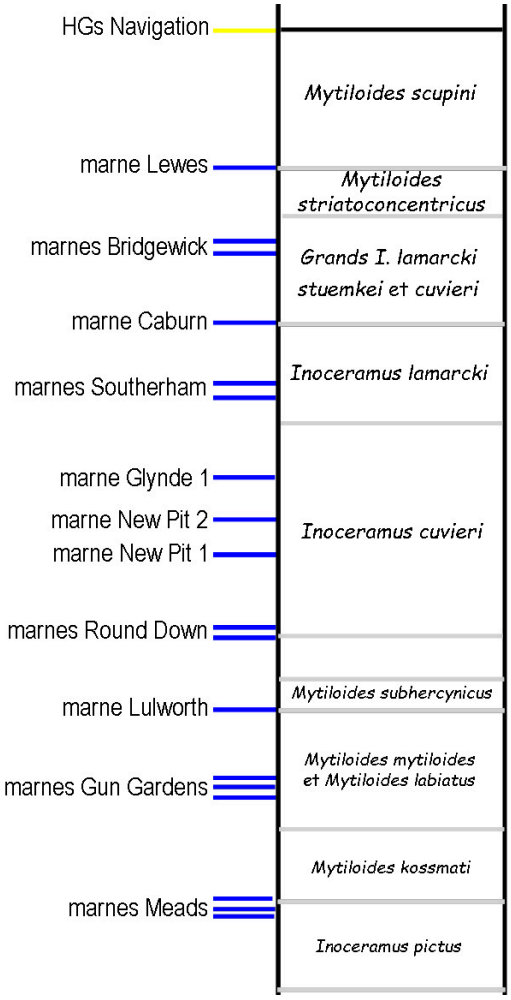


Fig. 6 - Zonation des Inocérames

Référentiel Brachiopodes

Bien qu'il n'existe pas d'échelle stratigraphique dédiée, basée uniquement sur les brachiopodes, certains taxons sont couramment employés à des fins stratigraphiques.

Gyrosoria lata (anciennement *Terebratulina lata*)

- Ce petit brachiopode (inférieur à 10 mm) est répandu durant le Turonien moyen.
- Il a donné son nom à l'une des trois zones d'assemblage du Turonien.
- Son nom de genre a été changé pour *Gyrosoria lata* par SKLENAR et SIMON (2009).

Orbirhynchia cuvieri

- Dans la littérature, ce taxon, lorsqu'il est associé à *Inoceramus labiatus*, a été utilisé pour définir une formation du Turonien inférieur.

L'étude de GASPARD (1997) sur la répartition des brachiopodes au Turonien retient spécifiquement *Orbirhynchia cuvieri* et *Gyrosoria lata* (sous son ancien nom, *Terebratulina lata*) comme marqueurs stratigraphiques.

- Cantonnés au Turonien supérieur *: Cretirhynchia minor et Cretirhynchia cuneiformis.*
- Présents sur tout l'étage Turonien : Les genres *Gibbithyris* et *Concinnithyris*.

Référentiel Échinides

Bien que souvent cités dans la littérature stratigraphique, il n'existe pas d'échelle complète pour le Turonien basée sur les échinides. Quelques espèces sont cependant utilisées pour définir des intervalles .

- *Conulus subrotundus* pour la partie inférieure de l'étage, associé à *M. labiatus* et *O.cuvieri*, même si l'espèce perdure au-delà.

- *Sternotaxis plana*, localement abondant, est un marqueur stratigraphique reconnu de de la partie supérieure du Turonien par son extension verticale relativement réduite.

- La lignée des *Micrasters* (*M. leskei, M. normanniae et M. cortestudinarium*) intéresse la partie sommitale de l'étage ainsi que le passage du Turonien au Coniacien.

Ces points seront discutés dans le volume 4 de la partie paléontologique des Échinodermes.

Référentiel Microcrinoïdes de GALE

Une révision du sous-ordre des Rovéacrinidés présents dans les craies du Bassin anglo-parisien a été proposée par GALE (2019b). Elle conduit à une biozonation du Turonien bien calée par rapport aux repères événementiels.

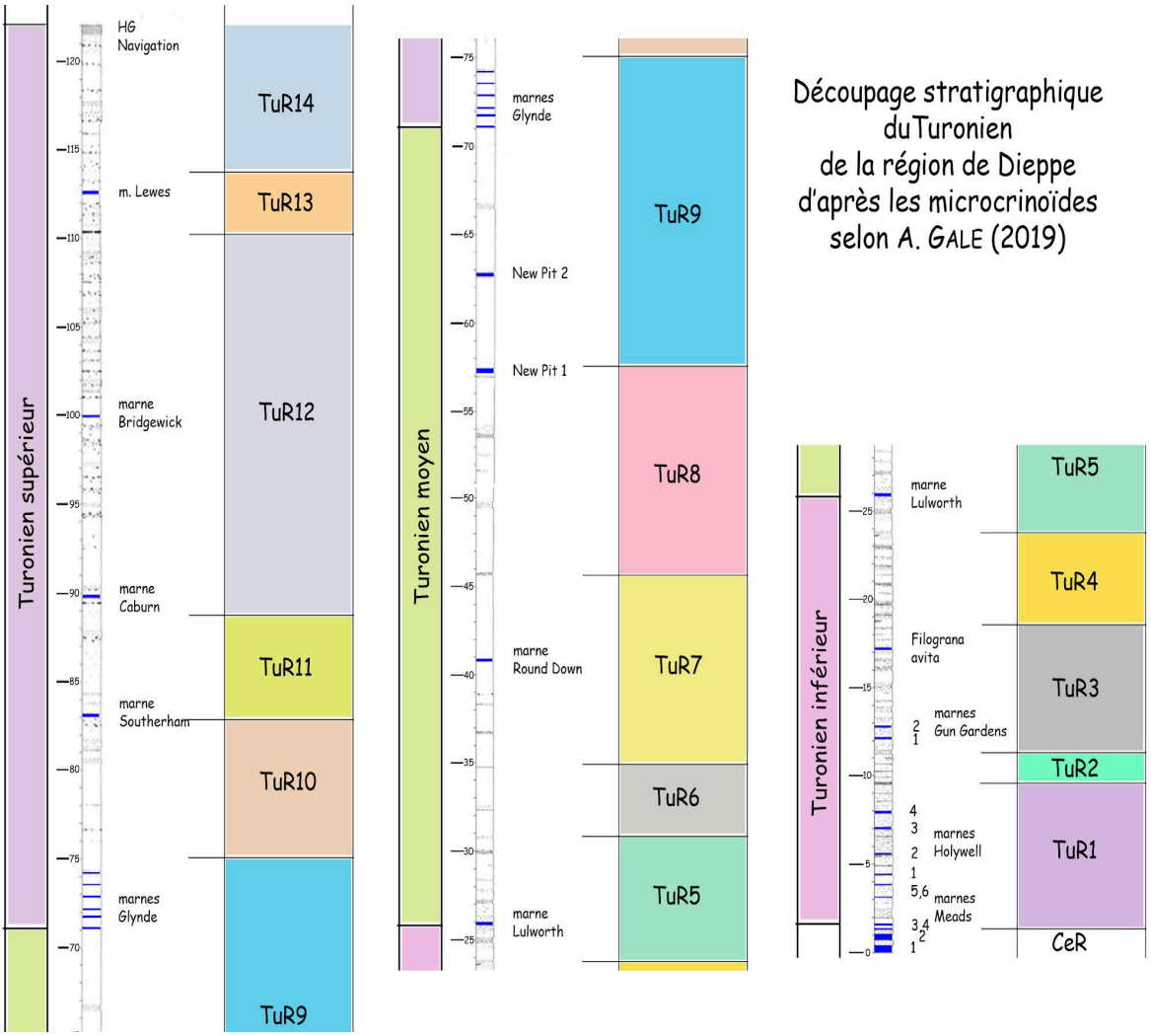


Fig. 7 - Zonation des micro-crinoïdes de GALE (2019)

Référentiel kystes de Dinoflagellés

Les Dinoflagellés (ou Péridiniens) sont des micro-organismes pour la plupart hétérotrophes et planctoniques. Au cours du stade dormant ou zygotique (œuf) de son cycle de vie, le Dinoflagellé s'enveloppe d'une protection temporaire, le dinokyste. Cette capsule organique résistante peut être préservée à l'état fossile. Les plus anciens dinokystes sont datés, au minimum, du Trias. Une stratigraphie du Turonien de l'Europe du Nord a été établie (OLDE *et al.*, 2015).

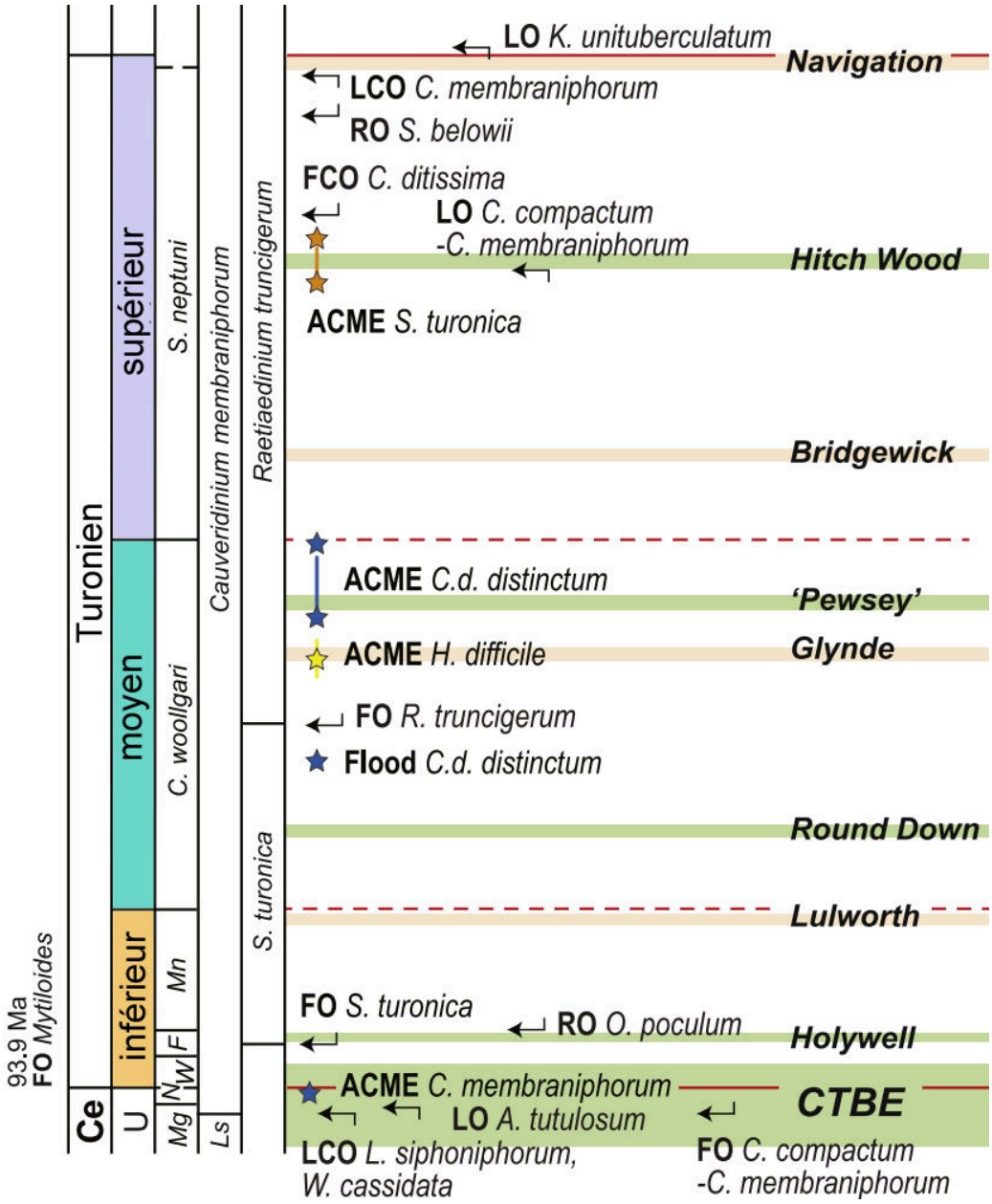


Fig. 8 - Biozonation du Turonien par les kystes de Dinoflagellés (OLDE et al., 2014)

Référentiel Nannoflore calcaire

La nannoflore calcaire est principalement représentée par les Coccosphaerales ou Coccolithophores, un groupe d'algues haptophytes. Depuis le Crétacé jusqu'à aujourd'hui, les Coccolithophores sont les organismes calcaro-producteurs majeurs et les principaux contributeurs à la sédimentation océanique. La craie est composée en majeure partie de squelettes de coccolithophores, sous forme d'écailles ou coccolithes. La prolifération des Coccolithophores et la traduction sous forme de boue crayeuse sont une réponse régulatrice à l'élévation générale de la concentration atmosphérique en CO_2 au Crétacé supérieur.

En raison de l'importance de la craie dans l'industrie pétrolière, une biozonation a été précocement développée (SISSINGH,1977; BURNETT, 1998).

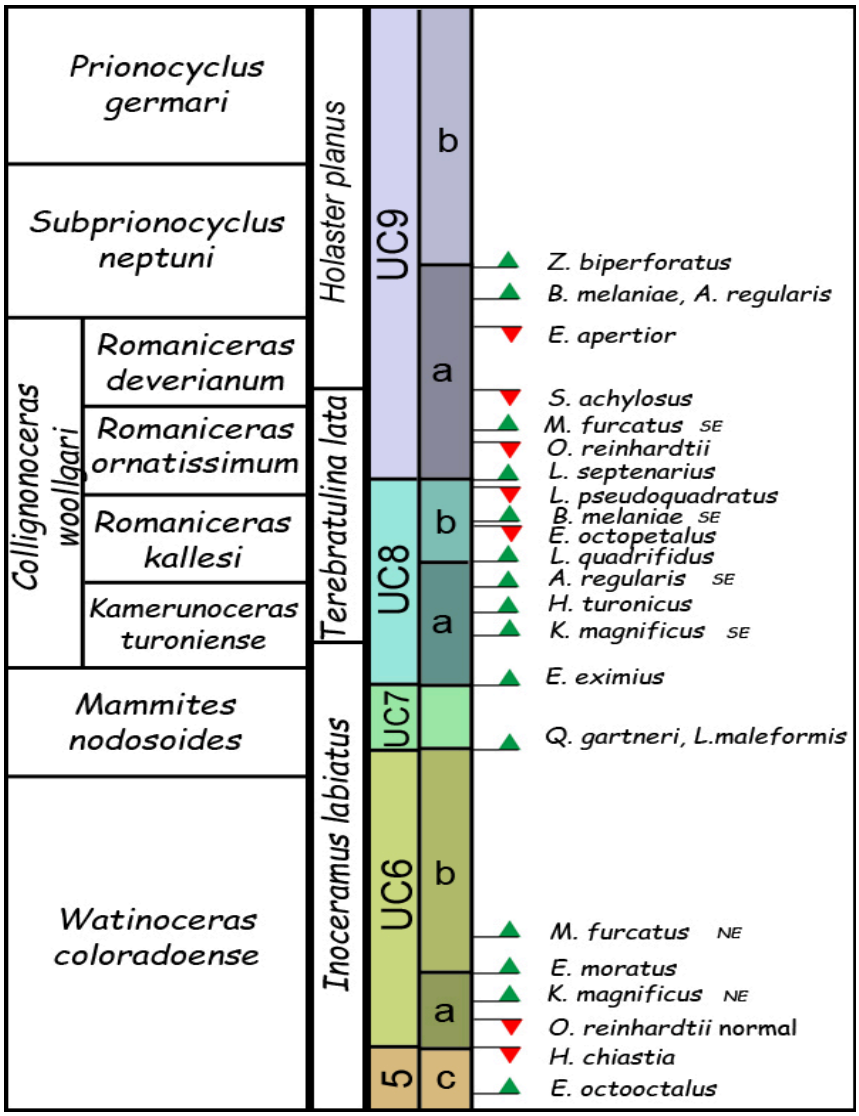


Fig. 9 - Biozonation de la nannoflore calcaire. Redessiné d'après BURNETT (1998)

Référentiel TEX_{86}

Les lipides de la membrane de certaines Archées (anciennes Archéobactéries) sont constitués de composés chimiques désignés par l'acronyme isoGDGT. Ces molécules organiques ont un degré de cyclisation variable dont les études ont montré qu'il était gouverné par la température lors de la croissance de l'organisme.
À partir de cette constatation, un index basé sur 86 atomes de carbone (TEX_{86}) a été proposé (SCHOUTEN *et al.*, 2002). Les GDGTs étant particulièrement ubiquistes et résistants à la dégradation, leur usage s'est imposé comme un indicateur de température des eaux de surface (SST, Sea Surface Temperature). Sous d'autres termes, TEX_{86} est vu comme un proxy (paramètre co-évolutif) de la température des eaux marines, un paléothermomètre. Sa validité a pu être démontrée depuis le Jurassique inférieur. Cette géochimie moléculaire, empruntant à la biologie et à la chimie, est utilisée pour le Crétacé supérieur.

Référentiel Foraminifères

On distingue les foraminifères planctoniques qui vivent dans la colonne d'eau et les foraminifères benthiques qui vivent sur ou dans le sédiment.
Dans le Bassin anglo-parisien, les foraminifères planctoniques ne sont abondants qu'au Cénomanien, leur présence est plus limitée au Turonien par rapport aux zones téthysiennes (WILKINSON, 2011).
Les foraminifères planctoniques, comme *Whiteinella praehelvetica* et *Helvetoglobotruncana helvetica*, apparaissent dès le Turonien inférieur et servent souvent de bio-marqueurs. Dans le bassin anglo-parisien (ROBASZYNSKI & AMÉDRO, 2014), la mer de la craie n'est favorable au développement de foraminifères planctoniques carénés que du Cénomanien au Turonien moyen, c'est-à-dire dans des faciès où les apports marneux sont présents. L'installation de faciès purement crayeux à partir du Turonien supérieur ne leur est plus favorable et on ne recueille plus que des formes globuleuses moins significatives. Principales espèces : *Helvetoglobotruncana helvetica* (espèce emblématique du Turonien moyen), *Marginotruncana* spp., *Whiteinella* spp., *Dicarinella imbricata*, *Praeglobotruncana* (formes transitionnelles entre Cénomanien et Turonien)
Les foraminifères benthiques sont souvent beaucoup plus nombreux et, à partir du Turonien moyen, c'est avec eux que l'on pourra effectuer une zonation biostratigraphique jusque dans le Santonien élevé. Principales espèces : *Gyroidinoides* spp., *Gavelinella* spp. .
Pour la réalisation de la carte géologique, le B.R.G.M. s'est appuyé sur les assemblages de foraminifères benthiques conduisant à un découpage en 3 zones T/A, T/B et T/C (MONCIARDINI, 1978), assimilées au Turonien inférieur, moyen et supérieur. Cette biozonation a été plusieurs fois amendée jusqu'à aujourd'hui.

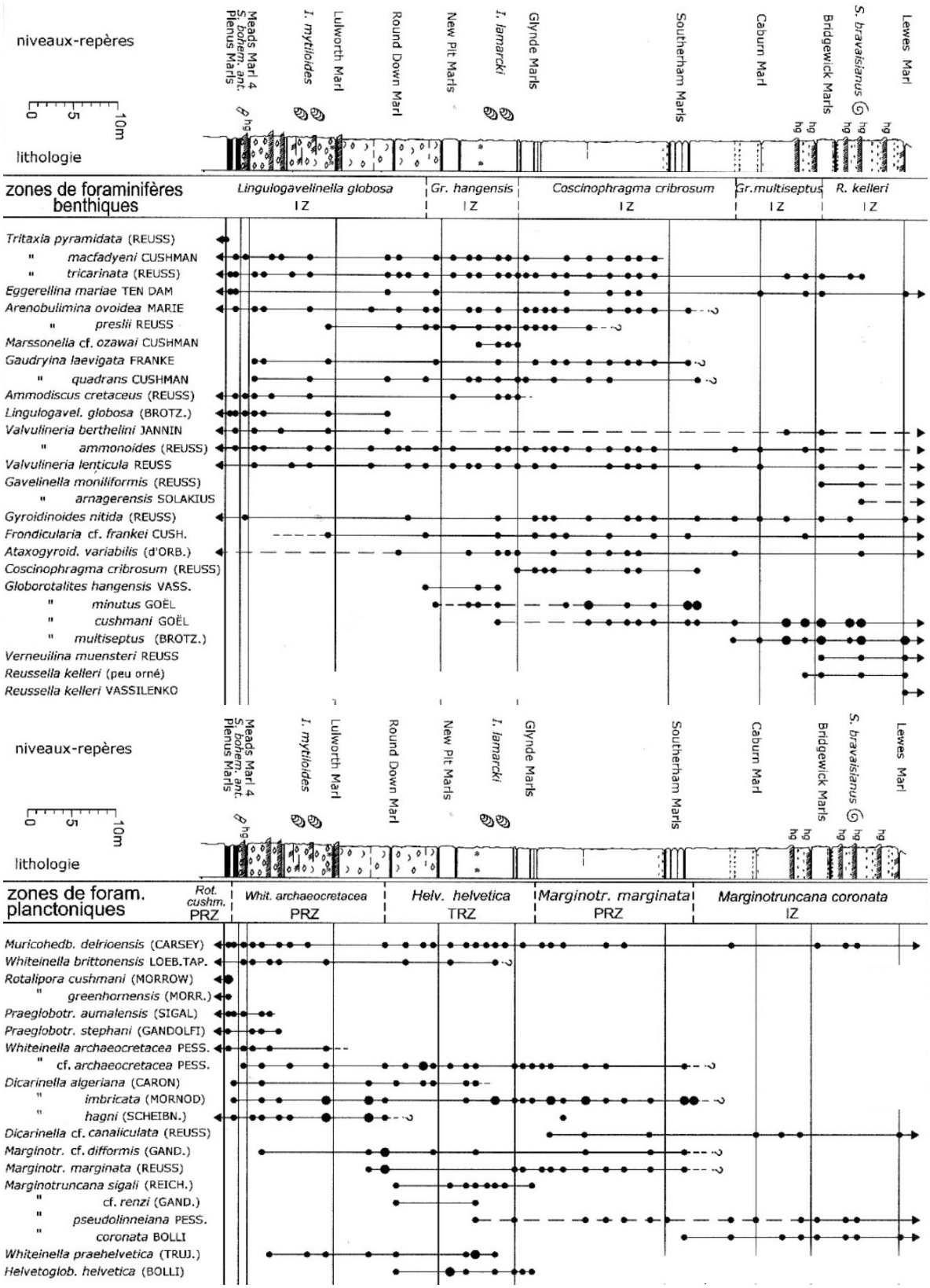


Fig. 10 - Répartition des foraminifères planctoniques et benthiques dans le Turonien du Boulonnais (ROBAZYNSKI & AMÉDRO, 2014)

Référentiel oxygène isotopique ^{18}O ou proxy thermométrique

Le fractionnement des isotopes stables de l'oxygène est largement étudié depuis plusieurs décennies. Les organismes qui composent les carbonates, donc la craie, synthétisent leur test à partir de l'eau de mer qui possède une certaine valeur de $\delta^{18}O$ à un moment donné. La composition isotopique du carbonate précipité est influencée par deux facteurs principaux :

- À même valeur du $\delta^{18}O$ de l'eau de mer, le $\delta^{18}O$ du carbonate augmente lorsque la température diminue. En d'autres termes, les organismes marins incorporent plus d'oxygène 18 (l'isotope lourd) dans leurs tests lorsque l'eau est froide.
- Le $\delta^{18}O$ de l'eau de mer varie au cours des temps géologiques. Le $\delta^{18}O$ actuel de l'eau de mer est, par définition, égal à 0°/°° (pour mille).
  Les calottes glaciaires séquestrent plus de ^{16}O (léger) que de ^{18}O (lourd), leur $\delta^{18}O$ est donc appauvri. Plus une calotte glaciaire est étendue (pendant les périodes glaciaires), plus elle séquestre d'oxygène 16, ce qui entraîne une augmentation de la proportion d'oxygène 18 dans l'eau de mer et, par conséquent, une augmentation du $\delta^{18}O$ de l'eau de mer. En période de réchauffement, on verra donc diminuer le $\delta^{18}O$ de l'eau de mer.
  En résumé, en considérant uniquement l'influence de la composition isotopique de l'eau de mer :
    - Augmentation de la température de l'eau de mer → Diminution du $\delta^{18}O$ de l'eau de mer.
    - Diminution de la température de l'eau de mer → Augmentation du $\delta^{18}O$ de l'eau de mer.

A l'instar de TEX_{86}, le $\delta^{18}O$ peut donc être qualifié de paléothermomètre (proxy), ce qui explique que les deux courbes soient souvent juxtaposées.
Des analyses de craies anglaises (Eastbourne, Kent) ont été réalisées (JENKYNS *et al*., 1994; JENKYNS *et al*., 2004), permettant de comparer l'évolution des températures avec les variations du $\delta^{18}O$. Ces études mettent en évidence une augmentation des températures durant le Cénomanien, atteignant un pic lors de l'événement anoxique océanique 2 (OAE2), suivie d'une diminution progressive durant le Turonien. Un maximum thermique (LTTM) semble avoir été atteint au Turonien inférieur, entre les événements isotopiques Holywell et Lulworth (KŘÍZOVA *et al.*, 2024), ce qui correspond à la base de la zone à *M. nodosoides*.
Toujours selon KŘÍZOVA *et al.* (2024), une courte phase de refroidissement se serait produite à la transition entre le Turonien inférieur et le Turonien moyen, approximativement autour de l'événement Lulworth. Cette phase aurait été suivie d'un réchauffement couvrant la base de la superzone à *C. woollgari.* En bordure du Massif armoricain, dans les tuffeaux, AMÉDRO *et al.* (2023) considèrent que le « liron » du tuffeau de Saumur, situé à la limite des zones à *K. turoniense* et *R. kallesi*, représente une surface d'inondation maximale majeure. Ce haut niveau eustatique serait associé à des températures élevées. L'intervalle comprenant le Turonien inférieur et la base du Turonien moyen est donc considéré comme une période chaude. Le Turonien supérieur marque le début d'une phase de refroidissement, accompagnée d'une baisse du niveau marin (JARVIS *et al*., 2015).

Ainsi, VOIGT & WIESE (2000) et WIESE & VOIGT (2002) distinguent trois phases de refroidissement :

- Une phase 1, à la transition Turonien moyen-supérieur dans la zone à *R. deverianum*.
- Une phase 2, entre la marne Southerham et la marne Caburn.
- Une phase 3, associée au hardground Hitch Wood, marquant le niveau d'abaissement majeur du niveau marin au cours du Turonien.

JARVIS *et al.* (2015) identifient deux périodes d'afflux de faunes d'eau froide :

- Une première, correspondant à l'événement Pewsey (partie supérieure du Turonien moyen ou partie supérieure de la zone à *C. woollgari*).
- Une seconde, correspondant à l'événement Hitch Wood et à sa suite (Turonien supérieur).

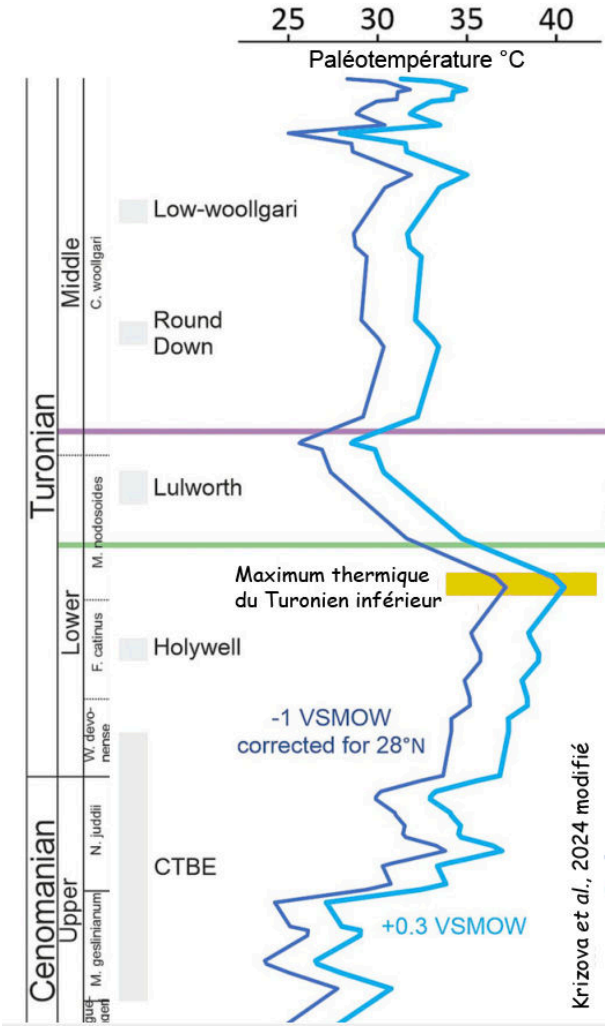


Fig. 11 - Maximum thermique SST du Turonien inférieur d'après KRIZOVA et al. (2024)

Référentiel carbone isotopique ^{13}C

La chimiostratigraphie basée sur l'analyse de l'isotope stable du carbone ($\delta^{13}C$) est un outil de corrélation globale largement utilisé dans les séries crétacées (JARVIS *et al*., 2006). Sa précision, de l'ordre de 10^4 années, la place au-dessus de la biostratigraphie conventionnelle en termes de résolution temporelle. Les courbes de variation du $\delta^{13}C$ font apparaître des *maxima* (excursions positives ou “lourdes”) et des *minima* (excursions négatives ou “légères”) qui servent à comparer et à corréler des coupes géographiquement distantes.
La mesure du $\delta^{13}C$ peut être effectuée soit sur la fraction organique ($\delta^{13}C_{org}$), soit sur la fraction carbonatée ($\delta^{13}C_{carb}$) des sédiments. L'interprétation généralement admise de l'augmentation du $\delta^{13}C$ est liée à l'enfouissement et à la préservation d'une plus grande quantité de carbone organique (enrichi en ^{12}C) dans les fonds océaniques. Ce phénomène peut également être interprété comme une diminution de l'oxydation de la matière organique par rapport à l'altération des roches carbonatées
Au-delà de la simple corrélation, le ^{13}C est porteur d’informations environnementales. Ainsi, on associe parfois les variations positives du $\delta^{13}C$ aux élévations de premier ordre du niveau marin (JARVIS *et al*., 2008). Le $\Delta^{13}C$ ($\delta^{13}C_{carb} – \delta^{13}C_{org}$) est aussi considéré comme un *proxy* (paramètre alternatif) de la pCO_2 atmosphérique et de la température de surface des mers (SST).

Le Turonien est compris entre deux événements isotopiques du carbone (CIE) :
- à sa base, les marnes Meads marquent la fin du remarquable événement *positif* de l’OAE2 (le pic majeur qui termine l’événement anoxique se situe à 0,5 m au-dessus de la limite inférieure d’étage);
- à son sommet, les hardgrounds (HGs) Navigation correspondent à un *minimum*, terminant une chute nette du $\delta^{13}C$.
Au sein du Turonien, plusieurs événements isotopiques du carbone (CIE) sont identifiés :

- une décroissance générale au cours du Turonien inférieur (jusqu’à l'événement Lulworth) ponctuée par un pic (événement Holywell),
- une remontée jusqu’à un double pic (événements Round Down et low-*woolgari*),
- une décroissance jusqu’à l’événement Glynde,
- une remontée nette jusqu’au pic de l’événement Pewsey,
- une décroissance nette, puis une stabilisation qui traverse les événements Southerham, Caburn et Bridgewick,
- une remontée qui culmine à l’événement Hitchwood/*Hyphantoceras*,
- une lente décroissance jusqu’à l’événement Navigation.

Ces événements isotopiques turoniens (JARVIS *et al*., 2006) sont corrélés avec des niveaux lithologiques et des événements biologiques spécifiques :

- **Événement lourd Holywell :** Marnes Holywell. Première apparition de *Mytiloides puebloensis*.
- **Événement léger Lulworth :** Marne Lulworth. Deuxième couche à abondants *Roveacrinus*. Première apparition de *Mytiloides subhercynicus*.
- **Événement lourd Round Down :** Au-dessous de la marne Round Down. Avant l'apparition d'*Inoceramus cuvieri*.
- **Événement lourd low-woollgari :** Au-dessus de la marne Round Down. Après l'apparition d'*Inoceramus cuvieri*.
- **Événement léger Glynde :** Juste au-dessus de la marne Glynde 1.
- **Événement lourd Pewsey :** Entre les marnes Glynde et la bentonite Southerham.
- **Événement lourd Southerham inférieur :** Au-dessous de la bentonite Southerham. Avant l'apparition d'*Inoceramus securiformis*.
- **Événement lourd Southerham supérieur :** Au-dessus de la bentonite Southerham. Après l'apparition d'*Inoceramus securiformis* et de *Subprionocyclus bravaisianus (neptuni)*.
- **Événement lourd Caburn :** Au-dessous de la marne Caburn (TD1).
- **Événement léger Bridgewick :** Entre les bentonites Caburn (TD1) et Bridgewick (TE).
- **Événement lourd Hitch Wood :** Associé au hardground Hitch Wood du Chalkrock. Entre les bentonites Bridgewick et Lewes. Correspond également à l'événement biologique *Hyphantoceras* ou au LTCE (Late Turonian Coniacian Event). Bien que d'intensité moindre, cet événement isotopique est parfois comparé à l'OAE2 et ses causes climatiques sont débattues.
- **Second pic lourd HW2 :** Juste au-dessus de la marne à *Micraster* d'Allemagne et de la F.O. de *Mytiloides scupini*.
- **Événement léger Navigation :** Au sommet des hardgrounds Navigation. Avant l'apparition de *Cremnoceramus deformis erectus*.

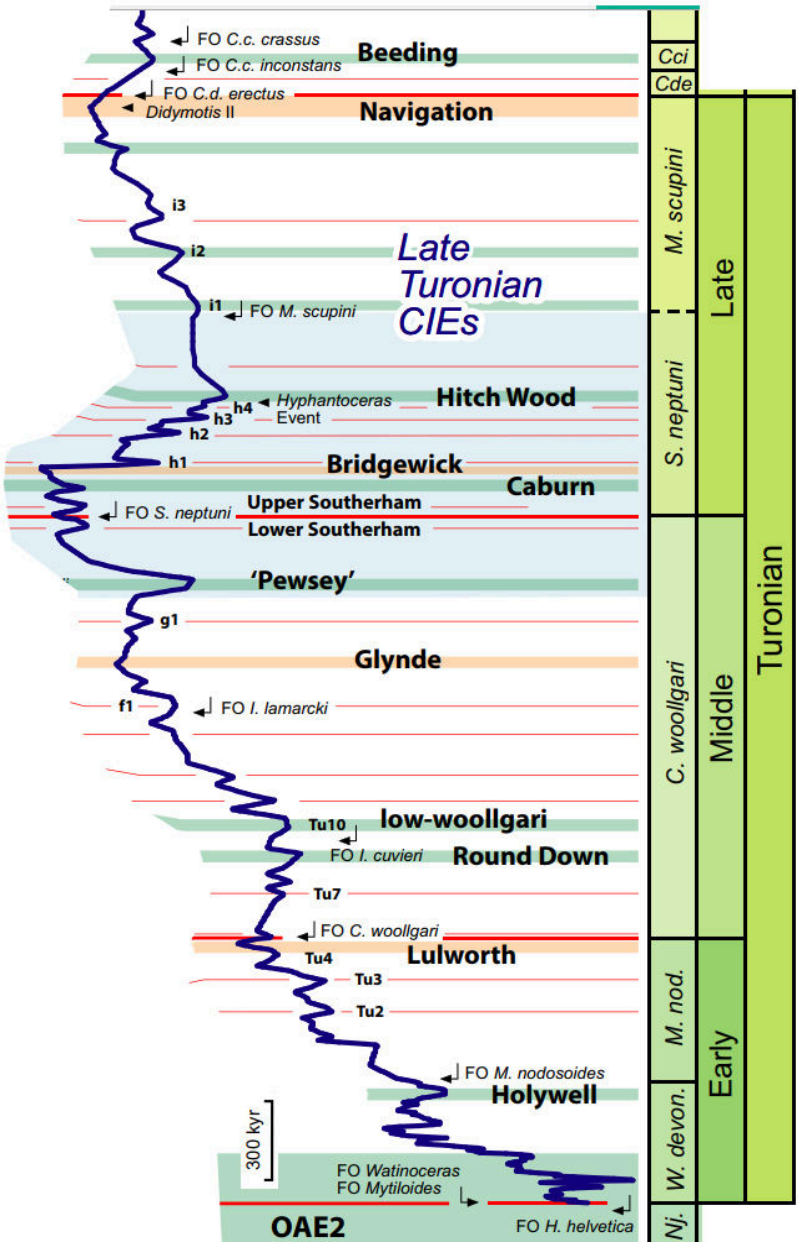


Fig. 12 - Variation de $\delta^{13}C$ - Référence de la craie anglaise (JARVIS et al.*, 2015)*

Référentiels isotopiques divers

L'hélium 3 (^{3}He)

L'hélium 3 est un isotope rare sur Terre. Un enrichissement significatif en ^{3}He dans les sédiments pélagiques indique un apport important de matériel extraterrestre. En effet, le ^{3}He est abondant dans les poussières interplanétaires. Au cours du Turonien, un apport notable de ^{3}He, probablement d'origine cosmique lunaire, a été enregistré. Cet événement, connu sous le nom d'« événement K3 », concerne le Turonien moyen (FARLEY *et al.*, 2012).

L'osmium isotopique (^{187}Os/^{188}Os)

Les valeurs du rapport isotopique ^{187}Os/^{188}Os de l'eau de mer ancienne sont enregistrées dans les roches sédimentaires. Ce rapport est un bon indicateur (proxy) pour évaluer l'influence des apports provenant du manteau terrestre et des apports extraterrestres. Pendant le Turonien, ce rapport est faible, après une forte diminution observée lors de l'événement anoxique océanique 2 (OAE2) (MATSUMOTO *et al*., 2023).

Le δ^7Li

Le lithium présente deux isotopes stables ^{6}Li et ^{7}Li. Le δ^7Li quantifie l'abondance relative de ces isotopes. Dans les carbonates, la valeur de cet indice reflète le degré d'altération des silicates. Les valeurs "légères" indiquent un haut degré d'altération. Cette altération soustrait du CO_2 atmosphérique. Cette action a été modélisée par POGGE von STRANDMANN *et al.* (2013). Elle montre que le réchauffement global au cours de l'OAE2, consécutif au largage massif de CO_2 par les Grandes Provinces Ignées (Caraïbes, Madagascar, Ontong Java Kerguelen), s'est accompagné de l'accélération de l'altération des roches magmatiques. Ce processus a contribué à la sortie progressive de l'état d'effet de serre.

Le strontium isotopique (^{87}Sr/^{86}Sr)

Le rapport de ces deux isotopes stables minoritaires du strontium a été étudié pour tout le Crétacé nord-américain (MCARTHUR & HOWARTH (2025). Un minimum caractéristique est observé au Turonien supérieur dans la zone d'ammonite à *S. whitfieldi* (équivalent de la zone européenne à *Subprionocyclus neptuni*). Une explication proposée est une rupture de la stratification des eaux marines par la libération de grandes quantités de strontium hydrothermal et un apport accru de matériel d'origine mantellique dans l'océan.

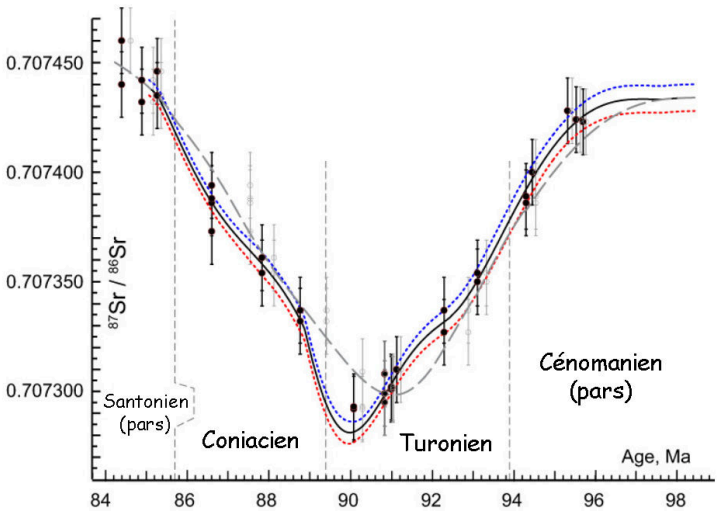


Fig. 13 - Evolution du strontium isotopique (MCARTHUR & HOWARTH, 2025)

Référentiel événementiel

La stratigraphie événementielle repose sur l'identification d'horizons stratigraphiques spécifiques qui, par leur lithologie ou leur contenu paléontologique, servent de niveaux repères. Ces niveaux comprennent :

- Des hardgrounds (code couleur photo : jaune).
- Des niveaux de silex (code couleur photo : rouge).
- Des niveaux de marnes (code couleur photo : bleu).
- Des événements bio-écologiques (code couleur : vert).

Voici, de haut en bas et dans la littérature anglaise, les principaux événements retenus et leurs équivalents :

Marne Shoreham 2 = M. East Cliff 2 de Robinson
Silex Shoreham
HG Light Point (double)
HG Beeding
Marne Beeding
HG Hope Gap
HG Cliffe = HG Parlour de Robinson
Silex Cliffe
Marnes Navigation = Ness Point marls = **limite Turonien / Coniacien**
HGs Navigation = HGs South Foreland
Zoophycos Cuilfail
Craie Noduleuse Lewes (CNL)
Silex White Nothe
Silex tubiformes supérieurs Lewes
Marne Lewes = M. Cobbler (Robinson)
Silex tubiformes inférieurs Lewes
Silex Breaky Bottom
HG Hitch Wood = HGs Lighthouse Down de Robinson
Marne Bridgewick 2
Silex Bopeep 1
Marne Bridgewick 1 = M. Fan Bay 1 de Robinson
HG Bantam Hole
Marne Caburn = Marne Crab Bay de Robinson
Banc à Eponges Caburn = HG Blounts Farm
Marne Southerham 1 = M. Fognam = M. Langdon Bay 1 de Robinson = 4 foot band de Rowe
Silex Southerham
HG Fognam Farm
Silex Lydden Spout de Robinson
Marnes Glynde 6 à Glynde 1 = Marnes Maxton de Robinson
HG Pewsey et HG Ogbourne
Niveau à *Conulus* de Robinson
Marne New Pit 2 = Marne Warren 2 de Robinson
Marne New Pit 1 = marne Warren 1 de Robinson

HGs Glyndebourne 2 et 3
Marne Malling Street 2
Marne Round Down = Marne Malling Street 1
HG Glyndebourne 1
Marne Lulworth = Marne Gun Gardens principale
Couche à *Filograna avita*
Marnes Gun Gardens 4 à 1
Marnes Holywell 4 à 1
Marnes Meads 6 et 5
Marne Meads 4 = **limite Cénomanien / Turonien**

Cette terminologie est respectée et employée dans les descriptions suivantes. L'attribution à l'un de ces niveaux-repères présente néanmoins un certain degré d'incertitude dont il faut avoir conscience. D'autre part, certains niveaux stratigraphiques, rencontrés lors de levés de coupes, ont paru suffisamment remarquables pour leur affecter des noms locaux nouveaux, moins "officiels", mais utiles pour la compréhension générale.

Origine et signification des repères événementiels marneux

Les niveaux marneux présents dans les craies turoniennes du bassin anglo-parisien ont suscité l'intérêt de nombreux stratigraphes, qui ont rapidement compris leur utilité en tant que niveaux repères. L'originalité de certaines de ces marnes a conduit à l'attribution de noms locaux, facilitant ainsi les corrélations à distance entre différentes coupes stratigraphiques. Cette pratique, largement adoptée par les géologues britanniques, a été transposée en France et en Allemagne. Les noms de référence retenus proviennent de localités du Sussex ou, plus largement, de la province de craie méridionale en Angleterre. À quelques exceptions près, nous adoptons les appellations utilisées par MORTIMORE et POMEROL (1987) dans le cadre de leur étude comparative transmanche. Parallèlement, des études ont été menées sur la minéralogie, la géochimie et l'origine de la fraction silicatée de ces marnes (JEANS, 1968, 2006; WRAY,1990, 1999; WRAY & GALE, 1993; WRAY *et al.*,1996; WRAY & WOOD, 1998; WRAY & JEANS, 2014; DECONINCK & CHAMLEY, 1995; DECONINCK *et al.*, 2005; VANDER-AVEROET *et al.*, 2000).
La fraction argileuse minoritaire de la craie turonienne est composée de smectites, d'illite et de kaolinite, en proportions variables. La prédominance des smectites indique un climat chaud et humide, associé à un niveau eustatique élevé. Au cours du Turonien supérieur et jusqu'au Turonien terminal, une augmentation de la proportion relative d'illite et de kaolinite est observée (DECONINCK *et al.*, 2005). Ce changement suggère une réjuvénation des massifs émergés (massif Londres-Brabant, îles médio-européennes et sudètes) due à l'activité tectonique ou à une baisse du niveau eustatique.
Outre cette composition générale, les smectites riches en magnésium peuvent se concentrer dans des niveaux spécifiques, atteignant jusqu'à 50 % de la roche. Dans ce cas, ces niveaux sont qualifiés de bentonites. Les bentonites peuvent résulter de l'altération de silicates continentaux (bentonites détritiques) ou de cendres volcaniques projetées dans l'atmosphère lors d'éruptions violentes (bentonites cinéritiques). Les bentonites cinéritiques peuvent contenir des esquilles de verre ou des cristaux automorphes de sanidine, de quartz ou de zircon. Le profil des terres rares, normalisé par rapport aux Cody Shales, est un outil utilisé pour distinguer l'origine détritique ou volcanique des bentonites, notamment grâce à l'anomalie négative en europium caractéristique des cinérites. Le zirconium (Zr), le niobium

(Nb) et le thorium (Th) sont des éléments traces présents en plus forte concentration, tandis que le baryum (Ba), le rubidium (Rb) et le potassium (K) sont moins abondants. La continuité horizontale des niveaux bentonitiques est remarquable, ces niveaux étant présents en Angleterre, en France et en Allemagne. Leur chimie est compatible avec des cendres rhyodacitiques à pantelléritiques issues du rift nord-atlantique. Cette origine est probablement différente de celles du Western Interior Seaway provenant d'arc cordillérains.
Voici la correspondance de cinq niveaux bentonitiques reconnus du Turonien moyen et supérieur :

Angleterre S - Boulonnais - Normandie	Angleterre Est	Allemagne
Lewes	Ulceby	TF
Bridgewick 1	North Ormsby	TE
Caburn	Deepdale	TD1
Southerham 1 / Fognam	Melton Ross	TC2
Glynde 1	Barton 1	TC

Fig. 14 - Correspondance entre niveaux de bentonite

Origine et signification des repères événementiels siliceux primaires

Les silex et les cherts sont des accidents siliceux primaires très fréquents dans la craie. Ils soulignent généralement la stratification, bien que certains puissent être obliques ou perpendiculaires à celle-ci. Leur continuité latérale est très variable, allant de quelques dizaines de mètres à plus de 100 kilomètres.
Avant d'être fixé dans les silex, l'élément silicium (Si) a subi un long voyage. Le silicium contenu dans l'eau de mer provient originellement de l'altération des minéraux silicatés constituant la croûte continentale et il est amené par les cours d'eau ou par les vents (poussières). Il peut également provenir des volcans océaniques (silice lithogénique ou abiotique) ou de phytolithes (silice biogénique continentale). En raison du climat au Crétacé, sur les continents se développent des sols rouges latéritiques qui retiennent l'aluminium (Gibbsite, Boehmite) et le Fer (Goethite) et libèrent le silicium. La concentration de l'eau de mer en silice dissoute devait donc être nettement supérieure à celle d'aujourd'hui, de l'ordre de 40 ppm.

Dans des conditions normales de pH, le silicium est dissout (**DSi** ou Dissolved Silicon) dans l'eau de mer sous forme d'*acide orthosilicique* $Si(OH)_4$ (encore écrit H_4SiO_4) ou forme **monomère**.
Le silicium primaire est consommé par certains organismes animaux ou végétaux pour la fabrication d'un test qui les supporte ou qui les protège (silice biogénique océanique ou **BSi**). Il peut s'agir :

° de plancton siliceux (diatomées avec un frustule, radiolaires, ébriédiens, silicoflagellés avec un endosquelette). Ce plancton siliceux enregistre des périodes de bloom sous le forçage d'upwellings (remontées d'eau froide) saisonniers et les granules d'opale qu'il produit sont rejetés dans la colonne d'eau.
° de métazoaires benthiques comme les spongiaires hexactinellidés et lithistidés avec un squelette formé d'un feutrage de spicules siliceux (les lithistidés étaient prédominants à cette époque sur les hexactinellidés). Il semble que la croissance des spongiaires ait été stimulée par l'abondance des radiolaires.

La silice bioprécipitée, sous forme d'**opale-A** ($SiO_2 \cdot nH_2O$), est instable. Il s'agit d'une phase temporaire, car dans la grande majorité des cas, elle se redissout sous forme de monomères $Si(OH)_4$, enrichissant ainsi la boue crayeuse en silice ou se rétrodiffusant dans l'eau de mer.

La boue crayeuse fraîchement déposée était probablement riche en matière organique. En subsurface, les bactéries aérobies dégradent cette matière organique, appauvrissant le sédiment en oxygène. Privées d'oxygène, ces bactéries deviennent moins abondantes en profondeur. À l'inverse, les bactéries sulfato-réductrices (BSR) prolifèrent en profondeur. Ces BSR oxydent la matière organique en utilisant les sulfates (SO_4^{2-}) comme agent oxydant. Cette réaction produit des sulfures dissous, notamment de l'hydrogène sulfuré (H_2S). En présence de phases réactives du fer (oxyhydroxydes de Fe), des sulfures de fer (principalement de la pyrite) se forment. Cependant, en raison de la faible teneur en fer de la boue crayeuse (peu ou pas de minéraux argileux), l'H_2S ne peut pas réagir avec cet élément pour former de la pyrite.
Dans la boue superficielle, on distingue donc :
° une zone oxique ou suboxique, où l'oxygène est présent et où la matière organique est dégradée par voie oxydante.
° une zone anoxique, où l'oxygène est épuisé et dans laquelle la dégradation de la matière organique se fait par d'autres voies (réduction des nitrates, des oxydes de manganèse, des oxydes de fer, puis des sulfates).
Entre ces deux zones se place une zone de transition, le **front redox** (d'oxydo-réduction). Elle est généralement horizontale dans les sédiments. C'est à ce front que le gradient de variation du potentiel Eh est le plus fort. Le front n'est pas statique, il migre verticalement au fur et à mesure que le sédiment s'enfouit et que la matière organique est consommée. Sa profondeur est d'environ 30 cm dans les sédiments actuels et elle n'excède pas un mètre.
Si la sédimentation et l'environnement physique restent constants, la profondeur du front reste stable et le déclenchement de réactions chimiques est peu favorisé. Par contre, des changements peuvent amener le front à osciller, vers le haut ou vers le bas, par rapport à sa position d'équilibre.
Par exemple, si des upwellings favorisent la prolifération du plancton et un apport de matière organique facilement dégradable, alors la demande en oxygène dans le sédiment augmente et le front redox remonte. Au contraire, si la sédimentation planctonique diminue ou si les eaux de surface sont plus oxygénées, alors le front redox s'abaisse.

Ce deuxième cas va favoriser le déclenchement de réactions chimiques.
Ainsi, le gaz H_2S se dissocie, s'oxyde en sulfate et produit des protons (diminution du pH), selon la réaction :

$$H_2S + 2O_2 \rightarrow SO_4^{2-} + 2\ H^+$$

La calcite réagit et tend à disparaître ce qui entraîne une forte concentration en ions carbonate.

$$H^+ + CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$$

Dans ces conditions, si la concentration en silice atteint un certain seuil, la calcite est remplacée par la silice. Les discontinuités présentes dans la boue crayeuse (restes organiques, terriers tapissés de mucus, fissures ou fractures, zones à faible porosité) servent souvent de sites de nucléation, où la silice commence à cristalliser et à pseudomorphoser les structures existantes. En particulier, les animaux fouisseurs pompent l'eau de mer et irriguent le sédiment, favorisant ainsi la diffusion de l'oxygène et la dégradation de la matière organique.
La silice secondaire formée est une variété d'opale appelée **opale C-T**, qui se présente sous forme de petits cristaux lamellaires ou de microsphérules. Dans les craies argileuses, ce processus est généralement bloqué. Au cours de l'enfouissement sur plusieurs dizaines de mètres, l'opale C-T, étant métastable, évolue vers du quartz alpha en passant d'un état microcristallin à un état fibreux, comme la calcédonite ou la moganite. L'agrégation progressive des fibres se produit préférentiellement à partir des discontinuités présentes dans la craie (galeries de fouisseurs, tests d'organismes), par des dilatations successives. La forme finale du silex peut être considérée comme une dilatation à partir d'un squelette (au sens de la morphologie mathématique). La formation des silex, telle qu'elle est décrite ici, suit globalement la théorie de CLAYTON (1984, 1986).

Cependant, d'autres modèles sont avancés, en particulier celui de LINDGREEN & JAKOBSEN (2012) dans lequel les silex résulteraient de la sédimentation directe sur le fond sous-marin de nano-particules de quartz-α produites par le plancton siliceux. Au cours de certaines périodes, la concentration de l'eau de mer en CO_2 serait élevée, notamment lors d'un volcanisme intense. La décroissance du pH entraînerait la dissolution des coccolithes et ne subsisteraient que les agrégats de particules de nano-quartz-α.

Les silex offrent un intérêt stratigraphique de différente manière :

- **Par leur abondance dans certains intervalles stratigraphiques**

MORTIMORE et WOOD (1986) mentionnent par exemple les « silex Brandon », qui correspondent aux Bridgewick Flints. L'apport d'eaux météoriques dans les zones proches des continents pourrait faciliter leur diagenèse.

- **Par leur forme**

Différents adjectifs peuvent leur être appliqués : nodulaire, tabulaire, tubiforme, digitée, cornue, etc. Comme nous l'avons vu, cette forme se moule souvent sur des discontinuités organiques (galeries, balayages, tests) caractéristiques de certains niveaux. Parmi les curiosités ichnologiques silicifiées, citons les *Chondrites* associés aux hardgrounds Tilleul ou les *Zoophycos* Cuilfail sous le hardground Navigation. Les *Thalassinoides suevicus* sont également une autre ichnoforme très courante. Elle résulterait du creusement de galeries par un crustacé décapode, voisin de la Callianasse blanche actuelle (*Gilvossius tyrrhenus*).

- **Par leur développement vertical**

Les silex à développement vertical, de type paramoudra, sont présents dans tous les étages de la craie. Dans le Turonien, les plus beaux exemples sont liés au silex Breaky Bottom, sous la marne Lewes.

- **Par leur distribution verticale**

Les craies turono-coniaciennes entre Étretat et Fécamp sont les plus fortement marquées par les bandes de silex. Ces silex offrent une périodicité remarquable d'ordre métrique avec une modulation d'ordre supérieur. L'explication la plus probable est une régulation climatique, soumise aux cycles de MILANKOVITCH. Les anomalies dans ce métronome sédimentaire sont repérables comme des événements.

- **Par leurs modalités de croissance**

Épaisseur du cortex, coloration rose, anneaux de Liesegang, vide interne, caries, etc..

- **Par leur constance latérale**

Certains silex tabulaires ont une continuité régionale qui se vérifie *a posteriori*. Le silex Seven Sisters coniacien en est un exemple. Des phénomènes physiques ou chimiques exceptionnels, à caractère global, doivent contribuer à leur formation (volcanisme, changements dans les apports d'eau sous-marine, ouverture océanique, etc..).

Silex secondaires : les sheet-flints

Les sheet-flints ou silex-en-lame sont des silex continus d'une épaisseur d'ordre centimétrique.
Comme nous l'avons vu, la circulation de la silice dissoute est facilitée par des discontinuités telles que les bioturbations. Mais elle l'est aussi le long de fractures ou de joints engendrés par des contraintes mécaniques, lorsque la craie est suffisamment compacte. Ces contraintes peuvent être permanentes ou temporaires, c'est-à-dire déclenchées par un ébranlement sismique.
La précipitation de la silice le long de ces surfaces produit des silex particuliers appelés sheet-flints. En raison de leur teinte noire sur le fond blanc de la craie, ils servent de révélateurs et d'amplificateurs de structures tectoniques. Une attention particulière est portée aux sheet-flints sub-horizontaux. Statistiquement, ils se localisent dans certains horizons stratigraphiques. Outre le contexte lithologique favorable dans lequel ils s'inscrivent, ces sheet-flints expriment des structures provoqués par des ondes sismiques de surface. Ce type d'onde véhicule l'énergie destructrice la plus importante, se manifestant notamment sur les structures anthropiques..
Les ondes de LOVE sont les plus rapides et occasionnent les mouvements les plus intenses. Le mouvement des particules de boue est elliptique avec une composante transverse majeure. Les ondes de LOVE n'existent que s'il y a stratification avec une couche superficielle à Vs plus faible que le substratum. Elles entraînent des cisaillements perpendiculaires à l'axe de propagation.
Les ondes de RAYLEIGH provoquent un mouvement de roulis rétrograde, comparable à la houle. Vers le haut, une composante verticale tend à soulever alternativement la boue superficielle. Vers le bas, cette composante s'atténue et la composante horizontale de mouvement alternatif prédomine, favorisant le cisaillement parallèlement à l'axe de propagation de l'onde.
La discontinuité originelle est donc une surface de cisaillement générée à l'arrière du front d'onde par des mouvements alternatifs d'une fréquence de quelques Hz. De telles structures ont des affinités géométriques avec les joints de claquage obtenus par fracturation hydraulique ou les sills et dykes sédimentaires. Après la dissipation de l'ébranlement sismique, il subsiste une lamine d'épaisseur millimétrique, plus ou moins infiltrée d'argile et comportant des lentilles de boue intactes. Son évolution peut s'arrêter ainsi ou elle peut subir une silicification la transformant en sheet-flint.
Les sheet-flints soulignent donc des structures de relaxation dans un sédiment relativement superficiel mais ayant déjà acquis une certaine consolidation diagénétique. Ils suivent grosso modo la stratification, en se relayant de manière étagée. Entre deux horizons proches de sheet-flints se développe parfois un réseau de fentes de tension (sheet-flints obliques) dont l'étude pourrait indiquer le sens du cisaillement. Un sheet-flint seul ne montre aucun indice de la direction du cisaillement originel.
Le sheet-flint se forme dans des niveaux stratigraphiques privilégiés, au contact entre deux couches aux caractéristiques mécaniques différentes : par exemple, entre un hardground et de la craie ordinaire. Mais, le plus souvent, un cordon de silex préexistant sert de guide et se transforme latéralement en sheet-flint en s'écrasant.
Pour se développer, le sheet-flint nécessite un environnement riche en silice et il cohabite avec les silex communs. Dans certains cas, il semble même avoir attiré à lui et phagocyté la matière de ces silex.

Les sheet-flints, par leur présence et leur abondance fortement subordonnées à certaines tranches stratigraphiques, illustrent le concept de stratigraphie de fracture de MORTIMORE (2010). Par exemple, les couches de transition entre le Turonien et le Coniacien sont assez systématiquement lardées de sheet-flints. Le rejeu brutal de failles dans le régime d'inversion tectonique, amorcé au Crétacé supérieur (phase subhercynienne, ZIEGLER, 1975) peut être à l'origine d'une salve de séismes.

Silex déplacés

Seules les craies consolidées peuvent enregistrer des cisaillements. Les boues déposées dans les premiers décimètres sous le fond marin sont faiblement compactées et la cimentation intergranulaire n'y est que partiellement réalisée. Un ou plusieurs niveaux de silex peuvent s'y être formés. Une onde sismique de surface, avec une composante marquée de déplacement vertical, a un effet thixotropique. Les liaisons intergranulaires sont rompues, la phase aqueuse plus légère a tendance à s'échapper vers le haut et les objets, comme les silex, se trouvent entraînés et dispersés, leur stratification originelle étant oblitérée. Un certain nombre de couches de craie comportent des silex dispersés sans ordre de forme ou de direction, par exemple sous la marne Lewes ou la marne Bridgewick. Ces silex sont souvent creux ou cariés. L'hypothèse mécanique ici proposée pourrait être une alternative à l'hypothèse statique et biologique souvent soutenue.

Origine et signification des repères événementiels indurés

Les séries crayeuses présentent, à certains niveaux, une induration inhabituelle. Ce phénomène, plus ou moins intense, résulte d'une diagenèse précoce de la boue ordinaire, consécutive à un arrêt de la sédimentation. Plusieurs stades d'évolution ont été constatés (KENNEDY & GARRISON, 1975, BROMLEY, 1967). Ils débutent par la formation de nodules créés par la recristallisation des particules de craie autour de noyaux, sous forme de calcite hautement magnésienne. Les organismes fouisseurs (*Thalassinoides*) s'adaptent à la géométrie de la craie noduleuse en y creusant un réseau de terriers. Les galeries se remplissent de boue et leurs parois s'imprègnent de divers composés chimiques: hydroxydes de fer (rouges ou orangés), silice, glauconite (verte), phosphates (bruns). Le fond devenant plus dur, il est colonisé par des faunes perforantes ou encroûtantes (*Trypanites* et *Gastrochaenolites*). A chaque étape, le fond peut être soumis à une érosion chimique ou mécanique susceptible de faire disparaître une partie de la mémoire stratigraphique. L'intensité de l'induration se traduit par la progression des termes suivants : craie noduleuse, ébauche de hardground, firmground et hardground. Des subdivisions encore plus détaillées ont été proposées (LASSEUR, 2007). Deux causes essentielles peuvent être à l'origine des hardgrounds : l'hydrodynamisme et l'eustatisme.

Les **courants sous-marins** qui balayent horizontalement le fond empêchent tout dépôt et peuvent même éroder des couches de craie déjà déposées. Ces courants peuvent être alternatifs, comme les courants de marée, ou continus, comme les courants de contour géostrophiques. Les uns ou les autres engendrent des rides ou des dunes hydrauliques (ESMERODE & SURLIK, 2009). La parenté évidente entre les hardgrounds et les ondulations de type "monticules et cuvettes" dans le Turono - Coniacien d'Étretat est un exemple en faveur de cette hypothèse.

Une variation rapide du niveau marin moyen, ou **eustatisme**, peut entraîner l'apparition de hardgrounds, que ce soit lors d'une montée ou d'une baisse du niveau marin. Ce cas s'applique plutôt aux hardgrounds extensifs à surface horizontale, comme le hardground Rouen 1 du Cénomanien.
Lors d'une **transgression rapide** sur le continent (MFS), des ions bicarbonate et du CO_2 sont relargués dans la mer. Cela entraîne une sous-saturation en $CaCO_3$ et l'arrêt de sa précipitation. Dans ces conditions, l'usine à carbonate s'arrête. Les hardgrounds Antifer peuvent s'expliquer ainsi.
Lors d'une **régression rapide**, l'épaisseur de la colonne d'eau diminue, ce qui entraîne une accélération des courants, une réduction des zones de production de carbonate et une diminution des dépôts.
Les hardgrounds sont des repères nets au sein des craies homogènes d'où leur intérêt en stratigraphie événementielle. Ils présentent cependant des limitations. Leur continuité latérale n'est pas toujours assurée; ils peuvent s'estomper ou disparaître sur une centaine de mètres ou être constants sur une centaine de kilomètres. Leur datation est parfois problématique, car la dynamique du milieu n'est pas favorable à la fossilisation, sauf lorsque les tests sont préservés par un encroûtement minéral. Leur durée est variable. Ainsi, la condensation sédimentaire peut s'étendre sur plusieurs zones d'ammonites, et même l'érosion peut aggraver le hiatus. Leur désignation et leur corrélation, sans arguments complémentaires, sont source de débats contradictoires (WOODS *et al.*, 2023; GALE, 2023).
Les niveaux indurés sont donc à la fois de "bons amis" et de "mauvais amis". Bons amis car ils sont des repères évidents sur le terrain. Mauvais amis car leur signification temporelle est souvent problématique. Deux actions, éventuellement combinées, peuvent entrer en jeu:

- l'ablation de sédiments antérieurs par érosion du fond sous-marin. Le temps enregistré est escamoté.
- la condensation ou le non-dépôt de sédiments contemporains. Le temps est rétréci.

Les niveaux indurés ont un rapport avec les événements anoxiques océaniques (OAEs). Ces derniers sont caractérisés par des événements isotopiques lourds du $\delta^{13}C$. Ils sont liés à une forte élévation de la concentration en CO_2 de l'atmosphère et à une élévation simultanée de l'acidification océanique. Dans ces conditions, les ions carbonate dissous dans l'eau de mer subissent une réduction. Les organismes marins, et les Coccolithophores en particulier, rencontrent alors plus de difficulté à fabriquer leur exosquelette. La "fabrique à carbonates" se met au ralenti. Sur le fond marin, une dissolution des sédiments carbonatés peut également se produire. Dans la mer de la craie, les épisodes OAE correspondent donc généralement à une condensation sédimentaire et à des hardgrounds.

Référentiel séquentiel

L'étude sédimentologique et paléontologique d'une roche sédimentaire permet de distinguer différents faciès. La stratigraphie séquentielle étudie l'enchaînement vertical (temporel) et latéral (spatial) de ces faciès. Leur évolution s'organise en unités répétitives ou séquences de dépôt. Selon la durée d'une séquence de dépôt, différents ordres sont retenus (1 à 5). Dans notre cas, il s'agit de séquences de troisième ordre dont la durée est comprise entre 1 et 10 Ma.
En Allemagne, WILMSEN *et al*. (2019) distinguent :
séquence Tu1 : SB Tu1 (marne Lulworth),
séquence Tu2 : SB Tu2,
séquence Tu3 : SB Tu3 (bentonite Southerham)
séquence Tu4 : SB Tu4 (marne Bridgewick 2)
séquence Tu5 : SB Tu (entre la marne Lewes et le HG Navigation).

En Angleterre, GALE (1996) distingue :
Séquence 1 : des marnes à *plenus* à la marne Lulworth,
Séquence 2 : de la marne Lulworth au sommet du HG Ogbourne (avant la marne New Pit 1),
Séquence 3 : du sommet du HG Ogbourne au sommet du HG Pewsey (entre les marnes Glynde et Southerham),
Séquence 4 : du HG Pewsey au sommet du HG Hitch Wood,
Séquence 5 : du HG Hitch Wood au HG Navigation.

Référentiel cyclostratigraphique

La cyclostratigraphie est une méthode stratigraphique qui établit une relation entre l'étude des strates et la théorie astronomique des paléoclimats. Cette méthode s'appuie sur des observations de terrain. Ces observations peuvent relever simplement des répétitions visuellement évidentes (par exemple, des couplets craie/marne). Plus fréquemment, un paramètre issu de carottages (résistivité, niveau de gris, etc.) est analysé par traitement mathématique du signal, ce qui permet d'extraire les principales harmoniques. La périodicité des niveaux de silex, généralement d'ordre hémimétrique, particulièrement visible dans les falaises à l'Est d'Étretat ou à Scratchell's Bay (île de Wight), n'a cependant pas encore fait l'objet d'études par filtrage numérique.
Une convergence est recherchée avec l'astrochronologie (LASKAR *et al*., 2004; LASKAR, 2020). Les cycles astronomiques (ou de MILANKOVIĆ) régulent les cycles d'insolation qui, à leur tour, sont fossilisés dans les cycles sédimentaires.
Les rythmes élémentaires craie/marne, supposés précessionnels ou obliquitaux, sont très contrastés dans le Cénomanien du bassin anglo-parisien. Ils ont donné lieu à des relevés très détaillés et à des corrélations interrégionales (GALE, 1995). À partir du Turonien inférieur, un appauvrissement en contenu détritique argileux se fait sentir. La phase marneuse se traduit par des horizons laminés de type flaser, souvent indiscernables. La mise en évidence d'une rythmicité devient alors plus problématique.
C'est à une période plus longue qu'il est alors utile de s'adresser. Le cycle de 405 ka, identifié théoriquement par LASKAR, est reconnu comme le métronome le plus stable au cours des temps cénozoïque et mésozoïque. Il est dû à la différence des fréquences de précession du périhélie de Vénus et de Jupiter (g2-g5). Son amplitude est faible mais sa

période est très stable.
L'ellipticité de l'orbite terrestre est caractérisée par la variable excentricité E. De toutes ses composantes, l'excentricité longue (période de 405 ka ou fréquence 2,47 cycles/Ma) est la plus stable. Elle est à la base de solutions astronomiques La2004, La2010 et La2024 développées par l'équipe de LASKAR. Une échelle des temps astronomique (ATS Astronomical Time Scale) a été développée et elle consiste à utiliser les variations périodiques de l'excentricité longue comme horloge pour dater les séries sédimentaires. Cette échelle s'exprime par une succession de maxima et de minima.

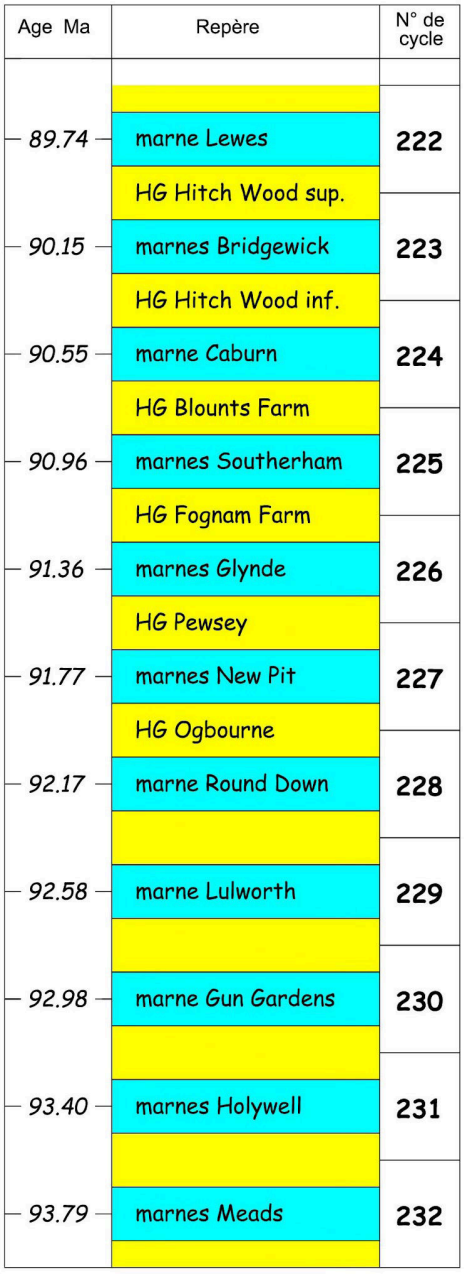


Fig. 15 - Marnes et hardgrounds repères dans un cadre cyclostratigraphique (GALE, 2019a, modifié)

Par exemple, si l'on prend E_0 comme numéro de cycle d'un niveau de référence, le cycle suivant E_1 sera d'un âge E_0 + 405 ka. Il existe des ATS flottantes non ancrées à un âge absolu et des ATS ancrées qui sont calées sur un ou des âges absolus. C'est l'état actuel (Janvier 2000) qui est généralement pris comme référence pour numéroter les cycles et pour dater les séries sédimentaires (HINNOV & HILGEN, 2012; BATENBURG *et al.*, 2016).

Une relation est invoquée entre les oscillations (minima et maxima) de l'excentricité longue et son expression lithologique dans une série sédimentaire. Le cycle de 405 ka module l'amplitude des cycles de précession (~21 ka) et des courtes excentricités (~100 ka). Il amplifie le contraste saisonnier d'insolation : les étés peuvent être plus chauds et les hivers plus froids (ou l'inverse selon la précession). Dans la position subtropicale où se trouvait la mer de la craie, les circulations atmosphériques (moussons en particulier) devaient être renforcées au cours des maxima d'excentricité longue. L'humidité accrue et les pluies intenses devaient provoquer une plus forte hydrolyse des silicates sur les continents et l'entraînement de minéraux argileux (kaolinite, smectite) dans la mer de la craie. Dans d'autres séries, des études sur l'argilosité de carottages (gamma ray, susceptibilité magnétique ..) ont montré la cyclicité de 405 ka.

Les minima d'excentricité favoriseraient les conditions semi-arides. En ce cas, la production carbonatée ne se trouve pas diluée par une fraction argileuse.

Dans ce cadre cyclostratigraphique, GALE (2019a) propose un découpage du Turonien basé sur les cycles de 405 ka. Aux maxima d'excentricité correspondraient des niveaux marneux, alors qu'aux minima d'excentricité correspondraient des hardgrounds. Cette proposition intéressante devrait néanmoins être nuancée par le fait qu'une partie des niveaux marneux cités ont une origine cinéritique, indépendante de la climatologie.
En s'inspirant de la même logique, calée sur cette périodicité séquentielle pour l'ensemble du Turonien, d'autres modèles spéculatifs peuvent être avancés.

Cycle 405 ka	Âge (Ma)	sommet du repère basal	Niveau repère intermédiaire
222	89,9	HG Navigation	
			s. White Nothe
223	90,3	Craie noduleuse inférieure	
			m. Lewes
224	90,7	HG Hitch Wood / HG Puys 3	
			m. Bridgewick 1
225	91,1	HG Gringoria	
			m. Caburn
226	91,5	HG Blounts F. / Caburn SB	
			m. Southerham
227	91,9	HG Fognam F. / HG ferrug.	
			m. Glynde 1
228	92,3	HG Pewsey / Chirvals	
			m. New Pit 1
229	92,7	HG Tilleul / Ogbourne	
			m. Round Down
230	93,1	HG Fagnet	
			m. Lulworth
231	93,5	Lumachelle à Filograna	
			m. G. Gardens 1
232	93,9	HG Antifer 3	

Fig. 16 - Interprétation spéculative des niveaux durcis dans le cadre du métronome g2-g5 405 ka de LASKAR

La synthèse des différents référentiels stratigraphiques (ceux évoqués précédemment et ceux détaillés dans les volumes 2, 3 et 4 suivants) est résumée dans la figure suivante.

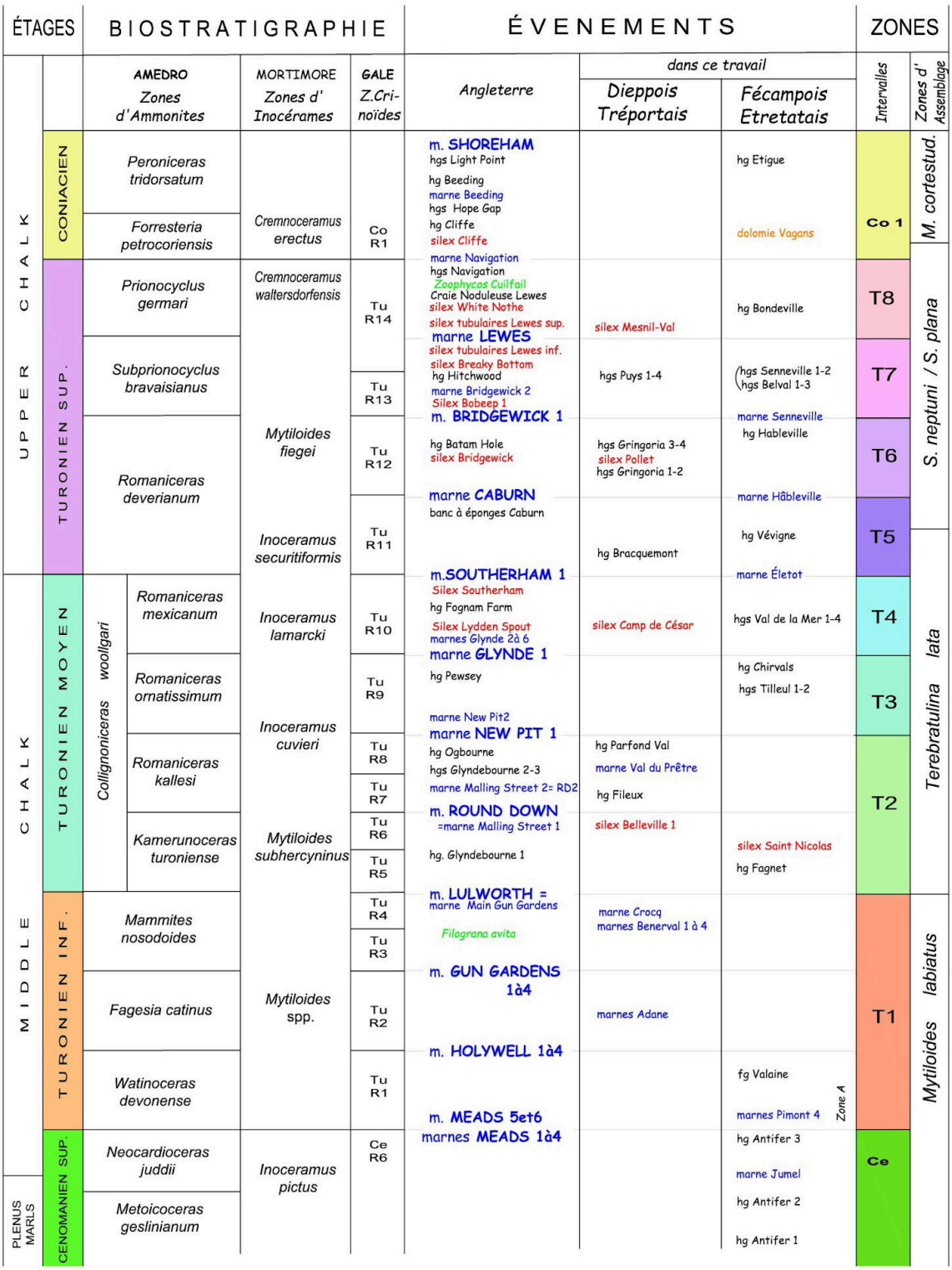


Fig. 17 - Correspondances biostratigraphiques et événementielle

Stratigraphie des falaises littorales

La région normanno-picarde présente d'assez nombreux affleurements de Turonien. Malheureusement, les formations superficielles et le fort couvert végétal les masquent généralement. Seuls quelques axes naturels, tels que le littoral et les principales rivières où l'érosion est active, permettent de découvrir des coupes exploitables. Quelques carrières situées sur les plateaux ou les coteaux offrent de rares opportunités d'observer des coupes fraîches, mais souvent d'extension stratigraphique limitée. Pour structurer la description des affleurements visités, 8 ensembles géographiques ont été définis (fig.18). Leur importance est inégale en termes d'apport stratigraphique et de superficie. L'ordre d'exposition adopté privilégie les séries les plus épaisses et les plus complètes. Elles servent de référence pour définir les principaux repères ou événements utilisés sur le terrain. Dans la mesure du possible, les qualificatifs historiquement employés pour les craies anglaises sont repris, en tenant compte du degré de certitude qu'on leur accorde.

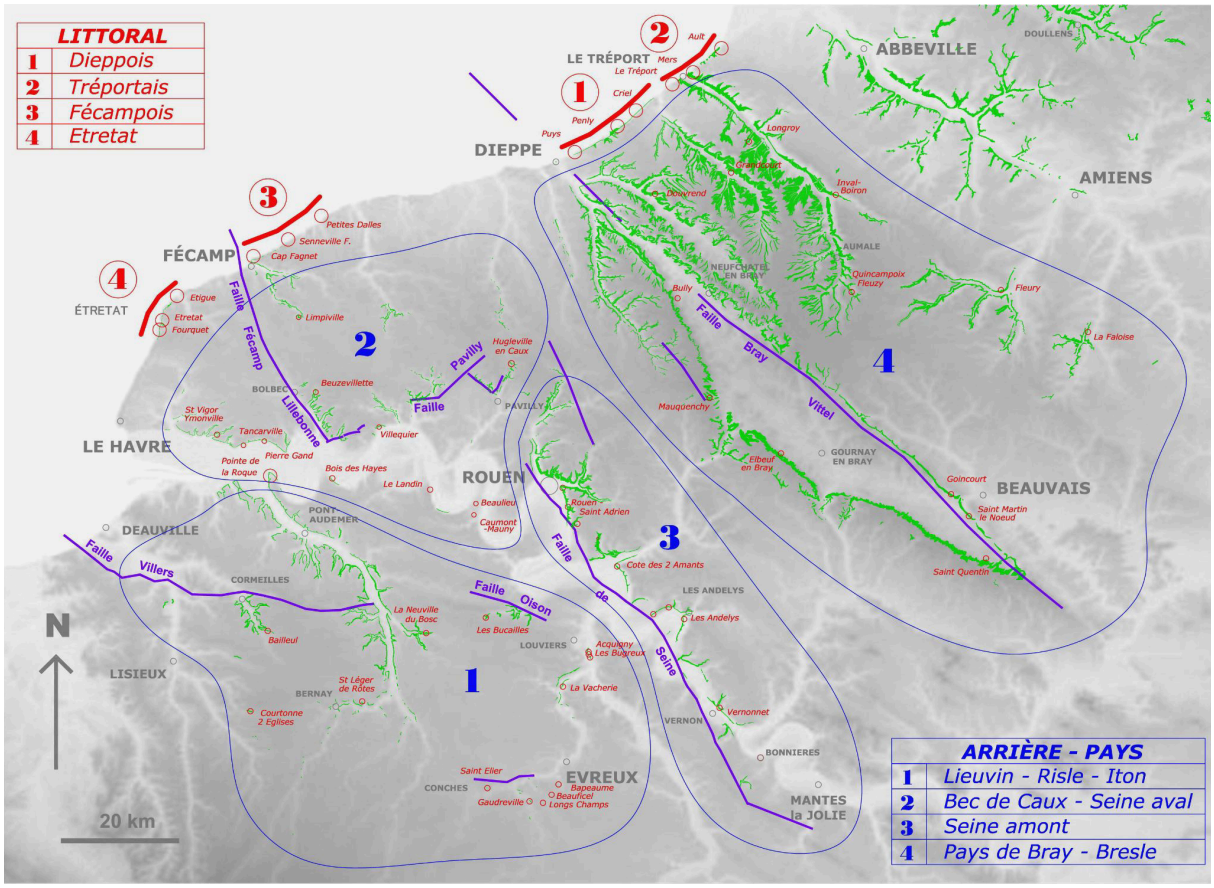


Fig. 18 - Découpage des affleurements turoniens en ensembles géographiques

Les coupes littorales

A - La coupe Penly/Biville - Dieppe (1-1)
B - La coupe Penly/Biville - Criel (1-2)
C - La coupe Le Tréport - Mesnil Val - Criel (2-1)
D - La coupe Mers - Bois de Cise - Ault (2-2)
E - La coupe Cap Fagnet - Petites Dalles (3)
F - La coupe Fourquet nord à Etigue (4)

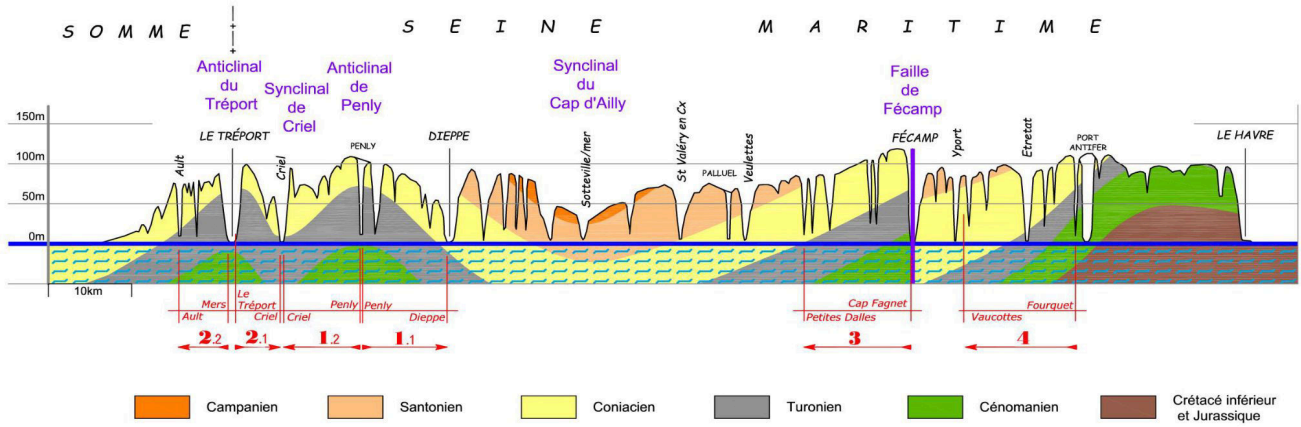


Fig. 19 - Découpage du littoral en 4 ensembles linéaires

De Penly- Biville-sur-Mer à Dieppe (1-1)

La coupe étudiée correspond au flanc ouest de l'anticlinal de Penly, dont l'axe est situé vers la valleuse de Biville-sur-Mer (49,994°N, 1,243°E). La coupe presque continue n'est interrompue que par l'emprise de la centrale nucléaire, la valleuse de Belleville-sur-mer et la valleuse de Puys, mais tous les niveaux stratigraphiques y sont accessibles.

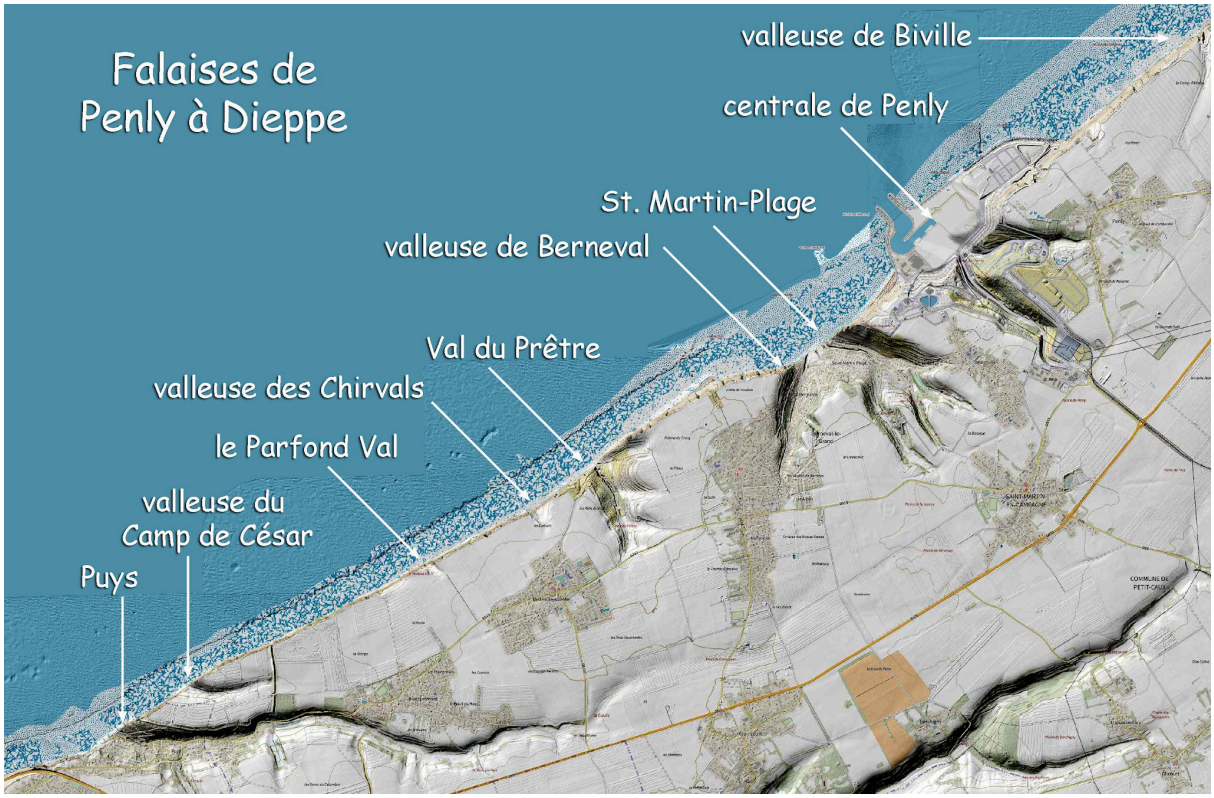


Fig. 20 - La coupe des falaises turoniennes entre Penly et Dieppe

L'accès à l'estran se fait sur le coté est de la centrale nucléaire par la rue Tante Lucienne. Il se prolonge par une route en lacets jusqu'à mi-pente et se termine par un escalier et un chemin bordé de clôtures. L'axe de l'anticlinal se trouve à 1500 m à l'Est .

Au cœur de l'anticlinal, le contact Cénomanien/Turonien a été identifié par GALE (2019b) grâce à la présence des marnes Meads. Ces marnes, ainsi que les marnes Holywell qui leur succèdent, ne sont observables que sur le platier, à marée basse de fort coefficient.

Ces dépôts, affectés de monticules et cuvettes sédimentaires et entrecoupés de nombreuses failles, sont difficiles, voire impossibles à suivre. Toutefois nous y avons trouvé, localement en nombre, des radioles de *Cidaris hirudo.* JEFFERIES (1963) signale la présence commune de cet indice dans l'avant-dernier des huit niveaux qu'il décrit constituant le Cénomanien terminal.

Dans les niveaux suivants, la présence de nombreuses ammonites sur le platier nous permettent de distinguer la suite suivante:

- une zone à *Fagesia catinus* qui affleure sur le bas estran aux marées basses et seulement en pied de falaise devant la valleuse de Biville, à la faveur du sommet de l'anticlinal. Cette zone renferme de rares *Lewesiceras* et encore de plus rares *Morrowites* d'une taille n'excédant jamais 20 cm.
- une zone à *Metasigalocers rusticum* qui débute sur l'estran dès la descente et qui se poursuit en pied de falaise, pour ensuite redescendre sur l'estran après Biville.
- une zone à *Mammites nodosoides* en pied de falaise au départ et aussi par le jeu des failles sur l'estran à mi parcours entre l'accès et la Valleuse de Biville

Dans les blocs éboulés, *Morrowites wingi* de grande taille et fréquentes *Lewesiceras* correspondent à des couches supérieures.

Partie supérieure de l'intervalle T1b

Épaisseur : environ 3 mètres - Il s'agit des couches les plus anciennes observables en section verticale, sous la valleuse de Biville. Elles sont représentées par environ 6 séquences élémentaires craie/ marne. La marne la plus franche, dénommée ici marne Adane, correspond probablement à la marne Compton Pebble de GALE (1996a). Les couches crayeuses sont noduleuses et indurées.

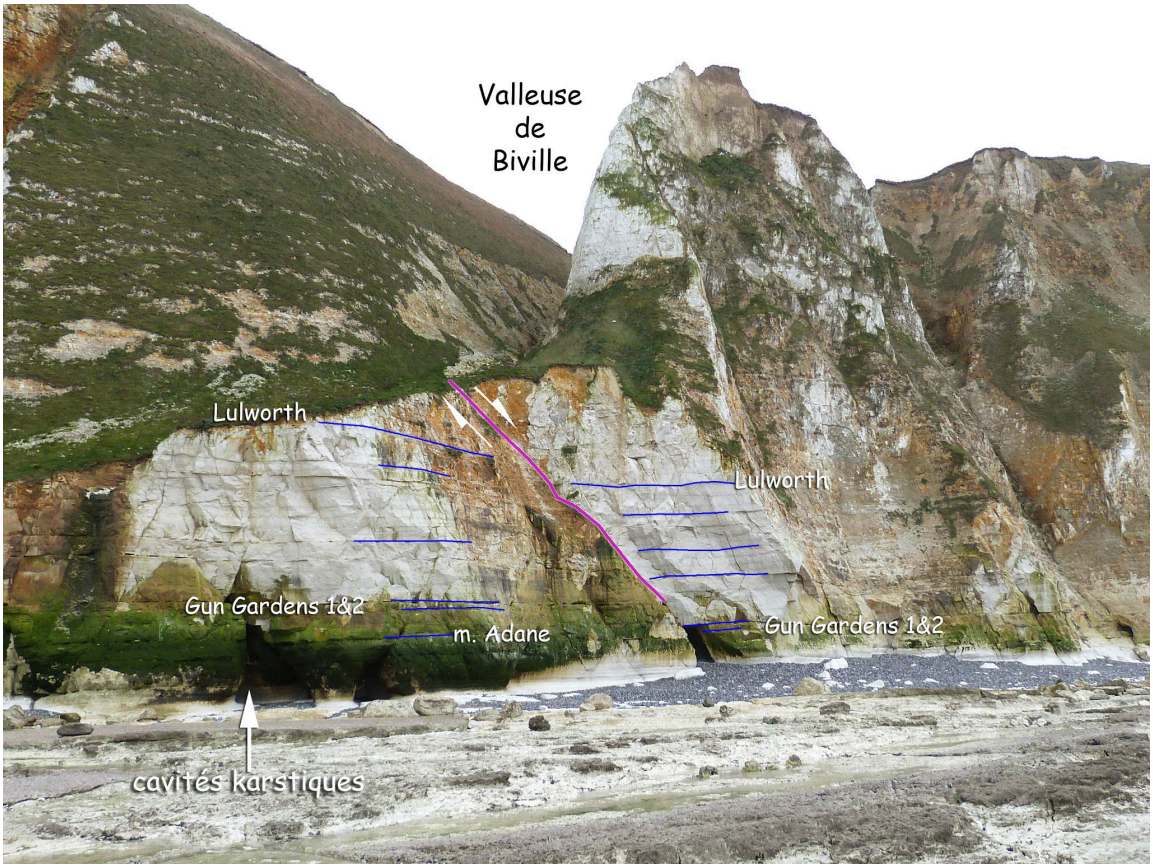


Fig. 21 - La valleuse de Biville, le coeur de l'anticlinal de Penly

Intervalle T1c de la marne Gun Gardens 1 à la marne Lulworth

a) De la marne Gun Gardens 1 à la surface supérieure de la couche à *Filograna avita*

Épaisseur : environ 4 à 5 mètres - Pour les corrélations avec les marnes Gun Gardens d'Eastbourne (Sussex), nous avons repris les travaux de GALE (2019b) et leur définition par MORTIMORE (1986). Les quatre marnes Gun Gardens sont identifiées, en particulier le couple GG1/GG2, plus marqué, comme dans la coupe d'Eastbourne. La craie est riche en *Mytiloides*. La densité de ces bivalves atteint son maximum dans le niveau à *Filograna*, fortement ravinant localement, qualifié ici de lumachelle. *Filograna avita* est un ver serpulidé qui encroûte fortement et régulièrement les coquilles entières d'inocérames de couleur beige foncé. Ce niveau est considéré par GALE (1996) comme un événement biostratigraphique.
On y trouve également des échinides : *Camerogalerus minimus*, *Protocardiaster truncatus*, *Hirudocidaris hirudo,* ainsi que des brachiopodes : courantes petites *Orbirhynchia cuvieri*, et plus rares *Terebratulina striatula*.
À 1 mètre au-dessus de la marne Gun Gardens 2 se trouve un niveau noduleux avec de grandes ammonites à filets ferrugineux à la place de la coquille : *Mammites nodosoides* (les dernières ?) et *Lewesiceras peramplum.*

b) De la couche à *Filograna avita* à la marne Berneval 1

Épaisseur moyenne : 2,7 m - 4 séquences élémentaires, rythmée par 3 niveaux de marnes flaser (mf1 à mf3) formées de craie très noduleuse, parfois ferrugineuse surtout au-dessus du niveau à *Filograna*.

c) De la marne Berneval 1 à la marne Berneval 4

Épaisseur 2,6 à 2,9 m - Cet ensemble, un peu moins noduleux que le précédent, a été distingué à cause de ces 4 marnes (ici dénommées Berneval) qui sont soulignées en falaise ou qui sont cavitées lorsque la mer les atteint. Il est largement accessible à l'ouest de la descente à la plage de Saint-Martin.
La partie inférieure contient les ammonites *Morrowites wingi* et *Lewesiceras peramplum* assez abondantes et également les premiers *Conulu*s.

d) De la marne Berneval 4 à la marne Lulworth

Épaisseur de l'ordre de 2,5 m - 4 séquences élémentaires peu marquées avec des marnes flaser (mb1 à mb3) assez lâches. Un niveau de hardground sous la marne Lulworth avec *Conulus subrotundus*, rares *Concinnithyris albensis*, petites *Orbirhynchia compta* et petits éclats de test d'inocérames.

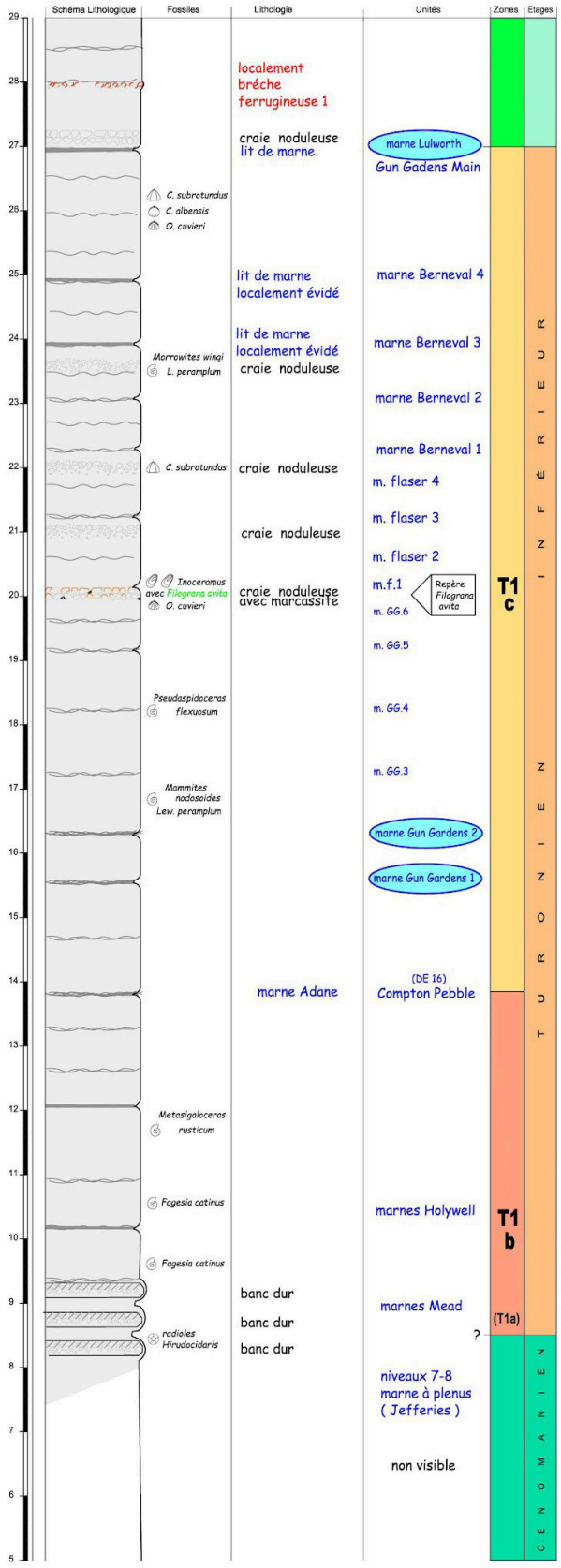


Fig. 22 - Log stratigraphique T1c à Penly

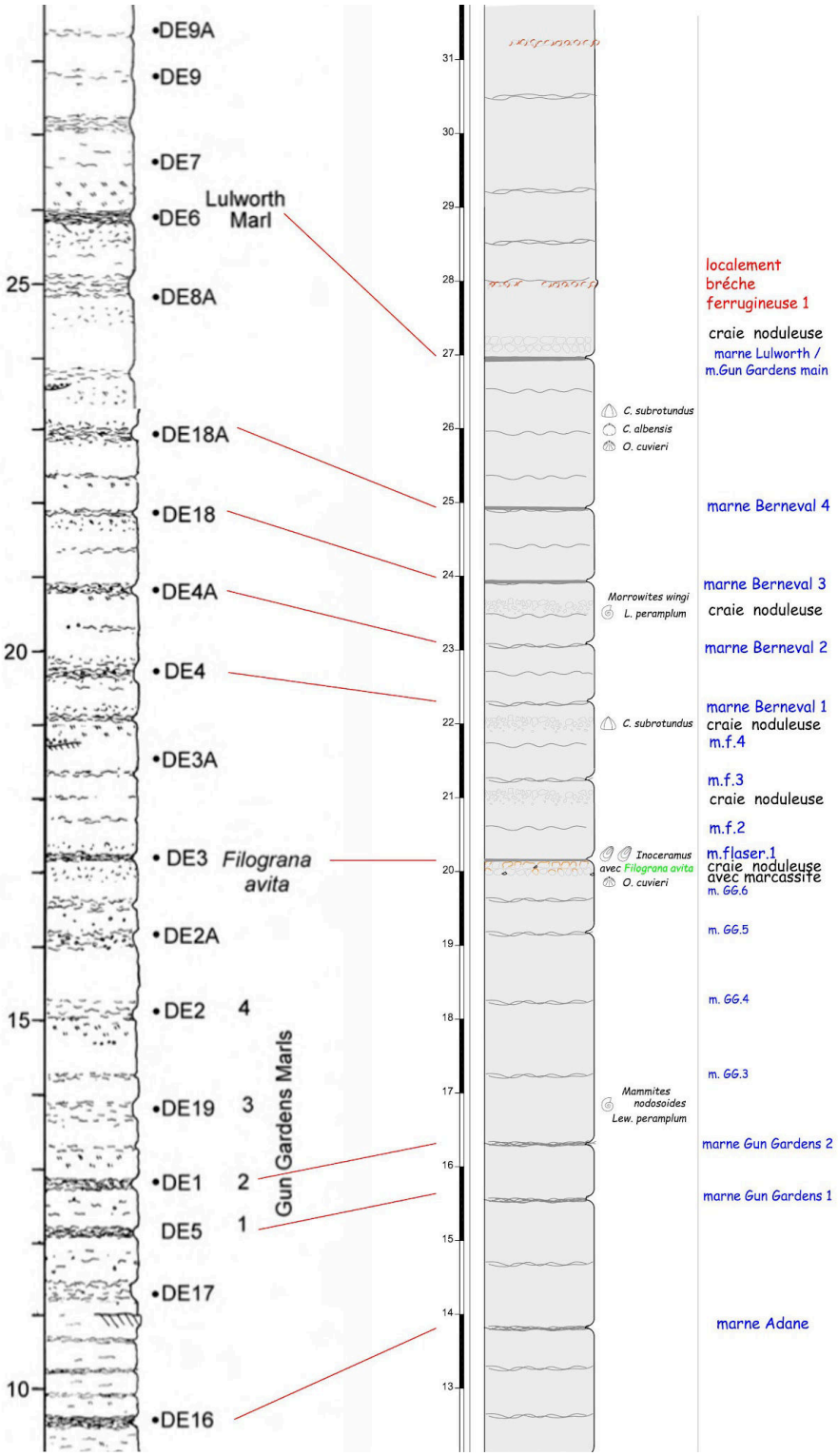


Fig. 23 - Comparaison entre la coupe de GALE (2019b) et celle ici décrite

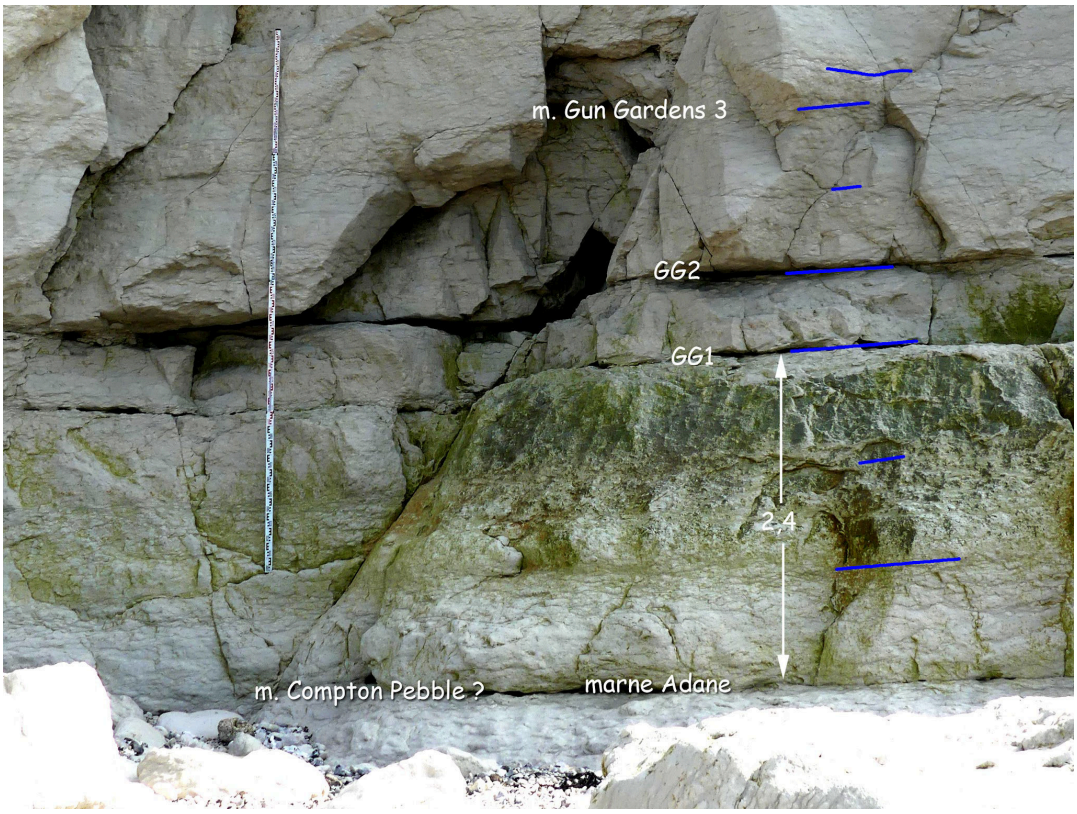


Fig. 24 - Partie supérieure de l'intervalle T1b



Fig. 25 - De la G.Gardens 1 à la L. à **Filograna**



Fig. 26 - **Filograna avita** *sur inocérame*

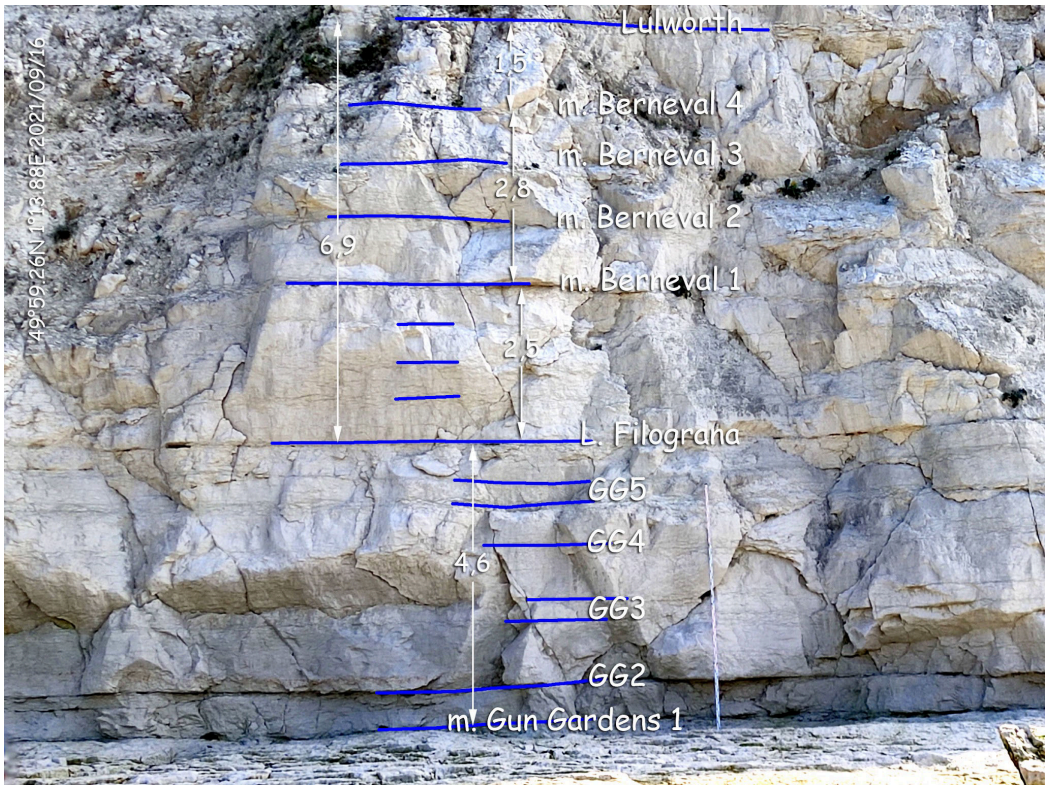


Fig. 27 - Intervalle T1c : de la marne Gun Gardens 1 à la marne Lulworth

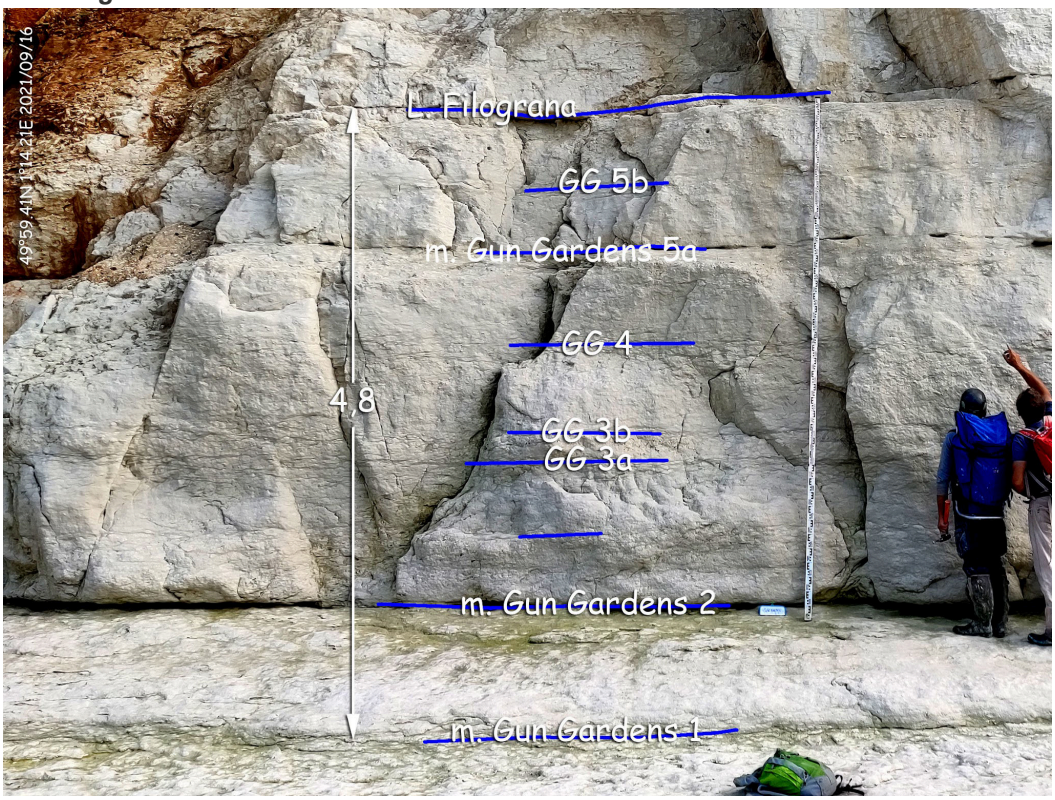


Fig. 28 - Entre la marne Gun Gardens 1 et la lumachelle à **Filograna**

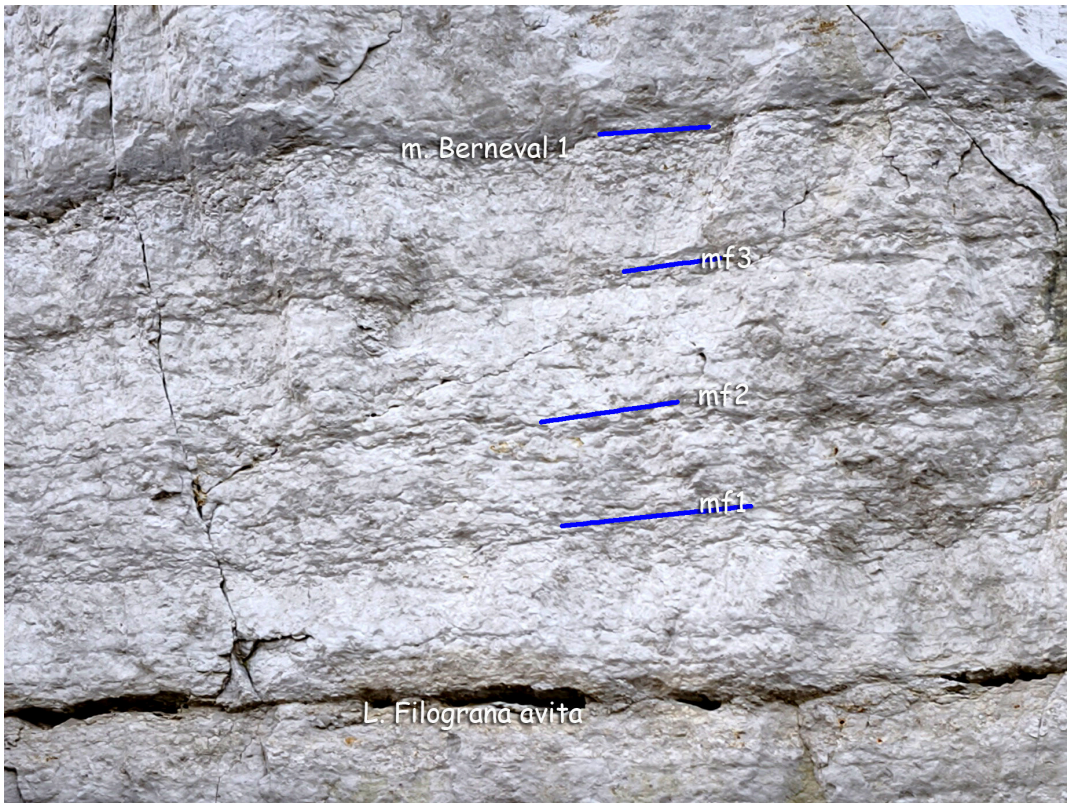


Fig. 29 - Craie noduleuse à Morrowites au-dessus de la lumachelle à **Filograna**



Fig. 30 - Craie noduleuse à ammonites en vue oblique

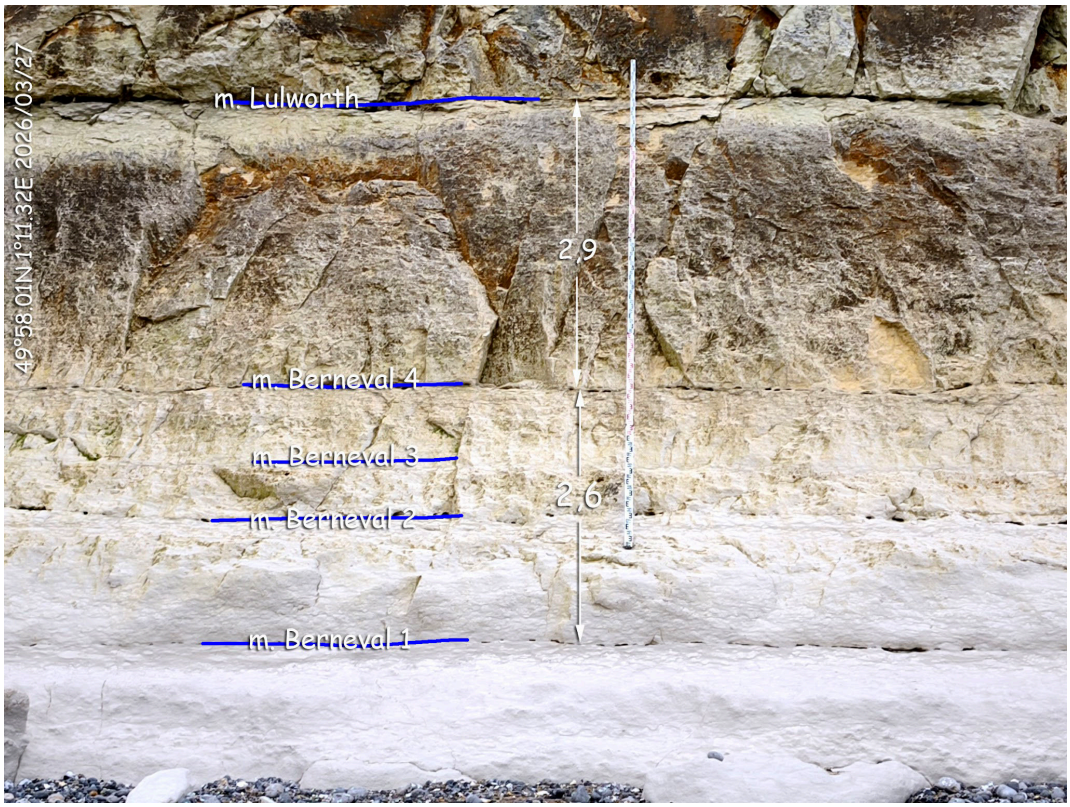


Fig. 31 - Les marnes Berneval

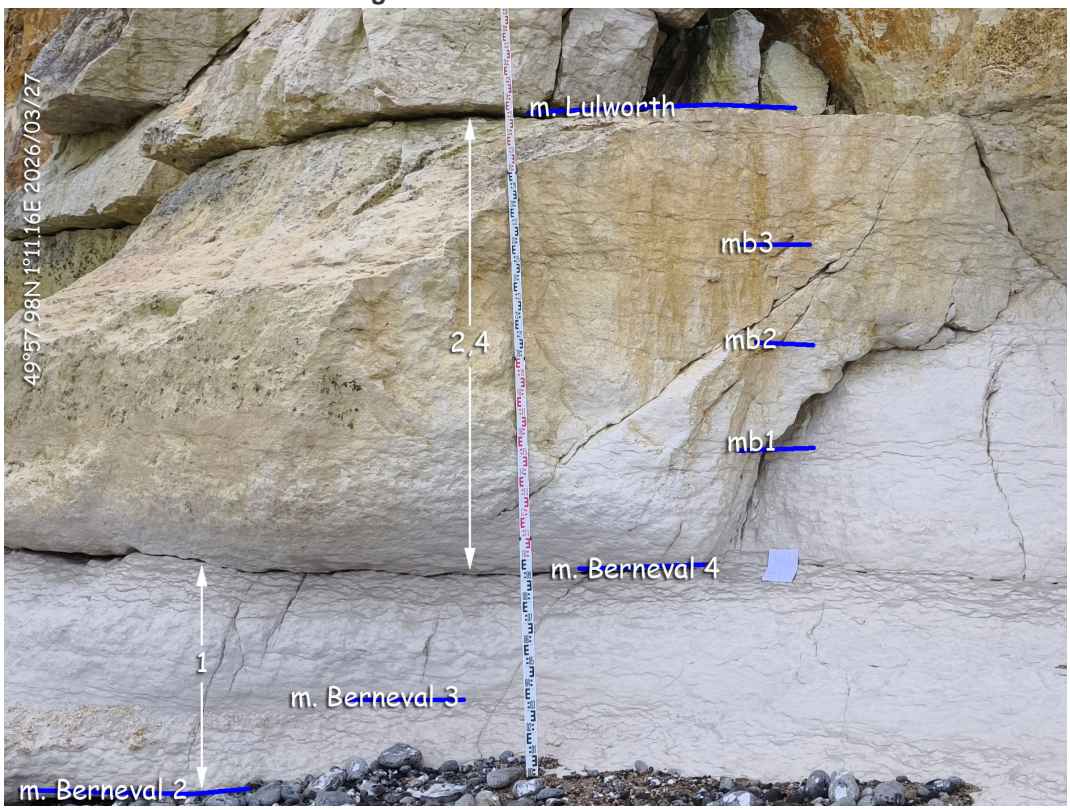


Fig. 32 - De la partie supérieure des marnes Berneval à la marne Lulworth

Intervalle T2a de la marne Lulworth à la marne Round Down 1

La *marne Lulworth* équivaut à la Gun Gardens Main Marl (marne Gun Gardens principale de MORTIMORE). Ce renommage se justifie selon GALE (2023) pour éviter la confusion avec les marnes Gun Gardens qui se situent plus bas.
Cet intervalle, d'une épaisseur d'environ 14 mètres, ne présente pas de niveau lithologique remarquable. Il est composé d'une suite monotone de séquences élémentaires craie / marne à texture flaser. A l'île de Wight, GALE dénombre 19 de ces couplets (F1 à F19).
En Angleterre, le banc métrique directement superposé à la marne Lulworth est rempli de débris de microcrinoïdes. GALE (1996) la dénomme "couche à *Roveacrinus communis*".
À environ 1 à 1,5 mètres sous la marne Round Down 1, un niveau de petits silex (5 cm en moyenne), espacés les uns des autres, apparaît. Ces silex, désignés ici sous le nom de *silex Belleville*, constituent une caractéristique permettant d'identifier la marne Round Down 1, à laquelle ils sont associés. Cependant, leur taille minuscule les rend invisibles en haute falaise. Les silex Belleville constituent le premier niveau siliceux du Turonien dieppois. Cette apparition tardive des silex n'est pas le cas dans des séries plus condensées, comme celle de Fécamp - Senneville ou du Tilleul, où les silex *Thalassinoides* rappellent les silex Glyndebourne de MORTIMORE (1997).
Plusieurs horizons de craie noduleuse sont présents, mais le contraste de dureté est trop faible pour être mis en relief dans la falaise.
Un niveau de marne flaser plus net, désigné ici *marne Crocq*, apparaît à un peu plus de 4 m sous la marne Round Down 1; mais il s'agit d'un repère peu discriminant et un hypothétique équivalent de la marne Lambourn du Hampshire (GALE, 2023).
Au moins 3 niveaux de brèche de craie, à éléments ferrugineux (Fe1, Fe2 et Fe3) sont présents dans la moitié inférieure de l'intervalle. Malheureusement, ces niveaux, très marqués localement, disparaissent latéralement et ne constituent pas des marqueurs fiables. Une comparaison possible peut être faite avec les hardgrounds Glyndebourne 1 de MORTIMORE (2010).

Fossiles :
- Juste au-dessus de la marne Lulworth : *Conulus subrotundus*, *Concinnithyris albensis*, petites *Orbirhynchia* : *O. compta.*
- Au-dessous du silex Belleville, la faune suivante est récoltée :
Échinides : *Conulus subrotundus* (25-30 mm, pointus, nombreux sur l'estran, mais difficiles à retrouver en pied de falaise. Un *Sternotaxis* cf. *plana* épigenisé en silice a été trouvé parmi les silex Belleville en silex.

Brachiopodes : *Concinnithyris cf. albensis*, petites *Orbirhynchia : O. compta.*
Ammonites : *Lewesiceras peramplum* et plus rarement *Collignoniceras woollgari* (3 exemplaires) concentrés sur l'intervalle réduit du silex Belleville à la marne Round Down 1.

Dans la zonation des microcrinoïdes de GALE (2019), l'intervalle occupe 3 zones :
TuR5 *pro parte*, TuR6 et TuR7 *pro parte*.

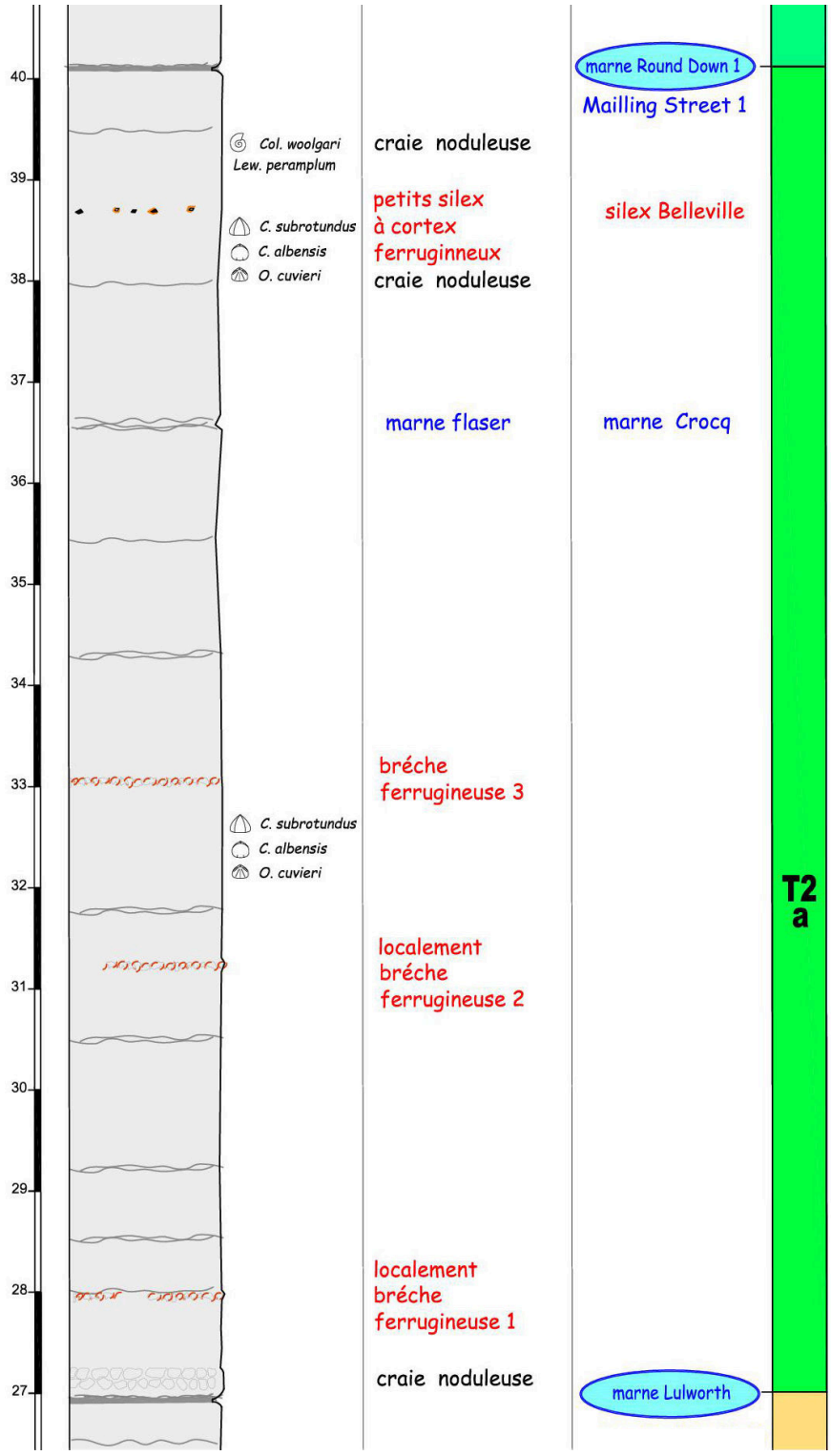


Fig. 33 - Log stratigraphique T2a de la marne Lulworth à la marne Round Down

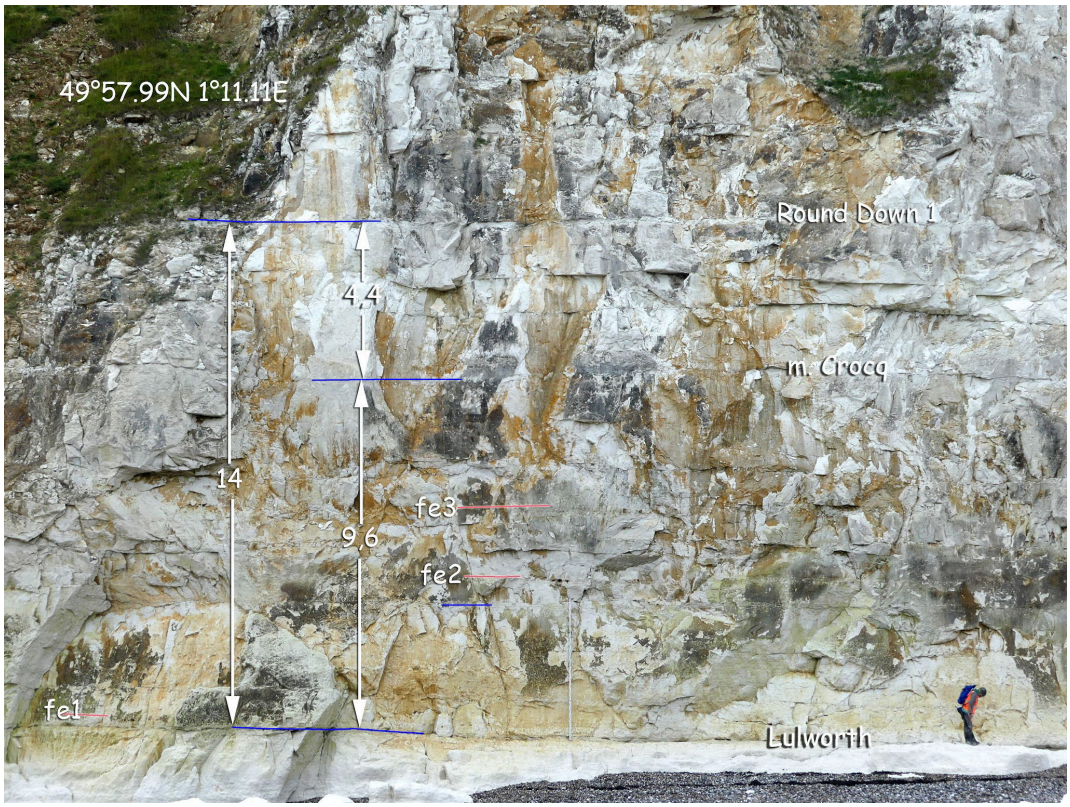


Fig. 34 - Intervalle marne Lulworth - marne Round Down 1

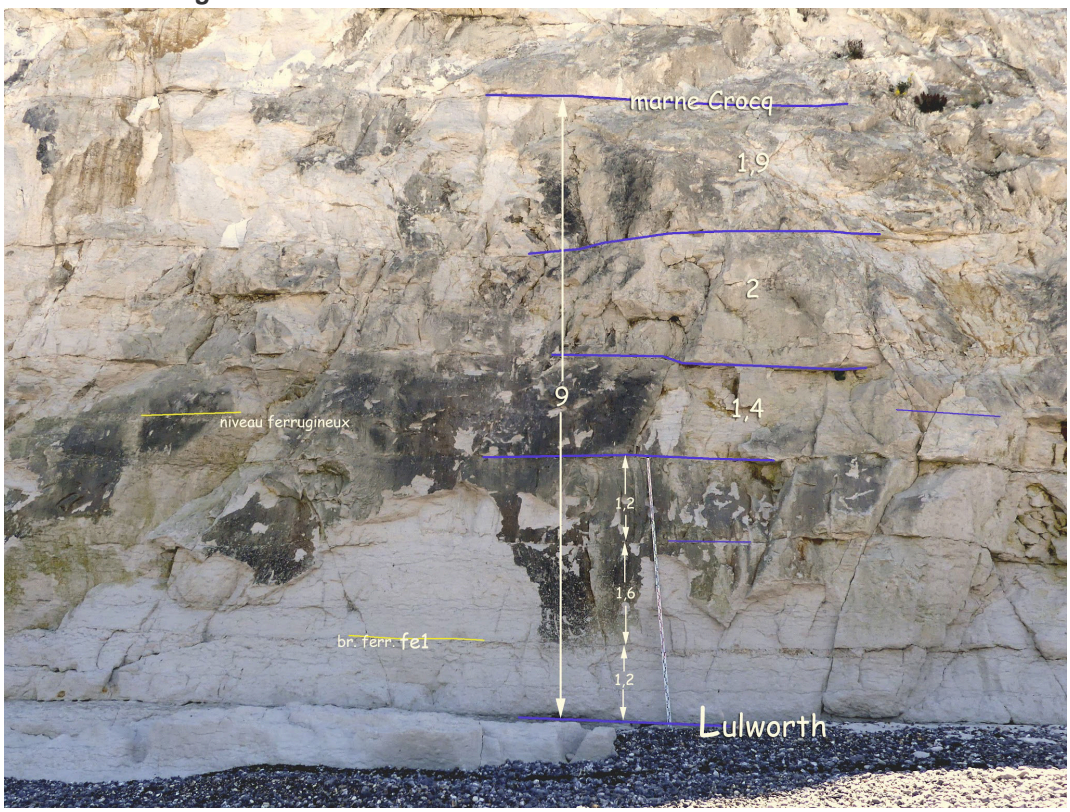


Fig. 35 - De la marne Lulworth à la marne Crocq

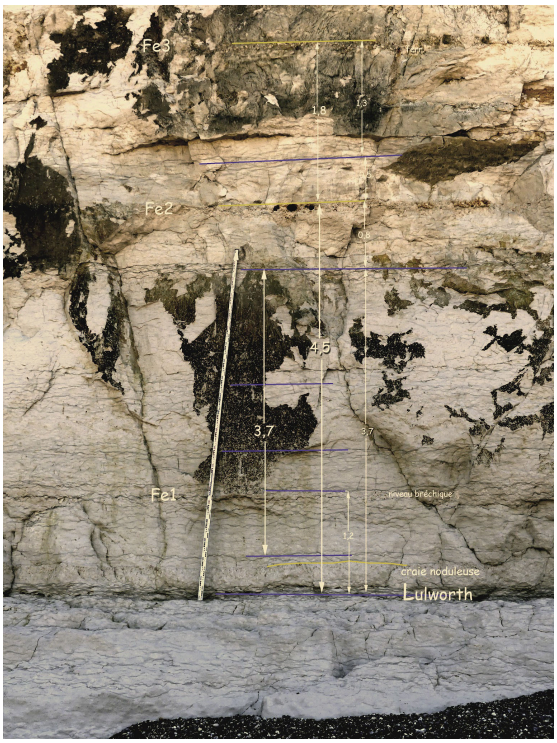


Fig. 36 - Partie inférieure de T4

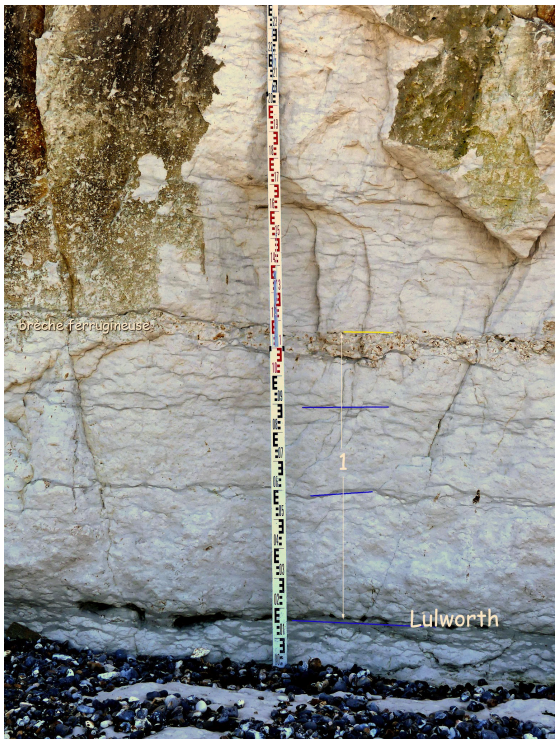


Fig. 37 - Au-dessus de la marne Lulworth

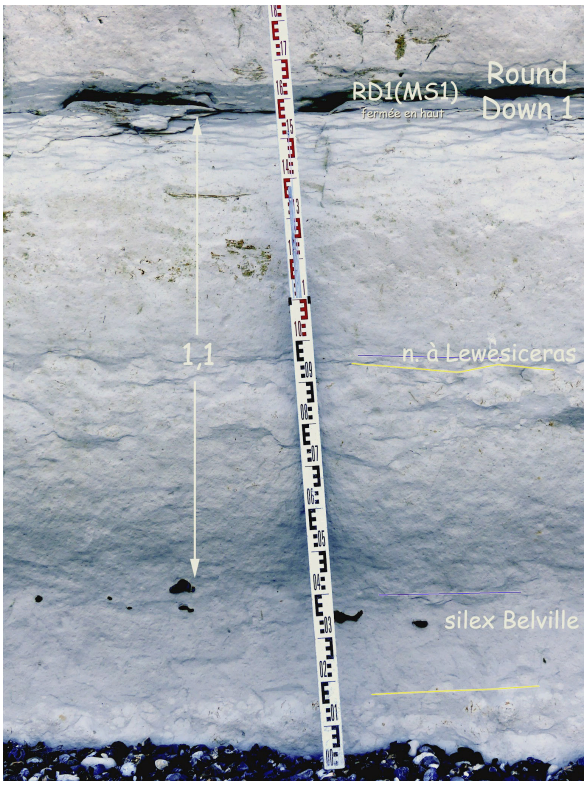


Fig. 38 - Partie supérieure de T4

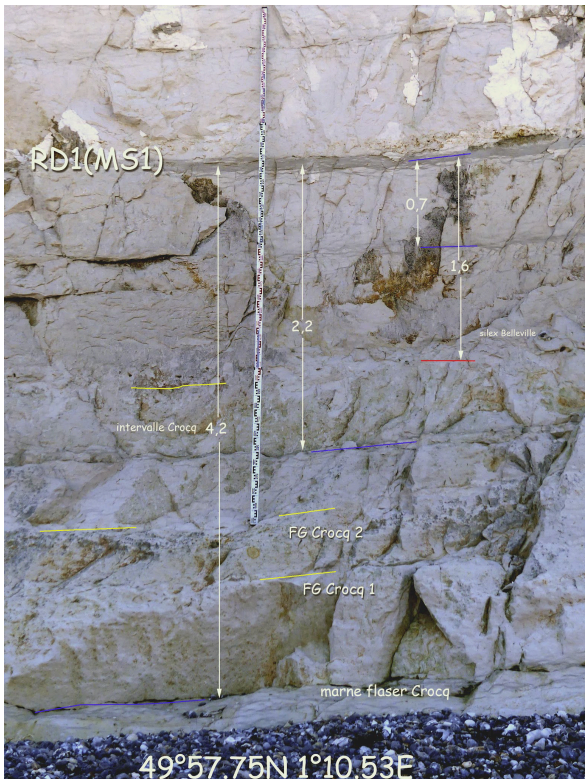


Fig. 39 - Entre la m. Crocq et la m. Round Down

Intervalle T2b : de la marne Round Down 1 à la marne New Pit 1

Une certaine incertitude existe dans la notation des marnes, à la fois dans les coupes anglaises de référence et pour leur correspondance avec les coupes françaises de la région de Dieppe :
- La (ou les) marne(s) Malling Street de MORTIMORE et POMEROL (1987) est (sont) mise(s) en équivalence avec la marne Round Down de GALE (2017).
- MORTIMORE (2010) stipule clairement une paire de marnes Malling Street.
À la suite, le choix a été fait de considérer 2 marnes, qualifiées Round Down 1 et 2. Dans cet intervalle apparaissent des niveaux de brèche à petits éléments de craie ferruginisés à leur surface. Ces niveaux cohabitent généralement avec une marne à texture flaser. Il s'agit clairement de remaniement sous l'effet de courants. Si ces niveaux ferrugineux peuvent être très nets localement, ils disparaissent latéralement en quelques mètres et il est difficile d'en faire des marqueurs stratigraphiques fiables. Cet intervalle est divisé en 4 parties :

1 - Entre marne Round Down 1 et marne Round Down 2
Épaisseur : 5,3 m environ. La marne Round Down 1 est nette. C'est la base du couplet F20 de GALE. Rappelons qu'une manière de l'identifier localement est la présence d'un niveau de silex discret à 50 cm au-dessous de celle-ci.
- Au-dessus, de la marne Round Down 1, se place un niveau de nodules ferrugineux surmonté par environ 1,5 m de craie noduleuse, désignée ici craie noduleuse ou bréchoïde Fileux 1.
- Au-dessus de la craie noduleuse Fileux 1 apparaissent quelques silex discrets, appelés *silex Belleville 2*.
- À environ 1,5 m sous la marne Round Down 2, une marne flaser, qualifiée de Round Down 1b est bien dessinée dans la falaise. Dans cette tranche supérieure, les faunes récoltées sur l'estran sont : *Conulus subrotundus* de bonne taille, *Concinnithyris albensis*, petites *Orbirhynchia compta* et *Inoceramus* sp.

2 - Entre marne Round Down 2 et le sommet des craies noduleuses ou bréchoïdes
Épaisseur 3,6 m environ. Deux niveaux de craie noduleuse, voire englobant des galets de craie, d'épaisseur supérieure au mètre, se placent à la base et au sommet de l'intervalle. Ils sont désignés ici craie noduleuse Fileux 2 et craie noduleuse Fileux 3. Un niveau de très rares silex isolés, brisés et ferrugineux existe entre la craie noduleuse Fileux 2 et la craie noduleuse Fileux 3. Ils sont désignés *silex Belleville 3*. Les joints de stratification présentent des ondulations et ravinements. Les craies noduleuses Fileux correspondraient partiellement au HG Ogbourne (GALE, 2023) ou aux HGs Glyndebourne 2 & 3 (MORTIMORE, 2010).

3 - Entre le sommet des craies noduleuses et la marne du Val du Prêtre, ici désignée
Épaisseur : 4,4 m environ. Présence de deux niveaux de brèche ferrugineuse, l'un à la base et l'autre à 0,7 m du sommet.

4 - Entre la marne du Val du Prêtre et la marne New Pit 1
Épaisseur : 3,1 m environ. La marne du Val du Prêtre (ici désignée) est une marne flaser assez nette. Le sommet de l'intervalle est occupé par un double banc de craie noduleuse dure, qualifié ici de HG Parfond Val, souvent parcouru de joints tectoniques.
Dans la zonation des microcrinoïdes de GALE (2019), l'intervalle occupe la partie supérieure de la zone TuR7 et TuR8 entièrement.

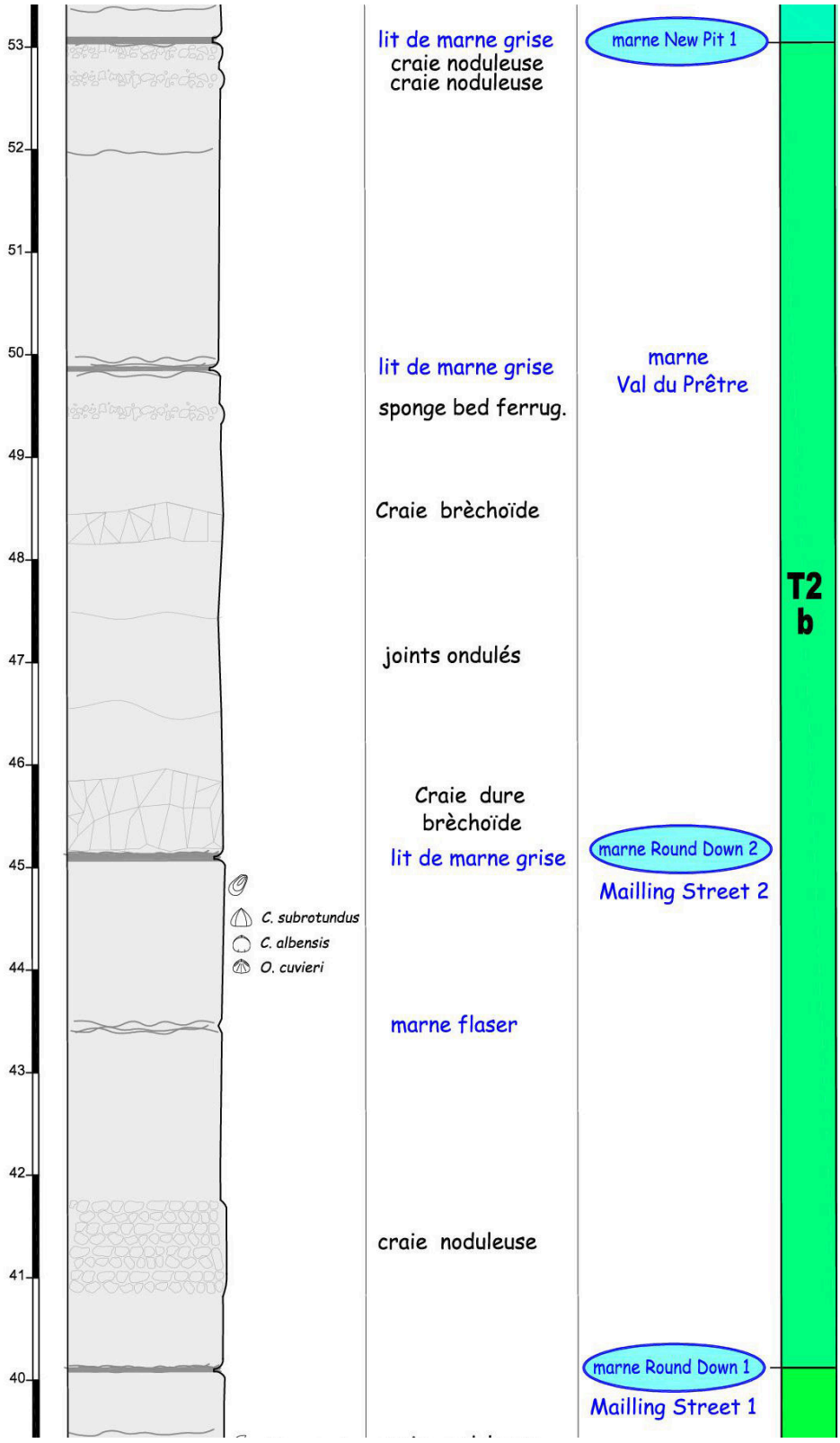


Fig. 40 - Log stratigraphique de T2b, de la marne Round Down à la marne New Pit 1

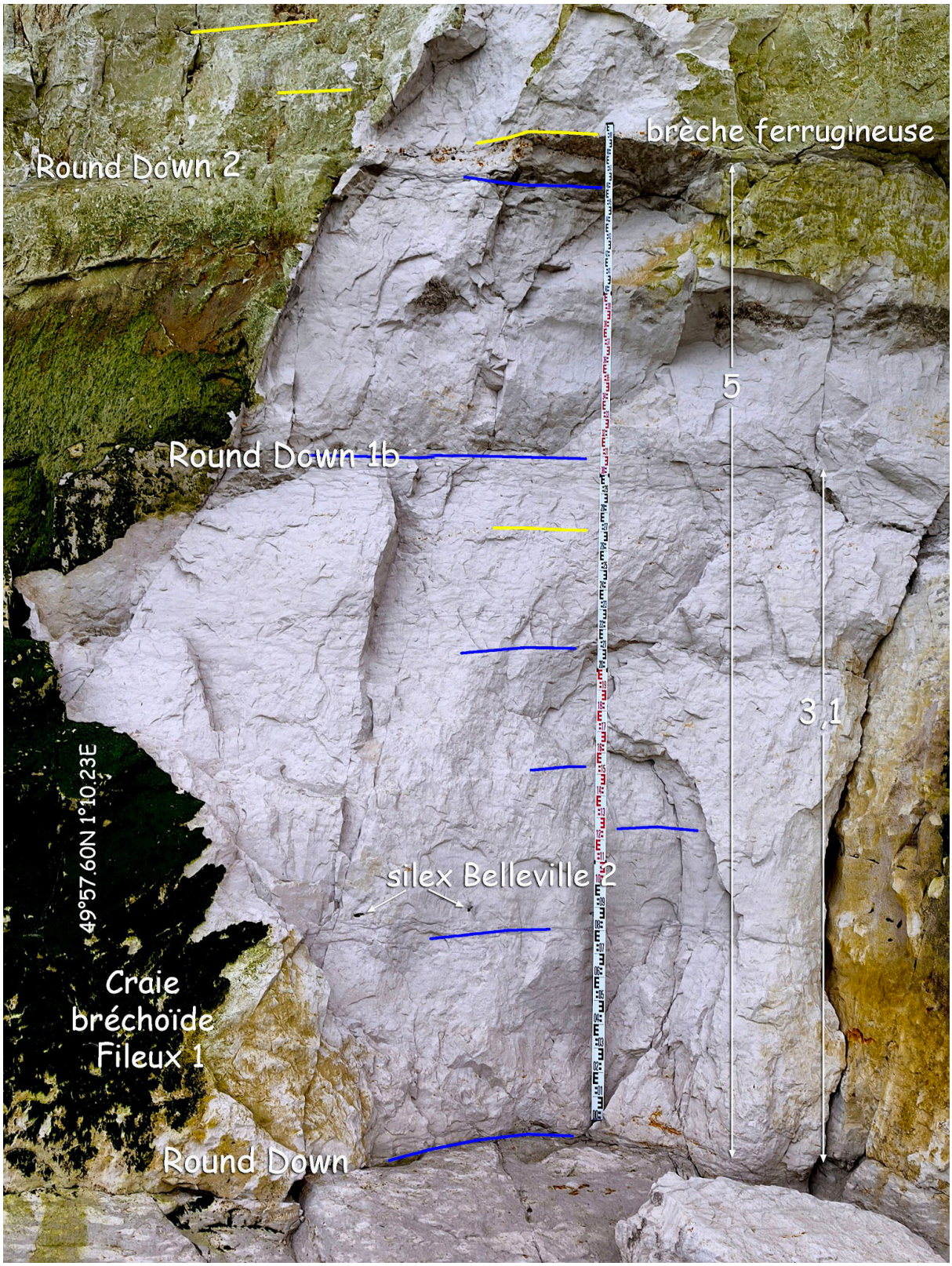


Fig. 41 - Partie inférieure de l'intervalle T2b

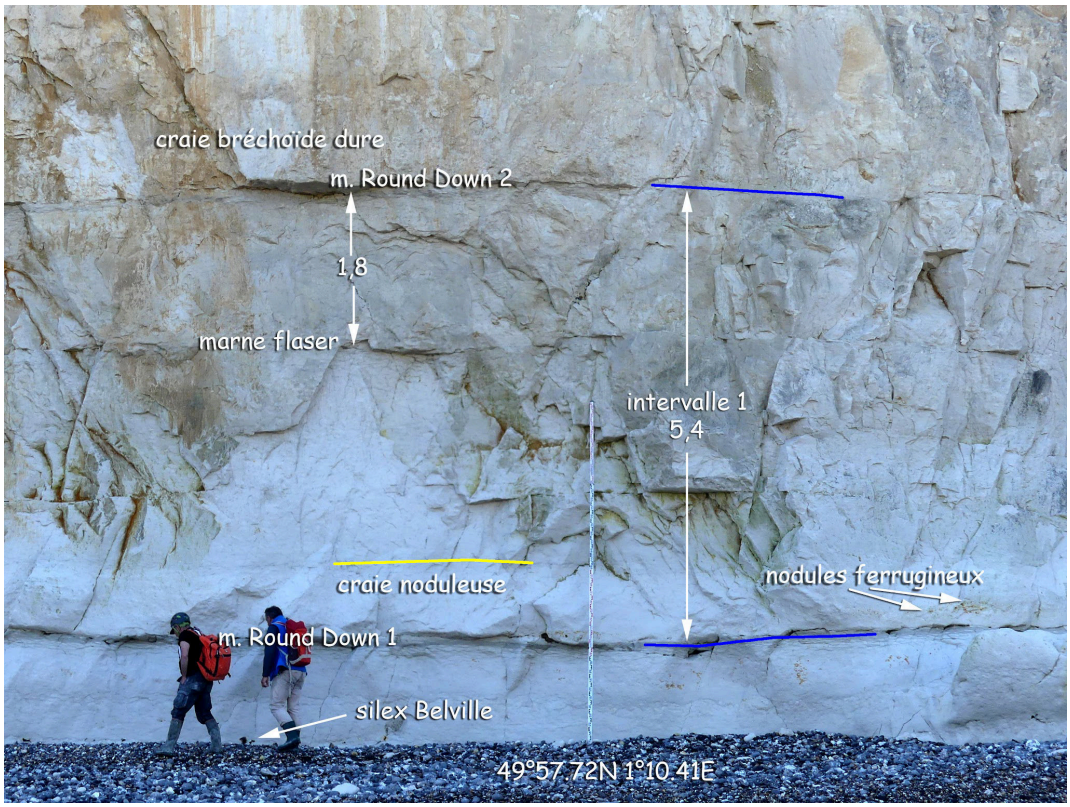


Fig. 42 - Base de T2b : de la marne Round Down 1 à la marne Round Down 2

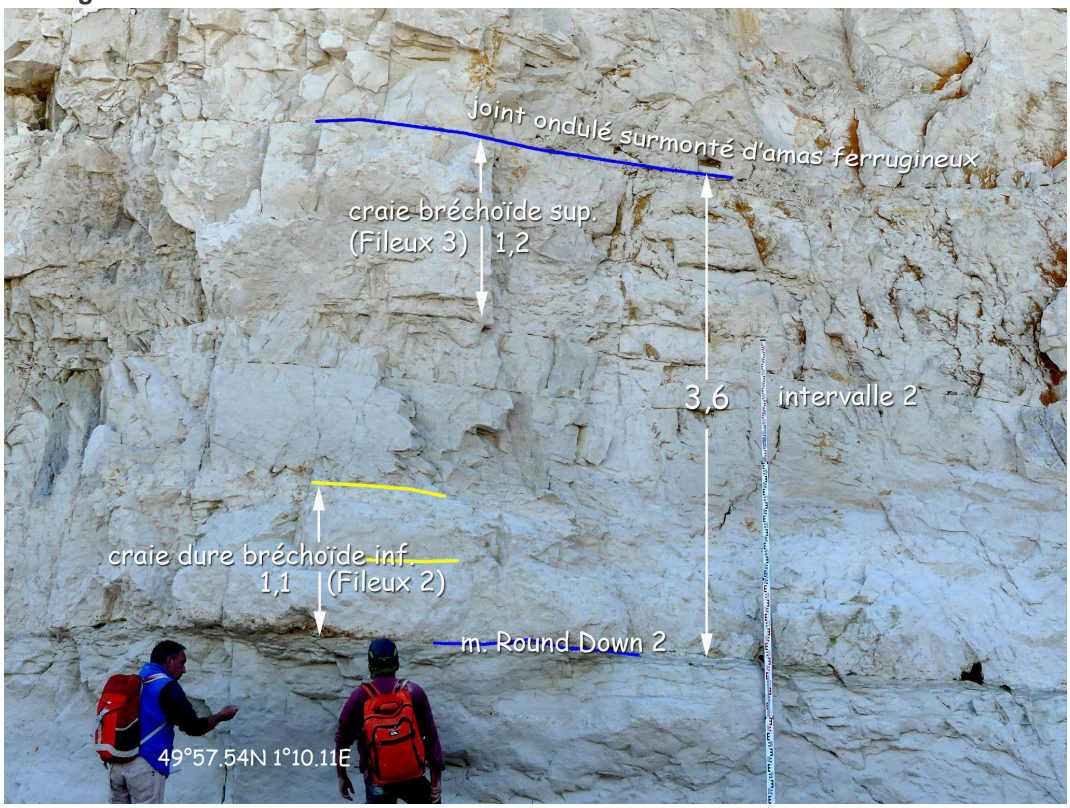


Fig. 43 - Partie moyenne de T2b : de la marne Round Down 2 aux craies bréchoïdes

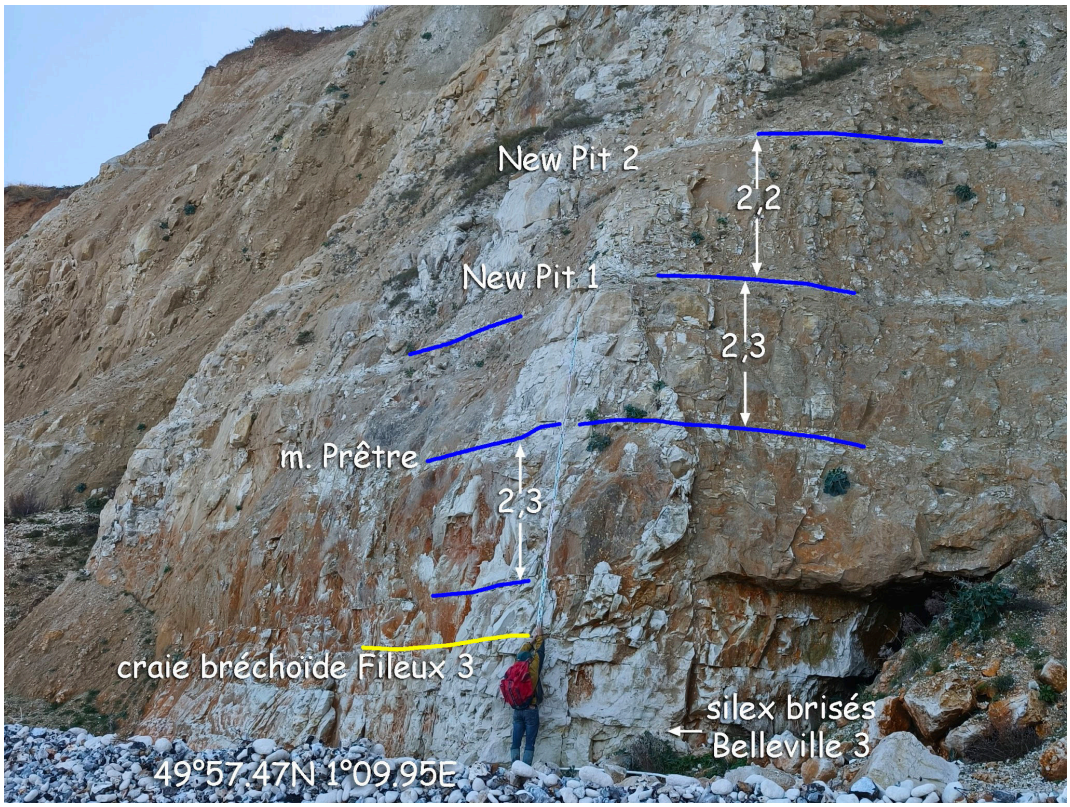


Fig. 44 - Les silex Belleville 3

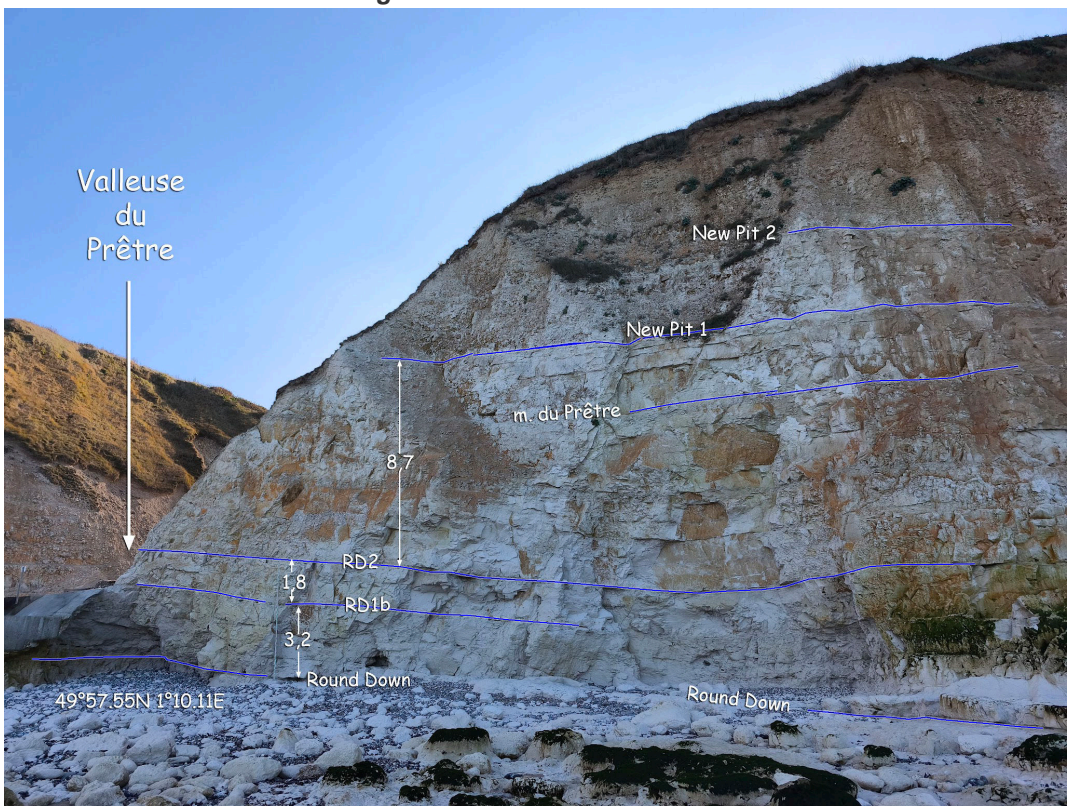


Fig. 45 - Intervalle T2b à l'Ouest de la valleuse du Prêtre

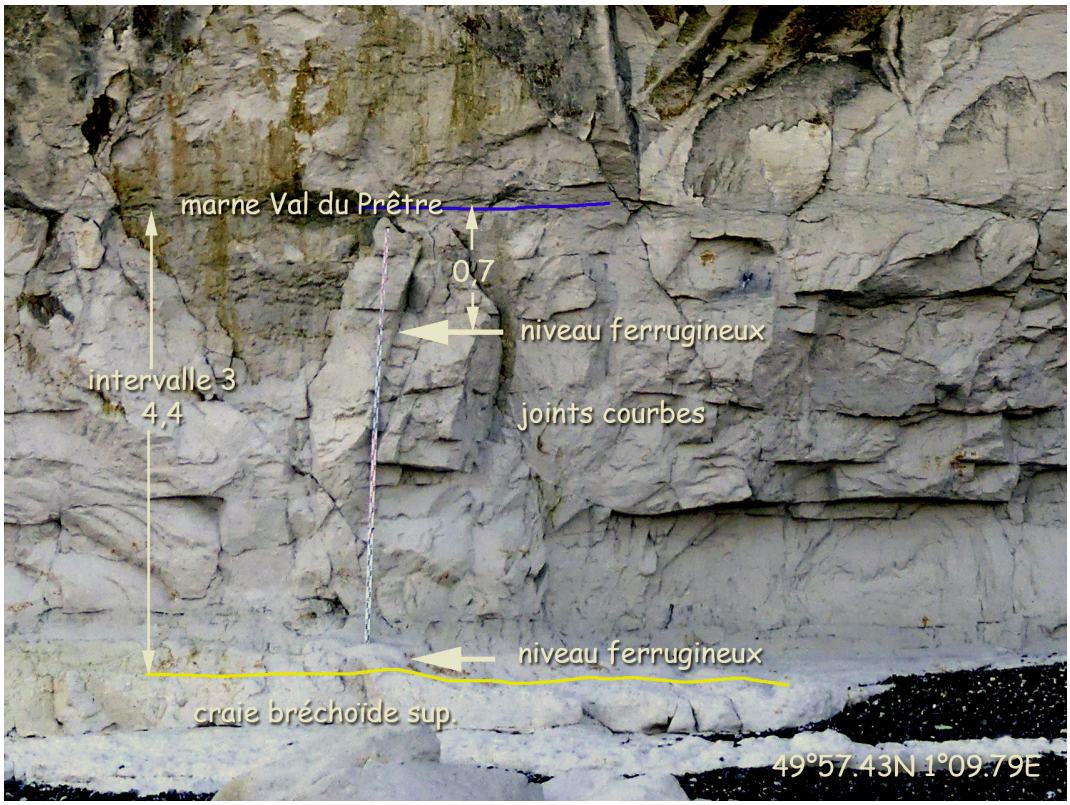


Fig. 46 - Partie moyenne de T2b : des craies bréchoïdes à la marne Val du Prêtre

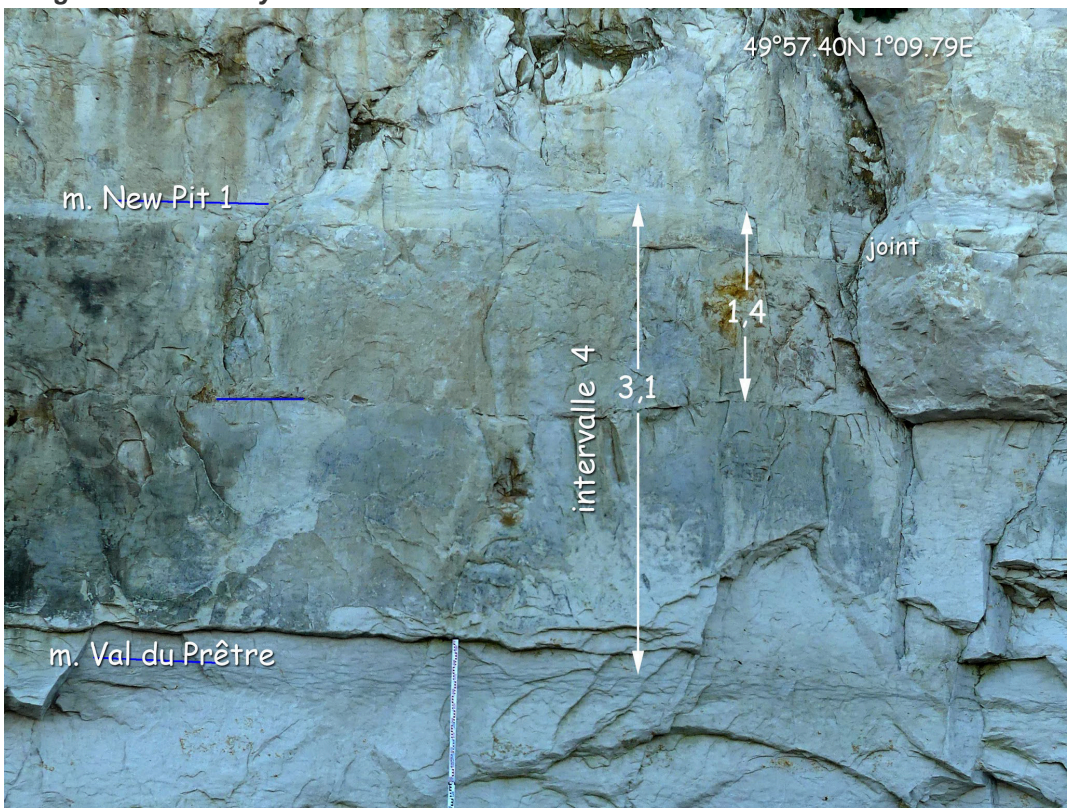


Fig. 47 - Partie supérieure de T2b : de la marne Val du Prêtre à la marne New Pit 1

Intervalle T3 : de la marne New Pit 1 à la marne Glynde 1

Cet intervalle est subdivisé en 3 parties :

- une partie basale (4,5 m environ), limitée par les marnes New Pit 1 et New Pit 2,
- une partie médiane (4 m environ), limitée par les marnes New Pit2 et New Pit 3,
- une partie supérieure (4,3 m environ), limitée par les marnes New Pit 3 et Glynde 1.

Les marnes New Pit 1 et New Pit 3 sont des marnes “ouvertes”, à texture flaser.
La marne New Pit 2 est une marne “fermée”, très apparente après altération.
Les marnes New Pit 1 et New Pit 2 sont reconnues jusqu’au SE du Devon, sous les noms de Rowe’s 2 foot band et Rowe’s 4 foot band (HART, 2008) ou de Common Hill Marl et de Smuggler’s Cave Marls (JARVIS & TOCHER, 1987)
La marne New Pit 1 est souvent doublée d'un joint situé à 10 cm au-dessous d’elle. Ce joint est la surface supérieure d'un hardground et il peut paraître parfois plus net que la marne New Pit 1. En Angleterre (MORTIMORE, 1986), sous la marne New Pit 1, sont récoltés d’abondants *Inoceramus lamarcki*, tandis qu’*Inoceramus cuvieri* est récolté dans et au-dessus de la marne New Pit 2, ainsi que *Romaniceras (Yubariceras) ornatissimum*.
La marne New Pit 3 n’est pas globalement plane, mais elle est faiblement ondulée. Deux niveaux à *Conulus* ont été identifiés, respectivement à 1 m au-dessous et au-dessus de cette marne. Cet événement à *Conulus* est le suivant après celui au-dessus de la marne Round Down, c'est le dernier du Turonien moyen.
À 1 m au-dessous de la marne New Pit 2, *Concinnithyris cf. albensis* en mauvais état est récolté.
Sur le platier, entre la marne New Pit 3 et la marne Glynde 1, de grandes ammonites *Lewesiceras peramplum* ont été observées.
A environ 1,5 m à 2 m au-dessus de la marne New Pit 3 se situe un hardground ferrugineux, à nodules ferrugineux, désigné ici HG Chirvals.
Du point de vue tectonique, dans cet intervalle, la craie est découpée par un réseau conjugué de longs joints obliques.

Dans la zonation des microcrinoïdes de GALE (2019), l’intervalle occupe entièrement la zone TuR9.

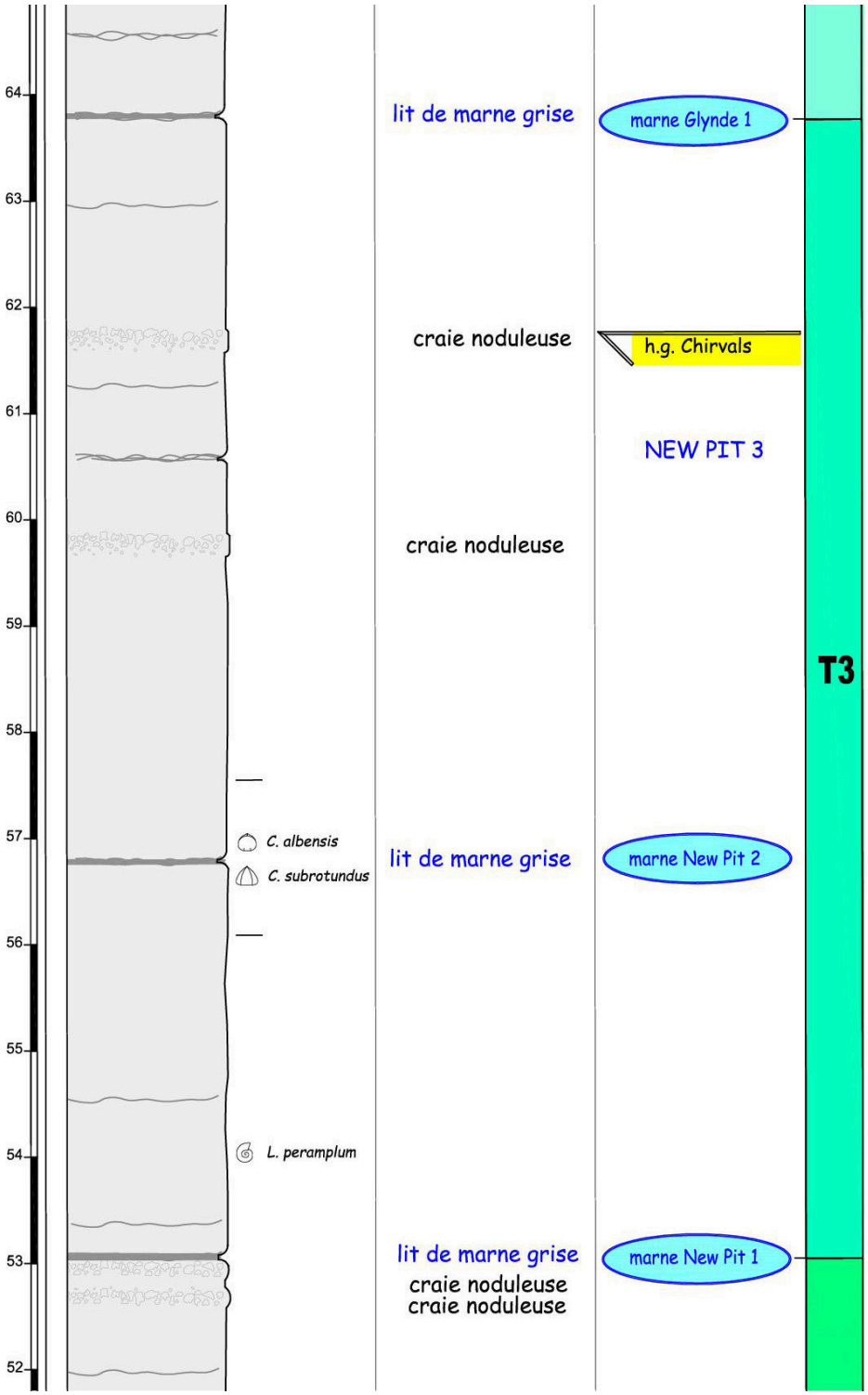


Fig. 48 - Log stratigraphique de T3, de la marne New Pit 1 à la marne Glynde 1

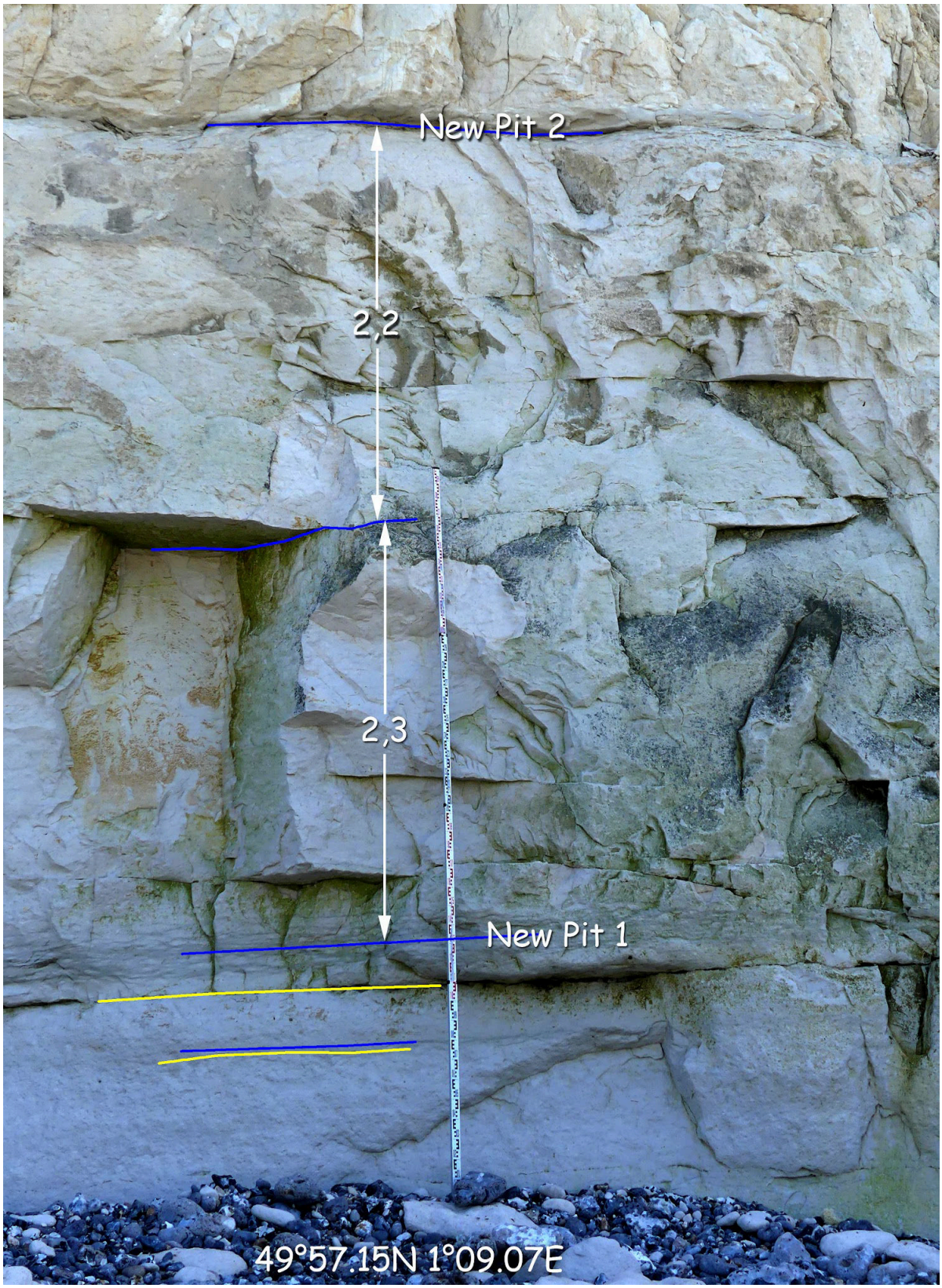


Fig. 49 - Intervalle T3, entre la marne New Pit 1 et la marne New Pit 2



Fig. 50 - Intervalle T3, entre la marne New Pit 2 et la marne New Pit 3

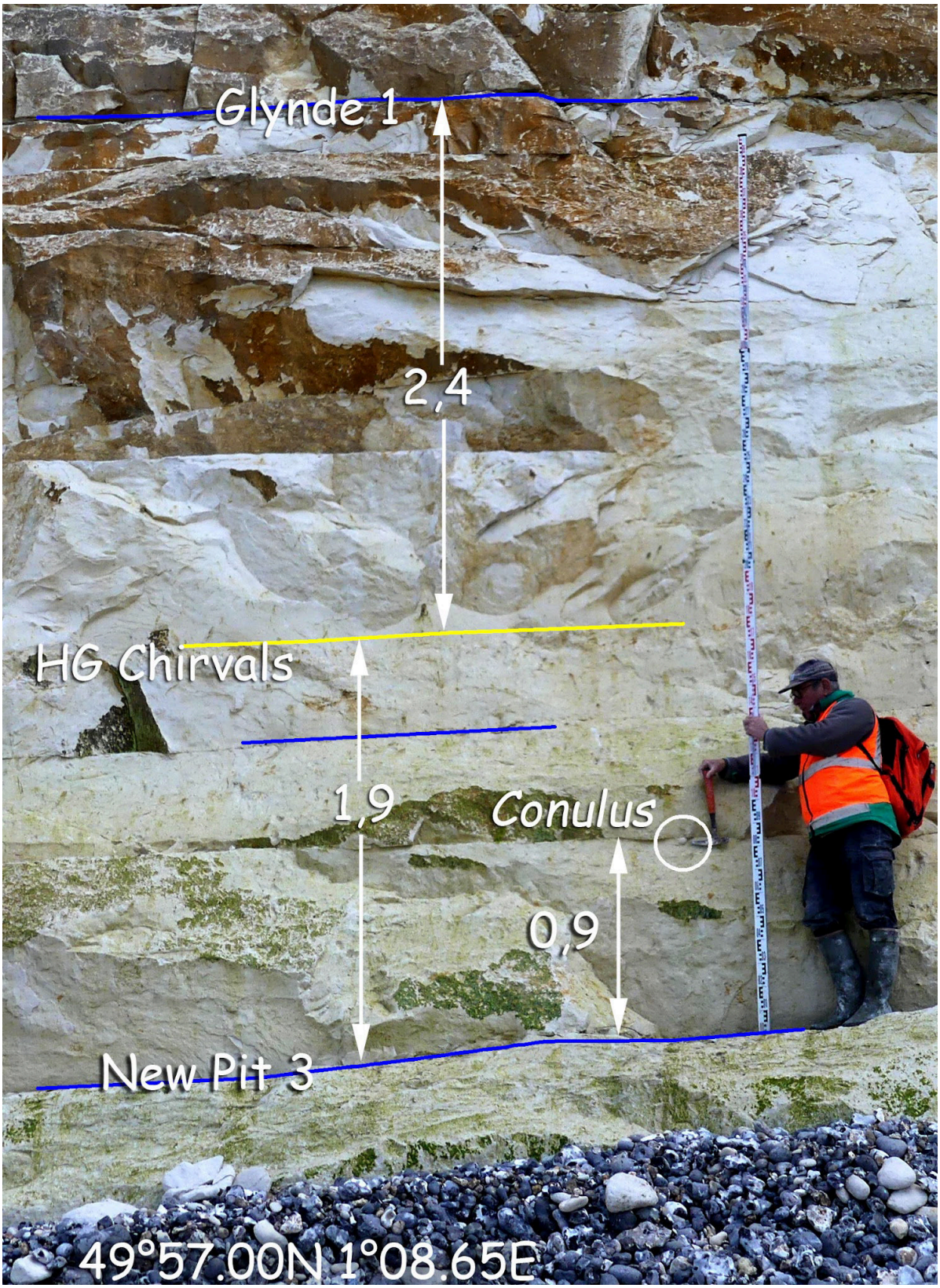


Fig. 51 - Intervalle T3, entre la marne New Pit 3 et la marne Glynde 1

Intervalle T4 : de la marne Glynde 1 à la marne Southerham 1

Cet intervalle mesure ici environ 12 m d'épaisseur. Les deux marnes qui le limitent sont considérées comme des bentonites cinéritiques, bien identifiables dans la falaise.

- **T4a** (Un peu plus de 3 m)
  Elle est occupée par les 6 marnes Glynde, régulièrement espacées. Toutes ces marnes n'ont pas la même importance, la première est généralement la mieux marquée et la troisième est très discrète. Dans le Kent et le Sussex, on compte également 6 ou 7 marnes (WRAY, 1990).

- **T4b** (2 m à 2,5 m)
  Elle se développe jusqu'à l'apparition d'un premier niveau de petits silex digités et ferrugineux, appelés ici *silex Camp de César*. Cette première incursion siliceuse pourrait être équivalente au "*Lydden Spout Flint*" de la coupe de Douvres (GALE, 1996). Le premier niveau de craie durcie est présent à mi-hauteur.

- **T4c** (Environ 5 m)
  La craie devient progressivement de plus en plus dure et cimentée, mais ce n'est qu'au sommet que s'individualisent des ébauches de hardgrounds. Lorsque ces bancs arrivent en bas de falaise, ils forment un ressaut ou un entablement. Ce niveau est celui du "*Spurious Chalk Rock*" (fausse craie rocheuse) de ROWE (1908). Ce qualificatif lui est donné pour le différencier de l'authentique "Chalk Rock" situé au-dessus, dans la zone à *Sternotaxis plana*, alors que le "spurious" appartient à la zone à *Terebratulina lata*. Dans les coupes plus condensées du Hampshire, il peut être équivalent au HG Pewsey (GALE, 1996).
  L'excursion positive du $\delta^{13}C$ qualifiée d'"événement Pewsey" se place également à ce niveau.

- **T4d** (Environ 1 m)
  Elle débute par un hardground surmonté par une craie très dure. Un niveau de silex de type *Thalassinoides* (silex Southerham), parfois très gros, est régulièrement présent.

La limite Turonien moyen / Turonien supérieur n'est pas fixée avec précision (absence d'ammonites), mais elle passe approximativement dans la partie haute de l'intervalle.

L'intervalle T4 est caractérisé par sa rareté en fossiles. Les Échinides sont principalement représentés par des formes à test fin du genre *Roweaster*. Pour les Brachiopodes, cet intervalle voit la disparition de l'espèce *Concinnithyris albensis*, tandis qu'apparaissent les premières espèces du genre *Gibbithyris*. Pour les Bivalves, les Inocérames et *Spondylus* sont également présents.

Dans la classification de GALE (2019) d'après les microcrinoïdes, la zone TuR10 est bien définie entre la marne Glynde 6 et la marne Southerham.

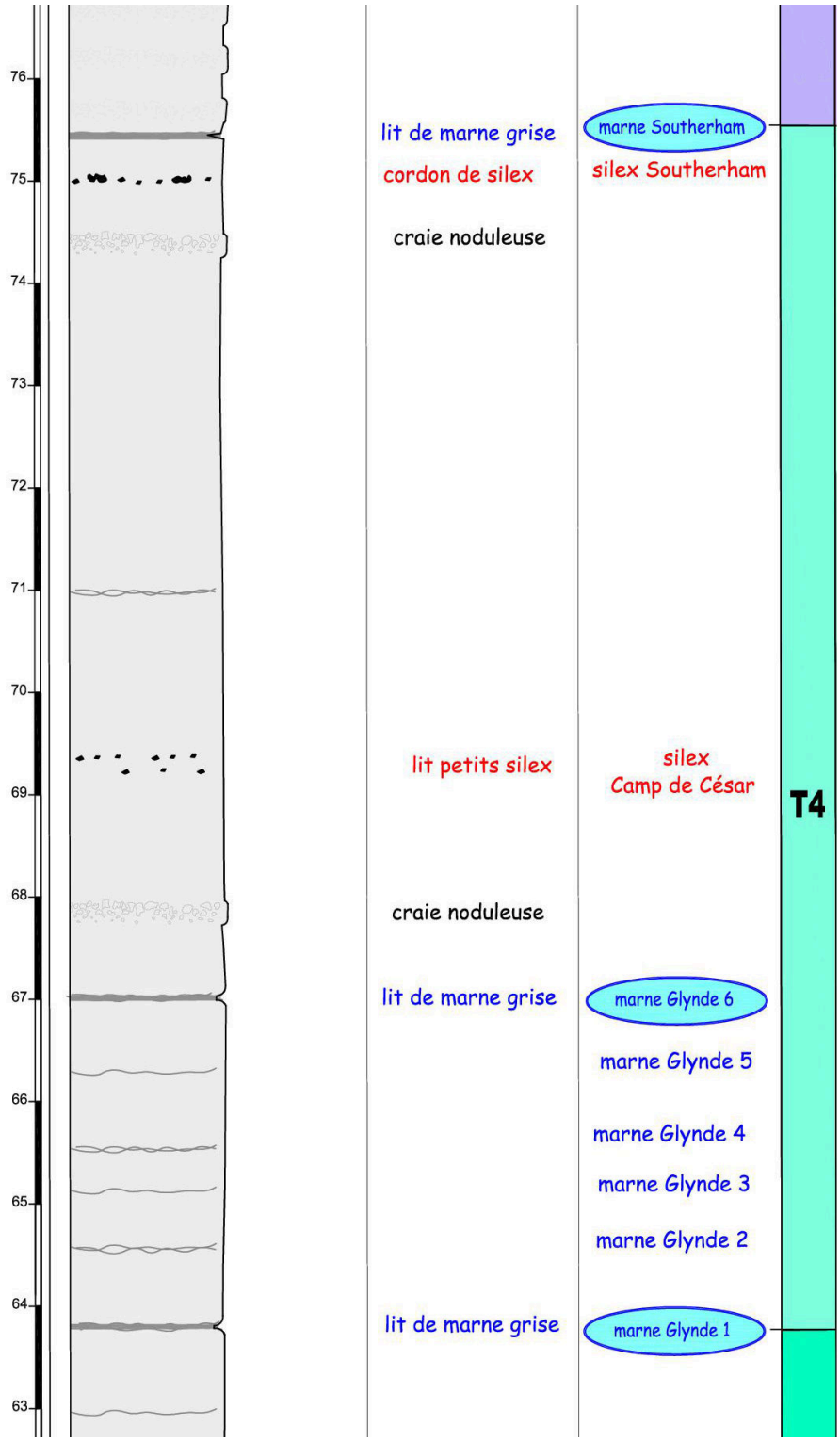


Fig. 52 - Log stratigraphique T4, de la marne Glynde 1 à la marne Southerham

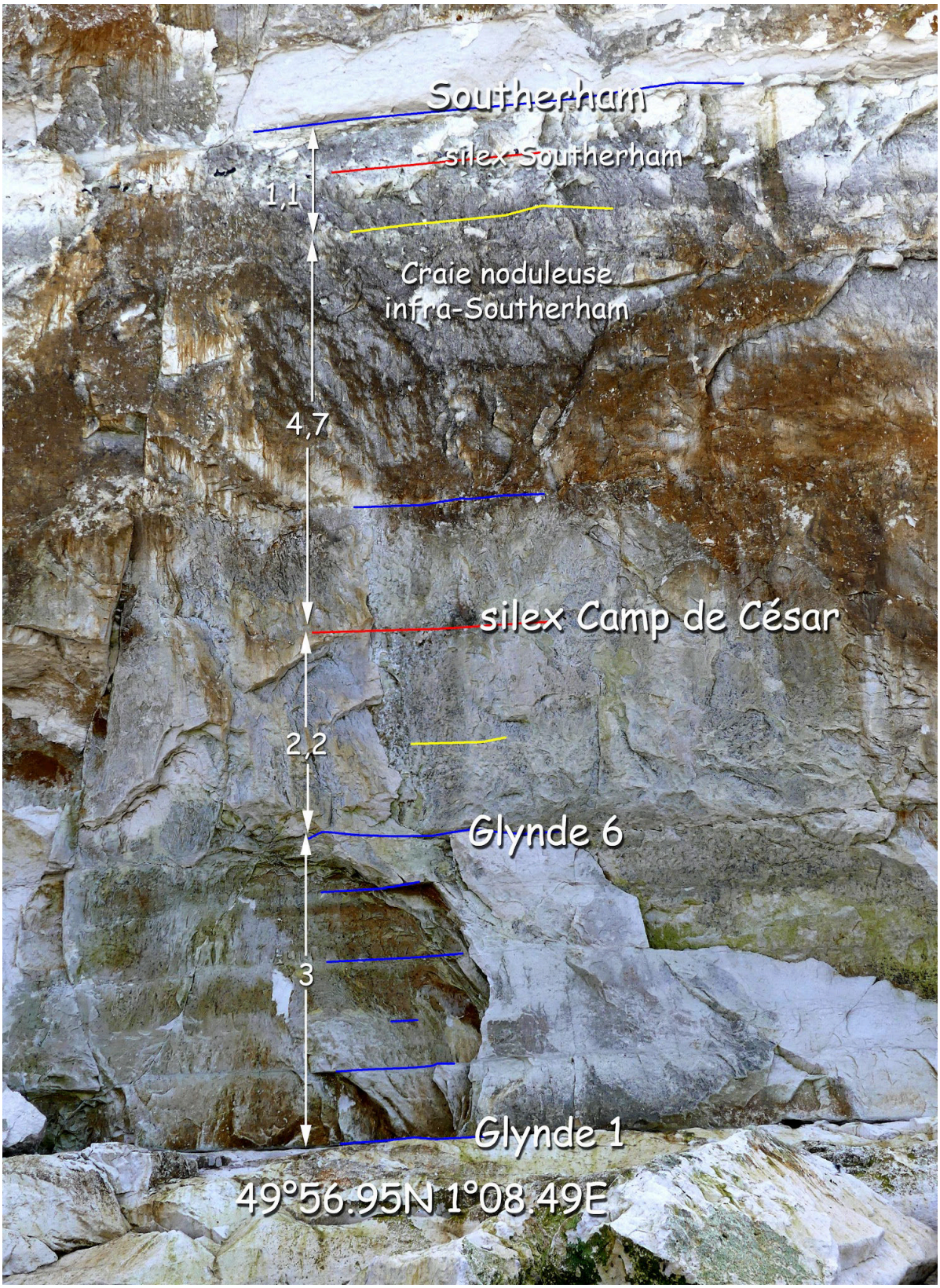


Fig. 53 - IntervalleT4

Intervalle T5 : de la marne Southerham 1 à la marne Caburn

L'épaisseur de cet intervalle est comprise entre 6,2 et 6,6 m. D'apparence monotone, la sédimentation est perturbée par deux épisodes de condensation :

- Le premier, au début, est assez faible et se traduit par des craies noduleuses, ici désignées HG Bracquemont 1.
- Le second, vers le sommet, plus marqué, est formé de 3 hardgrounds coalescents, désignés ici HGs Bracquemont 2a, 2b et 2c. Il correspond au *Caburn Sponge Bed* développé dans le Sussex et dans le Kent où il a fourni *Romaniceras deverianum*.

Les silex sont rares et de petite taille. Ils se situent dans la partie haute de l'intervalle, avec 2 niveaux associés au HG Bracquemont 2 (silex sBq1 et sBq2) et un niveau (sBq3) juste au-dessous de la marne Caburn.

Les Échinides récoltés sont : *Roweaster corbovis, Roweaster joviniacensis* et *Gauthieria radiata.* Quelques exemplaires d'*Echinocorys* à test fin ont été trouvés. C'est le premier signalement du genre. Pour les Brachiopodes, le genre *Gibbithyris* est désormais plus fréquent. Il est représenté par une espèce différente de *G. semiglobosa* (ce point fera l'objet d'une discussion détaillée dans un volume paléontologique ultérieur). *Orbirhynchia dispansa* est également retrouvé à ce niveau. La présence de *Gyrosoria lata* a été confirmée dans ce secteur de Puys, validant un spécimen déjà répertorié dans la collection JANET au Musée de l'Oise à Beauvais. Pour les Lamellibranches, *Spondylus* et *Inoceramus lamarcki/cuvieri* sont présents.

Dans la zonation des microcrinoïdes de GALE (2019), l'intervalle correspond à la zone TuR11.

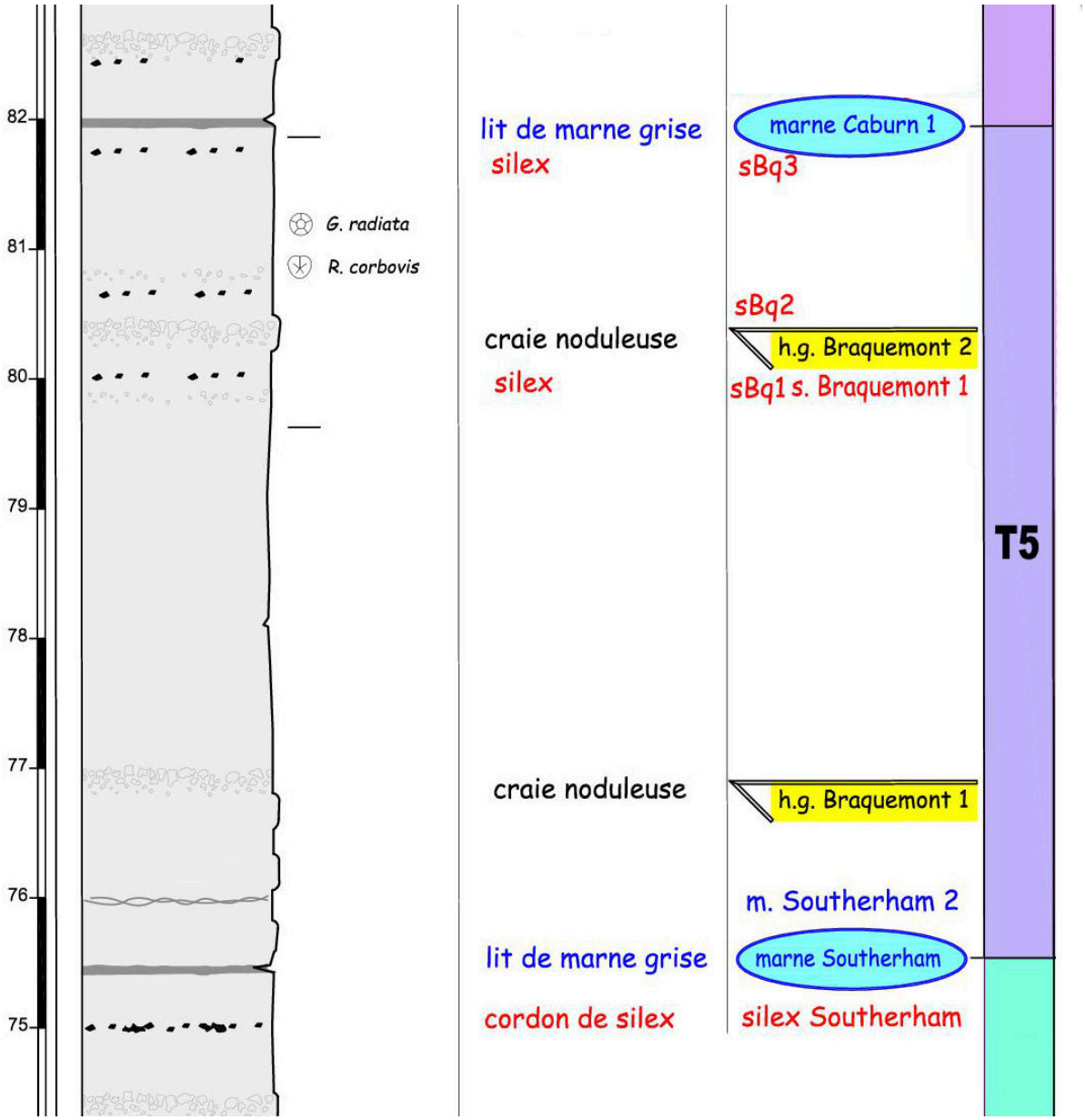


Fig. 54 - Log stratigraphique de l'intervalle T5 de la marne Southerham à la marne Caburn

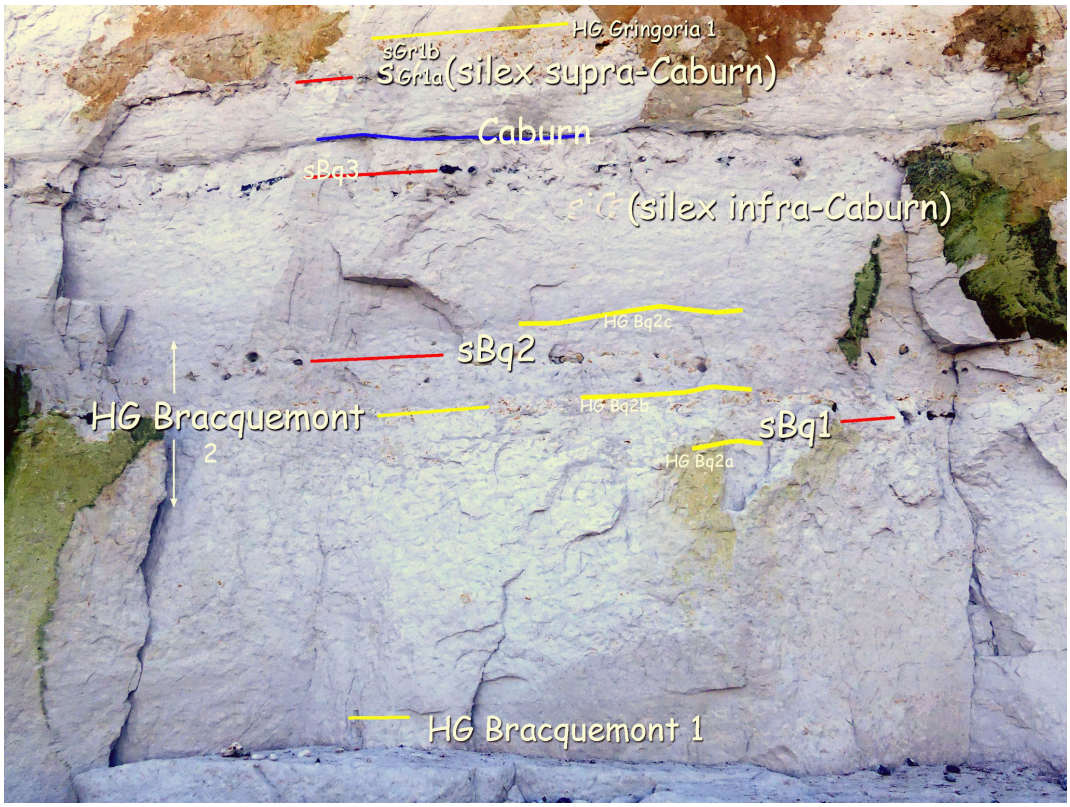


Fig. 55 - Partie supérieure de l'intervalle T5

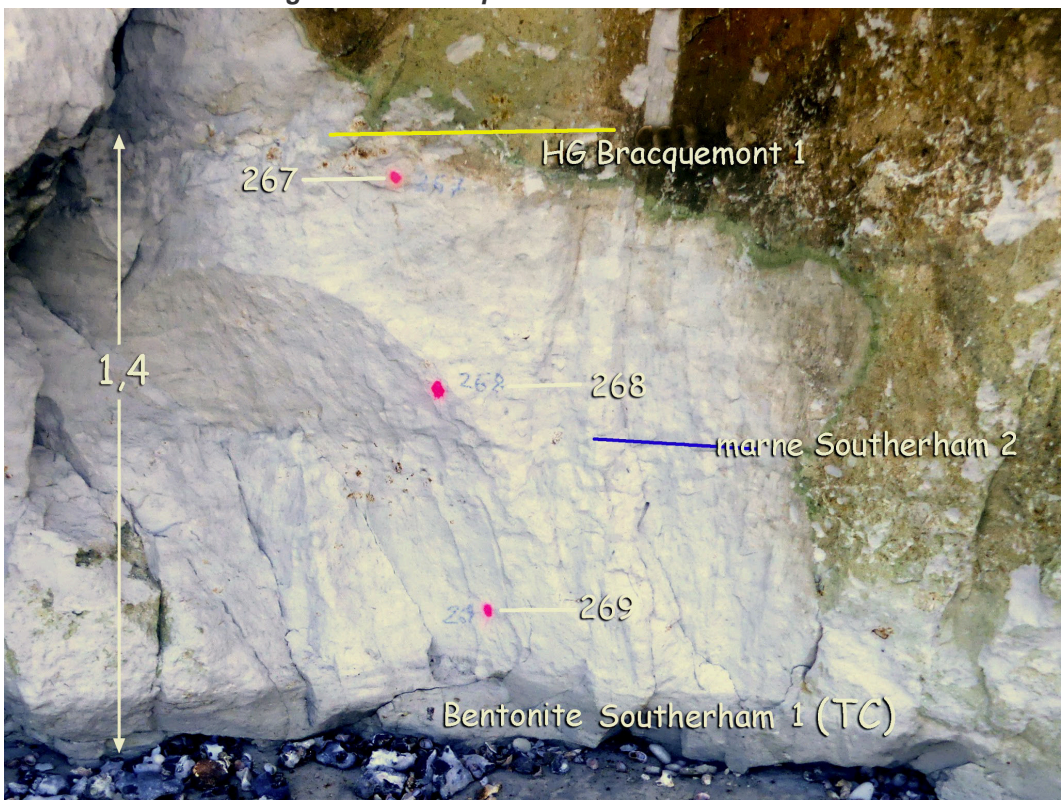


Fig. 56 - Partie inférieure de l'intervalle T5

Intervalle T6 : de la marne Caburn à la marne Bridgewick 1

Cet intervalle mesure un peu moins de 10 mètres d'épaisseur. De toutes les coupes littorales, cette épaisseur est la plus forte, l'intervalle local peut servir de référence. La marne Caburn est bien marquée et elle est encadrée presque constamment par deux niveaux de silex. Schématiquement, d'après la répartition des silex et des hardgrounds, l'intervalle se divise en deux parties presque égales.

- La partie inférieure est pauvre en silex. Seuls deux niveaux de silex assez discrets (sGr1 et sGr2) sont présents.
- La partie supérieure est plus riche en silex (silex Gringoria sGr3 à sGr7). Le triplet bien stratifié SGr3, SGr4 et sGr5 composé de gros silex *Thalassinoides* forme un motif évident dans la falaise. Les silex sGr6 et sGr7 entrent dans la catégorie des silex dispersés, anguleux et parfois lardés de sheet-flints. Cette partie supérieure correspond aux *Bridgewick Flints* (MORTIMORE *et al*., 2001). La craie entre sGr5 et sGr6 est traversée de joints courbes tectoniques. Cette disposition suggère l'action d'un ébranlement sismique ayant agi sur les silex supérieurs.

Quatre niveaux durcis, désignés *Hardgrounds Gringoria* (du nom de la valleuse archéologique éponyme), sont présents dans l'intervalle :

- Les deux premiers (HGs Gringoria 1 & 2) succédant à la marne Caburn consistent simplement en une craie noduleuse claire.
- Le HG Gringoria 3 est coloré et franc, environ à 2,7 m sous la marne Bridgewick 1. Il est ravinant, faisant localement disparaître le silex sGr5.
- Le HG Gringoria 4, est coloré, peu épais, environ à 0,5 m sous la même marne Bridgewick.

Les Hardgrounds Gringoria, ici dénommés, sont mis en correspondance avec les HGs Bantam Hole (ROBINSON, 1986), rarement cités.
Un réseau conjugué de sheet-flints obliques est caractéristique de cet intervalle. Une très large majorité de ces sheet-flints est bloquée sous la marne Bridgewick 1. Les sheet-flints à regard Est sont dominants sur ceux à regard Ouest.
La partie inférieure de l'intervalle T6 laisse apparaître des séquences hémi-métriques craie/ marne flaser, la marne Caburn étant suivie de répliques Caburn 2 et Caburn 3.
La faune devient plus riche et variée :
Échinides : *Palaeodiadema "ebroicense", Salenocidaris granulosa, Gauthieria radiata, Tylocidaris clavigera, Hirudocidaris hirudo, Phalacrocidaris serrifera, Sternotaxis plana, Echinocorys scutata,.*
Brachiopodes *: Gibbithyris turonica, Orbirhynchia dispansa,*
Lamellibranches *: Spondylus spinosus,* grands *Inoceramus (lamarckii ?).*
Céphalopodes *:* 2 ammonites *Lewesiceras* en mauvais état, entre 10 et 20 cm.

L'ensemble comprenant les silex Gringoria sGr3 à sGr7 (alias silex Bridgewick) auxquels s'ajoutent les marnes Bridgewick 1 & 2 et les silex Bopeep de l'intervalle T7 correspond au "Basal Complex" de Douvres et des North Downs.

Dans la zonation des microcrinoïdes de GALE (2019), l'intervalle T6 occupe la partie inférieure de la zone TuR12.

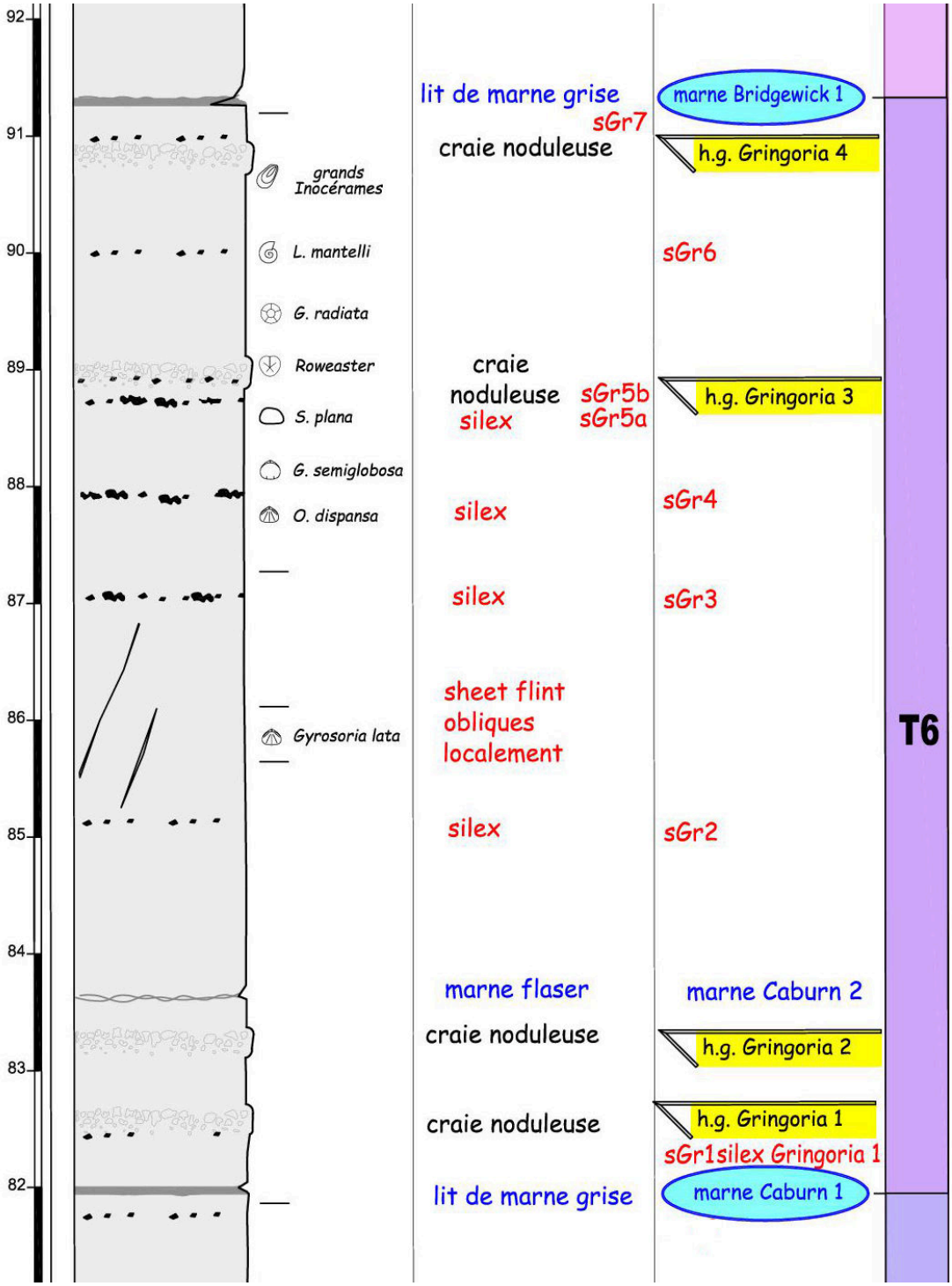


Fig. 57 - Log stratigraphique de l'intervalle T6, de la marne Caburn à la marne Bridgewick

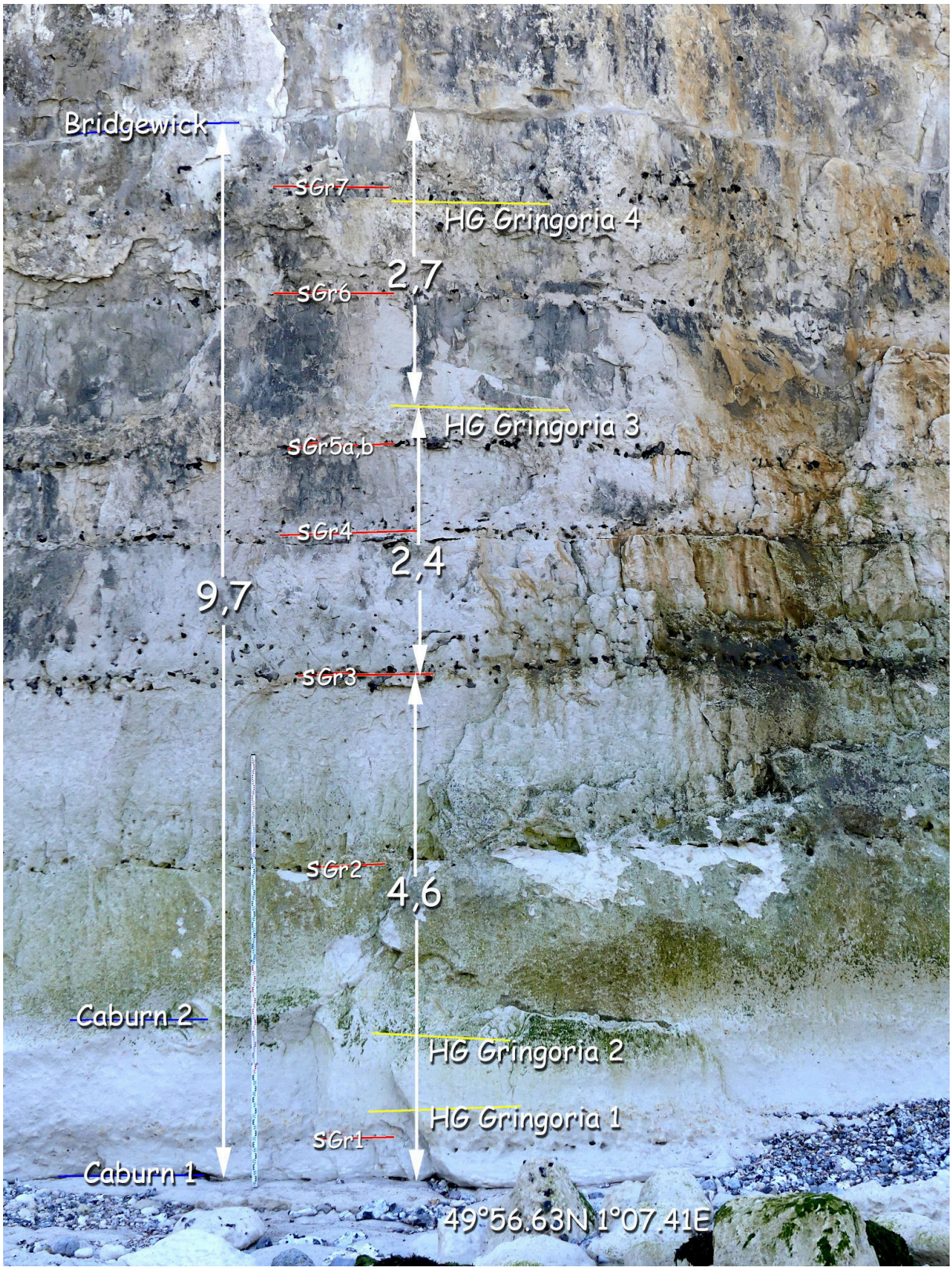


Fig. 58 - Intervalle T6 (en 49°56.63N 1°07.41E)

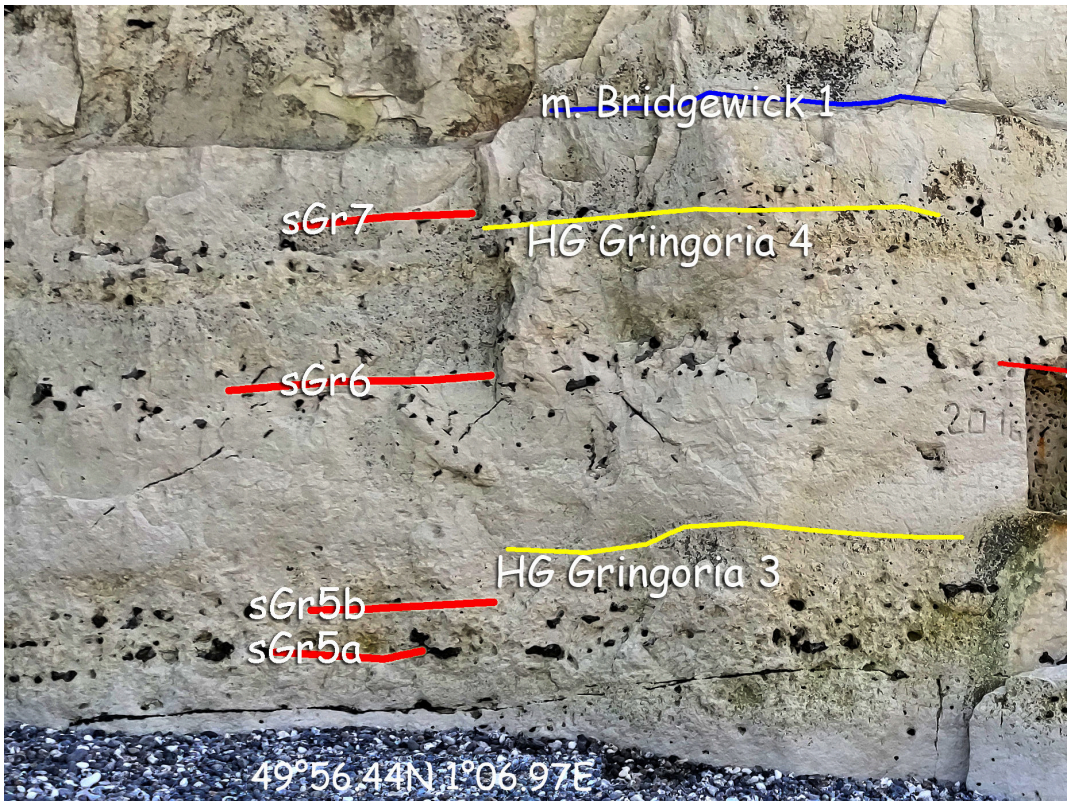


Fig. 59 - Partie supérieure de l'intervalle T6

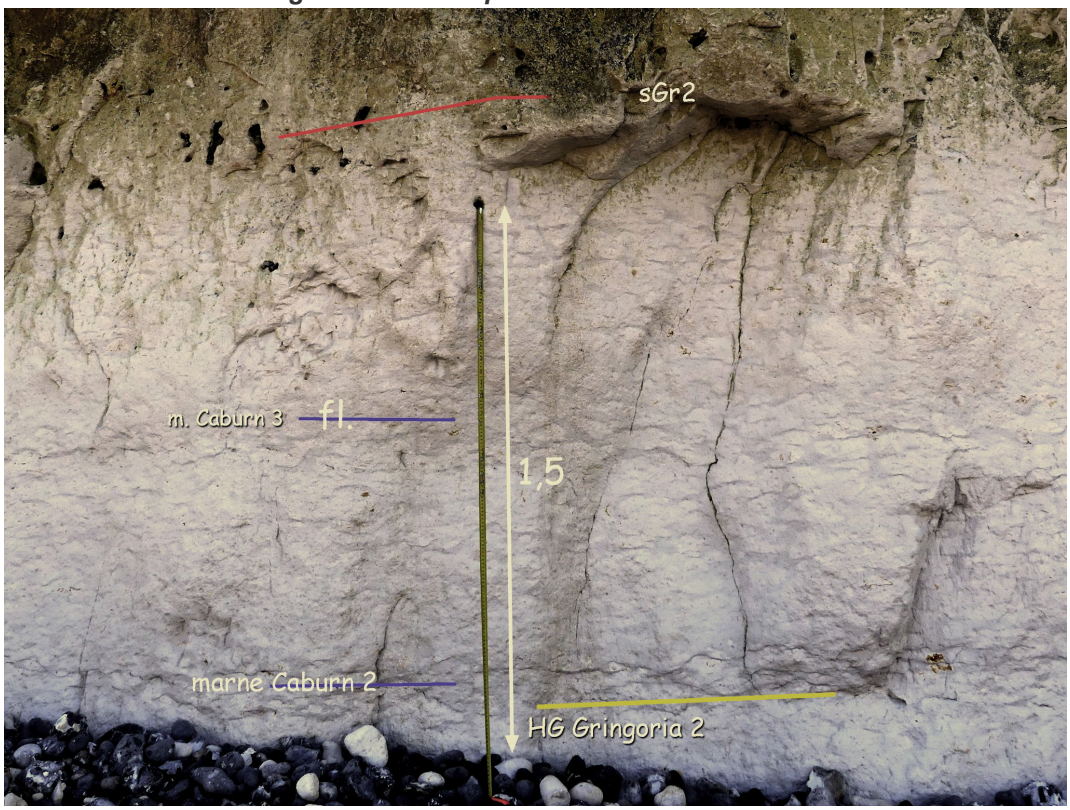


Fig. 60 - Partie inférieure de l'intervalle T6

Intervalle T7 : de la marne Bridgewick 1 à la marne Lewes

Son épaisseur est d'environ 12 m. La bentonite Bridgewick 1, à sa base, affleure bien sur le platier à l'Est des épis de Puys. Cet intervalle comporte d'assez nombreux hardgrounds plus ou moins nets (voir la relation avec le Chalk Rock et les HGs Senneville) et environ 15 niveaux de silex, désignés ici silex Puys et notés sPy1 à sPy15.
L'épaisseur, la forme et la disposition des silex appelle plusieurs remarques :

- Le plus remarquable des silex, le silex sPy13, offre un caractère continu et tabulaire. Il est mis en équivalence avec le *silex Breaky Bottom* en Angleterre (MORTIMORE *et al.*, 2001).
- Les 3 premiers silex (sPy1 à sPy3) sont rapportés aux *silex Bopeep* en Angleterre (MORTIMORE & WOOD, 1986). Le silex Bopeep 1 est formé de nodules discontinus. Le silex Bopeep 2 est persillé. Le silex Bopeep 3, très net, est formé de gros rognons de type *Thalassinoides*.
- Les silex sPy7 et sPy8 sont assez nets.
- Au sommet de l'intervalle, une couche particulière, comprise entre le silex Breaky Bottom et la marne Lewes, remanie les silex sPy14 et sPy15. Ceux-ci sont cylindriques et montrent en section une figure annulaire caractéristique. C'est le niveau des *silex tubiformes inférieurs Lewes* où prévalent les petites formes de *Micraster leskei* (Lower Tubular Flints de MORTIMORE et POMEROL,1987).
- Plusieurs niveaux montrent des silex disséminés dans une tranche d'une certaine épaisseur. Ces silex n'ont pas de forme régulière et sont même parfois anguleux, suggérant d'avoir été brisés postérieurement à leur formation initiale.

Hormis la marne Bridgewick 1, reconnue bentonitique, deux autres marnes plus discrètes et non-bentonitiques sont observables:

  - La marne Bridgewick 2 est située entre les silex sPy1 et sPy2.
  - La marne Bridgewick 3 n'est qu'un fin joint entre les silex sPy3 et sPy4.

Les hardgrounds occupent une place conséquente et ils se concentrent dans 4 tranches principales :

- Hardgrounds Puys 1 :
  - HG Puys 1a (mineur), entre sPy1 et marne Bridgewick 2,
  - HG Puys 1b (entre sPy2 et sPy3).
- Hardgrounds Puys 2 :
  - HG Puys 2a1, entre sPy5 et sPy6,
  - HG Puys 2a2, coloré, entre sPy6 et sPy6',
  - HG Puys 2b, au-dessus de sPy7',
  - HG Puys 2c, entre sPy8 et sPy9.
- Hardgrounds Puys 3 :
  - HG Puys 3a (mineur), au-dessus de sPy10,
  - **HG Puys 3b** (majeur, coloré), entre sPy11 et sPy12.
- Hardgrounds Puys 4 :
  - HG Puys 4a (au-dessus du silex Breaky Bottom),
  - HG Puys 4b (au-dessous de sPy15).

Des sheet-flints, particularité tectonique, sont notés à différents niveaux : vers sPy4, SPy8, sPy10 et surtout au-dessus du silex Breaky Bottom. Une autre particularité visuelle : deux couches de craie tendre sans silex forment deux bandes claires à distance :

- L'une ici appelée couche lisse 1, au-dessus du HG Puys 2a2.
- L'autre, appelée couche lisse 2, au-dessous du silex sPy8.

L'intervalle T7 est largement compris dans la zone TuR12 de GALE (2019). C'est à partir du silex Breaky Bottom que débute la zone TuR13, très courte puisqu'elle s'achève un peu au-dessus de la marne Lewes.
L'important événement isotopique positif Hitch Wood (associé à l'événement biologique *Hyphantoceras*) appartient à cet intervalle. Pour être plus précis, en comparant avec la coupe de Culver Cliff (JARVIS *et al*., 2006), le pic se situerait vers les HGs Puys 2 ou 3, ici désignés. Aucune vérification n'a été entreprise.
L'apparition de *Micraster leskei* est un fait paléontologique important de l'intervalle T7.
Les premiers spécimens de taille moyenne à grande se rencontrent sur le Hardground Puys 2, tandis que l'existence des spécimens les plus petits se situe au niveau du Hardground Puys 3. L'hypothèse souvent admise d'une apparition par de petits spécimens n'est pas vérifiée sur ce secteur. L'espèce est particulièrement abondante (spécimens de grande taille) immédiatement sous la marne Lewes. *Micraster leskei* est considéré comme un excellent marqueur stratigraphique de cet intervalle.
Le HG Puys 3b est le plus fossilifère de l'intervalle. Bien exposé sur l'estran de Puys Ouest, au niveau des tétrapodes et en pied de falaise, il contient :
Échinides : *Palaeodiadema "ebroicense", Tylocidaris clavigera, Hirudocidaris vesiculosa, Stereocidaris sceptrifera, Phalacrocidaris perornata, Gauthieria radiata, Sternotaxis plana, Echinocorys scutata, Conulus subrotundus, Micraster leskei.*
Brachiopodes : *Gibbithyris semiglobosa* (de belle taille et nombreux)*, Woodwardirhynchia cuneiformis* (de grande taille)*, 'Cretirhynchia minor', Orbirhynchia reedensis,* rare *Orbirhynchia dispansa, Terebratulina striatula.*
Lamellibranches : *Spondylus spinosus.*
Céphalopodes : *Scaphites geinitzi, Yezoites bladensis, Subprionocyclus neptuni, Subprionocyclus bravaisianus, Subprionocylus hitchinensis, Hyphantoceras reussianum, Eubostrycoceras saxonicum, Lewesiceras mantelli*, nautile.
Gastéropodes fréquents.
Le HG Puys 3b est mis en correspondance avec le sommet du HG Senneville 1 et avec l'"*Hyphantoceras* event".
Dans les silex tubiformes inférieurs Lewes, *Scaphites geinitzi* a été également trouvé.
L'intervalle entre les silex Breaky bottom et la marne Lewes est également très fossilifère. On notera la présence en très grande abondance de *M. leskei* ainsi que *Plesiocorys* (*P*) *transiens* immédiatement sous la marne Lewes. Rares *Protacardiaster cotteauanus.* L'holotype, décrit par COTTEAU, (d'ORBIGNY, 1853, p. 141) provient très probablement de ce niveau. *Gauthieria radiata*, *Phalacrocidaris sp*, *Tylocidaris clavigera* sont également présents. Des Astérides complets (*Metopaster parkinsoni*, *M. uncatus*, *M. hunteri*, *Caletaster girardi*, *Stauranderaster pustulosus, Coulonia fournoui*) ainsi que des tests d'échinides réguliers (*Phalacrocidaris sp.* et *Tylocidaris clavigera, G. radiata*) avec leurs radioles en connexion y ont été récoltés, ce qui suppose un hydrodynamisme faible. *Lewesiceras sp.* y a été observée.

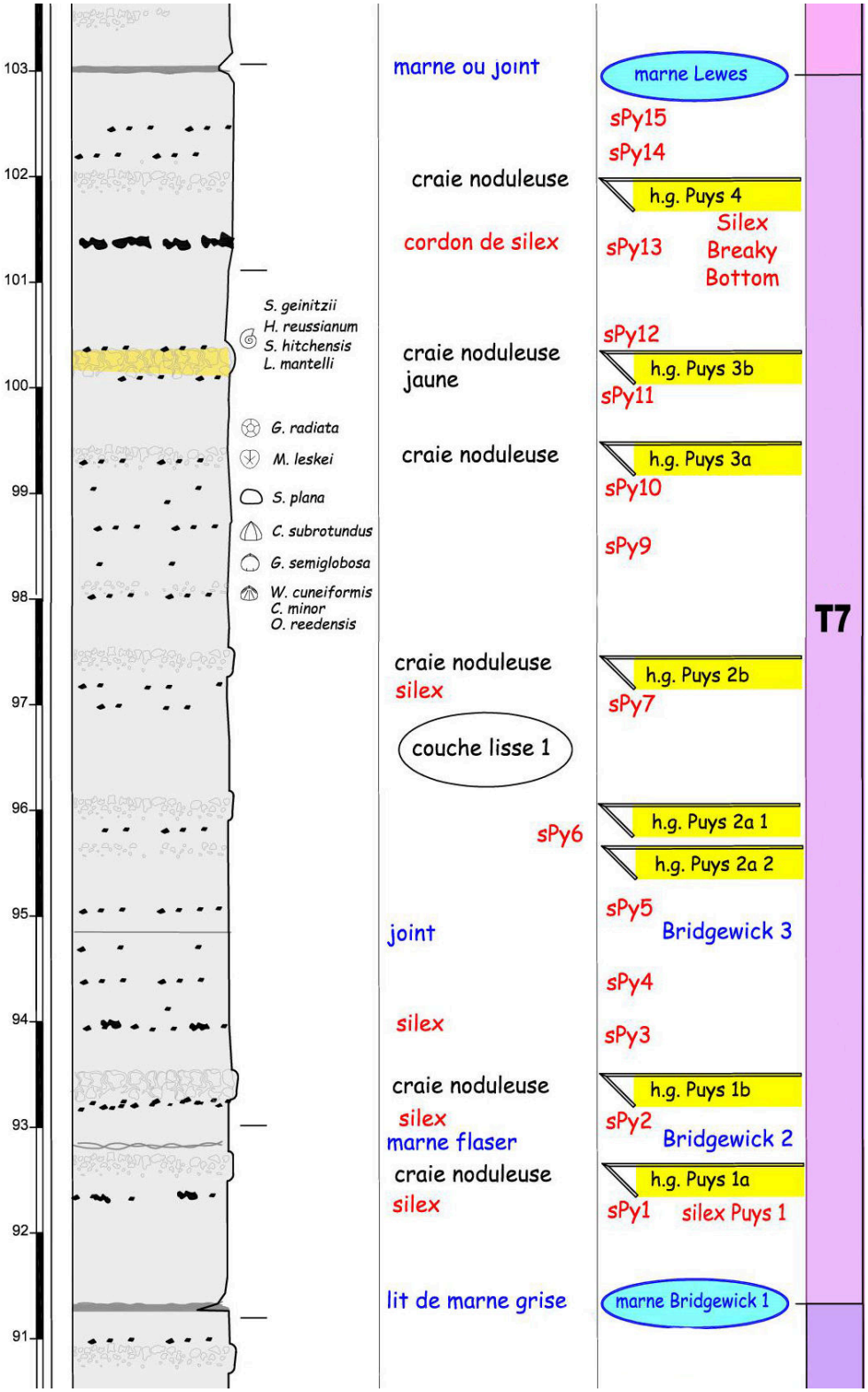


Fig. 61 - Log stratigraphique de l'intervalle T7, de la marne Bridgewick à la marne Lewes

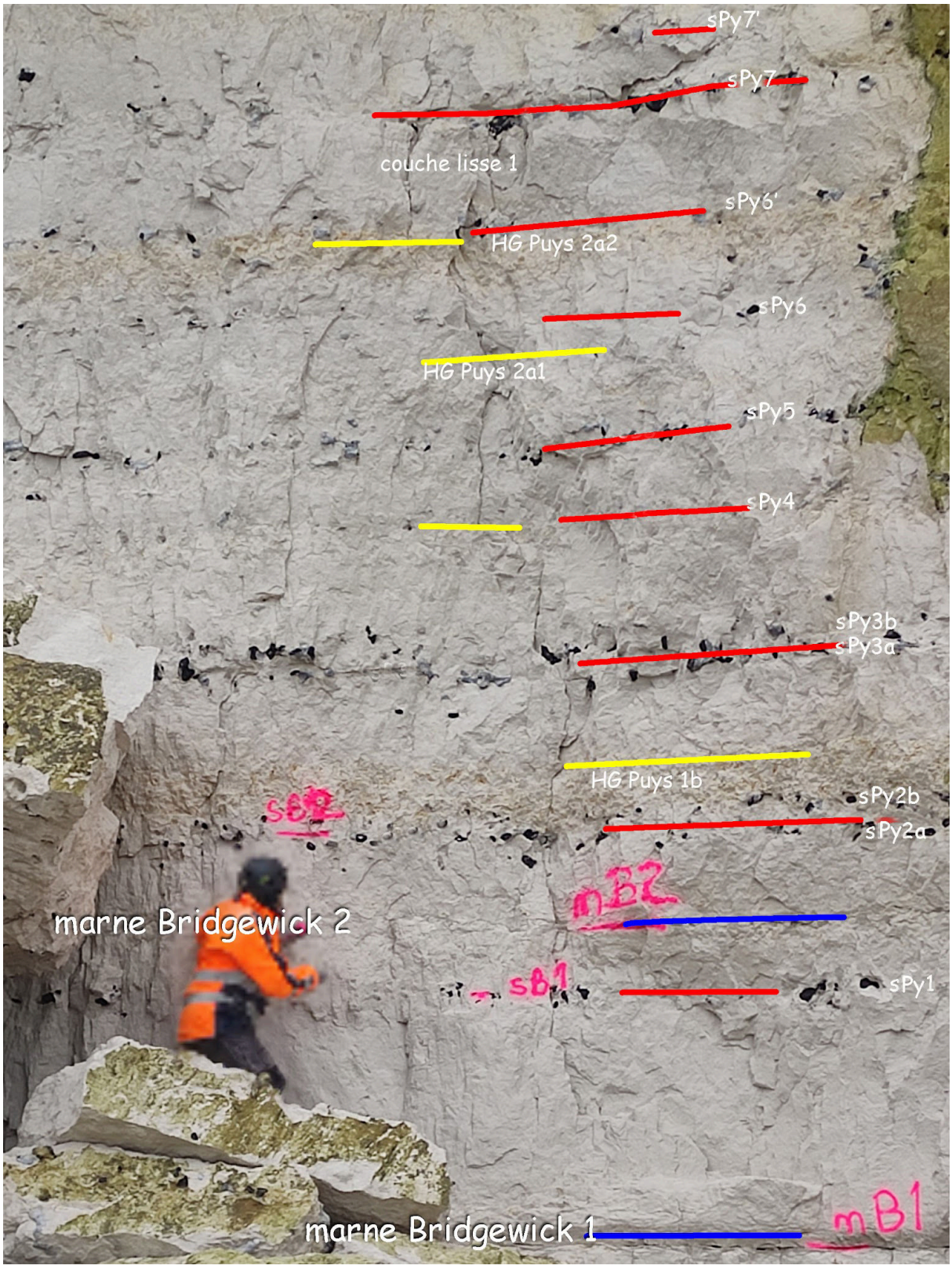


Fig. 62 - Partie inférieure de l'intervalle T7



Fig. 63 - Partie supérieure de l'intervalle T7

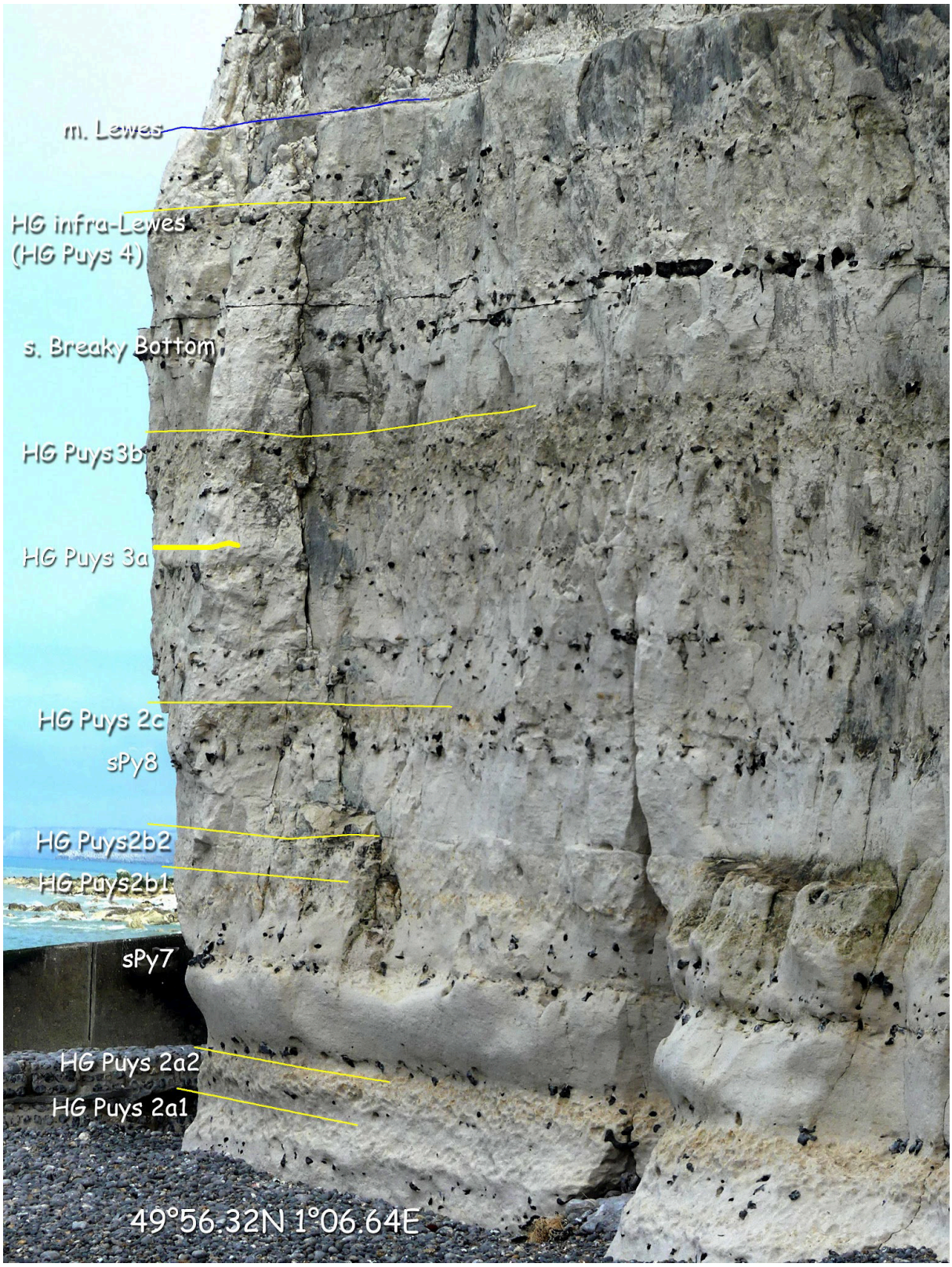


Fig. 64 - Partie supérieure de l'intervalle T7 (épi en 49°56.32N 1°06.64E)

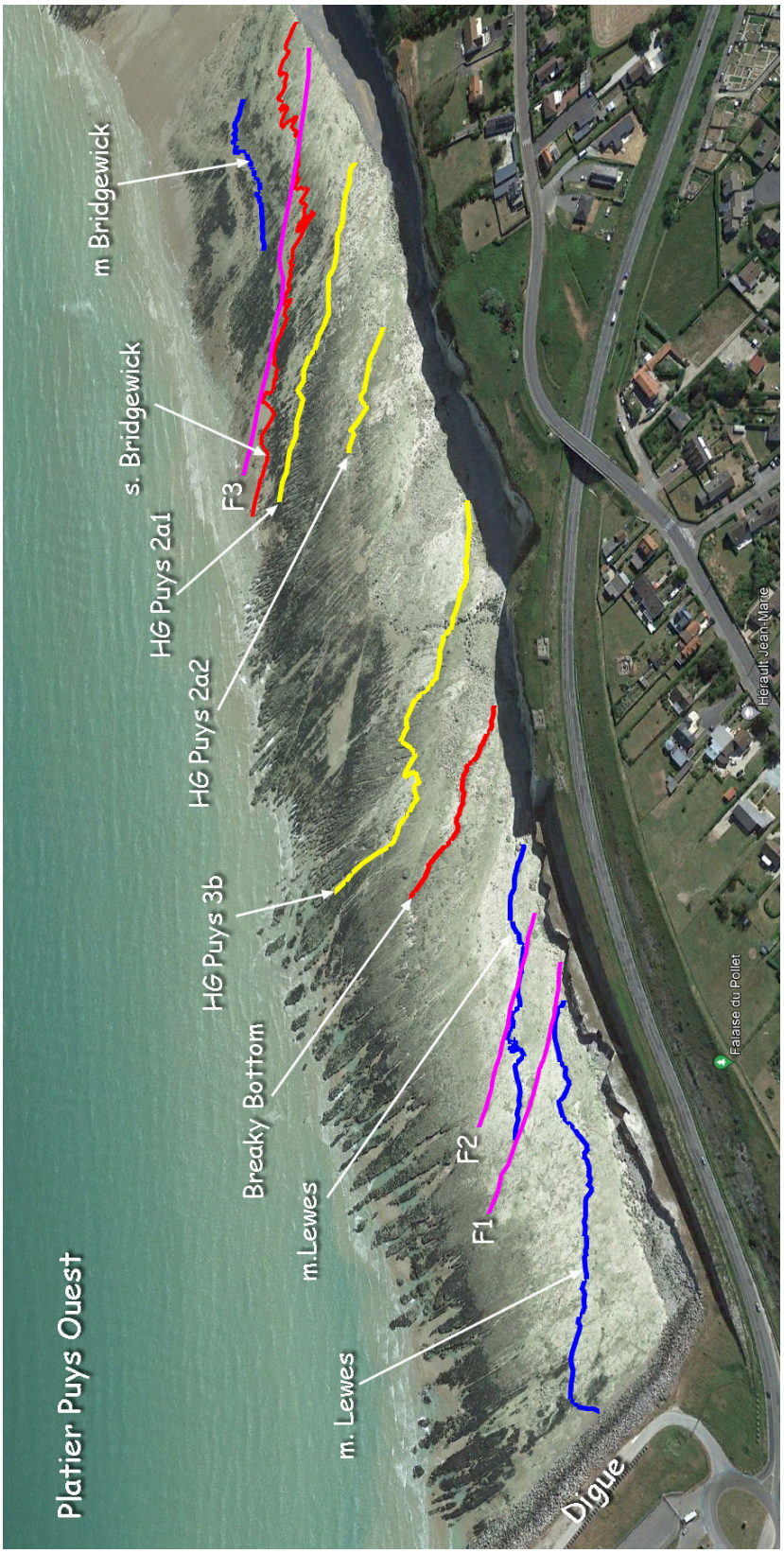


Fig. 65 - Niveaux-repères sur le platier de Puys Ouest (Google Earth)

Intervalle T8 : de la marne Lewes au HG Navigation

Il mesure ici environ 8,8 à 9 m d'épaisseur.

- A sa base, la bentonite Lewes (alias bentonite T_F d'Allemagne) est très nette (20 cm). Située à environ 3 m de la base de la falaise à l'W de la plage de Puys, on voit cette marne plonger sous le platier près de la digue du terminal transmanche.
- A son sommet, le Hardground Navigation (environ 40 cm) est également bien matérialisé par sa couleur plus marquée que les autres hardgrounds. MORTIMORE et POMEROL (1987) le qualifient encore de Breccia. Si sa partie inférieure peut avoir une apparence bréchique, sa partie supérieure est plus homogène et dure. Ce hardground constitue le plancher de l'ancienne carrière à l'E du rond-point et il est difficilement accessible aujourd'hui.

L'intervalle peut être divisé en deux parties, de part et d'autre d'un niveau de silex en gros nodules tordus, plus ou moins tubiformes, généralement plus marqué que les autres.
Ce silex est considéré comme l'équivalent anglais (MORTIMORE et al., 2001) :
- du silex White Nothe (Dorset)
- ou du silex South Street n°3 ou même du silex Snowdrop (Sussex).
Localement, ce silex est affecté d'un cisaillement, d'un aplatissement et d'une transformation en sheet-flint, ce qui le rend moins évident.

◆ La partie inférieure de l'intervalle

Épaisseur : environ 3,8 m.
Elle est formée de craie assez gélive qui se desquame en larges plaques. On dénombre plusieurs niveaux de *silex tubiformes*, dénommés ici "silex Dieppe" : sDp1, sDp2, sDp2', sDp3 et sDp4.
sDp2 et sDp2' sont dispersés, alors que les autres sont clairement stratifiés.
Ces silex constituent les *silex tubiformes supérieurs Lewes* de MORTIMORE et POMEROL (1987), un niveau bien caractérisé en Angleterre, mais moins bien représenté que les *silex tubiformes inférieurs Lewes*
Deux niveaux de hardground ou de craie noduleuse apparaissent :
- le premier à la base, ou HG Bondeville, entre marne Lewes et silex sDp1,
- le second, au-dessus du silex sDp3, ou *Craie Noduleuse Lewes inférieure* (CNL inf).
Une caractéristique tectonique de la partie inférieure est sa fracturation présumée paléosismique (onde de surface). Elle consiste, d'une part, en des joints subhorizontaux, plus ou moins courbes. Lorsque ces joints sont proches des niveaux de silex, ces derniers sont transformés en sheet-flints. C'est particulièrement le cas des silex sDp1 et sDp3.
La craie, d'autre part, est traversée d'une multitude de filonnets de calcite, obliques entre eux, formant un chevelu que l'altération différentielle met bien en relief. Cette structure est présumée être la conséquence d'une brutale élévation de la pression interstitielle lors d'un ébranlement sismique.

La couche de craie homogène entre sDp3 et le silex White Nothe est interprétée comme homologue du *Franc Banc* des carrières de l'arrière-pays.

La faune suivante est observable :

L'Échinide *Micraster leskei* persiste. Il se présente sous de grandes formes jusqu'au niveau White Nothe (conformément aux observations de MORTIMORE). On y rencontre également : *Phymosoma sp., Stereocidaris sceptrifera, Phalacrocidaris serrifera, Plesiocorys placenta, Echinocorys scutata*, *Conulus albogalerus*.
Brachiopodes : *Gibbithyris semiglobosa, Woodwardirhynchia cuneiformis* avec des formes moins plissées.

◆ La partie supérieure de l'intervalle

Épaisseur : environ 5 m.
Elle comporte 5 niveaux de silex, notés s0, s0', s1, s2 et s3.
- s0 et s0' correspondent à des petits silex, peu abondants, soulignés par un joint.
- s1 et s1 présentent des silex bien formés et constants. Ces 2 silex sont de probables équivalents des silex Snowdrop 1 & 2 (MORTIMORE *et al.*, 2001).
- s3 est formé de rares silex collés à la base du HG Navigation.

Des hardgrounds ou *Craie Noduleuse Lewes supérieure* (CNL sup) se répartissent en 3 niveaux:
- CNL sup 1a et CNL sup 1b forment un couple de hardgrounds compris entre le silex White Nothe et le silex s0.
- CNL sup 2 est compris entre s0 et s0'.

Dans un panneau effondré à l'E de Puys, au-dessous du silex s2, soit à environ 1 m au-dessous du HG Navigation, le niveau de *Zoophycos* Cuilfail (MORTIMORE, 1986), non silicifié, est clairement identifié sur une épaisseur de 50 cm.

Le *HG Navigation* est coloré, bien marqué, induré .On y rencontre : *Micraster normanniae, Echinocorys scutata* et *Gibbithyris semiglobosa* (couleur très foncée).

L'apparition du bivalve *Cremnoceramus rotundatus* (qui définit la base officielle du Coniacien) est observée dans le Sussex et à Douvres au-dessus du hardground Navigation, au niveau des « marnes Navigation ». Ces marnes n'ont pas été identifiées sur le littoral.

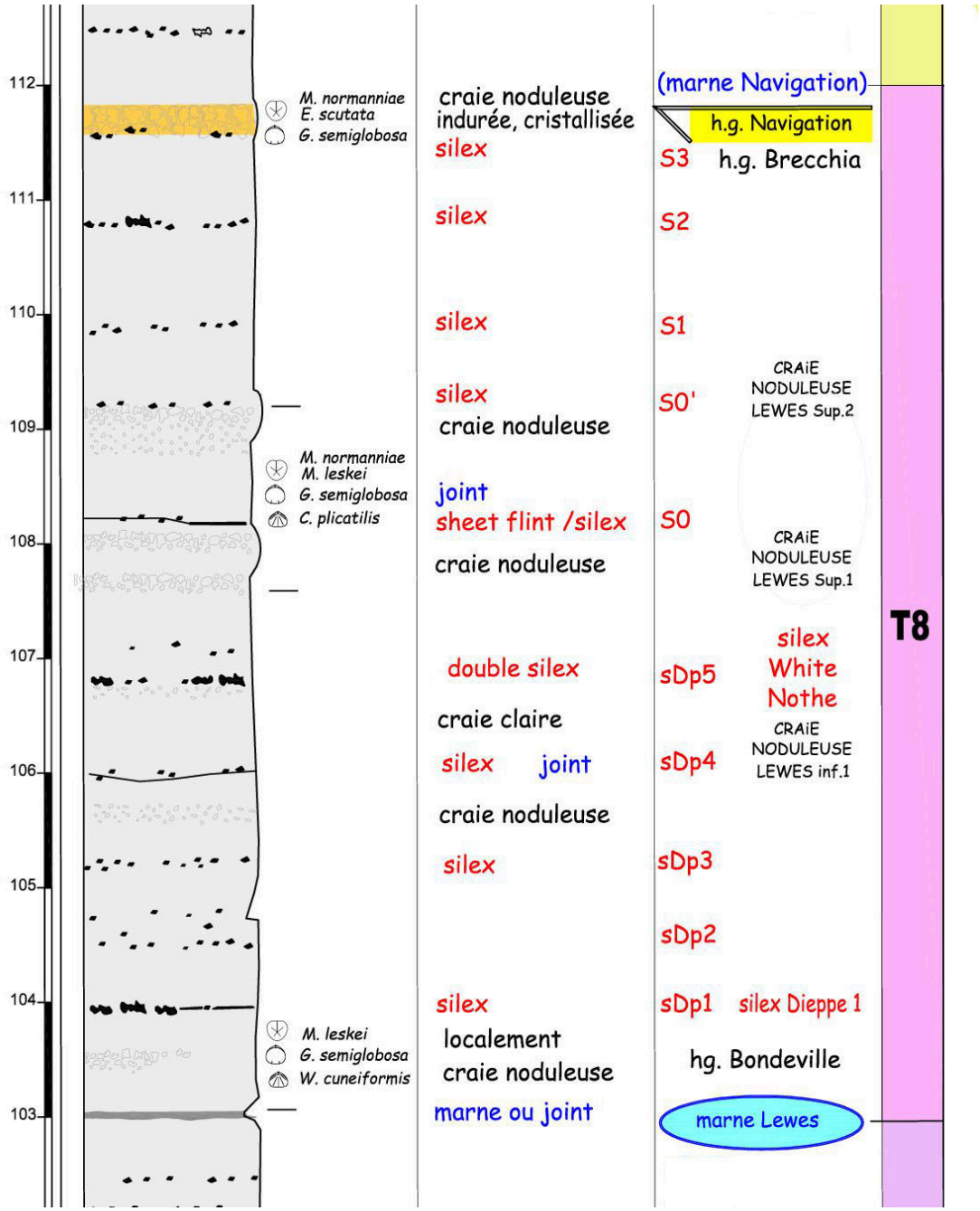


Fig. 66 - Log stratigraphique de l'intervalle T8, de la marne Lewes au hardground Navigation

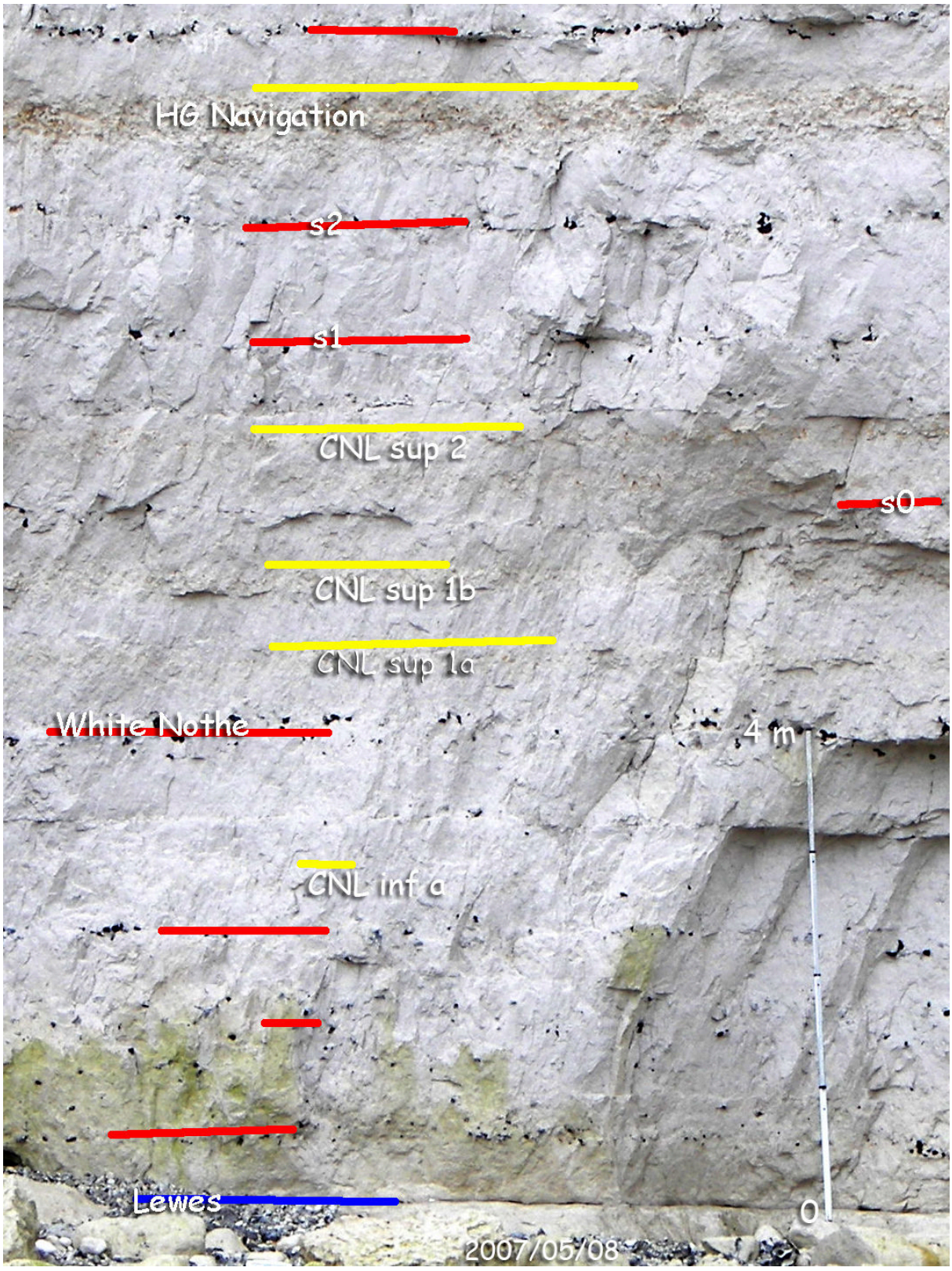


Fig. 67 - Intervalle T8

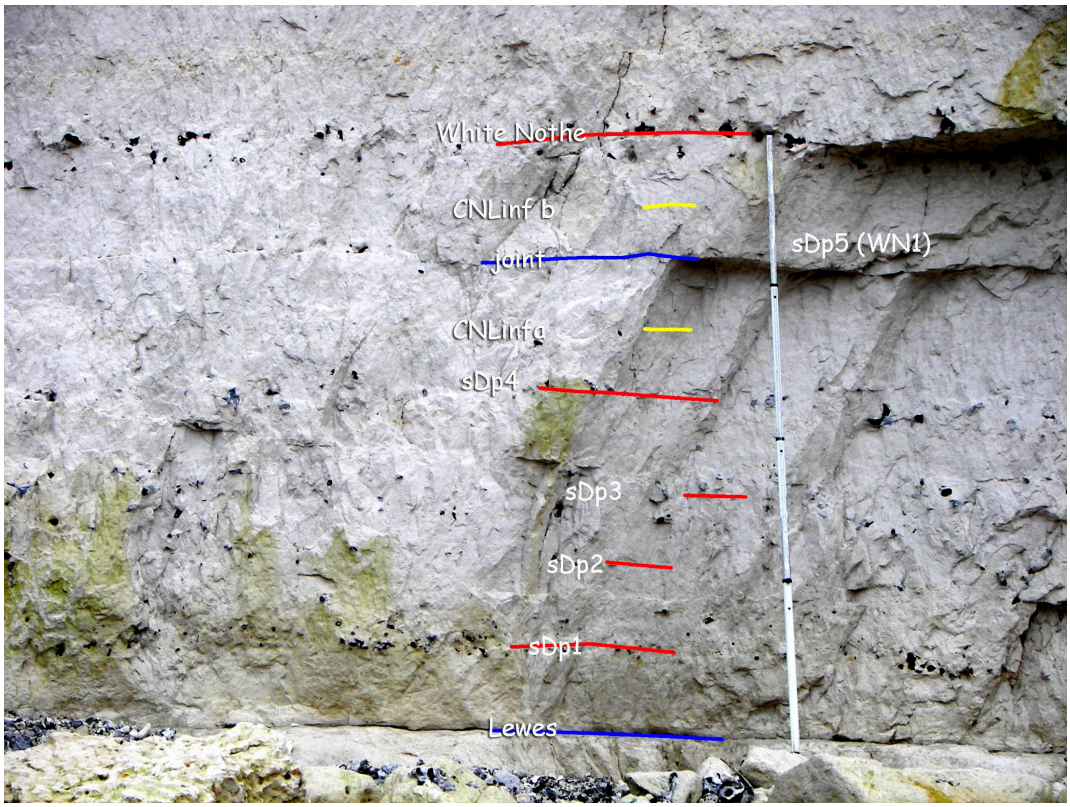


Fig. 68 - Base de l'intervalle T8

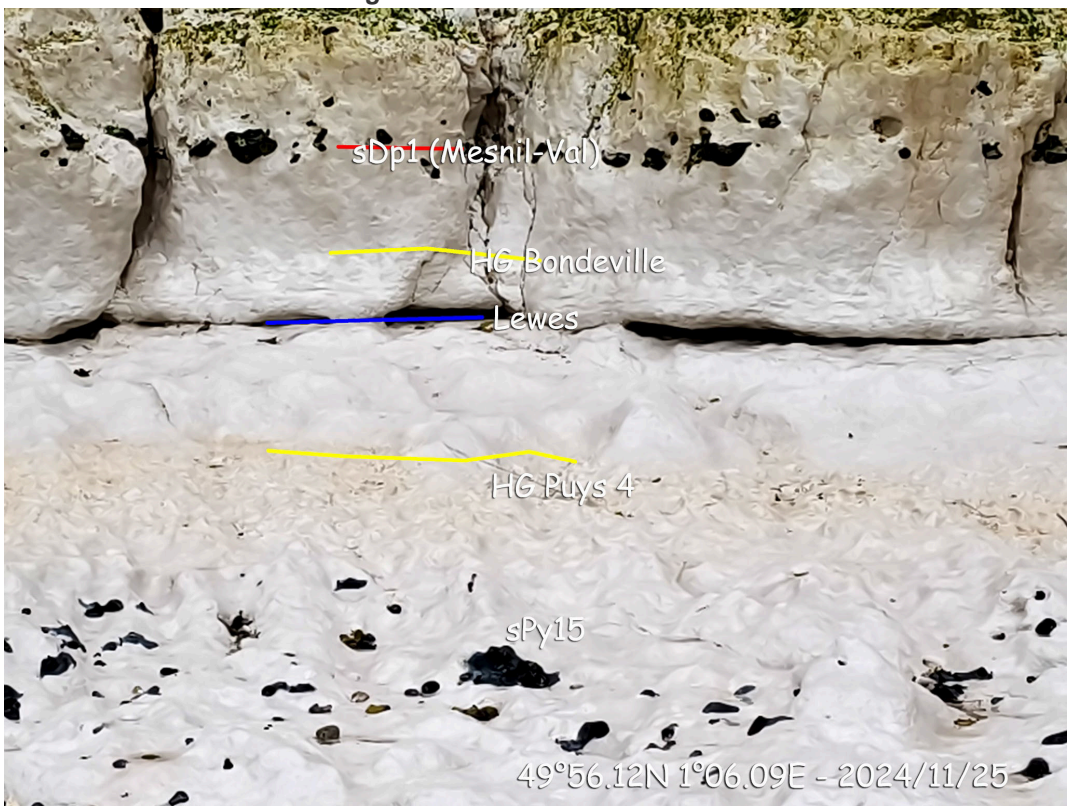


Fig. 69 - Contact entre intervalles T7 et T8

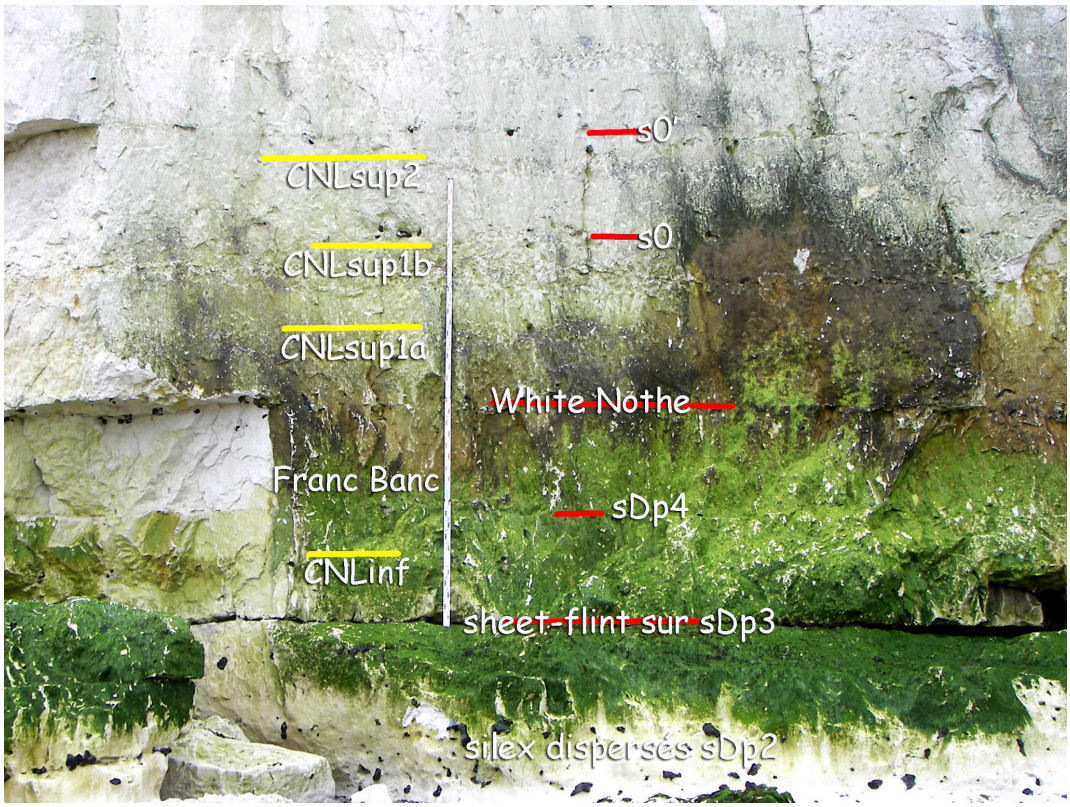


Fig. 70 - Craies noduleuses Lewes de part et d'autre du silex White Nothe

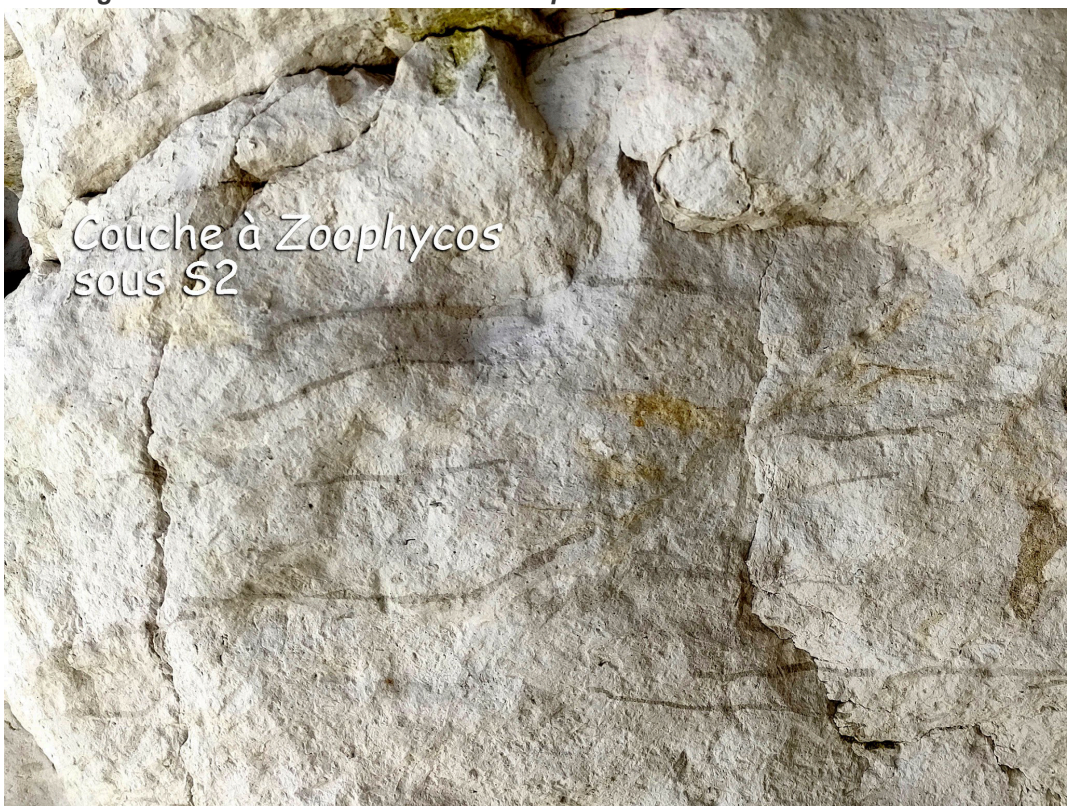


Fig. 71 - Zoophycos Cuilfail à la partie supérieure de l'intervalle T8

Coniacien à l'Est de Dieppe

Le passage du Turonien au Coniacien est bien observable en falaise entre Puys et le rond-point du terminal transmanche. Par contre, il est aujourd'hui difficilement accessible. Ainsi, le plancher de l'ancienne carrière où la transition était visible est aujourd'hui recouvert d'éboulis. Quelques rares blocs éboulés permettent encore l'échantillonnage.

- Le *HG Navigation* forme le plancher de la carrière.
- 2 niveaux de silex (sCf1 et sCf2) se superposent au HG Navigation. Ils sont attribués aux *silex Cliffe* du Sud de l'Angleterre.
- Le *HG Cliffe*, à environ 2 m au-dessus du HG Navigation, est lui-même partiellement masqué et a été échantillonné sur un éboulement. C'est un niveau riche en fossiles avec de petits débris phosphatés. Sa faune comporte :
  Échinides : *Micraster cortestudinarium, Micraster normanniae, Echinocorys scutata;*
  Brachiopodes : *Gibbithyris semiglobosa* (de petite taille)*, Cretirhynchia* sp.*,* petites *Rhynchonella* (*ventriplanata* ?)*,*
  Lamellibranches : *Spondylus spinosus, Neithea;*
  Gastéropodes : *Pleurotomaria* (moule interne phosphaté)*,*
- 2 hardgrounds successifs et bien séparés représentent les hardgrounds Hope Gap. Ils contiennent :

  - HG Hope Gap inférieur, avec de petits blocs phosphatés, riche en fossiles : *Micraster cortestudinarium, Gibbithyris semiglobosa* (de petite taille)*, Cretirhynchia.*
  - HG Hope Gap supérieur : *Micraster cortestudinarium, Echinocorys scutata, Gibbithyris* sp.*, «Cretirhynchia » subplicata,*

La coupe du Coniacien inférieur peut se suivre continûment (derrière un grillage) dans la falaise artificielle allant de la gare maritime au Pont Colbert. En pied de cette falaise, lors des travaux du port extérieur, Jacques RAGOT a trouvé un fragment d'ammonite que nous avons pu observer et que nous rapportons à *Peroniceras*, sans pouvoir en préciser l'espèce. On observe ainsi, au-dessus des hardgrounds Hope Gap :

- Un motif constitué par deux silex encadrant une lamine marneuse, rapporté aux silex et à la *marne Beeding*.
- Le *HG Beeding*, un mètre au-dessus.
- Un hardground double, rapporté au HG Light Point.
- Plus haut, un délit marneux karstifié peut représenter la marne Shoreham.
- Enfin, au sommet de cette falaise, deux niveaux continus de silex. L'impossibilité de les atteindre ne laisse place qu'à des supputations sur leur identification stratigraphique : bancs épais de silex de la base du Coniacien moyen, voire plus haut le silex Seven Sisters de la limite avec le Coniacien supérieur. Le silex Seven Sisters authentique se retrouve en pied de falaise à l'Ouest de la plage de Dieppe.

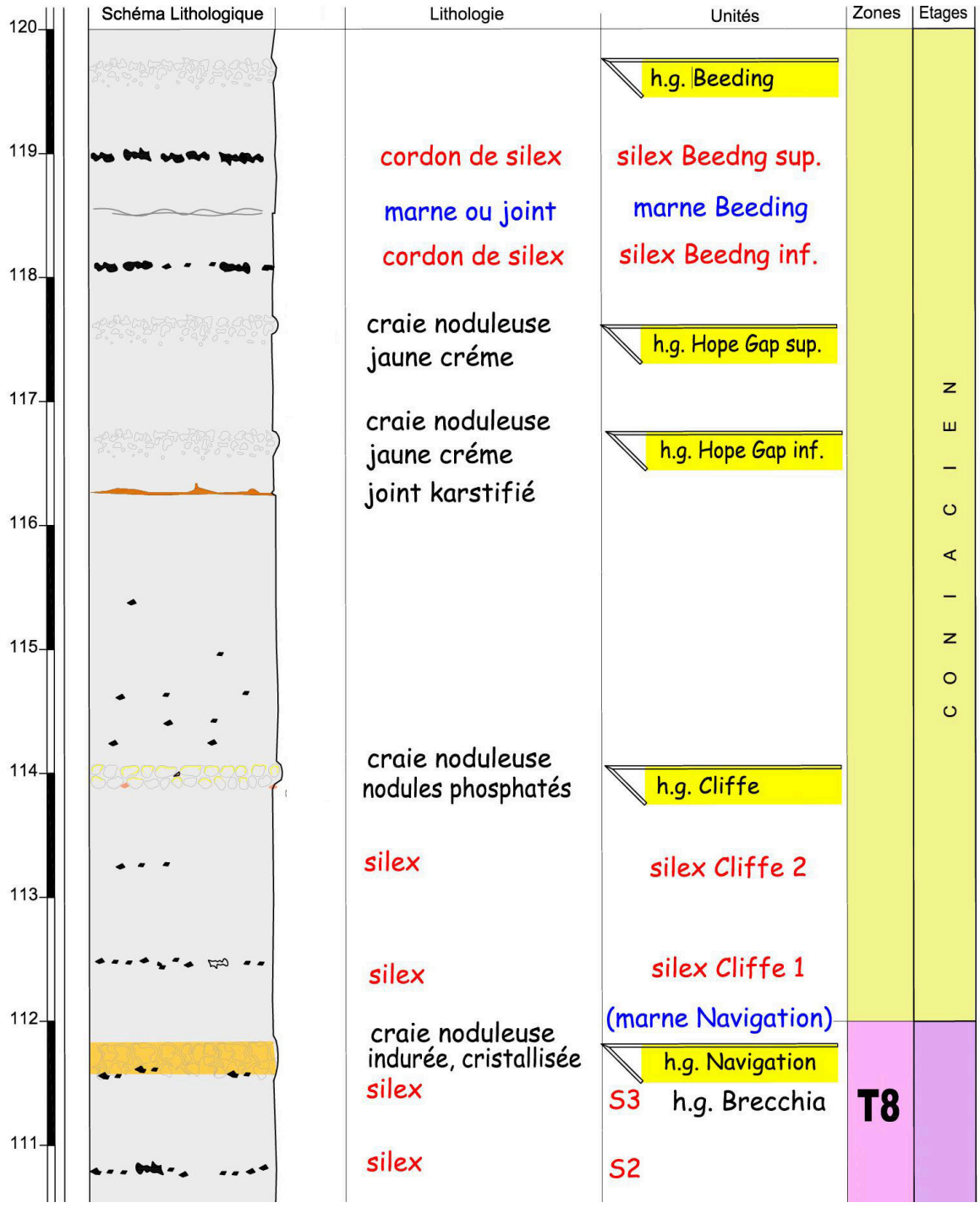


Fig. 72 - Log stratigraphique de la base du Coniacien

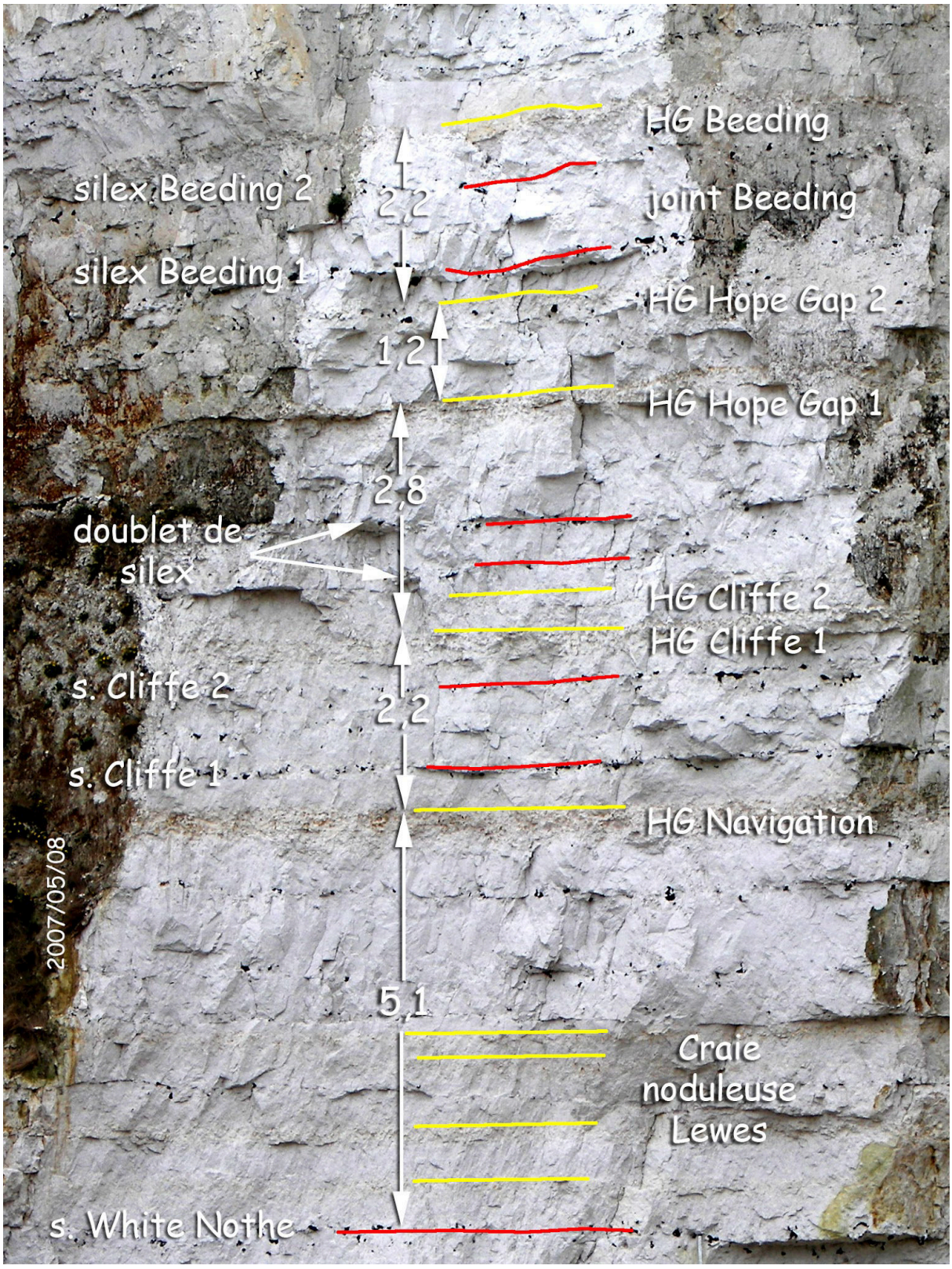


Fig. 73 - Le contact Turonien supérieur / Coniacien - falaise entre Puys et Dieppe

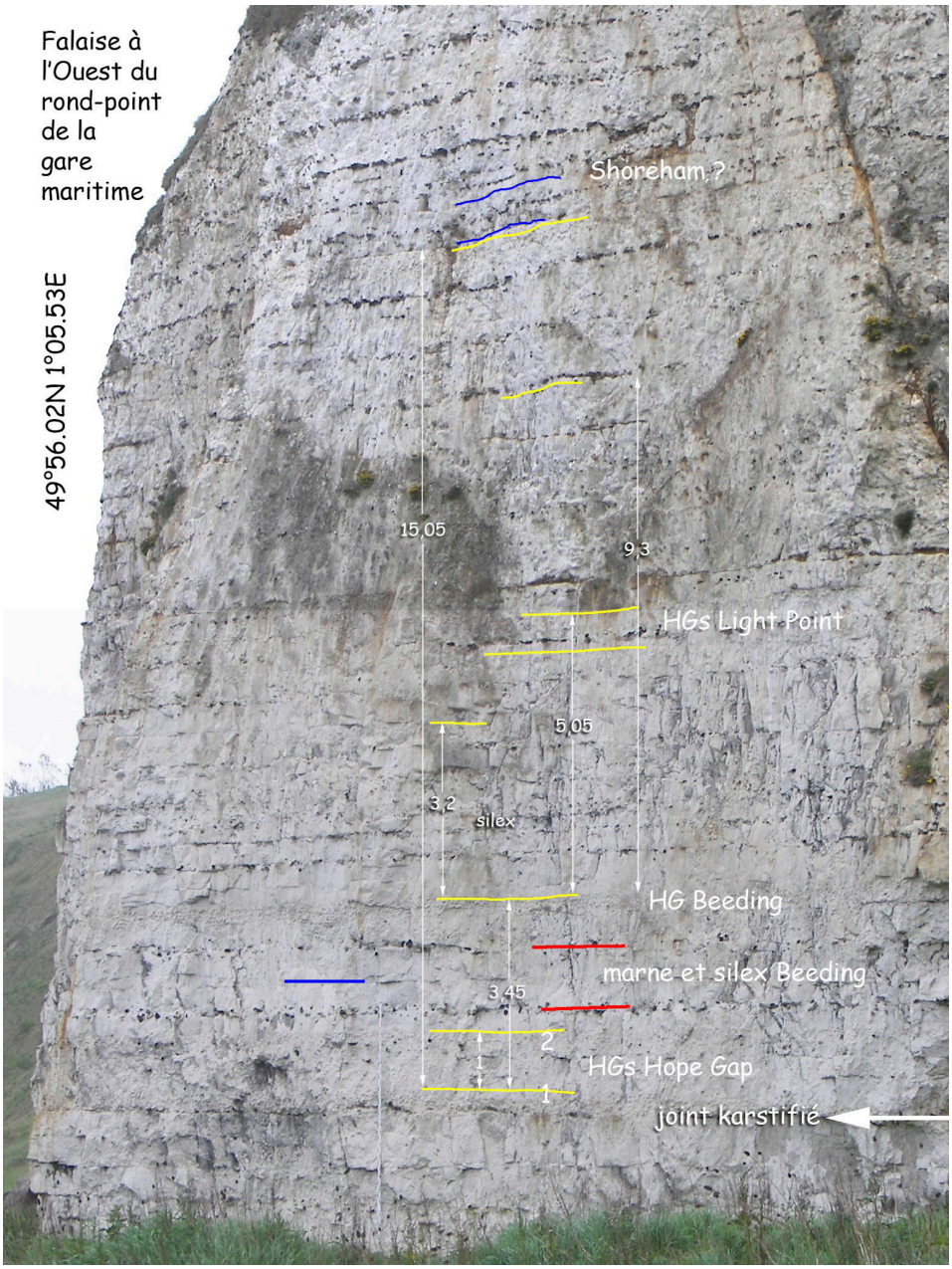


Fig. 74 - Base du Coniacien - Gare maritime transmanche

Conclusion sur le parcours de Penly à Dieppe.

Du fait de son accessibilité et de sa large extension stratigraphique couvrant la quasi-intégralité de l'étage Turonien, cette coupe peut être considérée comme la coupe de référence du Turonien sur la Côte d'Albâtre.

Un log détaillé du parcours est présenté ci-dessous, accompagné de deux vues interprétées de la falaise : une à la Pointe du Crocq et l'autre à l'Est de Puys.

1/3 TURONIEN INFÉRIEUR

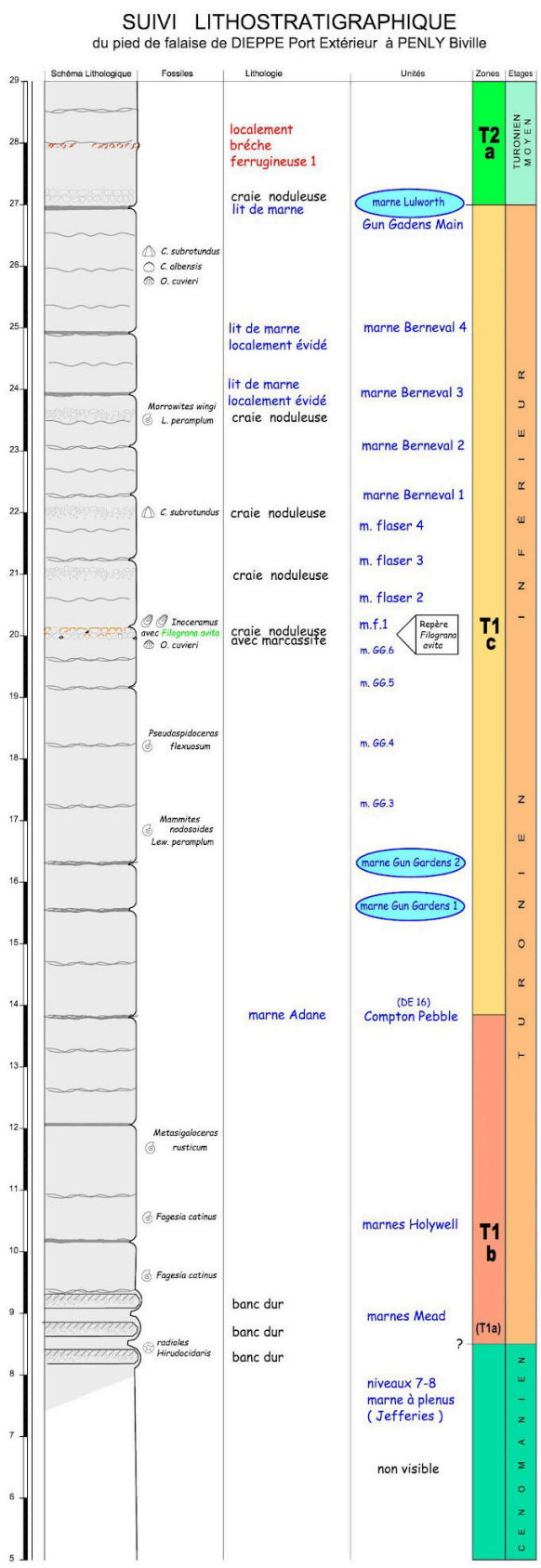


Fig. 75 - Log Turonien inférieur

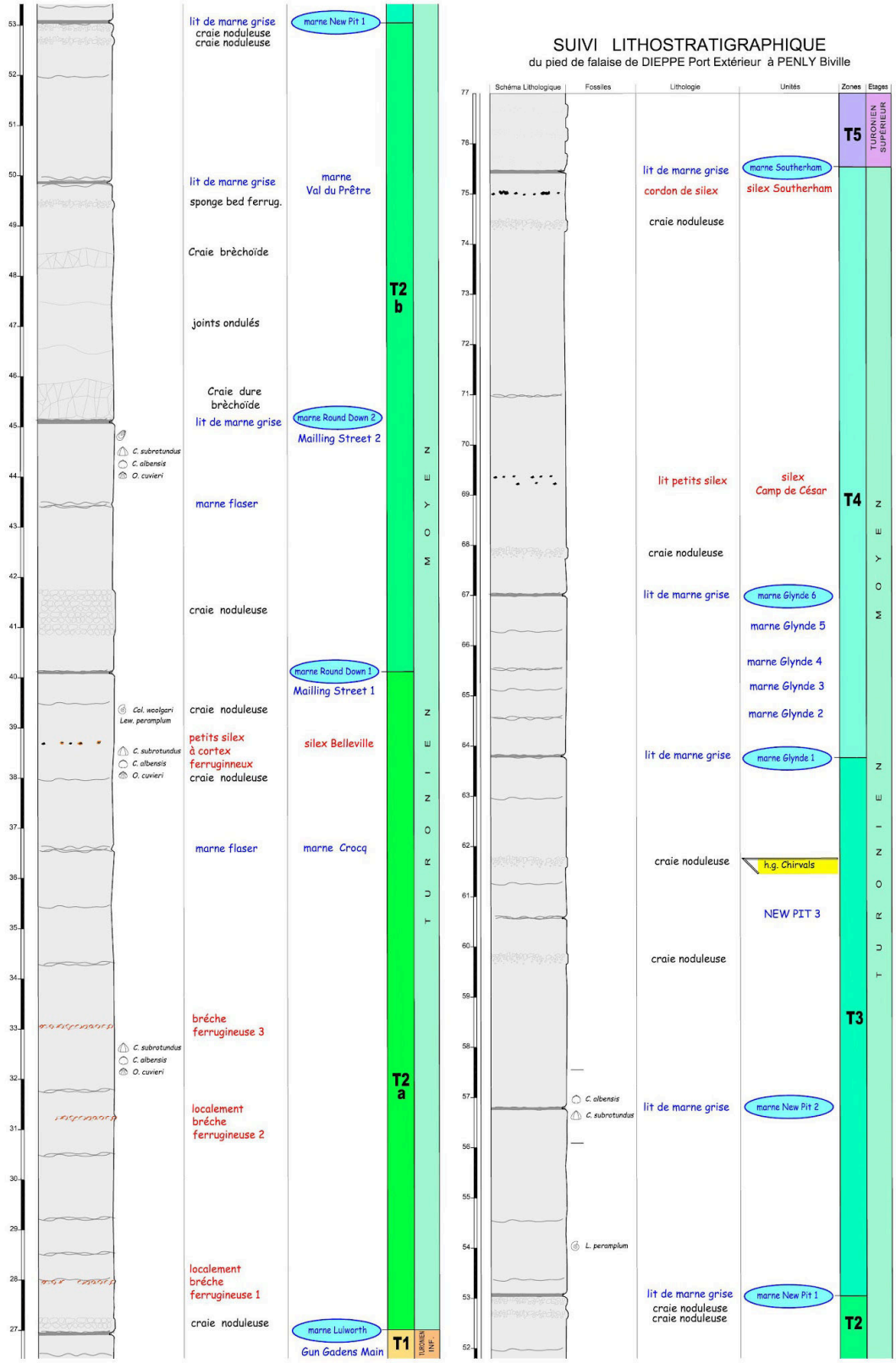


Fig. 76 - Log stratigraphique du Turonien moyen - Penly à Dieppe

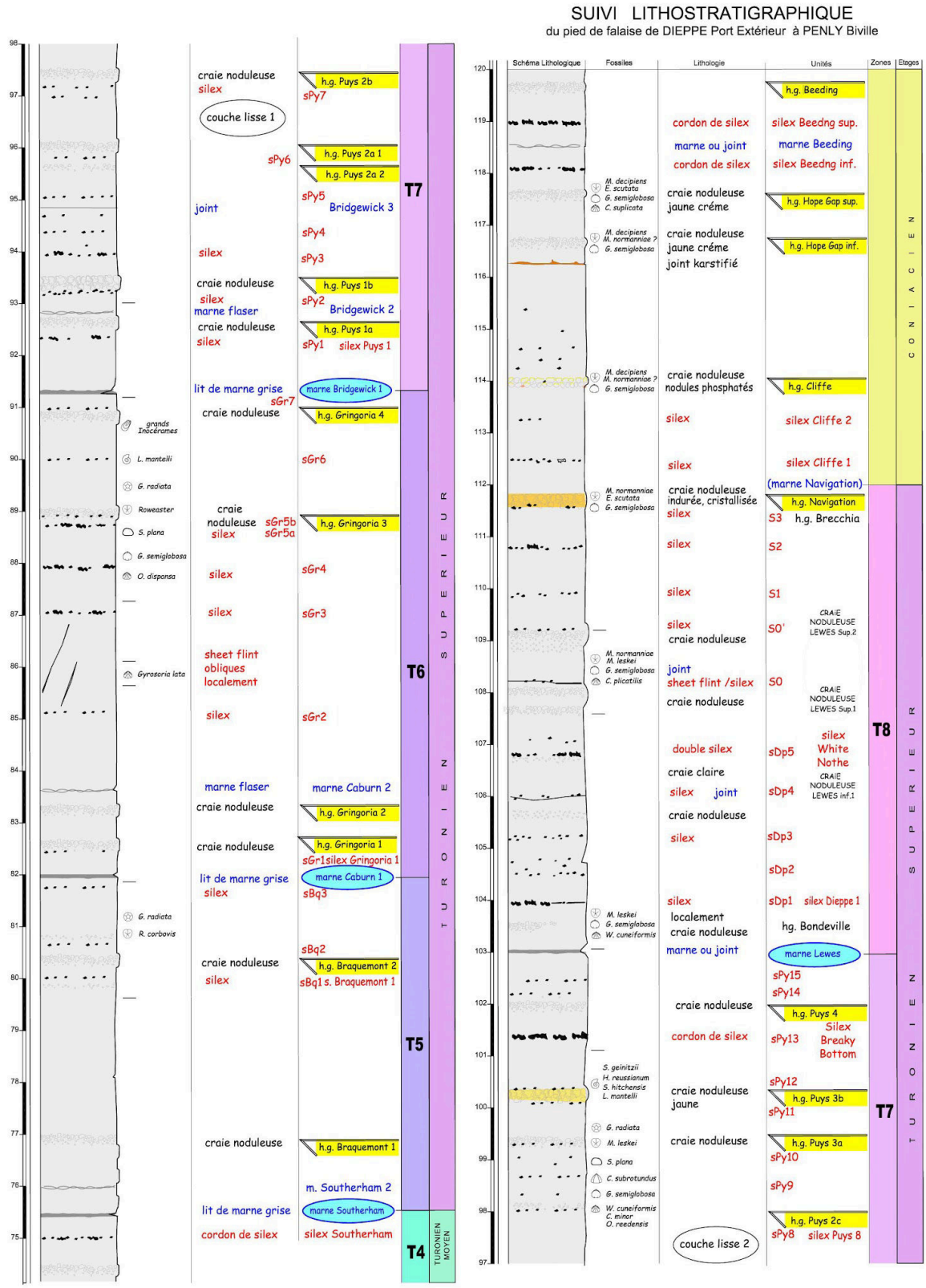


Fig. 77 - Log stratigraphique du Turonien supérieur - Penly à Dieppe

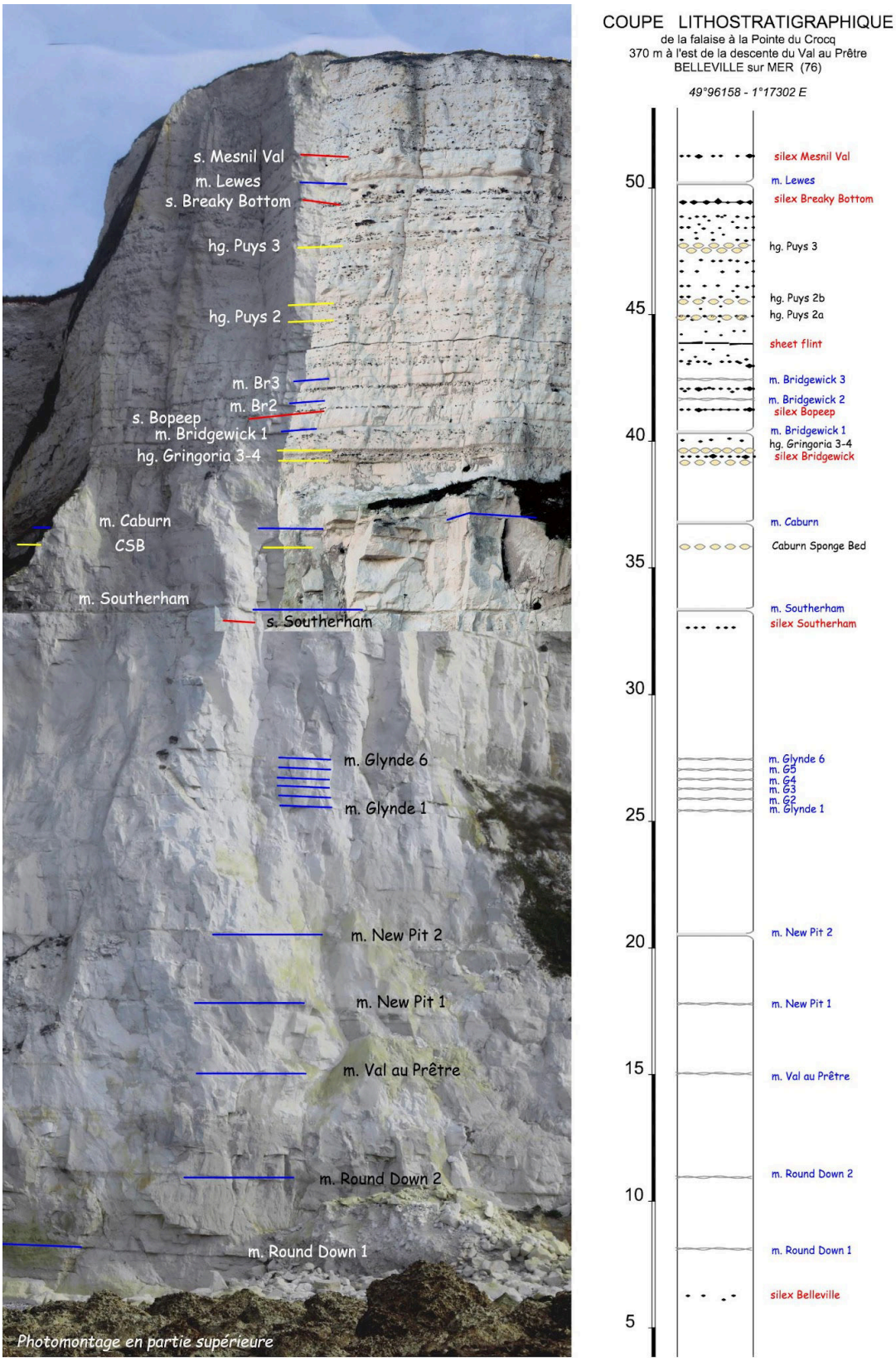


Fig. 78 - Le Turonien dans la falaise de la Pointe du Crocq

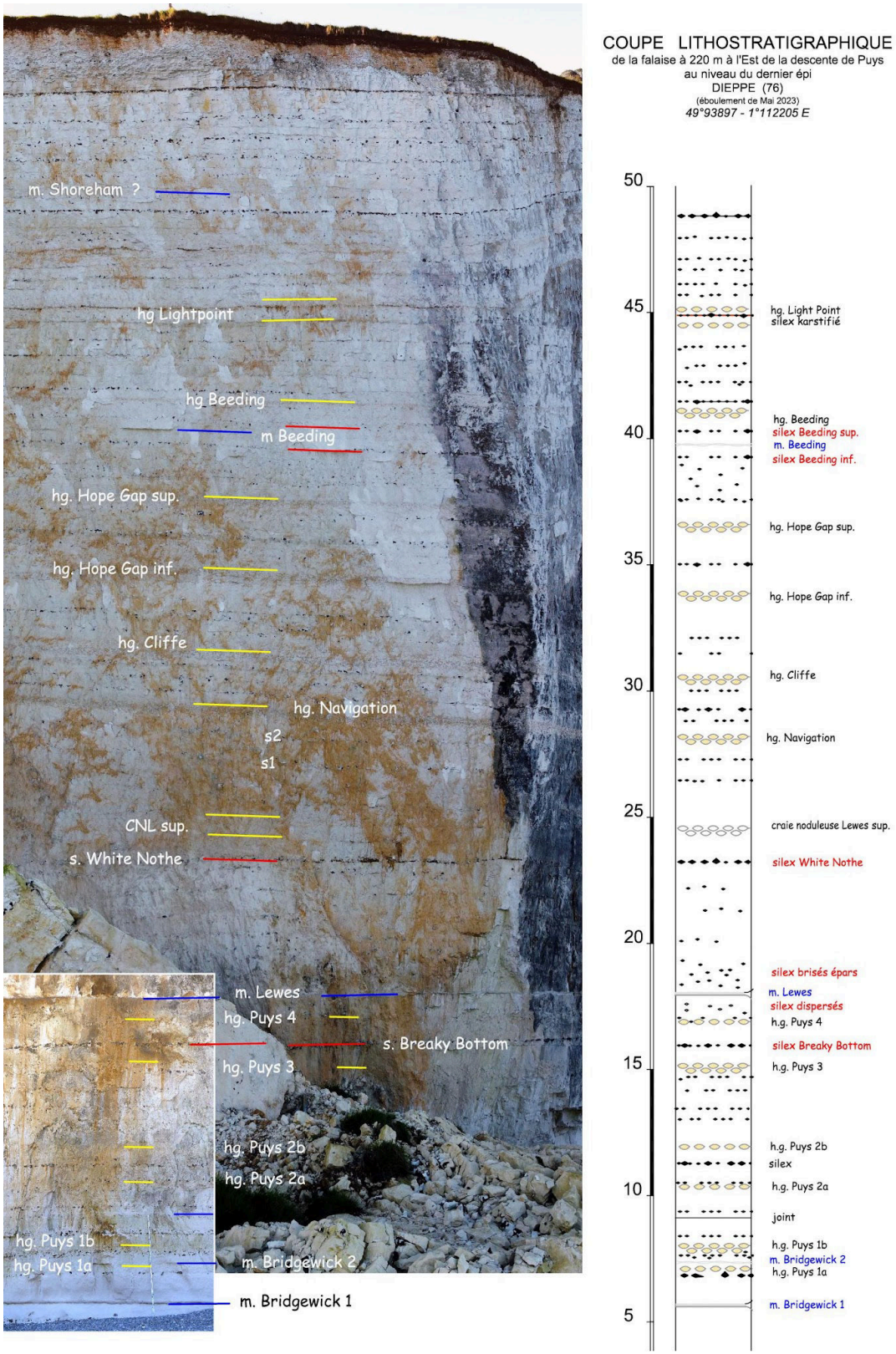


Fig. 79 - Le Turonien supérieur et le Coniacien à l'Est de Puys

De Penly-Biville-sur-Mer à Criel (1-2)

Cette coupe représente le flanc oriental de l'anticlinal de Penly. Elle s'étend de la valleuse perchée de Biville-sur-Mer jusqu'à Criel-Plage. La comparaison la plus évidente se fait avec la coupe précédente du flanc occidental entre Penly et Dieppe. Le parcours de 7,5 km ne possède pas d'accès intermédiaire permettant de fractionner la liaison. Ainsi, dans la pratique, les observations se font soit au départ de Penly, soit de Criel.

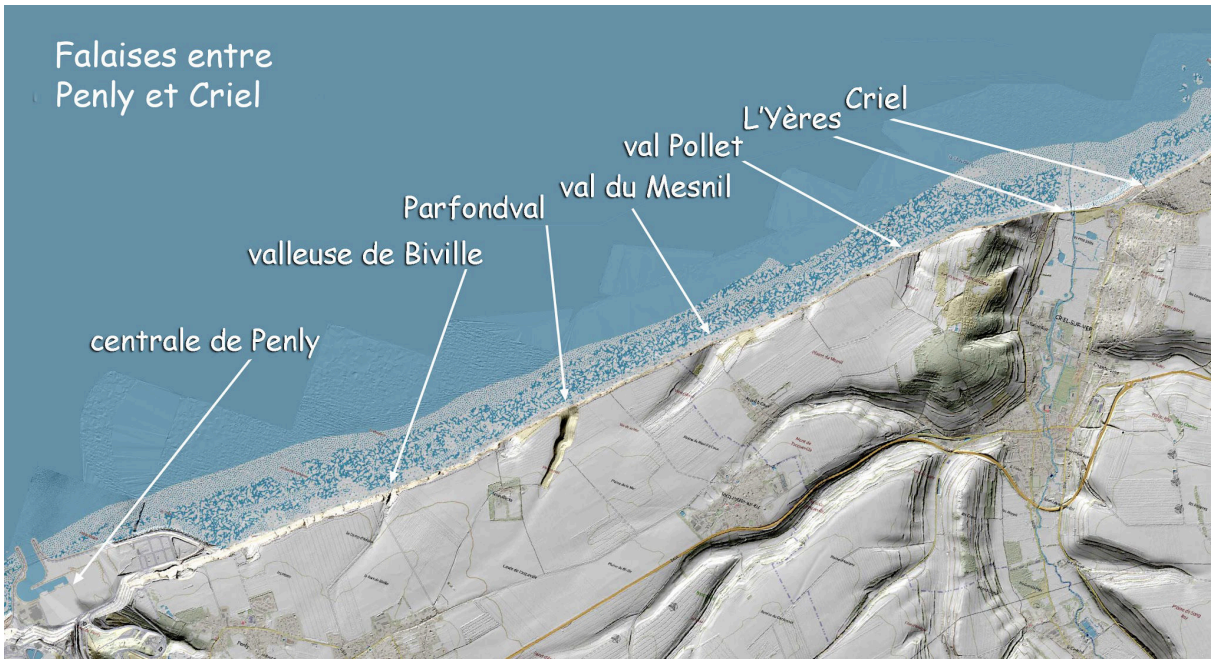


Fig. 80 - Les falaises entre Penly et Mesnil-Val

Intervalle T1 : des marnes Meads à la marne Lulworth

Cet intervalle est partagé avec le circuit précédent. La même succession s'y rencontre. En particulier, sur l'estran à 700 m à l'Est de la valleuse de Biville s'observe la zone à *Morrowites wingi* et nombreuses *Lewesiceras*. Comme à Belleville, ce niveau se situe sous la marne Berneval 3 .

Intervalle T2 : de la marne Lulworth à la marne New Pit 1

Paleontologie : présence de *Conulus* sur l'estran ouest de Valleuse Neuvillette =Parfondeval

Intervalle T3 : de la marne New Pit 1 à la marne Glynde 1

L'intervalle est également découpé en 3 parties, par les marnes New Pit 2 et New Pit 3.
La même tendance à des craies noduleuses, homologues du HG Chirvals, s'observe entre la marne New Pit 3 et la marne Glynde 1.

Intervalle T4 : de la marne Glynde 1 à la marne Southerham 1

L'apparition des premiers petits silex ("silex du Camp de César") s'effectue ici sur deux niveaux. Par contre, le silex Southerham, généralement présent sous la marne, est ici absent. Le caractère noduleux des craies est renforcé et le HG Southerham est net.
On y rencontre *Roweaster* sp., *Spondylus spinosus* et des inocérames (*I. cuvieri, I. lamarcki*). L'intervalle présente deux particularités paléontologiques. D'abord la découverte de restes d'un vertébré de grande taille (Plésiosaure ?) sur le platier, dans un même horizon stratigraphique à la partie supérieure des marnes Glynde. En un premier endroit (50°0.9072N 1°16.5854E), une série de vertèbres et côtes et en un second endroit (50°0.8818N 1°16.5489E) une palette natatoire avec phalanges, plutôt arrière. Leur médiocre état de conservation rend l'extraction difficile. La seconde particularité est la fréquence d'Astérides fossiles (*Metopaster, Nymphaster*) dont la conservation est exceptionnelle. Cela peut s'expliquer par un enfouissement rapide dans un environnement calme et anoxique préservant de la décomposition rapide des tissus mous. Signalons également le régurgitalithe (vomi fossile constitué de pièces d'Astérides) observé par A.GALE en notre compagnie, toujours sur le platier, en 50°1.1833N 1°17.0679E (mais un peu plus haut stratigraphiquement, T5 ou T6) qui pourrait provenir d'un reptile marin ou d'un sélacien.

Intervalle T5 : de la marne Southerham 1 à la marne Caburn

L'épaisseur de cet intervalle s'est fortement réduite (1,5 à 2,2 m). La marne Caburn n'est plus qu'un mince filet ondulé. La marne Southerham 2 (non bentonitique) est discernable. Le hardground "Caburn Sponge Bed" (MORTIMORE *et al*., 2001) est très prononcé, coloré, avec de petits silex résiduels, avec des terriers et une surface supérieure bien tranchée.

Intervalle T6 : de la marne Caburn à la marne Bridgewick 1

Là encore, par rapport à la coupe de référence de Puys, l'épaisseur s'est réduite de plus de la moitié (4,3 m).
Les hardgrounds Gringoria 1 et 2 ont fusionné et ils sont recouverts par 4 séquences craie/silex représentant les silex Bridgewick. Ces silex Bridgewick ont un cortex très mince et les tubulures de type *Thalassinoides* émettent des "cornes" vers le haut. Un trio de silex Bridgewick est plus marqué : cette disposition rappelle les "triple tabular flints" du Yorkshire (WOOD & SMITH, 1978). Ces silex Bridgewick s'atténuent vers l'Est, mais un de ces silex (le deuxième semble-t-il) garde une certaine importance. C'est un niveau repère, bien net ici, et qui est retenu dans les coupes plus orientales et il est désigné *silex Pollet*.
Les hardgrounds Gringoria 3 et 4 sont plus ou moins indifférenciés ou fusionnés.
Le couple terminal de marnes Bridgewick, assez discret, reste cependant bien discernable.
La faune fossile de ce niveau est identique à celle récoltée sur le parcours de Penly à Dieppe. Elle est caractérisée par la présence d'Échinides : *Gauthieria radiata* est bien représenté, *Conulus subrotundus* réapparaît alors qu'il était absent depuis l'intervalle T3, les Cidaridae demeurent rares : *Tylocidaris clavigera*, *Hirudocidaris hirudo*, *Phalacrocidaris serrifera*. Pour les Brachiopodes : *Gibbithyris turonica*, *Orbirhynchia dispansa*. Pour les Bivalves : *Spondylus spinosus* est courant et de très grands Inocérames (*Platyceramus*) sont observés sur l'estran. Les céphalopodes sont rares, des spécimens de *Lewesiceras* de taille moyenne (environ 30 cm), érodés, sont rencontrés sur l'estran.

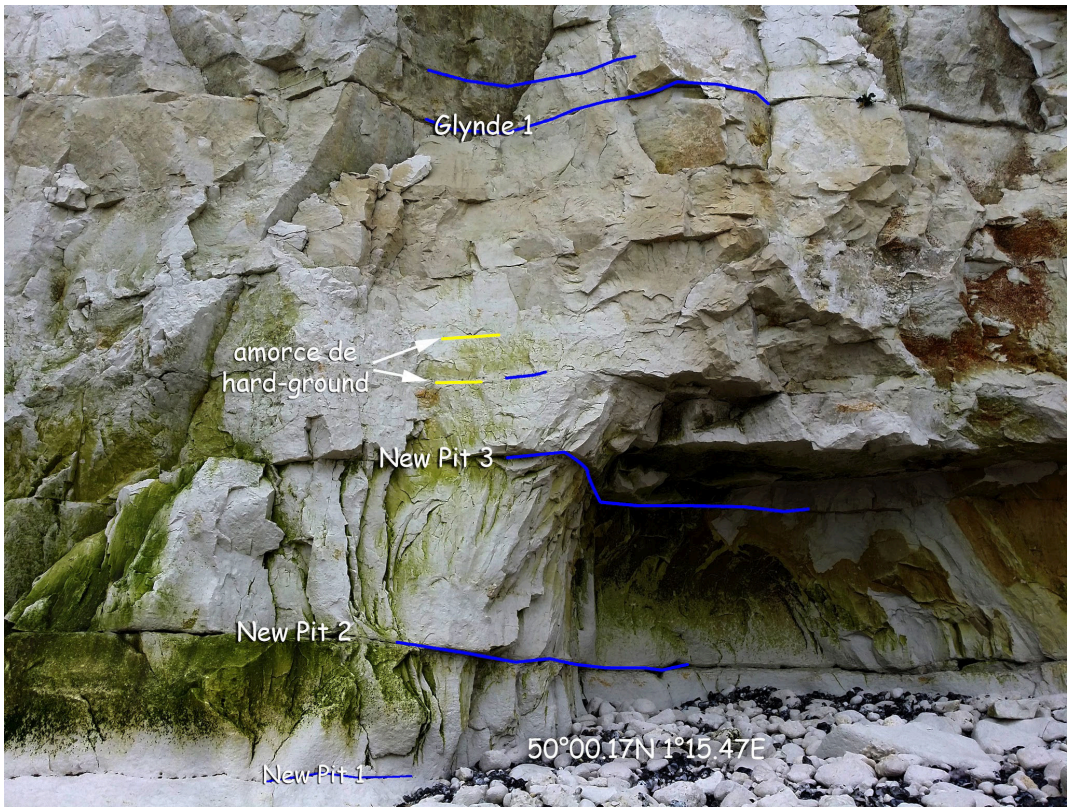


Fig. 81 - Intervalle T3 - de la marne New Pit 1 à la marne Glynde 1

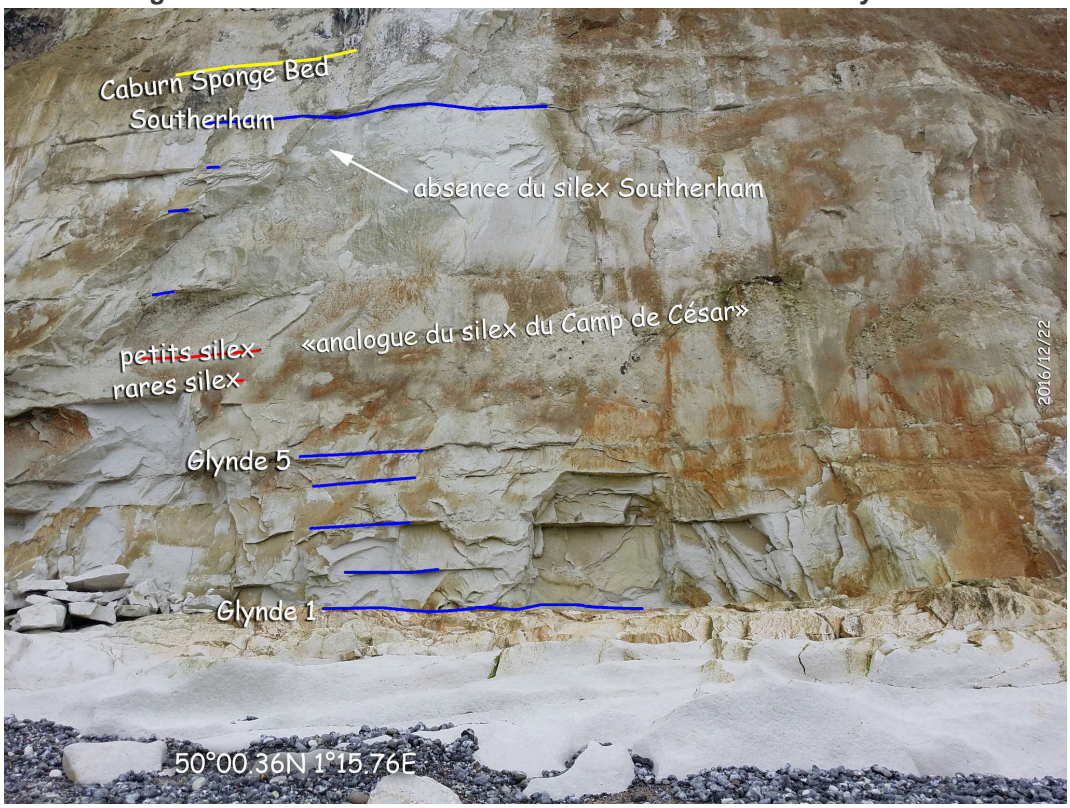


Fig. 82 - Intervalle T4 - de la marne Glynde 1 à la marne Southerham 1

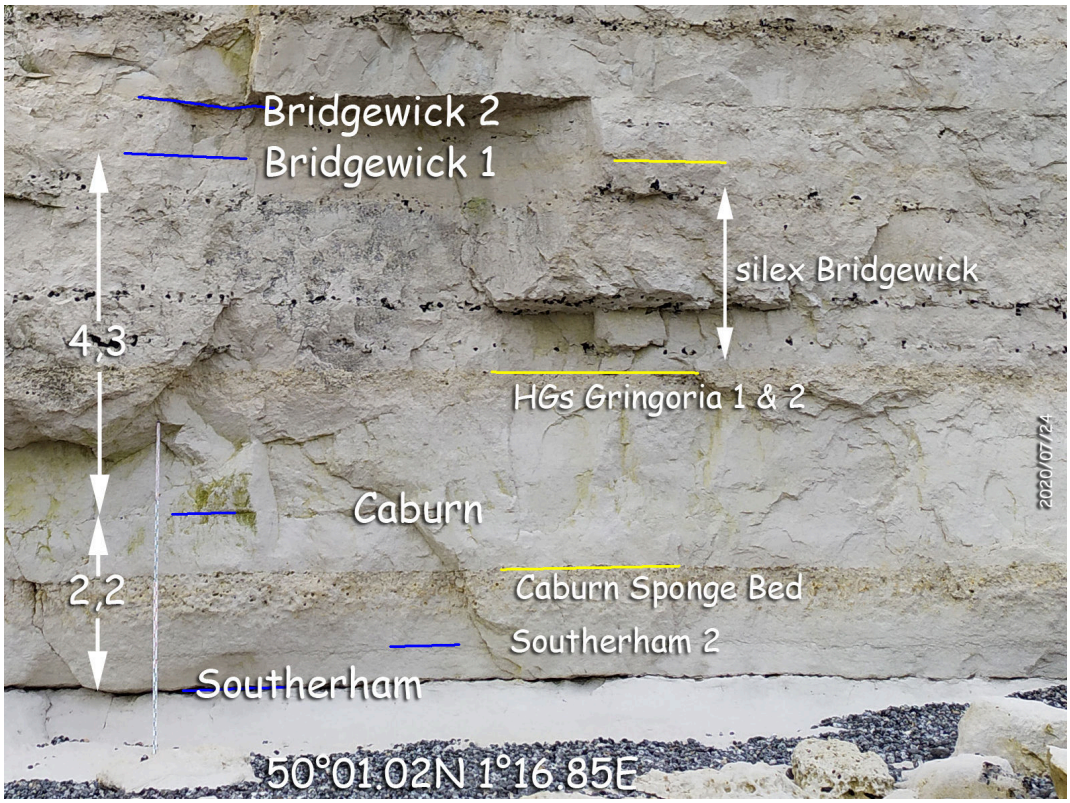


Fig. 83 - Intervalle T5 et T6 - de la marne Southerham à la marne Bridgewick

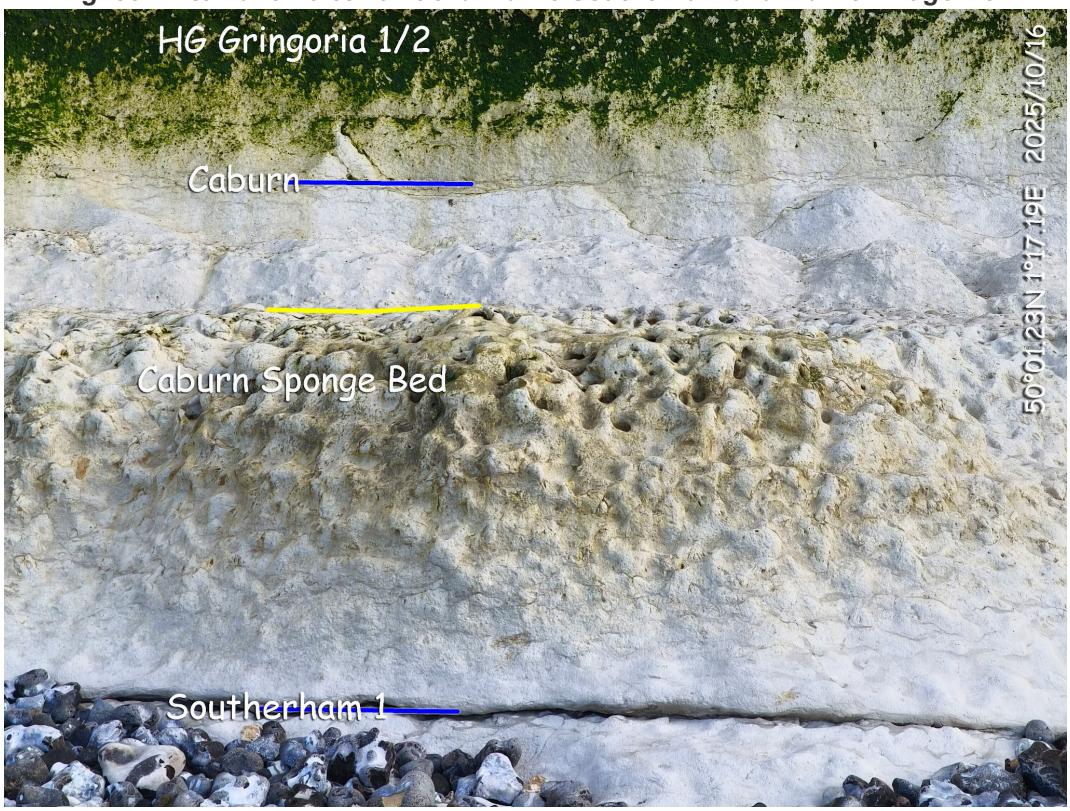


Fig. 84 - Intervalle T5, de la marne Southerham 1 à la marne Caburn

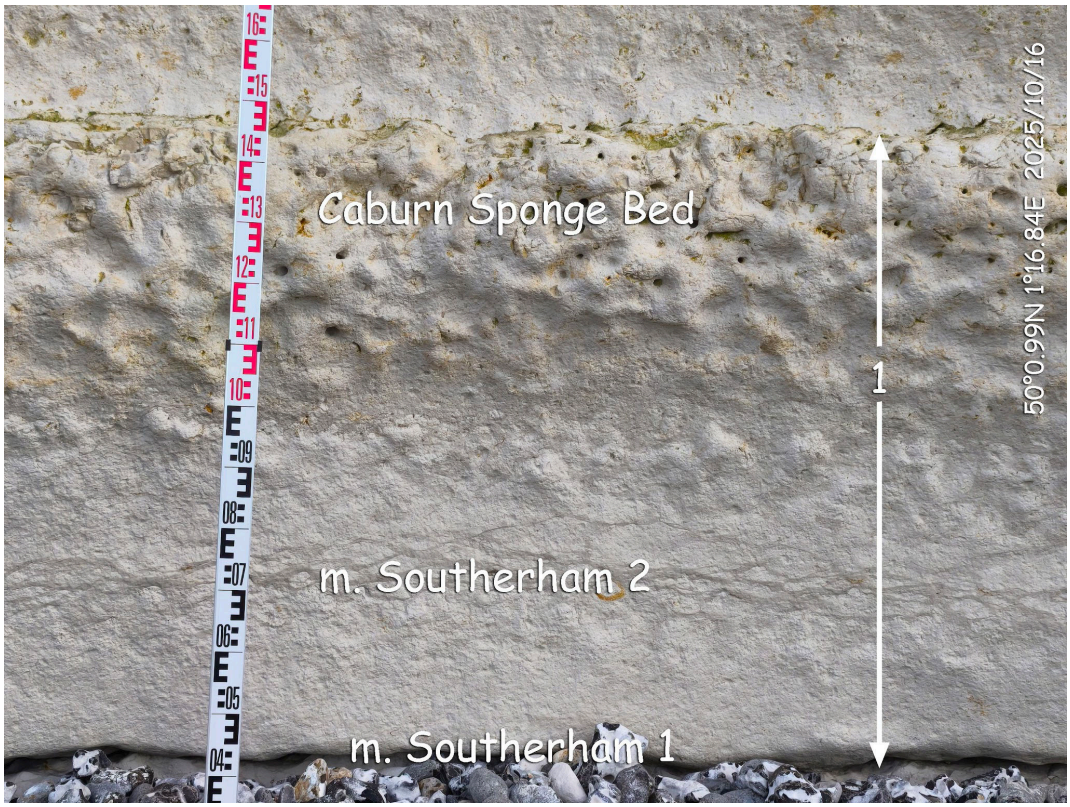


Fig. 85 - Caburn Sponge Bed

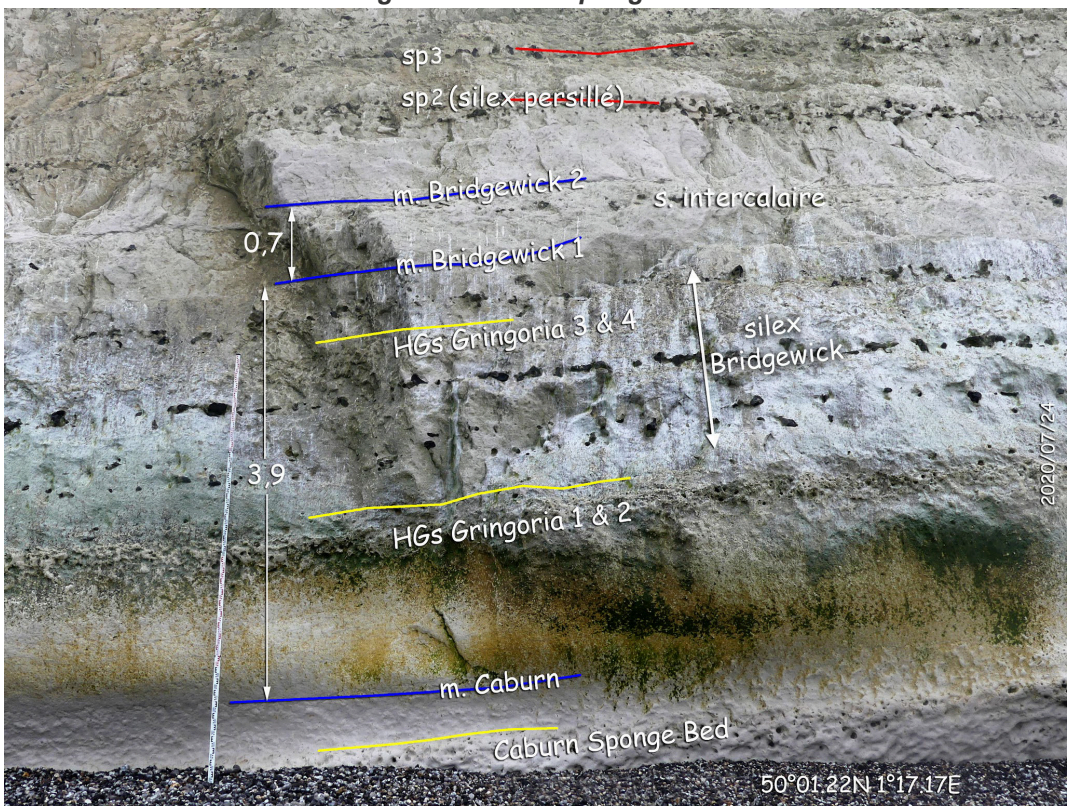


Fig. 86 - Intervalle T6 - de la marne Caburn à la marne Bridgewick



Fig. 87 - Intervalle T6 - Les silex Bridgewick

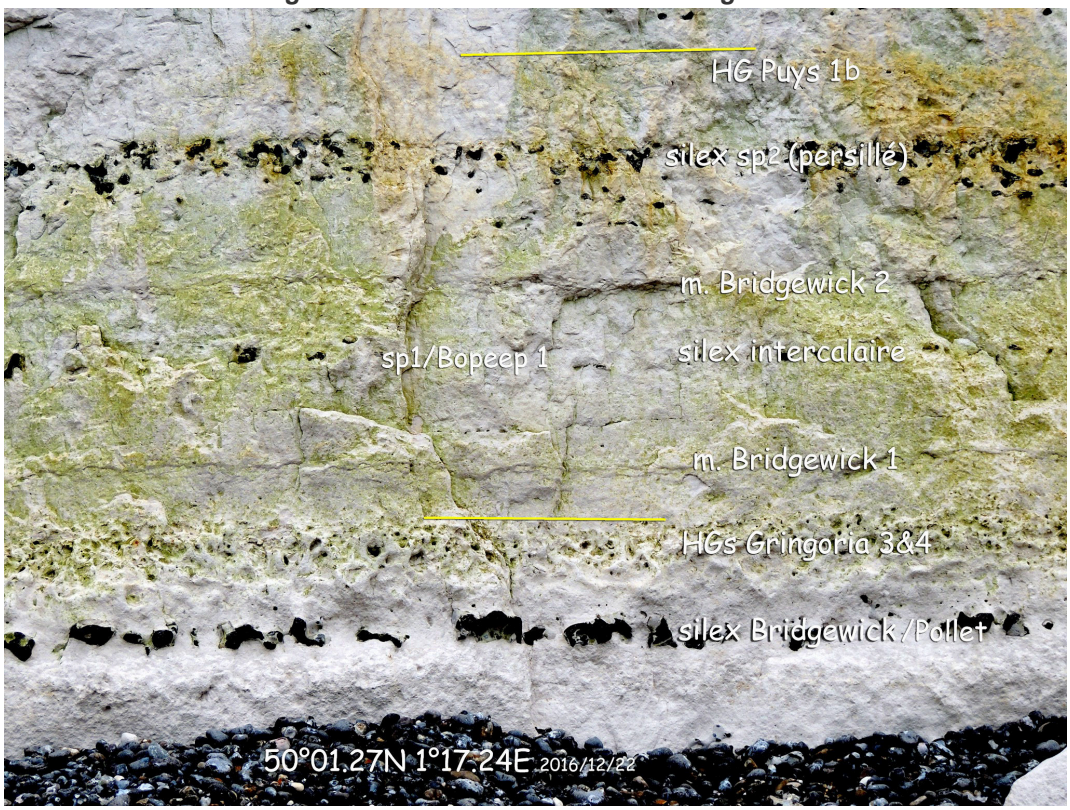


Fig. 88 - Partie supérieure de l'intervalle T6 et base de T7

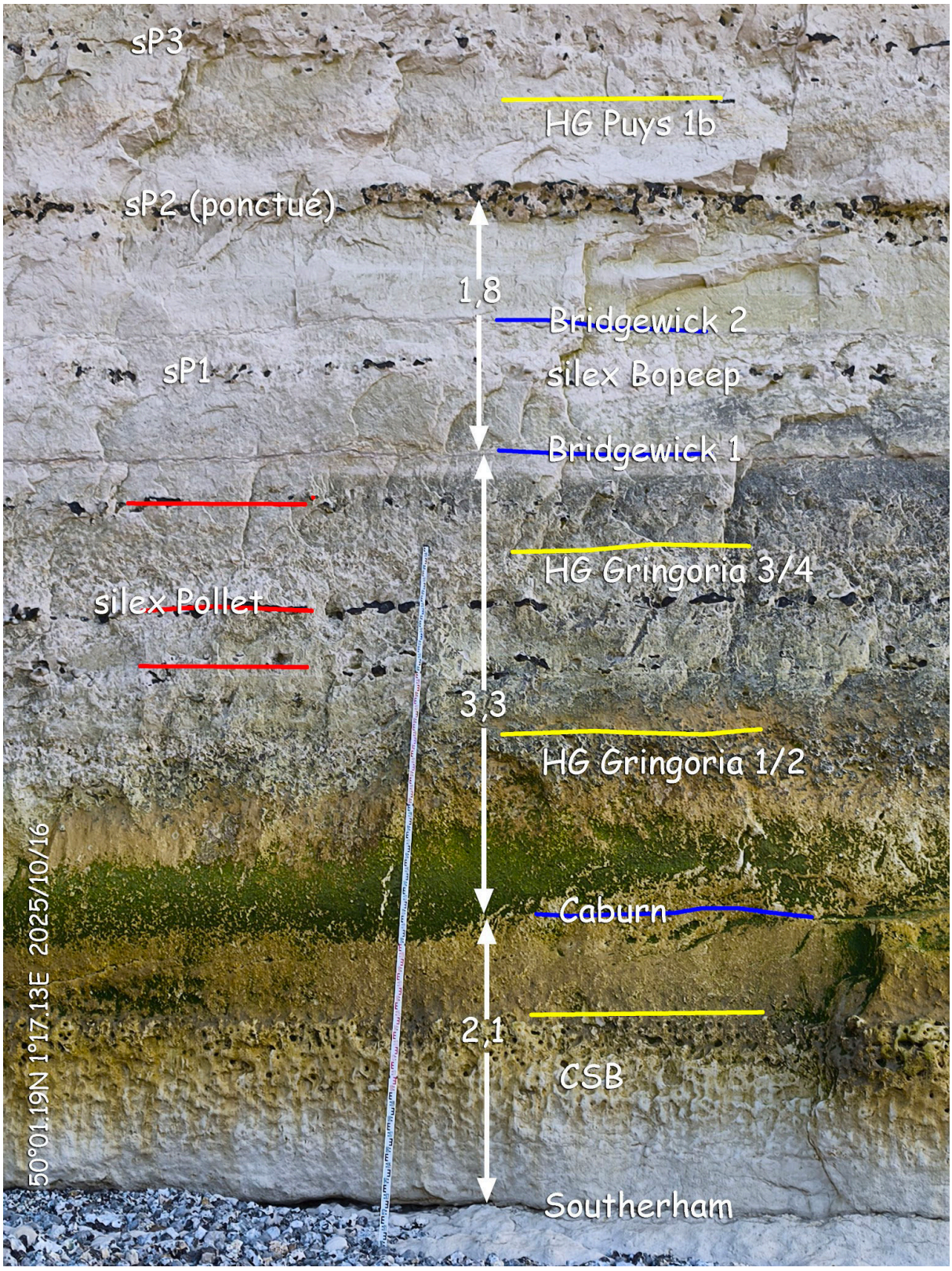


Fig. 89 - Intervalles T5, T6 et début de T7

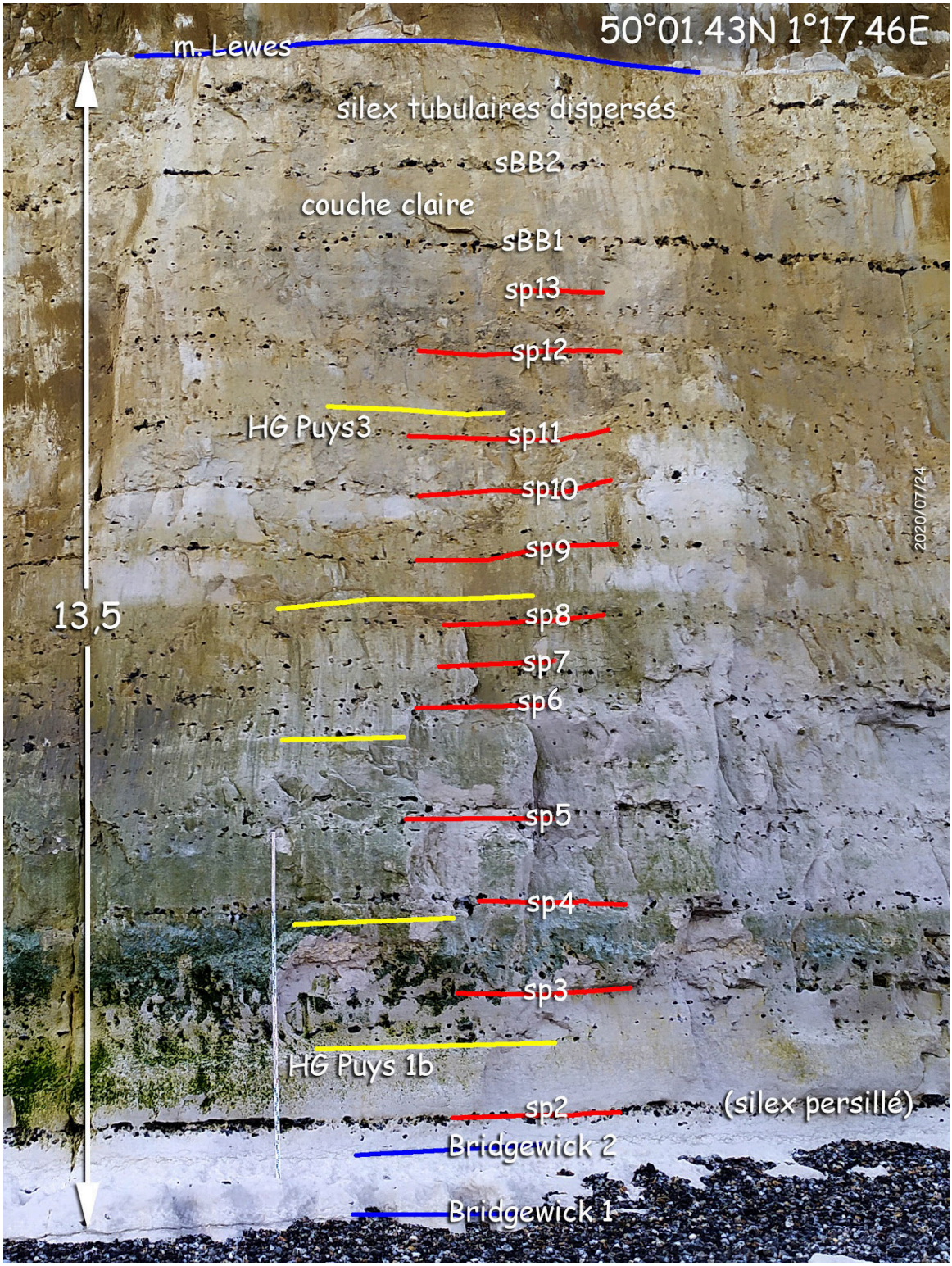
Intervalle T7 : de la marne Bridgewick 1 à la marne Lewes

Cet intervalle est très bien représenté, tant par la longueur de son exposition accessible (de l'ouest du Val Pollet à la plage de Criel) que par son épaisseur, qui peut atteindre une quinzaine de mètres,voire plus, supérieure à celle de Puys.
La régularité de la stratification est cependant affectée par des ondulations du fond sédimentaire, probablement dues à des courants, comme l'indiquent les hardgrounds et la nodularité de la craie. Le repère formé par la marne Lewes souligne parfaitement ces ondulations dans le paysage. La succession suivante peut être observée, de bas en haut :

● La marne Bridgewick 1, marne fermée, bentonitique.
● Un niveau de silex intercalaire sp1 formé de petits silex isolés, éventuel équivalent du silex Bopeep 1 de MORTIMORE et WOOD (1986);
● La marne Bridgewick 2, marne ouverte, non bentonitique;
● 3 séquences craie/silex bien stratifiées (silex sp2 persillé ou ponctué Bopeep 2, sp3, sp4). Au-dessous de sp3 et sp4 respectivement, se placent les hardgrounds HG Puys 1a et HG Puys 1b.
● 4 séquences (ou plus) craie/silex, mal stratifiées (silex sp5 à sp8), surmontées par le HG Puys 2.
● 3 séquences craie/silex mieux stratifiées (silex sp9 à sp11).
● 2 séquences craie/silex mal stratifiées (silex sp12 et 13), comportant un hardground, le HG Puys 3.
● 2 à 4 séquences craie/silex avec de gros silex nets de type *Thalassinoides*. Ces silex sont le mieux préservés dans les cuvettes sédimentaires. Généralement, ils se réduisent à 2, séparés d'environ 1 m à 1,5 m, encadrant une couche claire. Ils sont notés sBB1 et sBB2, car ils équivaudraient aux *silex Breaky Bottom* du Sussex (MORTIMORE *et al*., 2001). Les paramoudras, les silex toriques ou les silex en pâtisson sont fréquemment associés et ils abondent sur le platier à l'ouest de la plage de Criel.
● 2 épisodes de hardground (HG Puys 4a et HG Puys 4b) interrompent ou érodent les silex Breaky Bottom sur les monticules sédimentaires. Inversement, dans les cuvettes, les silex Breaky Bottom continuent à se former et reposent en on-lap sur le HG Puys 4b.
● Une couche de silex tubiformes dispersés correspondant aux "*Lower Lewes Tubular Flints*" de MORTIMORE *et al.* (2001). L'épaisseur de cette couche est très variable, allant de 0 à 3 m. Latéralement, les silex dispersés peuvent passer à des silex stratifiés, tordus ou éclatés, associés à des sheet-flints, c'est-à-dire des joints de cisaillement silicifiés postérieurement.
● La *marne Lewes* bentonitique.
Un curieux redoublement de la marne Lewes, sur une dizaine de mètres, a été observé, dû vraisemblablement à un slumping, car cette marne est affectée d'ondulations. Slumpings, paramoudras, sheet-flints et silex dispersés ou basculés relèvent possiblement d'un épisode mécanique cataclysmique.

Comme observé à Puys Ouest, cet intervalle stratigraphique reste très fossilifère, notamment au niveau du HG Puys 3 qui est bien exposé sur l'estran. Cet intervalle est marqué par l'apparition de *Micraster leskei*, accompagné de *Sternotaxis plana* et de *Gauthieria radiata*. Pour les Brachiopodes, les espèces *Gibbithyris semiglobosa* et *G. subrotunda* sont courantes, ainsi que *Woodwardirhynchia cuneiformis* sous de grandes formes. La petite

'*Cretirhynchia minor*', bien localisée à cet intervalle, est présente mais moins courante qu'à Puys. Les découvertes de Céphalopodes se limitent à un fragment de *Scaphites geinitzii.*



Flg. 90 - Intervalle T7 - de la marne Bridgewick à la marne Lewes



Fig. 91 - Partie basale de l'intervalle T7 avec les marnes Bridgewick



Fig. 92 - Partie sommitale de T7 - Silex tubiformes dissociés sous la marne Lewes

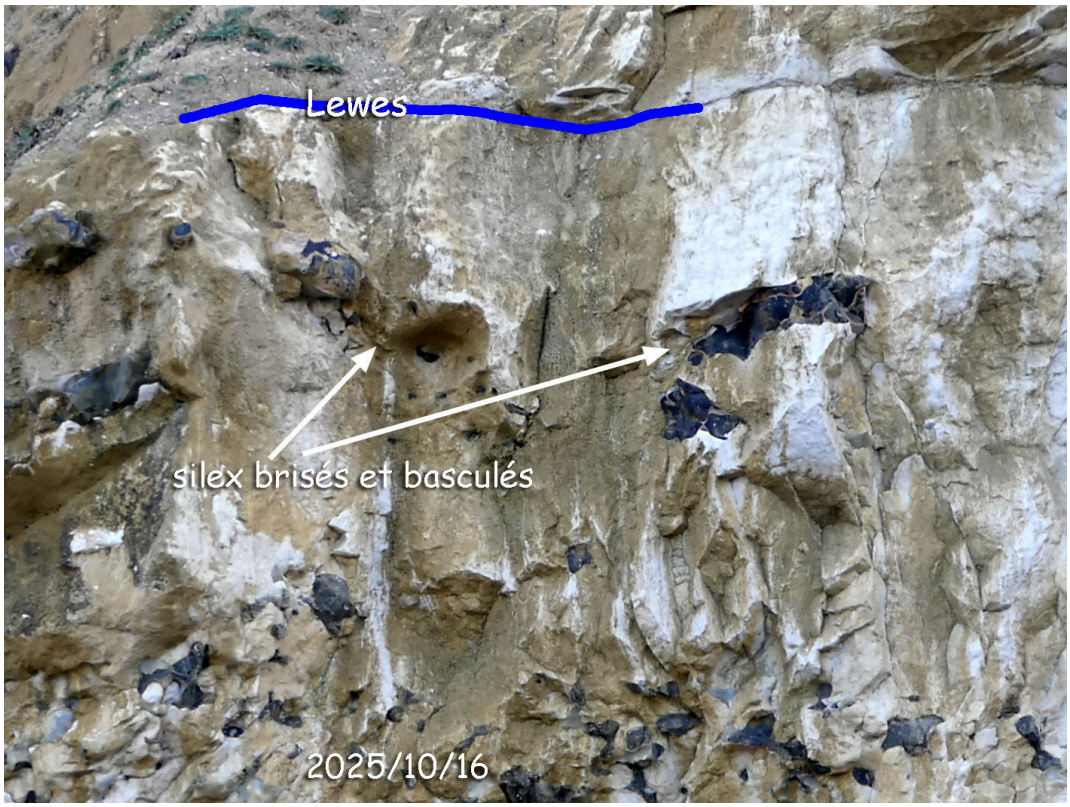


Fig. 93 - Silex brisés et basculés sous la marne Lewes

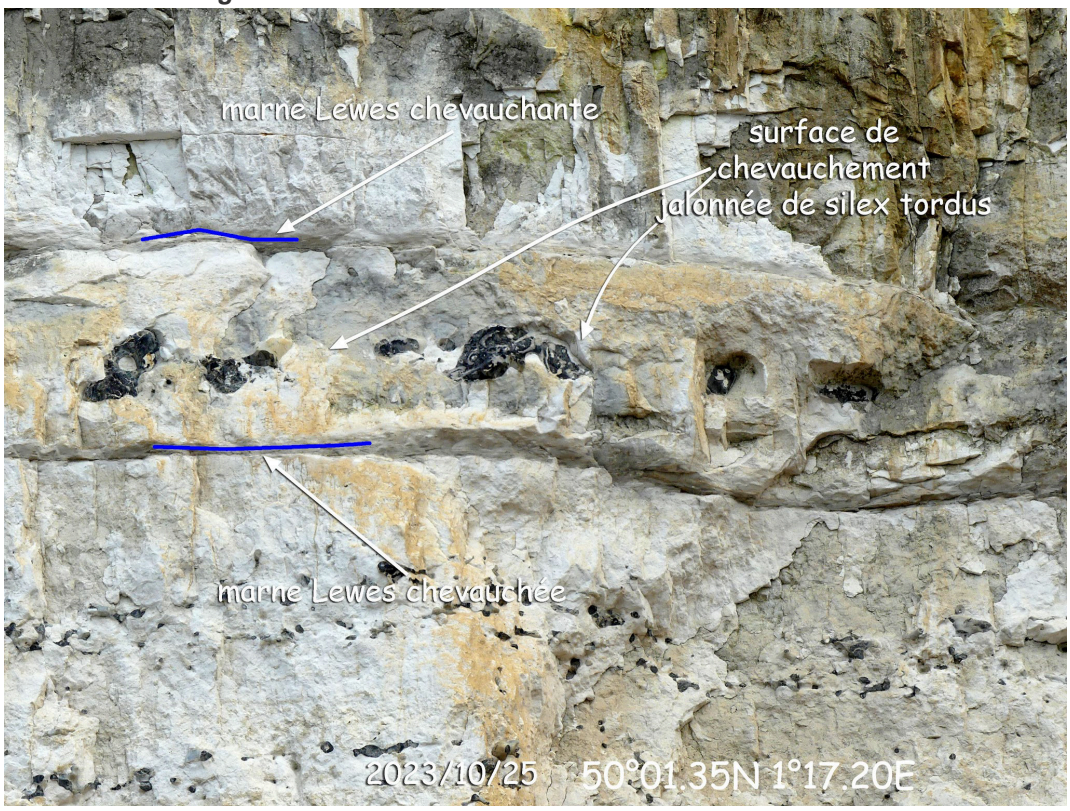


Fig. 94 - Auto-chevauchement de la marne Lewes

Intervalle T8, de la marne Lewes aux HGs Navigation

Cet intervalle mesure un peu plus de 8 mètres. À sa base, la marne Lewes s'affaisse en formant des ondulations au niveau du platier, sous la haute falaise du Mont Jolibois. Le Turonien terminal est partiellement accessible le long du chemin d'accès à la mer.
Il comporte des niveaux de silex :

- Le silex Mesnil-Val, tabulaire (environ 1,2 mètre au-dessus de la marne Lewes).
- Un silex infra-White Nothe (exceptionnellement développé localement).
- Le silex White Nothe, de type *Thalassinoides*, constant.
- Deux silex mineurs, notés a et b (possibles silex Snowdrop 1 et 2).

Des niveaux de hardground ou de craie noduleuse s'y intercalent :

- Le HG Bondeville, peu épais, au-dessus du silex Mesnil-Val.
- La Craie Noduleuse Lewes (avec une couche inférieure, sous le silex White Nothe, et une couche supérieure).

La faune fossile de ces deux derniers niveaux, ici inaccessibles, est traitée dans le parcours suivant, entre Criel et Mesnil-Val, où ils apparaissent largement sur l'estran.

Coniacien inférieur

L'étage Coniacien n'est pas accessible dans la falaise du Mont Jolibois. L'interprétation est donc hypothétique.

● Le hardground Navigation (théoriquement le terme ultime du Turonien). Il est double et il forme un repère très évident au tiers inférieur de la falaise. Les hardgrounds Cliffe et Hope Gap sont peu marqués.
● Un fin niveau de marne, présent à 8,2 m au-dessus du HG Navigation est rapporté à la marne Beeding.
● 2 hardgrounds, proches l'un de l'autre, associés à des indices d'hydromorphie, culminent à 17,3 m du HG Navigation et représentent probablement les HGs Light Point.
● Enfin, à 27 m au-dessus du HG Navigation, un niveau marneux net est attribué à la marne Shoreham.

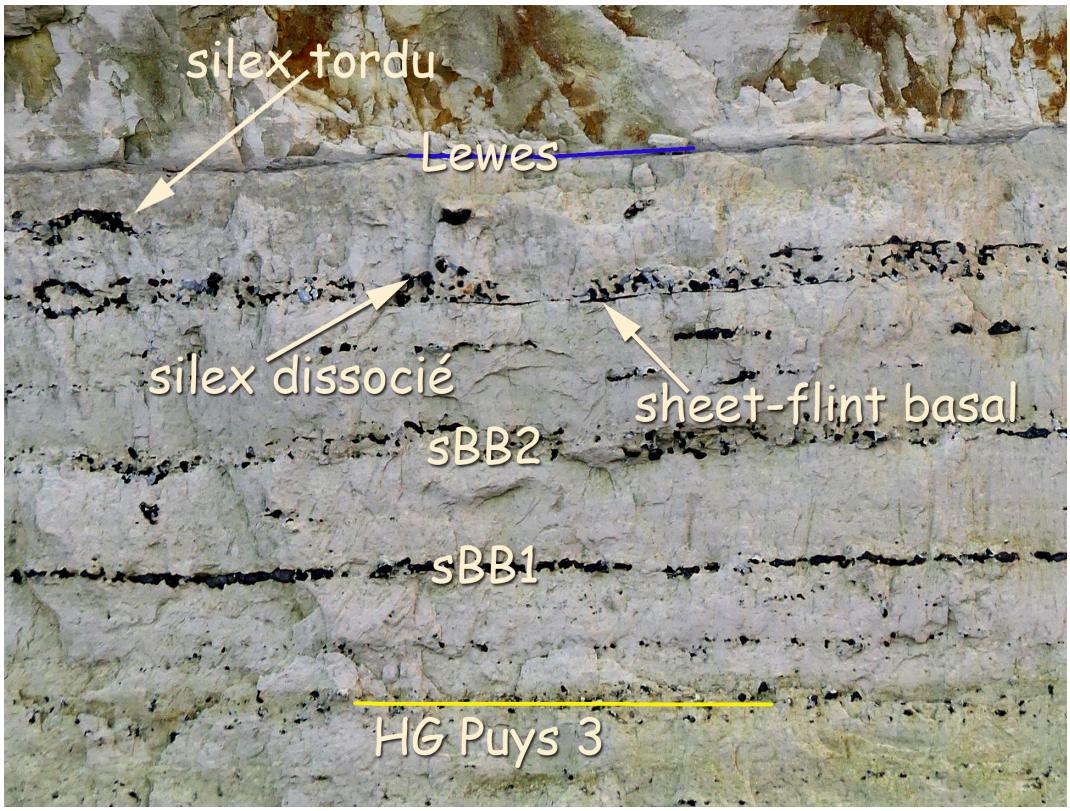


Fig. 95 - Phénomènes paléosismiques sous la marne Lewes

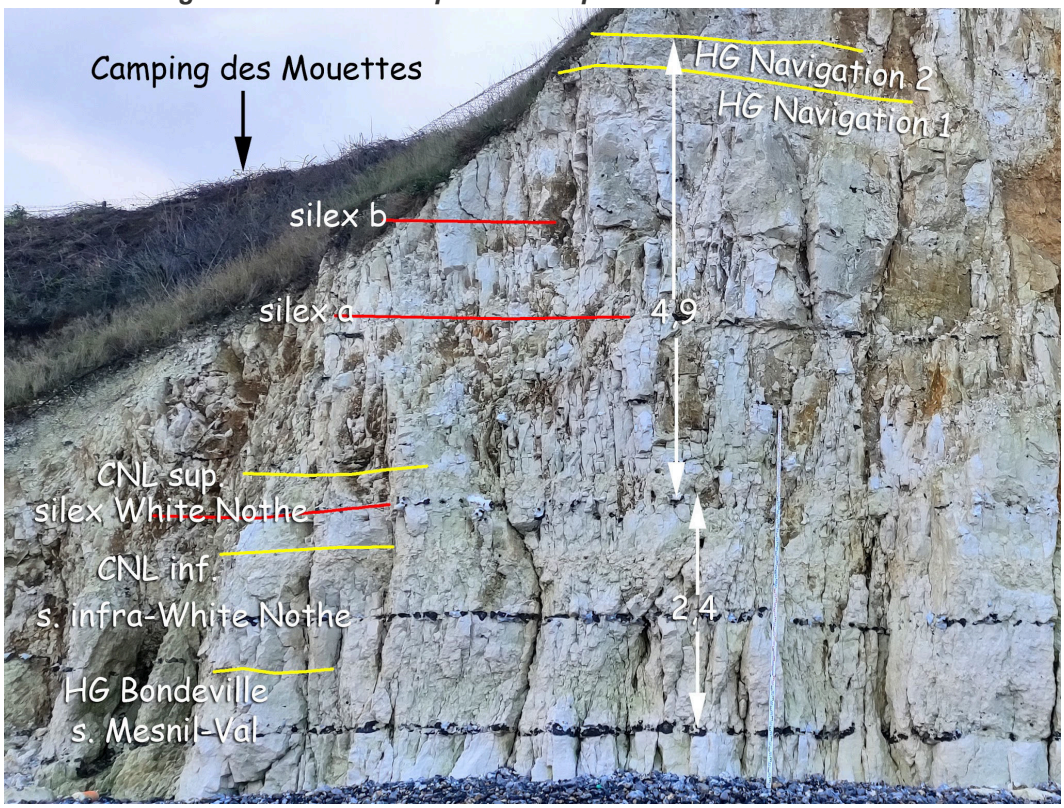


Fig. 96 - Passage Turonien - Coniacien - Du silex Mesnil-Val aux HGs Navigation

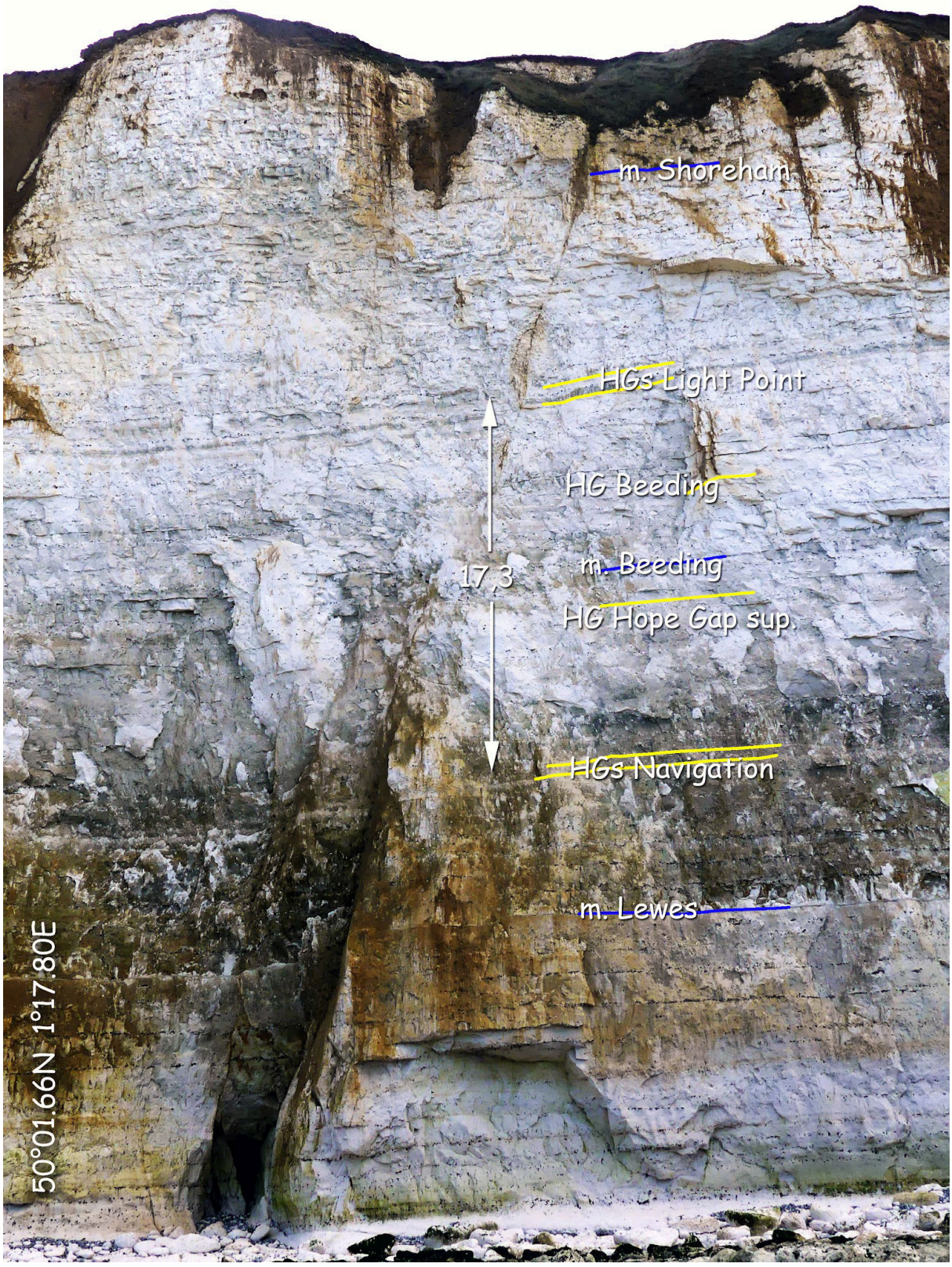


Fig. 97 - Falaise à l'Est du Val Pollet

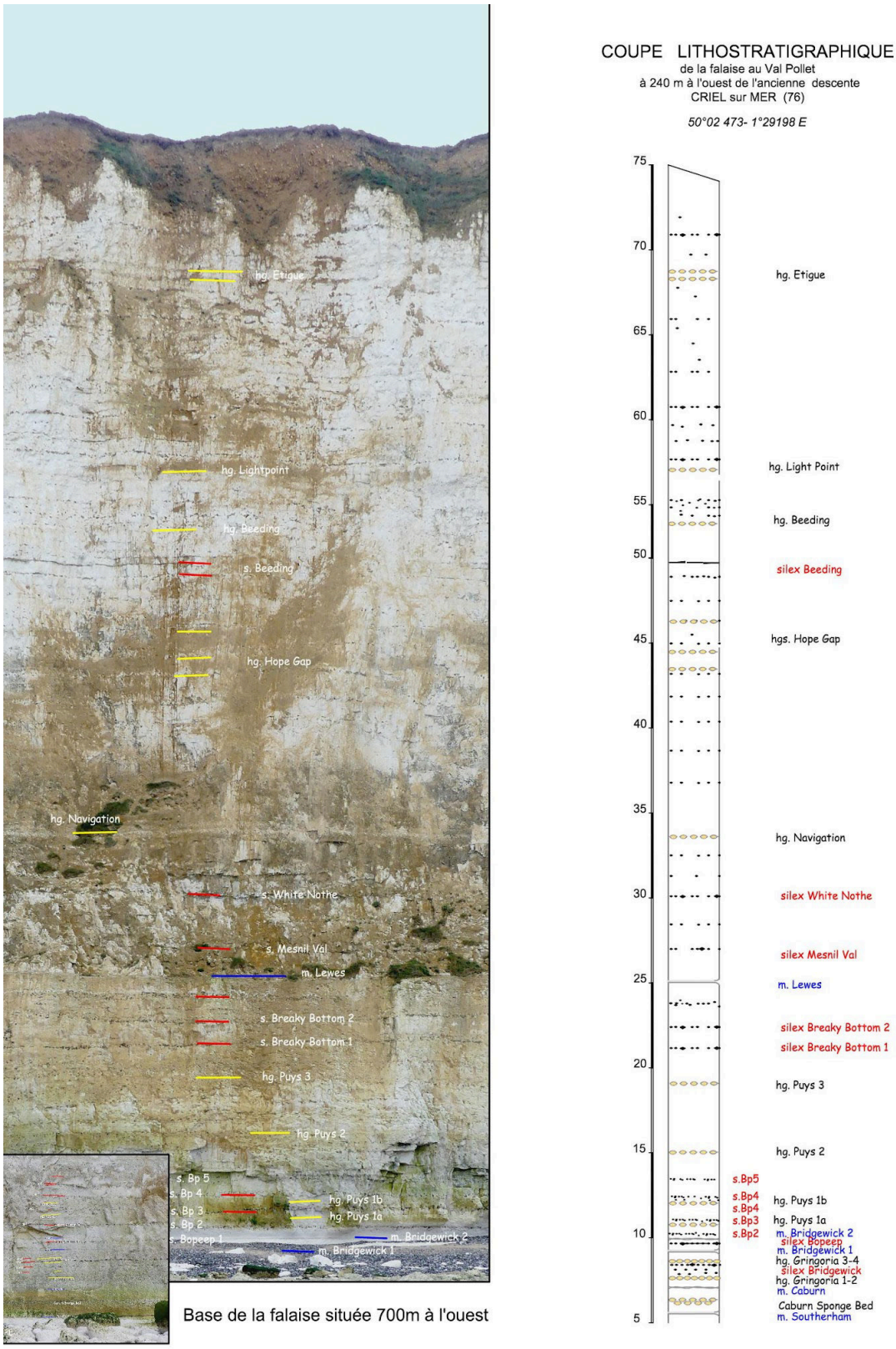


Fig. 98 - Cliché drone près du Val Pollet et interprétation stratigraphique

Du Tréport à Criel, via Mesnil-Val (2-1)

Cette coupe s'étend entre les épis occidentaux de la plage du Tréport (à l'Est) et les dernières falaises s'inclinant vers la vallée de l'Yères (à l'Ouest). Ce dernier tronçon, en fort recul, menace d'éboulement les habitations côtières de Criel-sur-Mer.

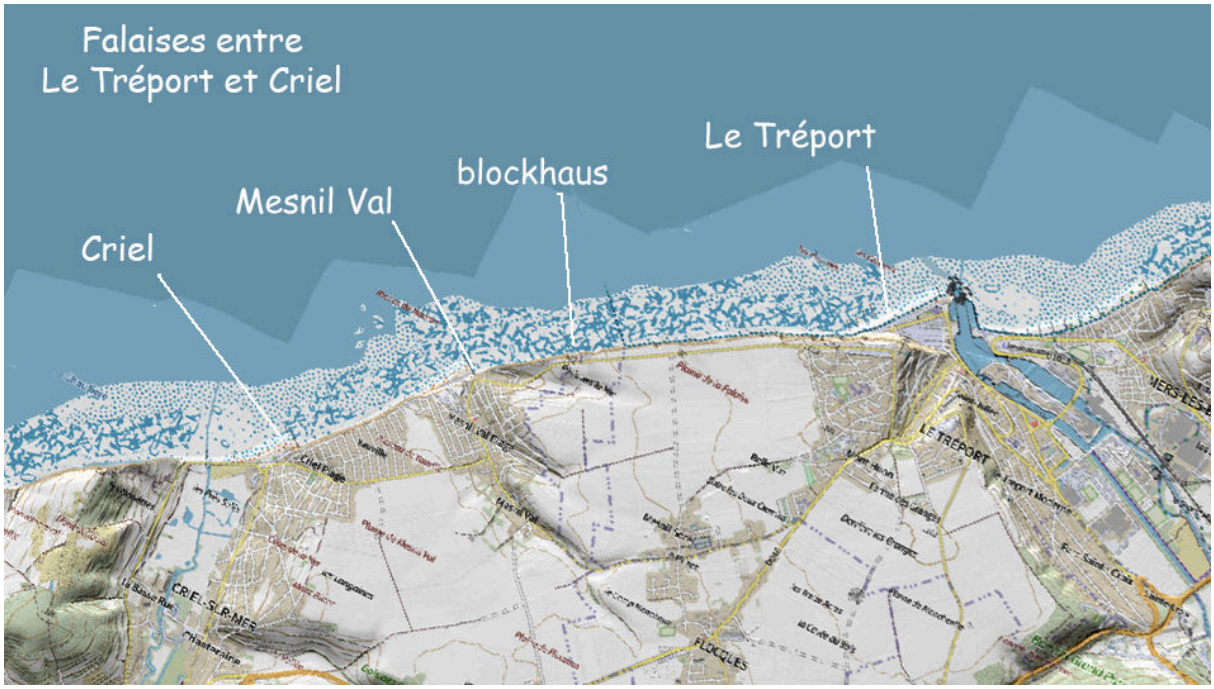


Fig. 99 - Les falaises entre Le Tréport et Criel

Les niveaux les plus anciens sont visibles sur le platier bordant les épis. La coupe se poursuit dans la falaise. Tectoniquement, cette coupe représente le flanc est du synclinal de Criel ou le flanc ouest de l'anticlinal du Tréport (= anticlinal de la Bresle). Sur l'estran (sous la marne Lulworth), on récolte des Échinides : *Conulus subrotundus* et des Brachiopodes : *Concinnithyris albensis.*

Intervalle T2b : de la marne Round Down à la marne New Pit 1

Sur l'estran, la marne Round Down a livré des échinides : *Roweaster*, *Gauthieria radiata*, des brachiopodes : *G. lata* (posés sur la marne), *Concinnithyris albensis* (forme très globuleuse), et des lamellibranches : *Spondylus* et ammonite *Lewesiceras peramplum*.

Un niveau de silex discontinu apparaît, entre marne Round Down et Round Down 2, comparable au silex Belville 2 de la coupe de Puys.
L'intervalle Round Down / New Pit 1 mesure environ 10 mètres d'épaisseur, ce qui est nettement moins que dans la coupe du Val du Prêtre.

Intervalle T3 : de la marne New Pit 1 à la marne Glynde 1

Le couple New Pit 1 - New Pit 2 est reconnaissable, avec la marne New Pit 2 toujours plus marquée. L'épaisseur entre ces deux marnes est de 2,4 m, à comparer avec les 4,5 m de la coupe de Puys.
La marne New Pit 3 est peu marquée.
L'épaisseur entre la marne New Pit 2 et la marne Glynde 1 est de 7,5 m, à comparer elle-aussi avec les 8,5 m de la coupe de Puys, ce qui peut indiquer la proximité d'un haut-fond.
La craie noduleuse (niveau Chirvals) est bien représentée.

Brachiopodes : *Gyrosoria lata, Concinnithyris albensis*

Céphalopodes : *Lewesiceras peramplum* (30 cm env.) et *Romaniceras* mal conservé, ce qui ne permet pas de préciser son espèce. Elle a été récoltée à 0,80 m au-dessus de la marne New Pit 2.

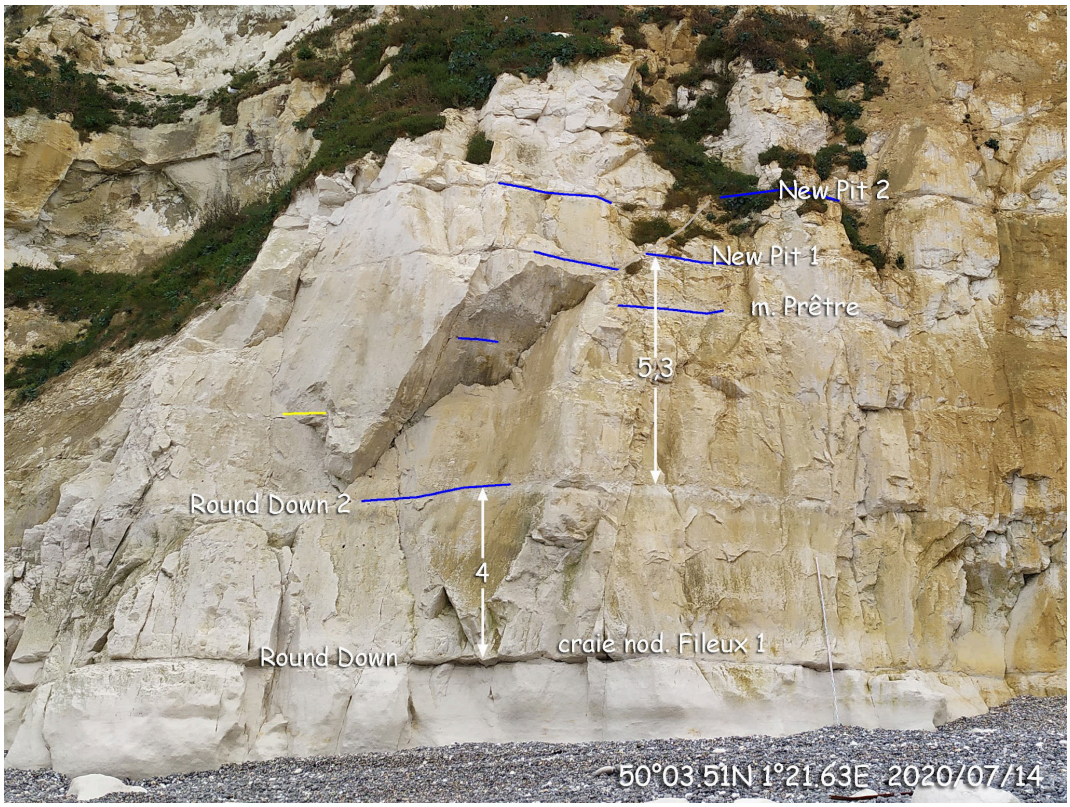


Fig. 100 - Intervalle T2 - De la marne Round Down à la marne New Pit 1

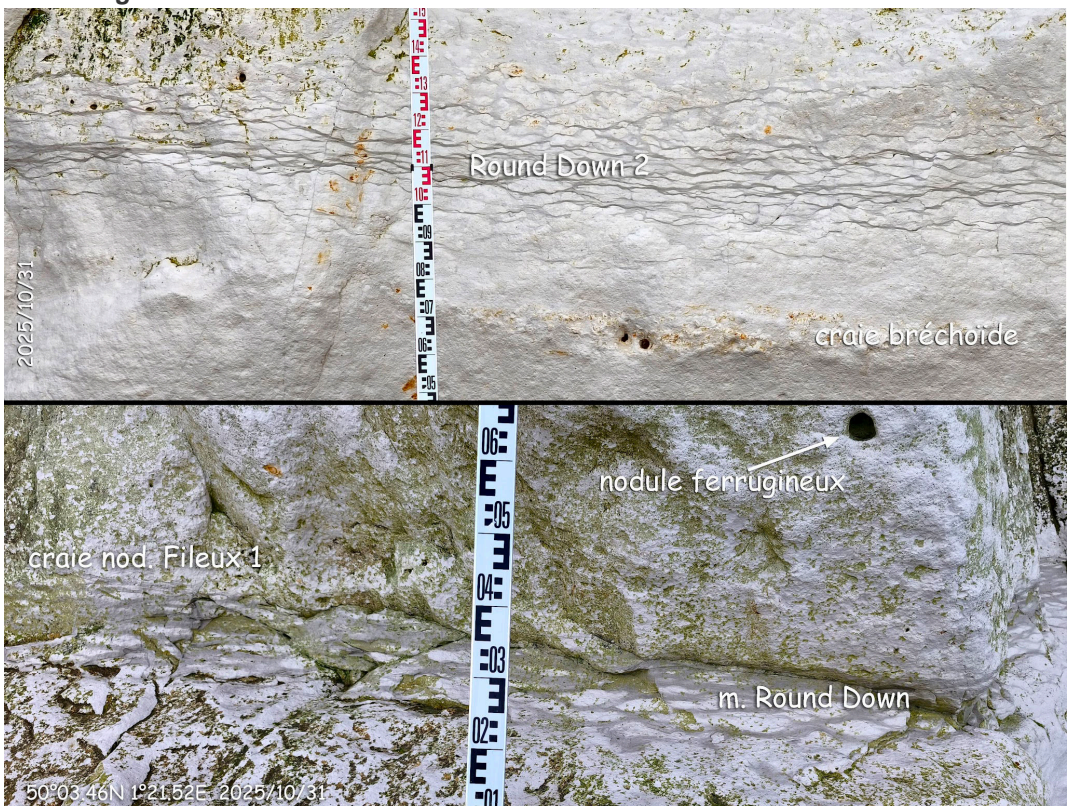


Fig. 101 - Plan rapproché comparé des marnes Round Down et Round Down 2

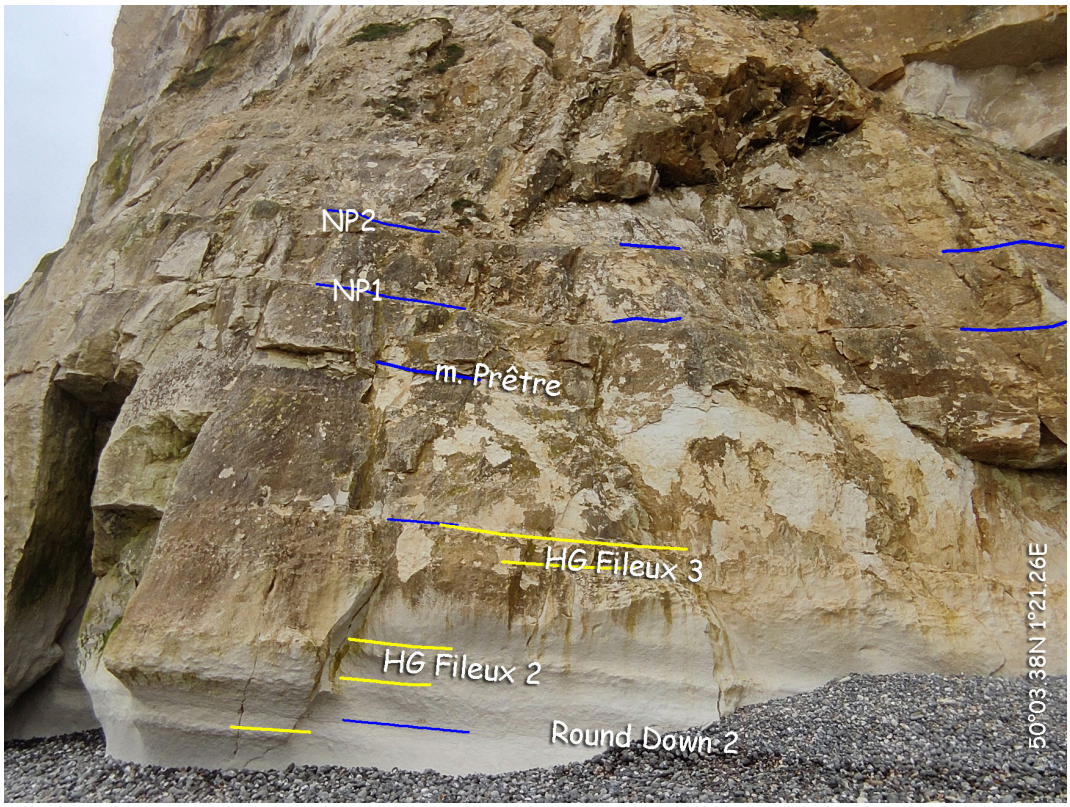


Fig. 102 - Entre la marne Round Down 2 et les marnes New Pit

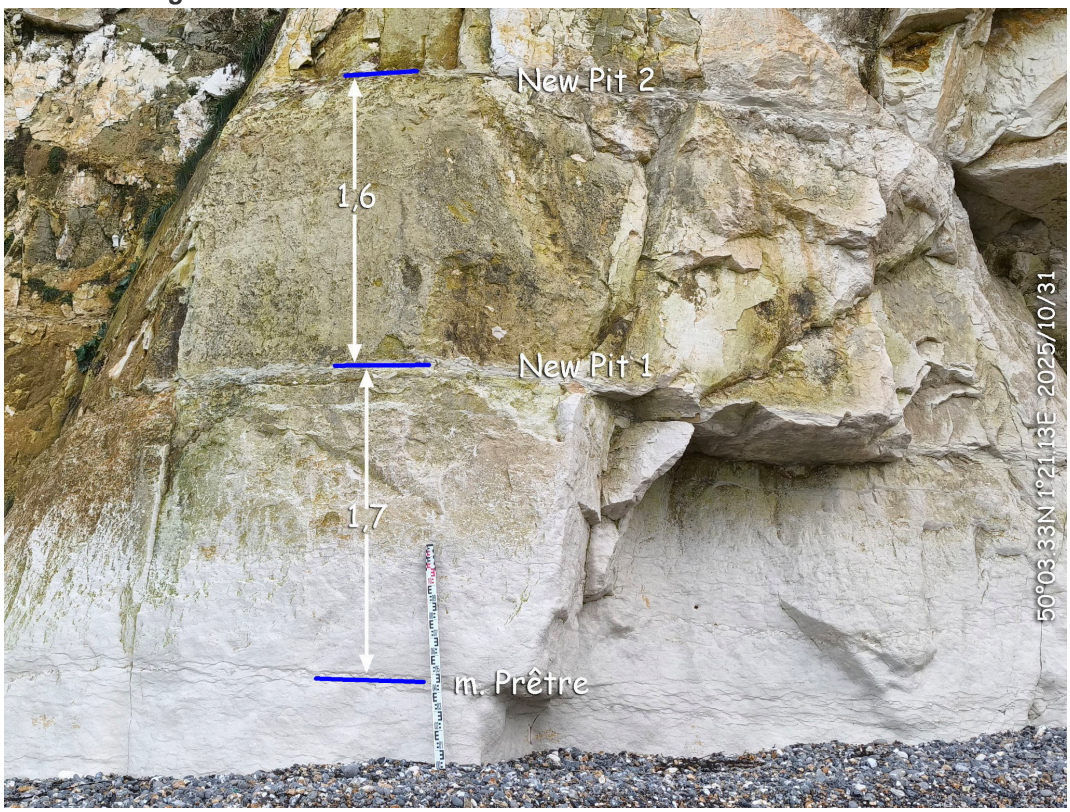


Fig. 103 - La marne du Prêtre et les marnes New Pit 1 & 2

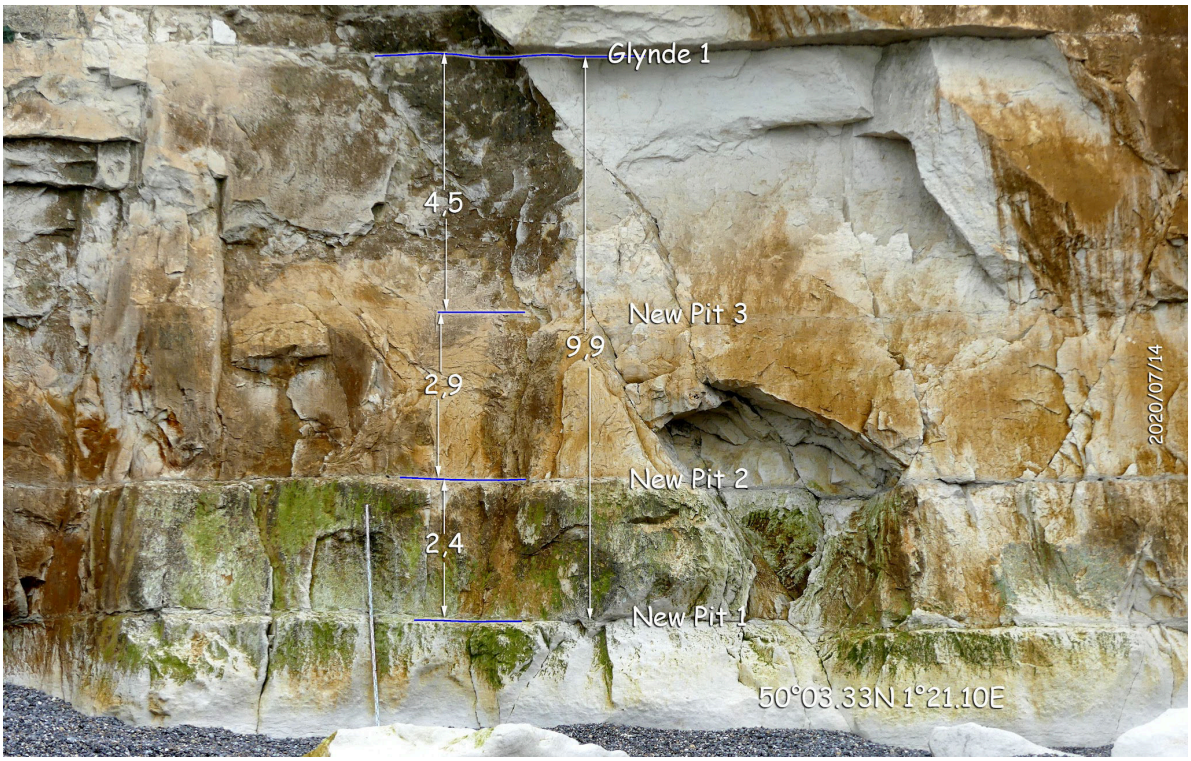


Fig. 104 - Intervalle T3 - De la marne New Pit 1 à la marne Glynde 1

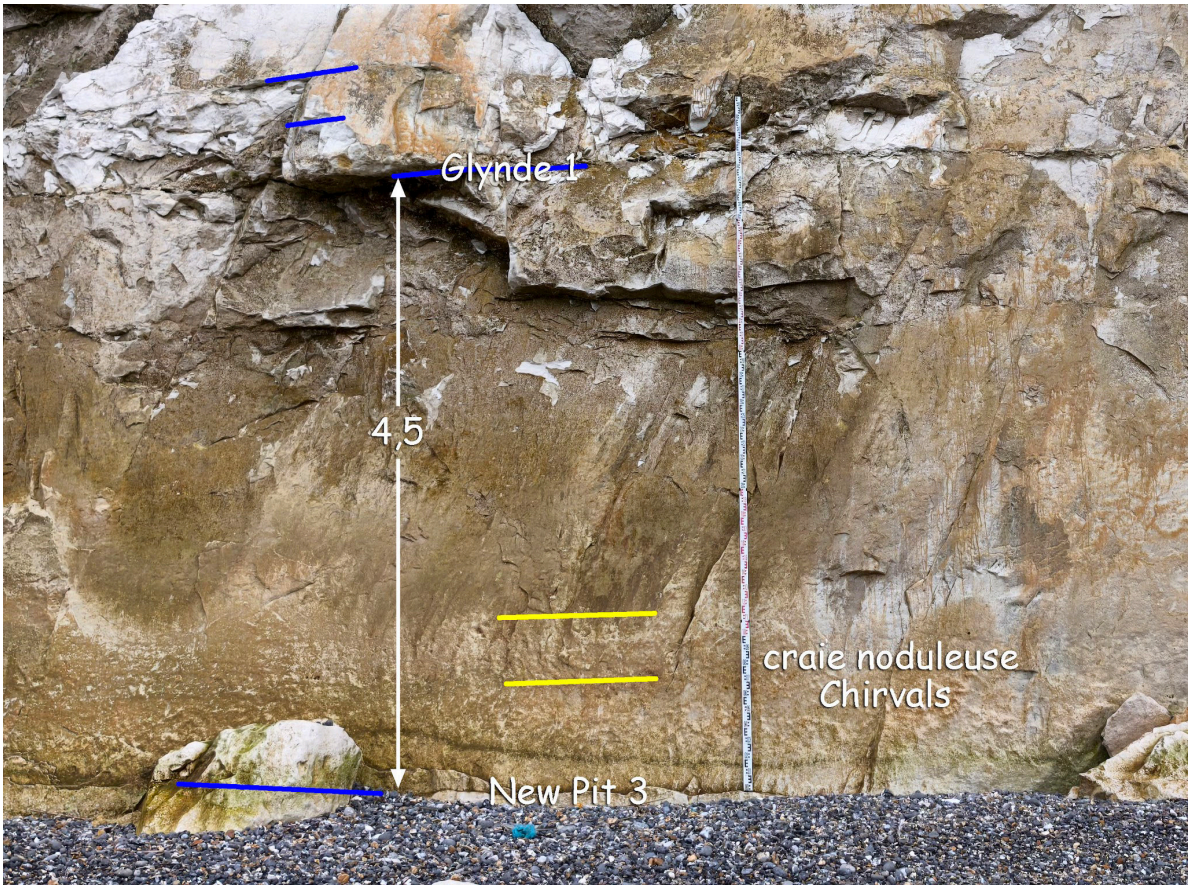


Fig. 105 - Partie supérieure de l'intervalle T3

Intervalle T4 : de la marne Glynde 1 à la marne Southerham 1

° Les six marnes Glynde sont présentes, avec une plus grande netteté pour les marnes Glynde 1, 5 et 6.
° Les petits silex isolés, dénommés “silex Camp de César” dans la coupe de Puys, sont toujours présents dans la partie médiane de l’intervalle. Ils se répartissent en deux niveaux (Camp de César 1 &2) et ils sont associés à de minces lits marneux notés m1, m2 et m3.
° La craie noduleuse infra-Southerham de la coupe de Puys s’organise ici en au moins 3 niveaux, dont un, le second est un véritable hardground à Spongiaires ferrugineux.
Les courants commencent à intervenir dans la sédimentation qui était jusqu’alors calme et continue. Ce niveau est équivalent au hardground Fognam Farm (GALE, 2019).
Le silex Southerham est absent. Ce silex *Thalassinoides*, caractéristique dans les coupes plus à l’Ouest, n’apparaît plus.
Épaisseur de l'intervalle : environ 7 mètres, à comparer aux 11 mètres de la coupe de Puys

Intervalle T5 : de la marne Southerham 1 à la marne Caburn

L’intervalle est composé d’une craie fine homogène qui devient progressivement de plus en plus noduleuse. Cette craie sommitale dure équivaut au Caburn Sponge Bed décrit dans le Sussex et dans le Kent (MORTIMORE *et al*., 2001) ou au hardground Blounts Farm (GALE, 2019). Les silex sont absents, contrairement à d’autres coupes comme celle de Puys ou d’autres en Angleterre.
La marne Caburn apparaît généralement comme une fine lamine ondulée, bien nette lorsqu'elle est dégagée par l'érosion en pied de falaise. Mais dans certains cas, les hardgrounds qui la surmontent l’ont grignotée et ils forment une masse indifférenciée avec le Caburn Sponge Bed.
L’épaisseur de l’intervalle Southerham / Caburn est d’environ 2 m à 2,5 m. Elle est donc fortement réduite par rapport à plus de 6 m dans la coupe de Puys.
Brachiopodes : *Gyrosoria lata*, rares *Orbirhynchia dispansa*.

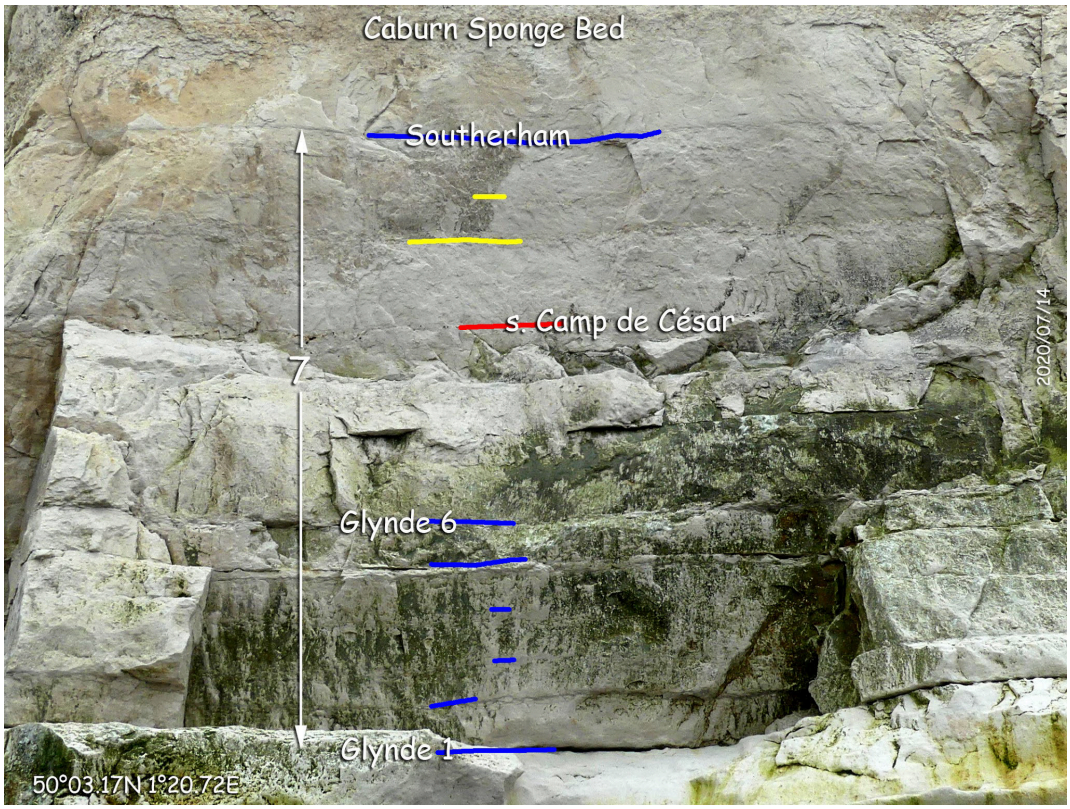


Fig. 106 - Intervalle T4 - De la marne Glynde 1 à la marne Southerham 1

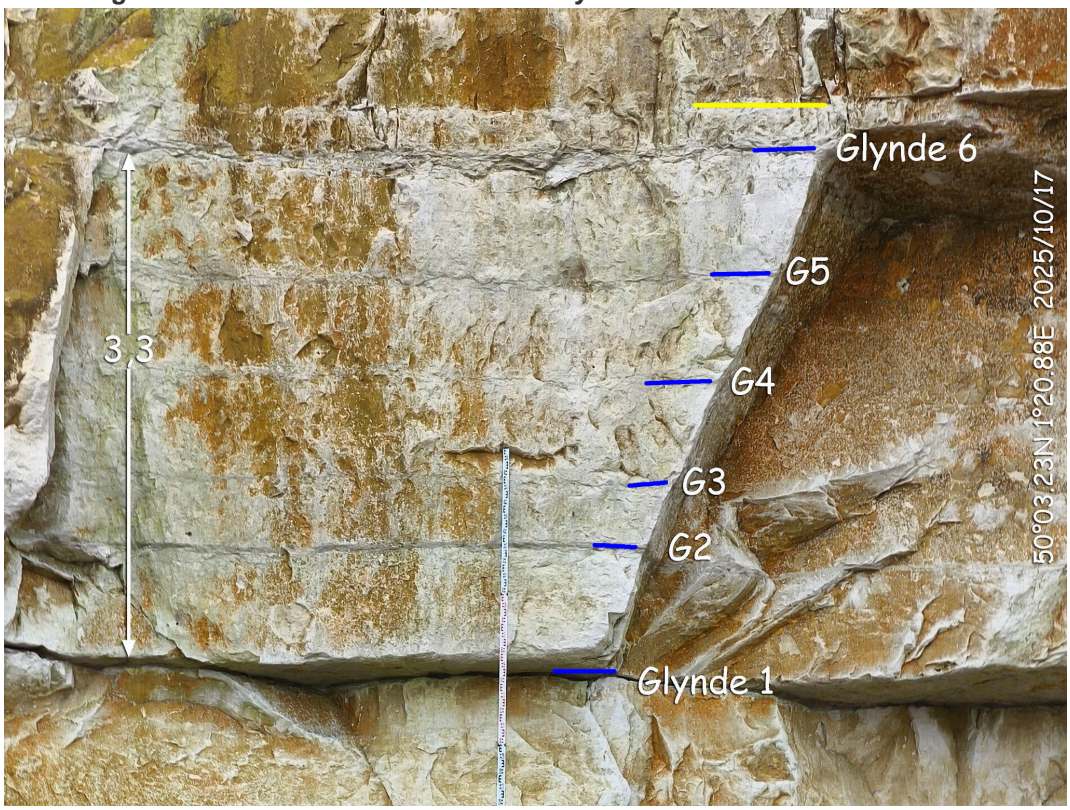


Fig. 107 - Les 6 marnes Glynde

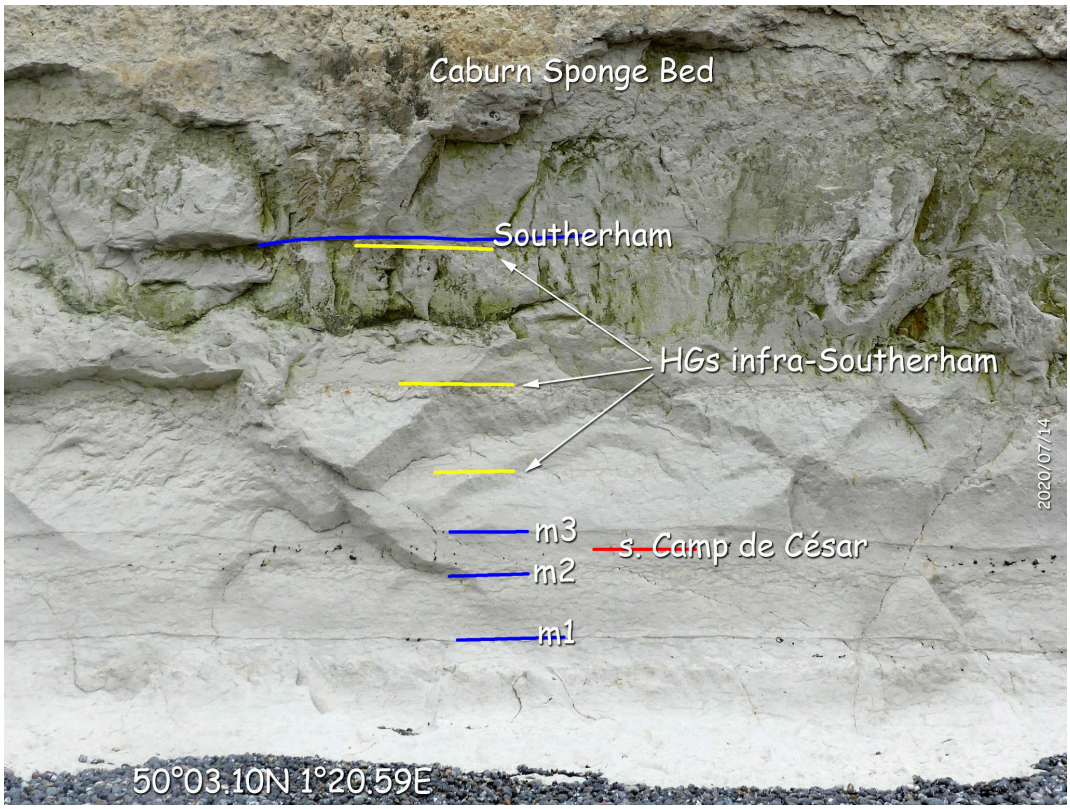


Fig. 108 - Partie supérieure de l'intervalle T4

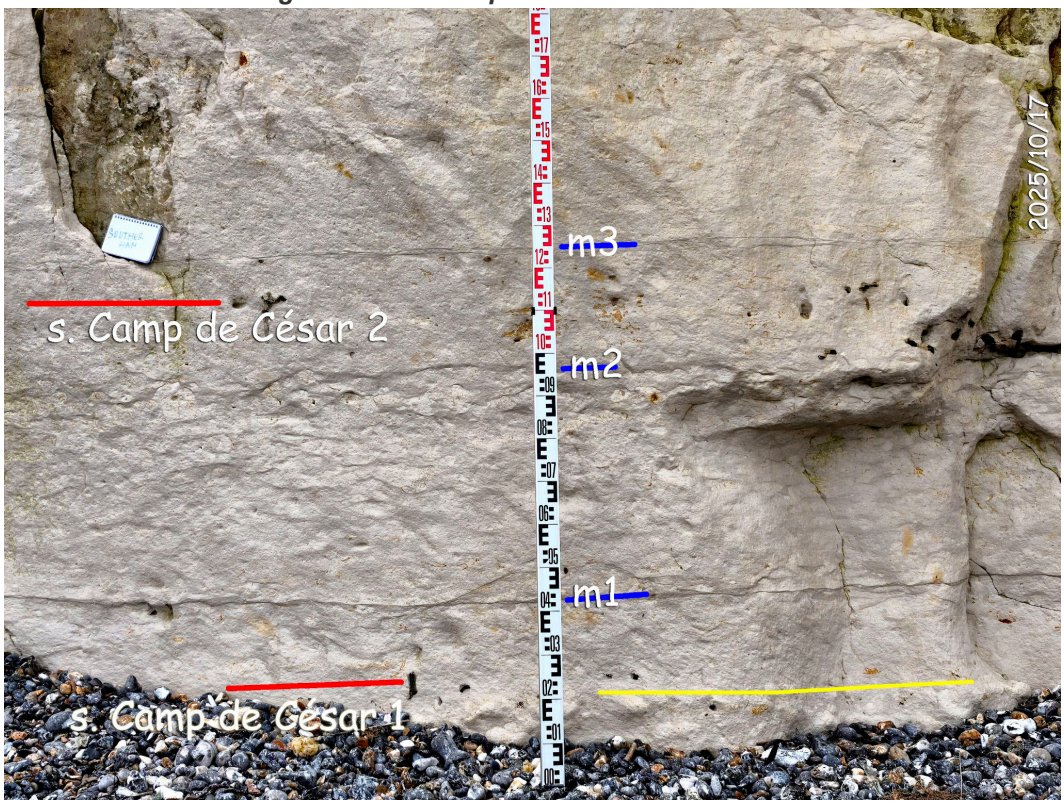


Fig. 109 - Silex Camp de César

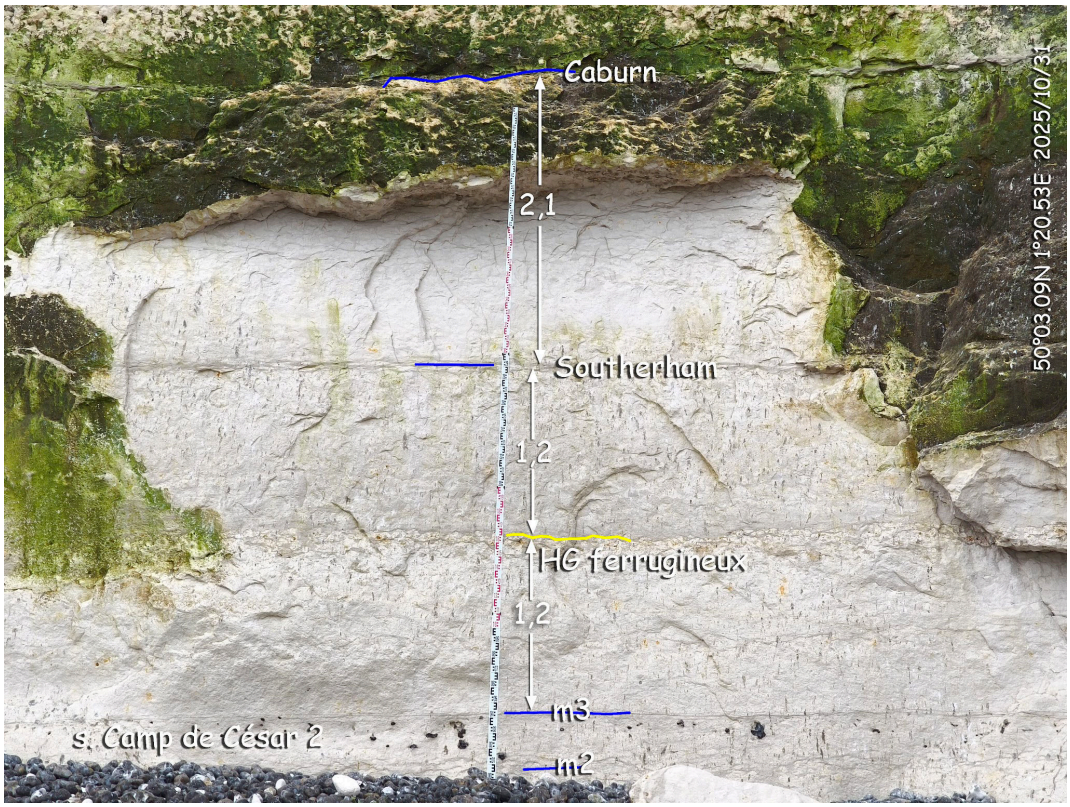


Fig. 110 - Partie supérieure de l'intervalle T4 et intervalle T5

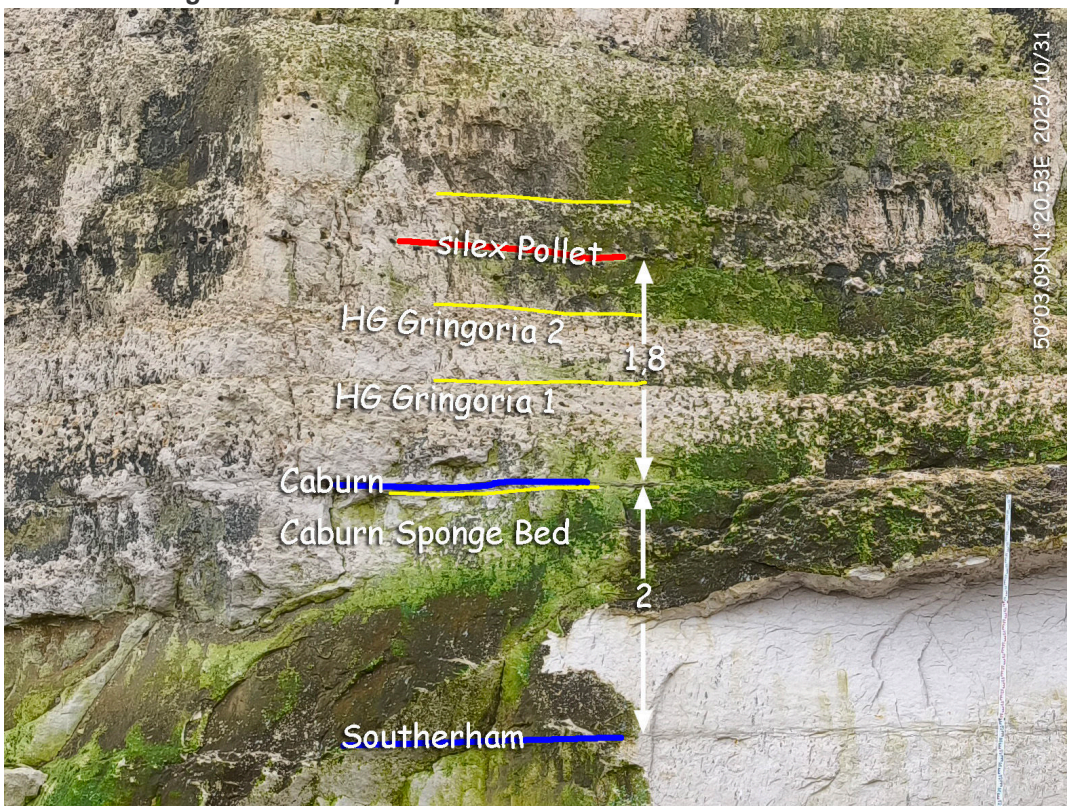


Fig. 111 - Intervalle T5 et T6 p.p.

Intervalle T6 : de la marne Caburn à la marne Bridgewick 1

Cet intervalle est couronné par les deux marnes Bridgewick, bien qu'en certains endroits l'une ou l'autre de ces marnes puisse devenir indiscernable. La majeure partie de la craie y est présente sous forme de hardgrounds. La succession est la suivante :

- Deux hardgrounds accolés, mais distincts, équivalents aux hardgrounds Gringoria 1 et Gringoria 2 de la coupe de Puys.
- Un niveau de silex *Thalassinoides*, relique (presque) unique du triplet de silex Bridgewick observable à Puys. Dans la coupe de Puys à Criel, cette réduction avait déjà été constatée. La netteté et la constance de ce silex font qu'il sert de marqueur dans la falaise, même observé à distance. Il est dénommé *silex Pollet*.
- Deux hardgrounds fusionnés, équivalents aux hardgrounds Gringoria 3 et Gringoria 4 de la coupe de Puys.
- La marne Bridgewick 1

Au-dessus, se place un niveau intercalaire de petits silex, équivalent du Bopeep Flint 1 (MORTIMORE & WOOD, 1986), indiqué sp1, puis la marne Bridgewick 2 plus atténuée que la première. L'épaisseur de cet intervalle (2 m à 3,5 m) est fortement condensée par rapport à celle de la coupe de Puys (10 m). Ces niveaux restent peu fossilifères
- Échinides : *Gauthieria radiata*, *Roweaster.*
- Brachiopodes : *Gibbithyris* et *Orbirhynchia dispansa*.
- Lamellibranches : *Spondylus* et *Inoceramus*.

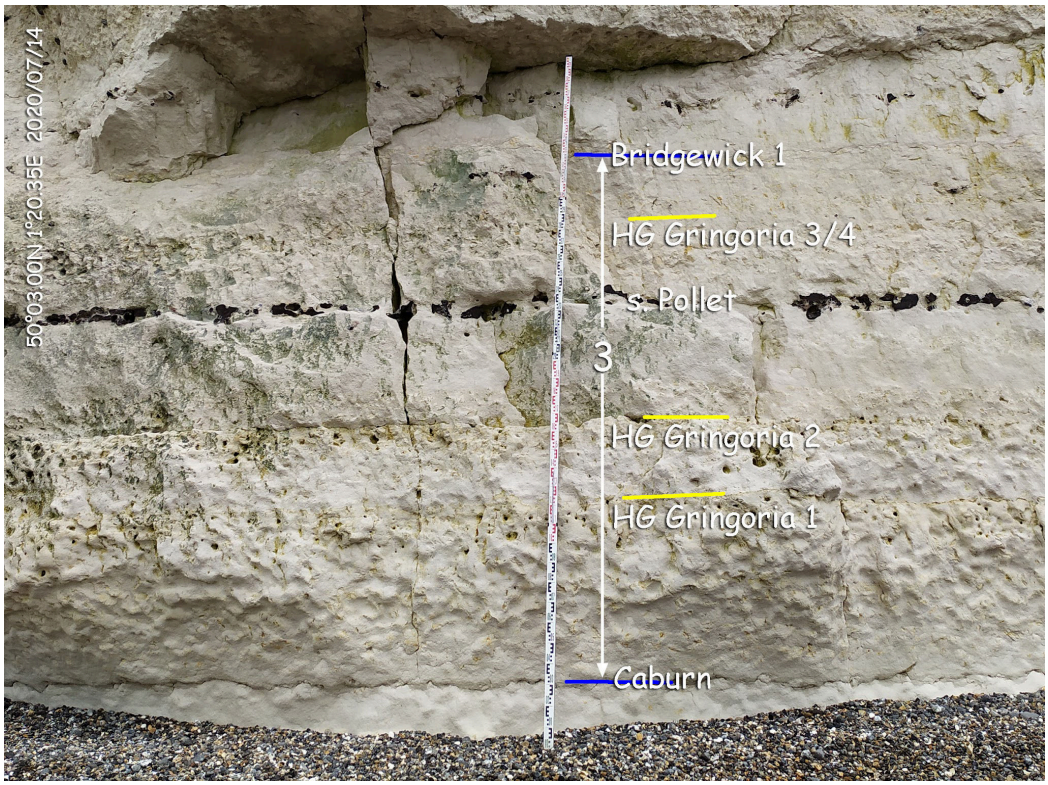


Fig. 112 - Intervalle T6 - de la marne Caburn à la marne Bridgewick 1

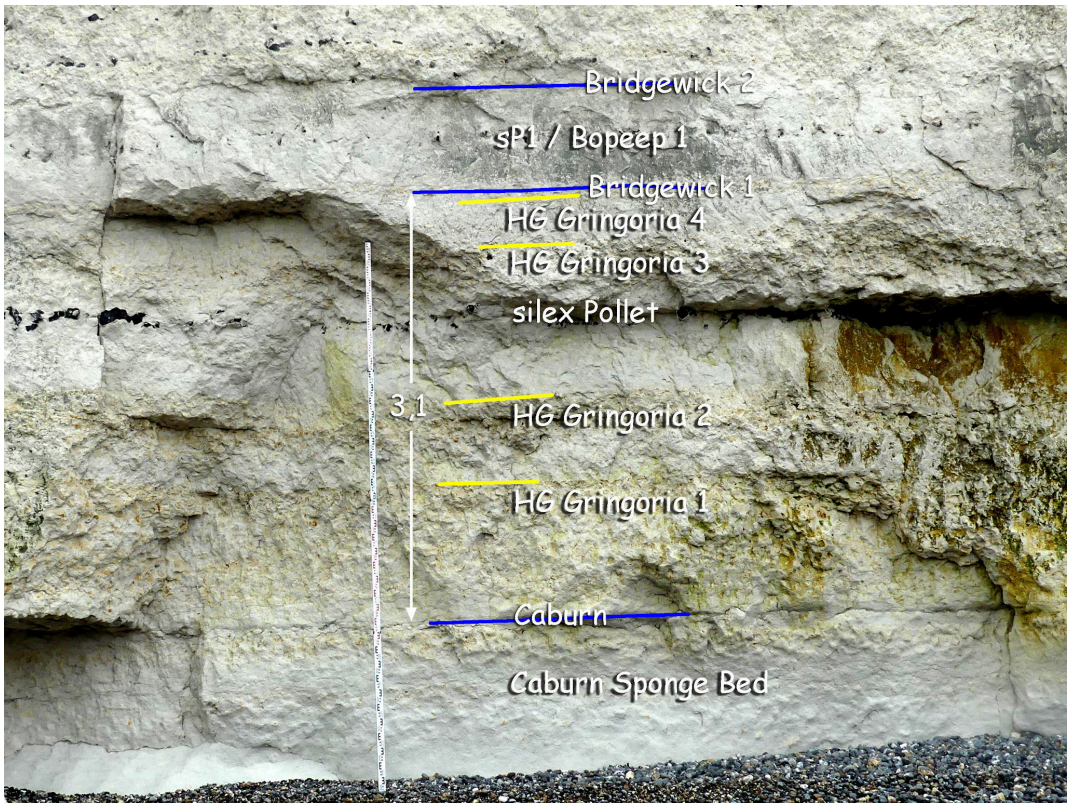


Fig. 113 - Intervalle T5 et base de l'intervalle T6

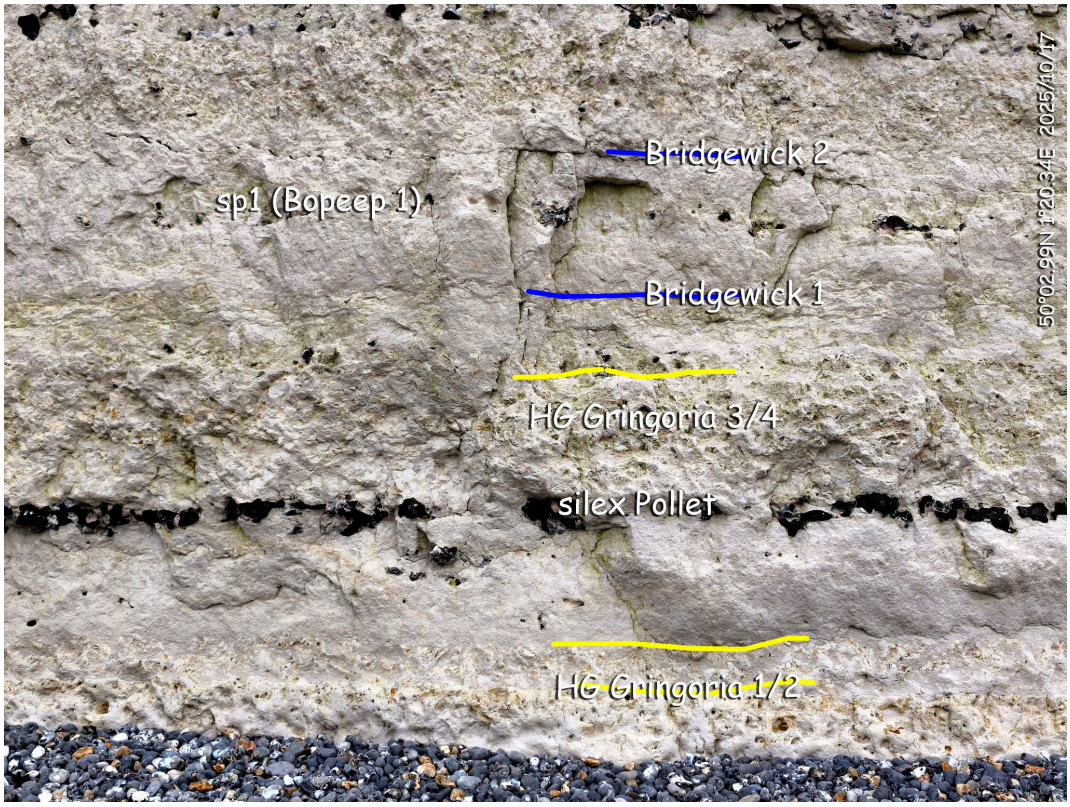


Fig. 114 - Partie supérieure de T6 (Caburn-Bridgewick) et base de l'intervalle T7

Intervalle T7 : de la marne Bridgewick 1 à la marne Lewes

L'épaisseur de 13 mètres de cet intervalle est comparable à celle observée dans la coupe Penly-Criel, ou légèrement supérieure à celle de la coupe Penly-Dieppe. La partie supérieure dessine des monticules et cuvettes, d'amplitude inférieure à 5 mètres. Les deux marnes Bridgewick sont reconnaissables, la seconde étant plus atténuée ou ravinée. Elles encadrent un niveau de petits silex isolés (sp1 ou Bopeep 1).
Dans cet intervalle, plusieurs groupes de hardgrounds sont identifiés :

1. Un premier groupe, surmontant la marne Bridgewick 2. Il s'agit d'un hardground double attribué aux *hardgrounds Puys 1a et Puys 1b*, qui inclut des silex. Son sommet se situe à 1,6 mètre au-dessus de la marne Bridgewick 2.
2. Un second hardground, double, dont le sommet se trouve entre 4,4 et 4,7 mètres au-dessus de la marne Bridgewick 2, est attribué au hardground Puys 2.
3. Un troisième groupe de hardgrounds, dont les sommets se trouvent respectivement à 6,8 et 7,6 mètres, est attribué aux hardgrounds Puys 3a (épais et mal délimité) et Puys 3b encadrant le silex Breaky Bottom 1 (3b inf et 3b sup)
4. Un quatrième groupe de hardgrounds, d'épaisseurs mineures (hardgrounds Puys 4a et 4b).

Les silex sont présents sur toute la hauteur de l'intervalle. Selon leur forme et leur répartition, on peut les diviser en quatre groupes :

1. Un groupe de trois silex nodulaires, bien stratifiés (sp1, sp2 et sp3), inclus dans les hardgrounds Puys 1. Par comparaison, ils sont désignés "*silex Bopeep*".
2. Un groupe de silex nodulaires désorganisés, repris dans les hardgrounds Puys 2 et 3.
3. Un groupe de silex *Thalassinoides* stratifiés, pouvant même être tabulaires localement. Dans le cas où ils sont le mieux préservés (épi de Mesnil-Val), ils sont au nombre de trois, plus rarement 4 (notés sBB1, sBB2 et sBB3), mais ils sont généralement dégradés et un seul se distingue alors (sBB ou *silex Breaky Bottom*, in MORTIMORE & POMEROL, 1991). Sur le platier de Criel, de beaux exemples de paramoudras et de silex toriques sont exposés. Un rapprochement est fait avec les silex tabulaires d'Életot.
4. Une couche de silex tubiformes dispersés de manière chaotique, entre les hardgrounds Puys 4a et 4b. Il s'agit des « *Tubular Lewes Flints* » (MORTIMORE & POMEROL, 1991). Le caractère remanié des silex semble évident.

Le hardground Puys 3 à faune Hitch Wood est fossilifère, le hardground Puys 4 l'est moins. Les hardgrounds Puys 1 et 2 n'ont rien livré. Les brachiopodes sont souvent écrasés.
Échinides : *Micraster leskei, Sternotaxis plana.*
Brachiopodes *: Gibbithyris semiglobosa, Woodwardirhynchia cuneiformis, 'Cretirhynchia' minor.*
Lamellibranches *:* Spondylus*.*
Céphalopodes *: Hyphantoceras reussianum, Yezoites baldenensis* (très voisin de *Scaphites,* confondu sur le terrain)*.*

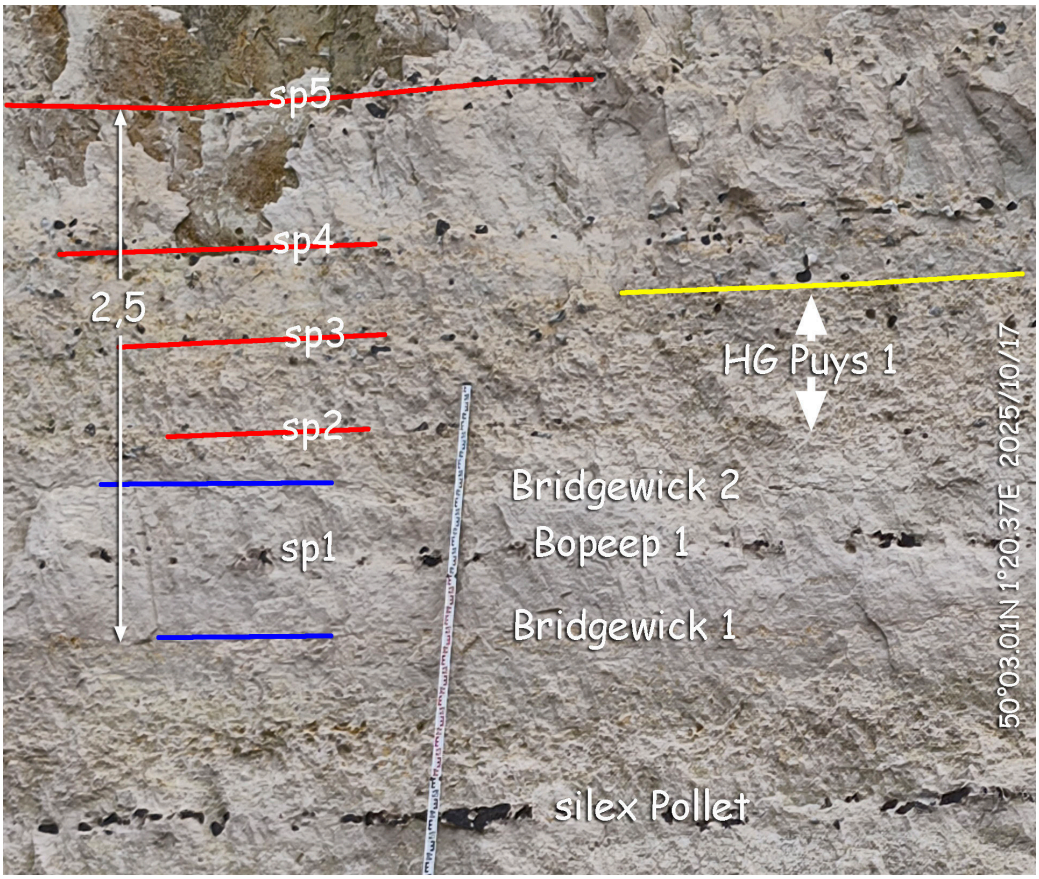


Fig. 115 - Sommet T6 & base de T7 (Bridgewick-Lewes) à l'Est de Mesnil-Val

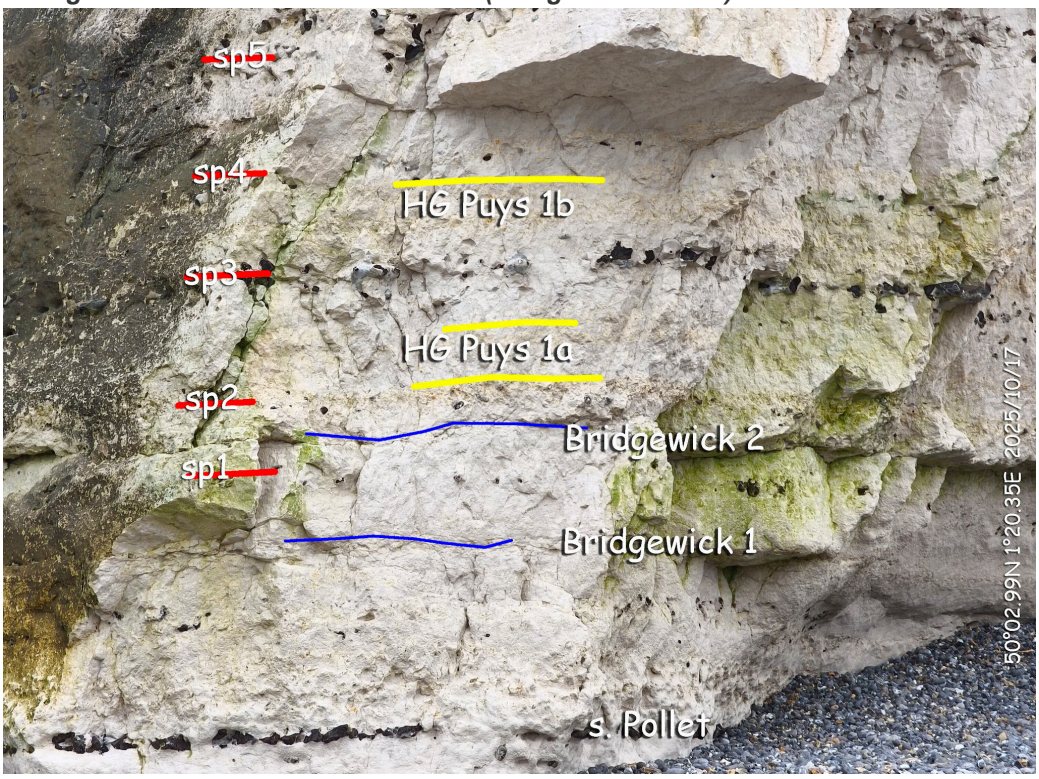


Fig. 116 - Les hardgrounds Puys 1a & 1b

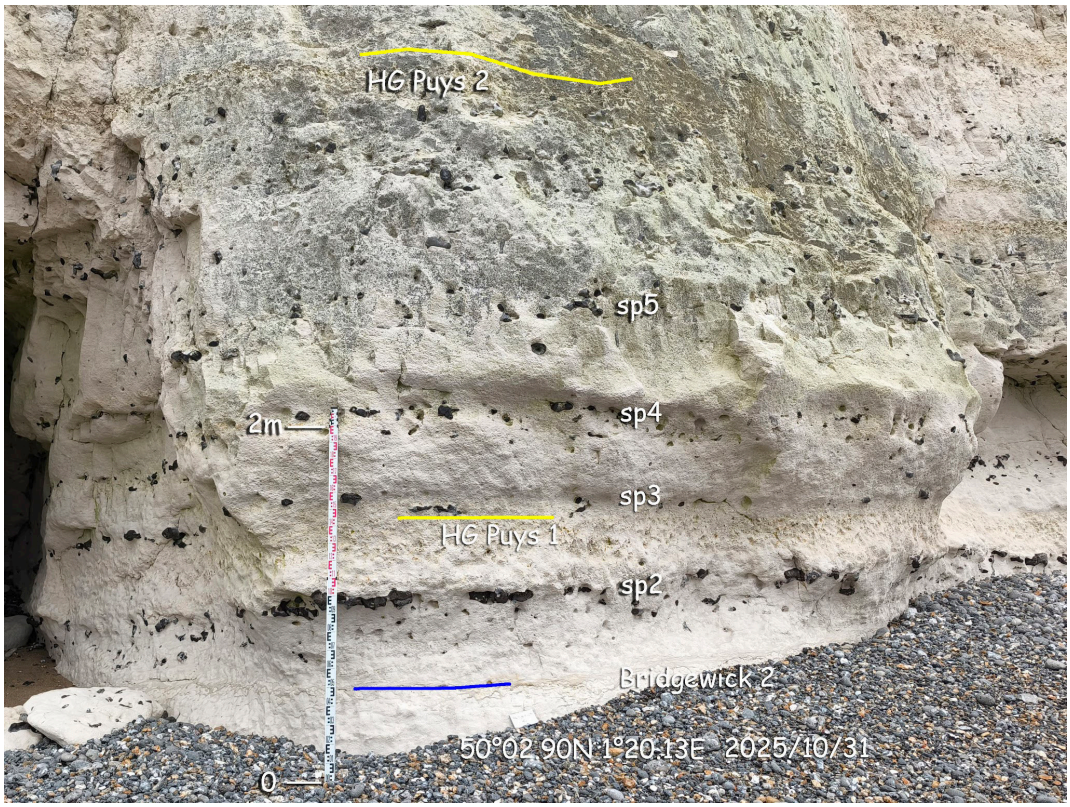


Fig. 117 - Base de l'intervalle T7

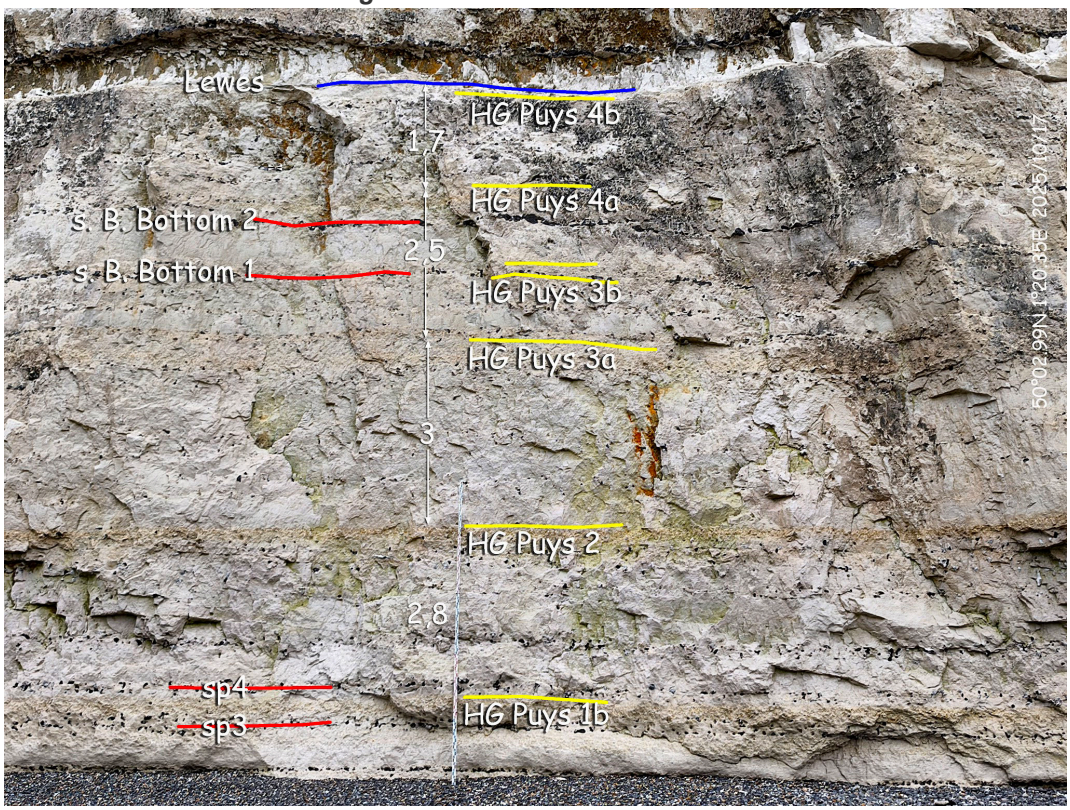


Fig. 118 - Intervalle T7

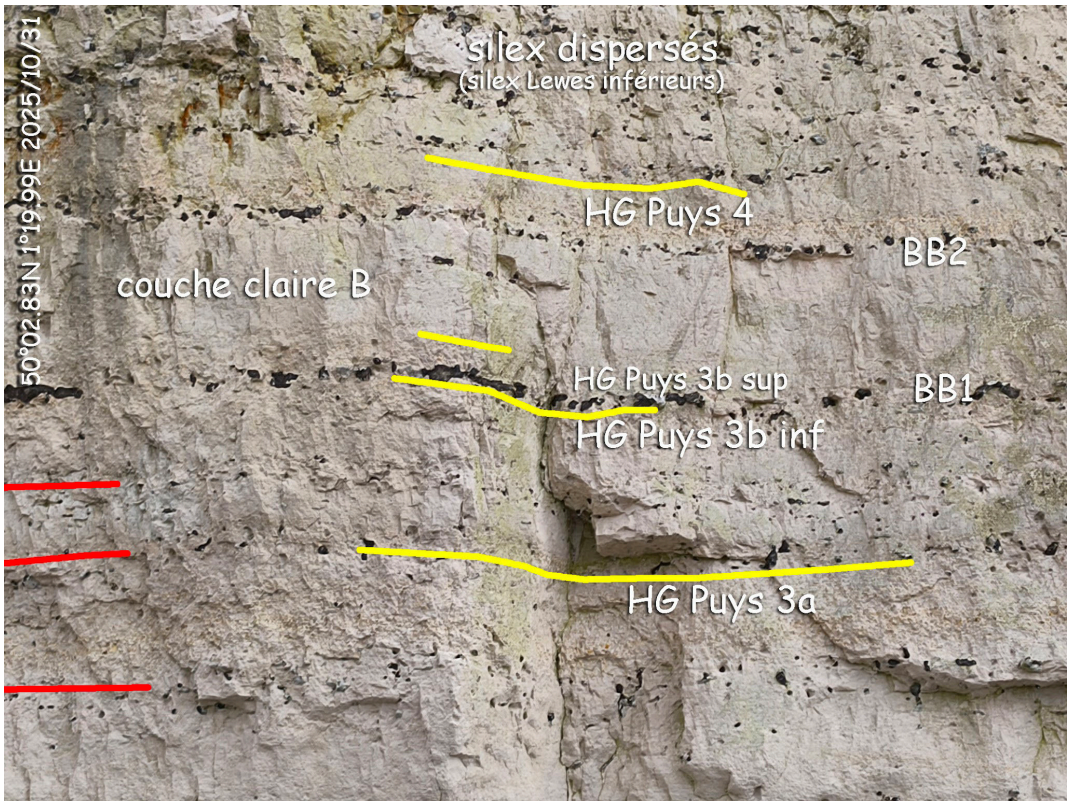


Fig. 119 - Les hardgrounds Puys 3 et Puys 4a

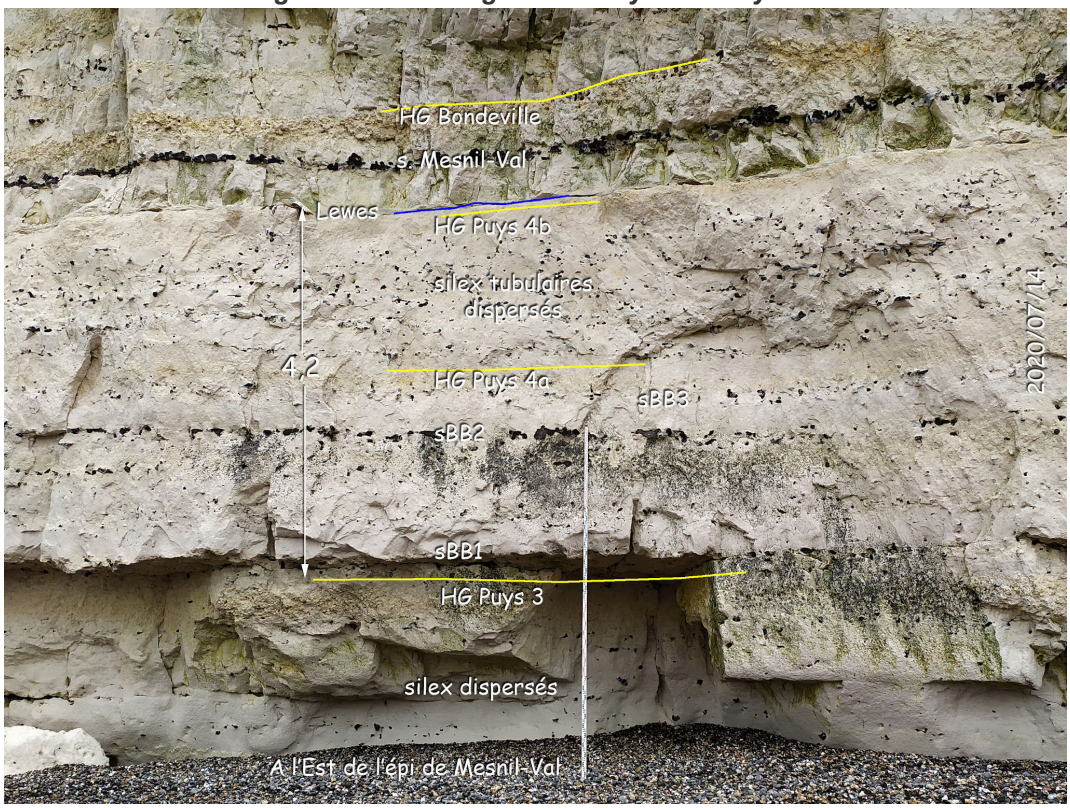


Fig. 120 - Partie supérieure de l'intervalle T7 (Bridgewick-Lewes)



Fig. 121 - Le niveau à Hyphantoceras reussianum dans le HG Puys 3

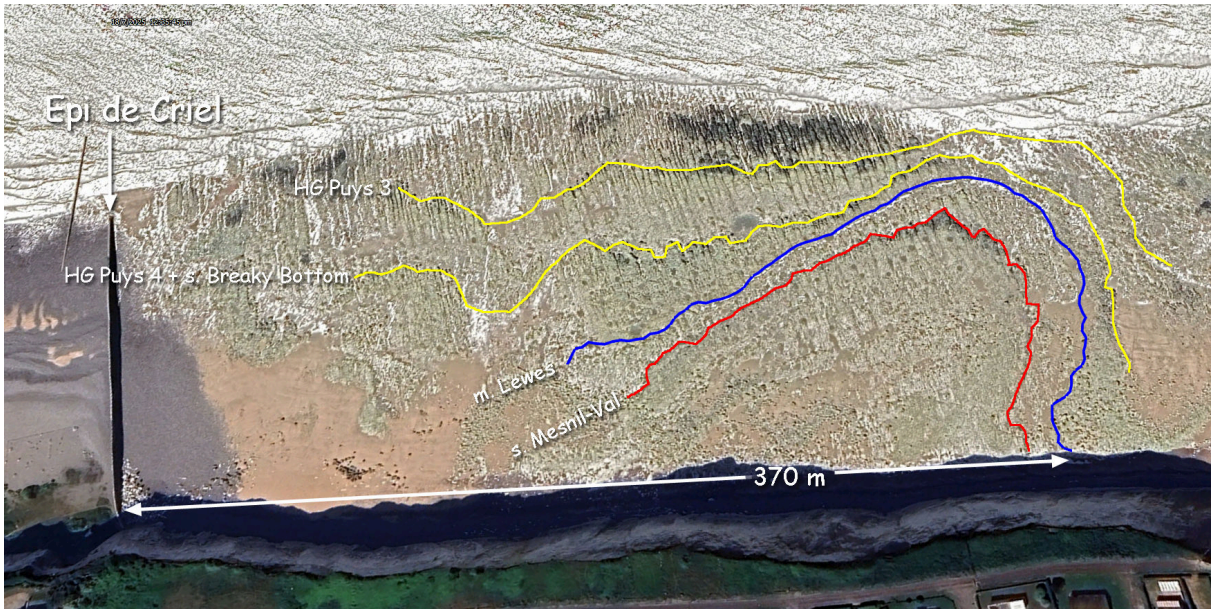


Fig.122 - Photointerprétation du platier montrant la disposition en cuvette de T7

Intervalle T8 : de la marne Lewes au HG Navigation

Cet intervalle peut être touché intégralement entre l'épi de Mesnil-Val (50°02.73N, 1°19.80E) et l'épi de Criel-Plage (50°02.18N, 1°19.06E).
La bentonite Lewes est très bien représentée. Elle souligne la sédimentation en monticules et cuvettes du Turonien élevé.
Le silex Mesnil-Val, à 0,8 m au-dessus, très épais, prend ici un aspect quasi-tabulaire. Il est surmonté presque directement par le HG Bondeville et la Craie Noduleuse Lewes inférieure, qui deviennent presque coalescents, formant une masse noduleuse très apparente.
Le silex White Nothe n'est pas toujours présent, car raviné par le hardground sus-jacent peu épais (CNL sup. a). Les deux hardgrounds surmontant le silex White Nothe (CNL sup. a et b) sont bien différenciés.
La couche de *Zoophycos* Cuilfail (MORTIMORE & POMEROL, 1991) du sommet de la zone à S. *plana* est bien exposée jusqu'à l'épi de Criel. Elle prend la forme d'une couche claire sans silex.
Le HG Navigation est composite.

Seul le HG Bondeville, qui affleure sur l'estran au creux de la cuvette, a pu être inventorié. La faune récoltée est identique à celle observée à Puys - port extérieur, et se compose essentiellement d'échinides : *Micraster leskei*, *Echinocorys scutata*, *Conulus albogalerus*. On note une large diffusion de *Conulus albogalerus*, ce qui est inhabituel pour ce taxon dans ce contexte. Les niveaux stratigraphiques supérieurs ne sont connus que par des blocs éboulés. Ces blocs sont difficiles à replacer dans la série stratigraphique avec certitude. La seule information fiable tirée de ces blocs est la disparition de l'espèce *Micraster leskei* dans ces niveaux.

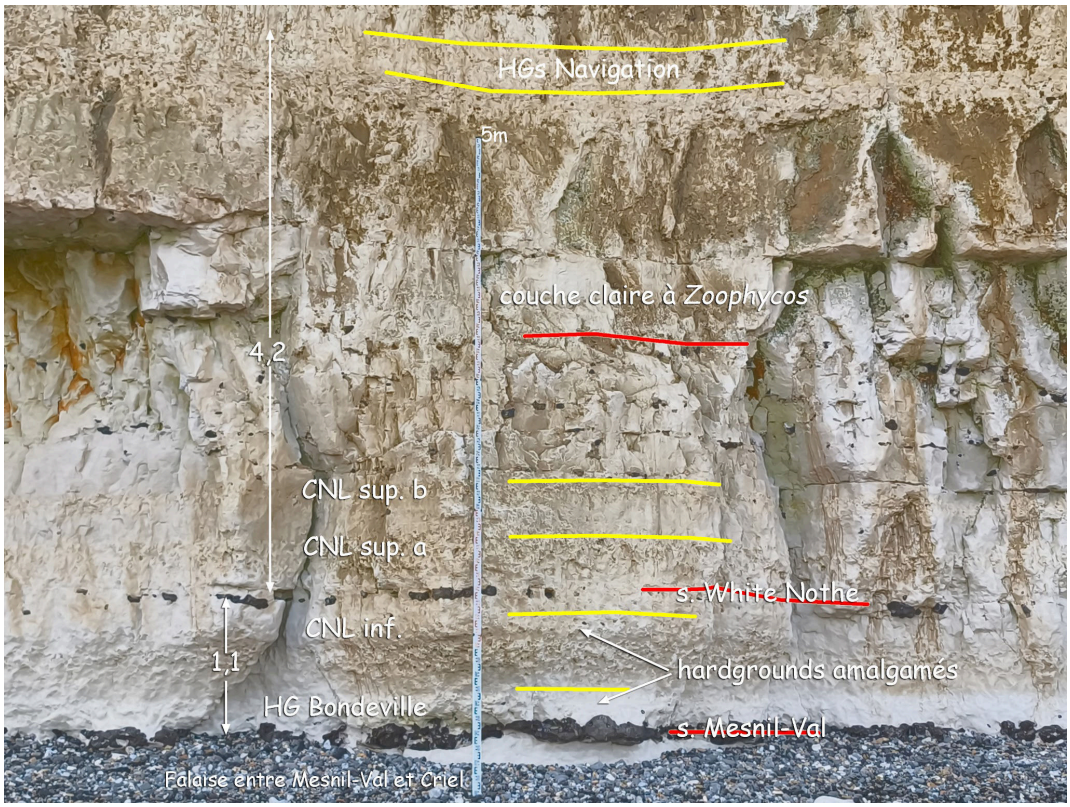


Fig. 123 - Partie supérieure de l'intervalle T8 - falaise entre Mesnil-Val et Criel

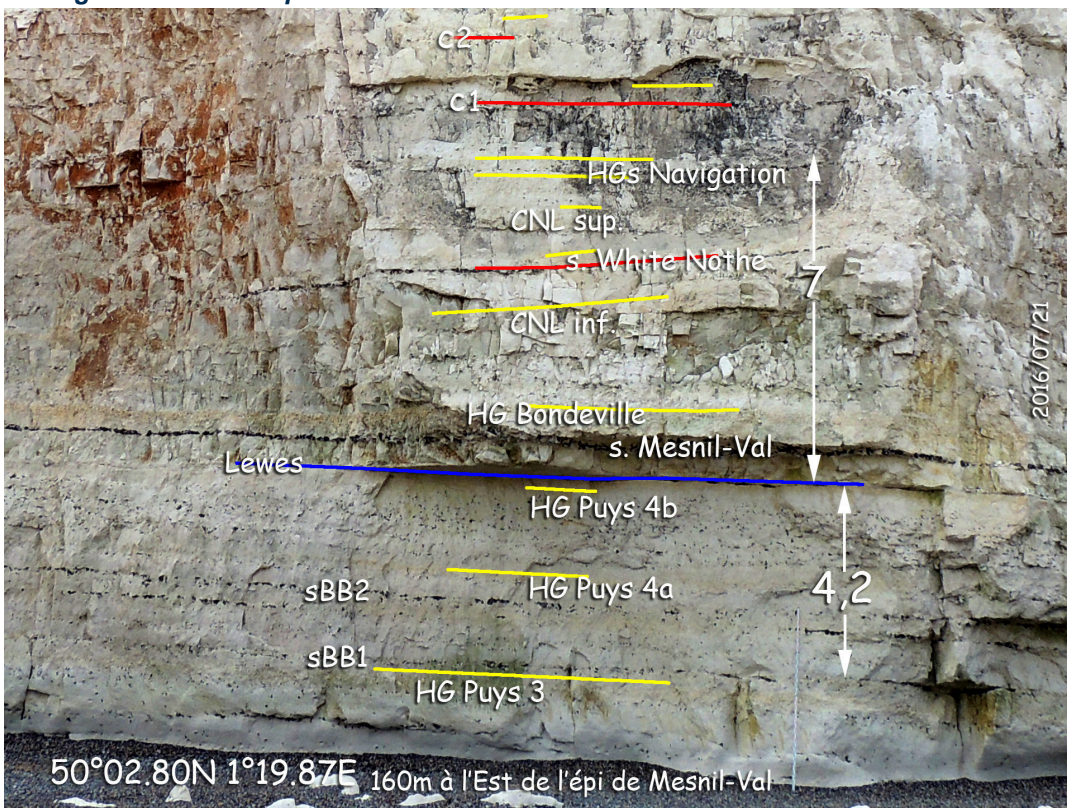


Fig. 124 - Partie supérieure de l'intervalle T7 et intervalle T8 (Lewes-Navigation)

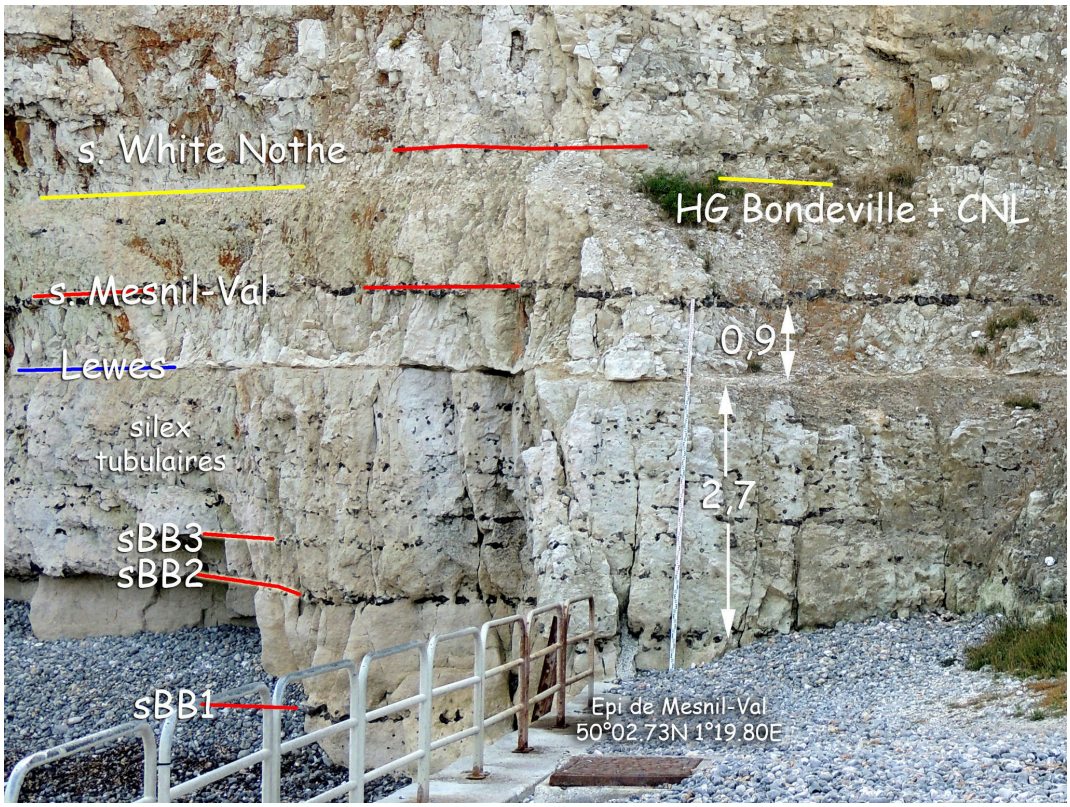


Fig. 125 - Contact des intervalles T7/T8 à l'épi de Mesnil-Val

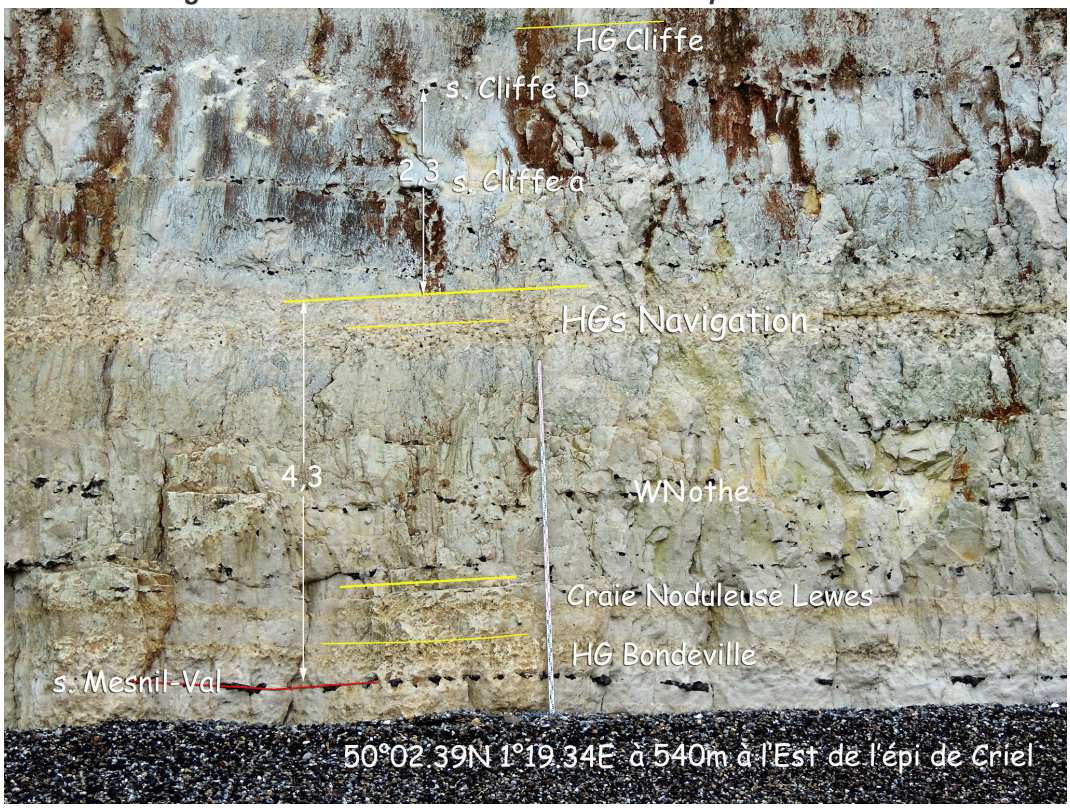


Fig. 126 - Partie supérieure de l'intervalle T8, entre Criel et Mesnil-Val



Fig. 127 - Localisation du niveau à Zoophycos au sommet de l'intervalle T8

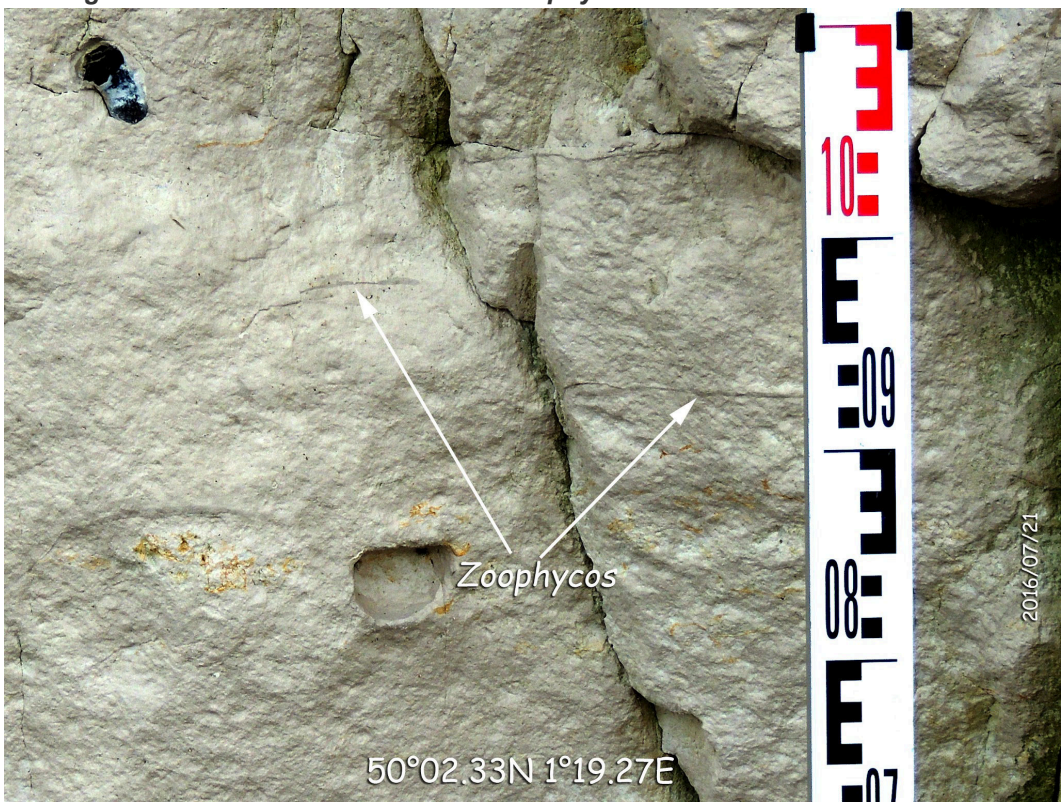


Fig. 128 - Plan rapproché sur le niveau à Zoophycos au sommet de T8

Base du Coniacien inférieur

Les couches basales du Coniacien peuvent être touchées à l'Est de l'échelle de l'épi de Criel, puis sur la plateforme du centre nautique. On y reconnaît le HG Navigation, les silex Cliffe, le HG Cliffe et les HGs Hope Gap. Les couches supérieures sont inaccessibles. Hypothétiquement, il s'agit des silex et du hardground Beeding, ainsi que le hardground Light Point, dans la falaise bordant la rue de Chewington, une rue fermée menacée d'éboulement.

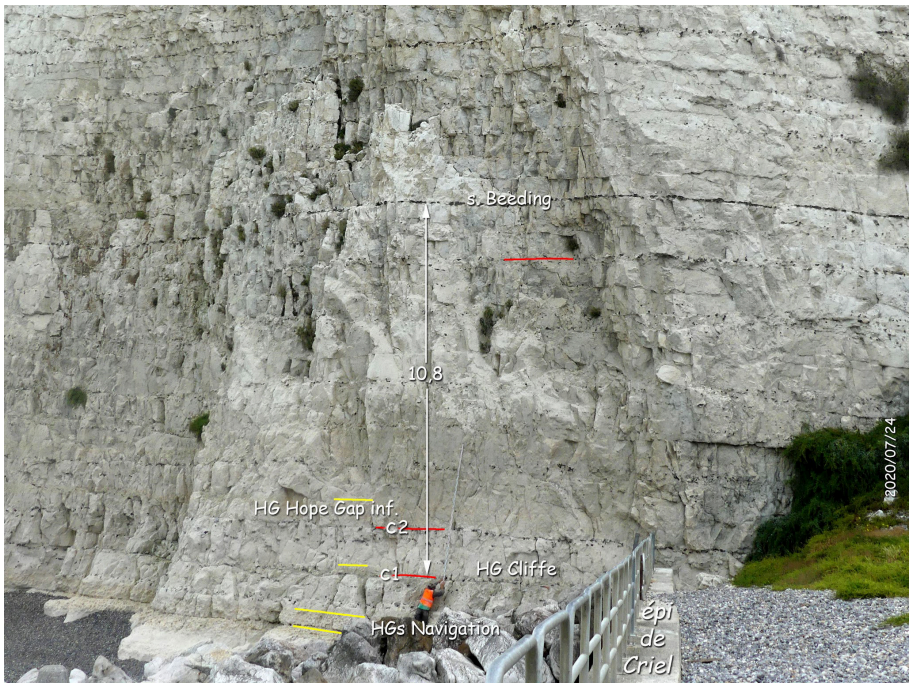


Fig. 129 - Base du Coniacien inférieur à l'épi de Criel

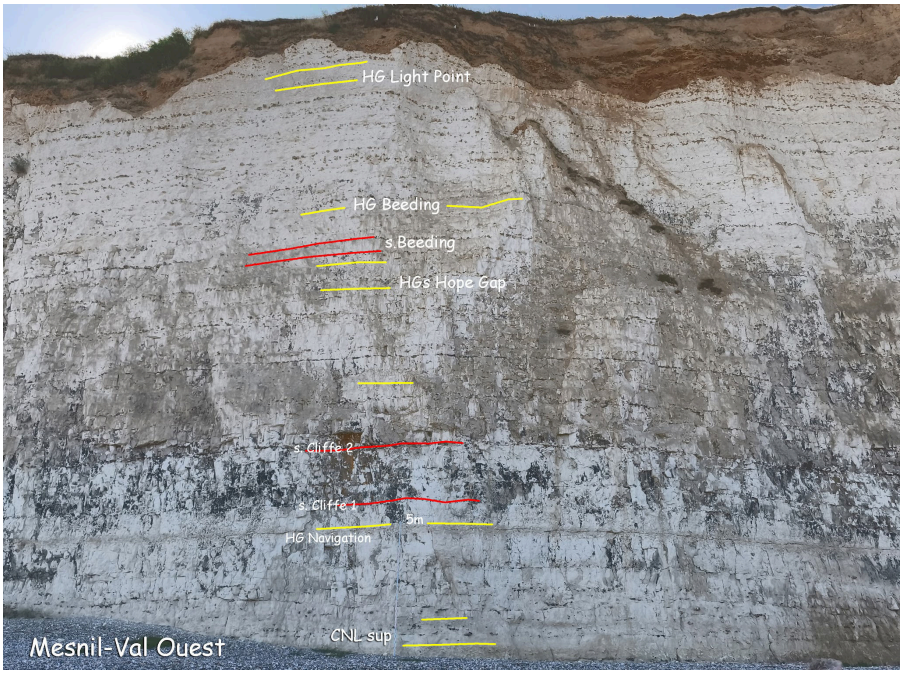


Fig. 130 - Le Coniacien inférieur* pro parte *en falaise



Fig. 131 - Suivi de repères stratigraphiques sur le platier entre Mesnil-Val et Le Tréport

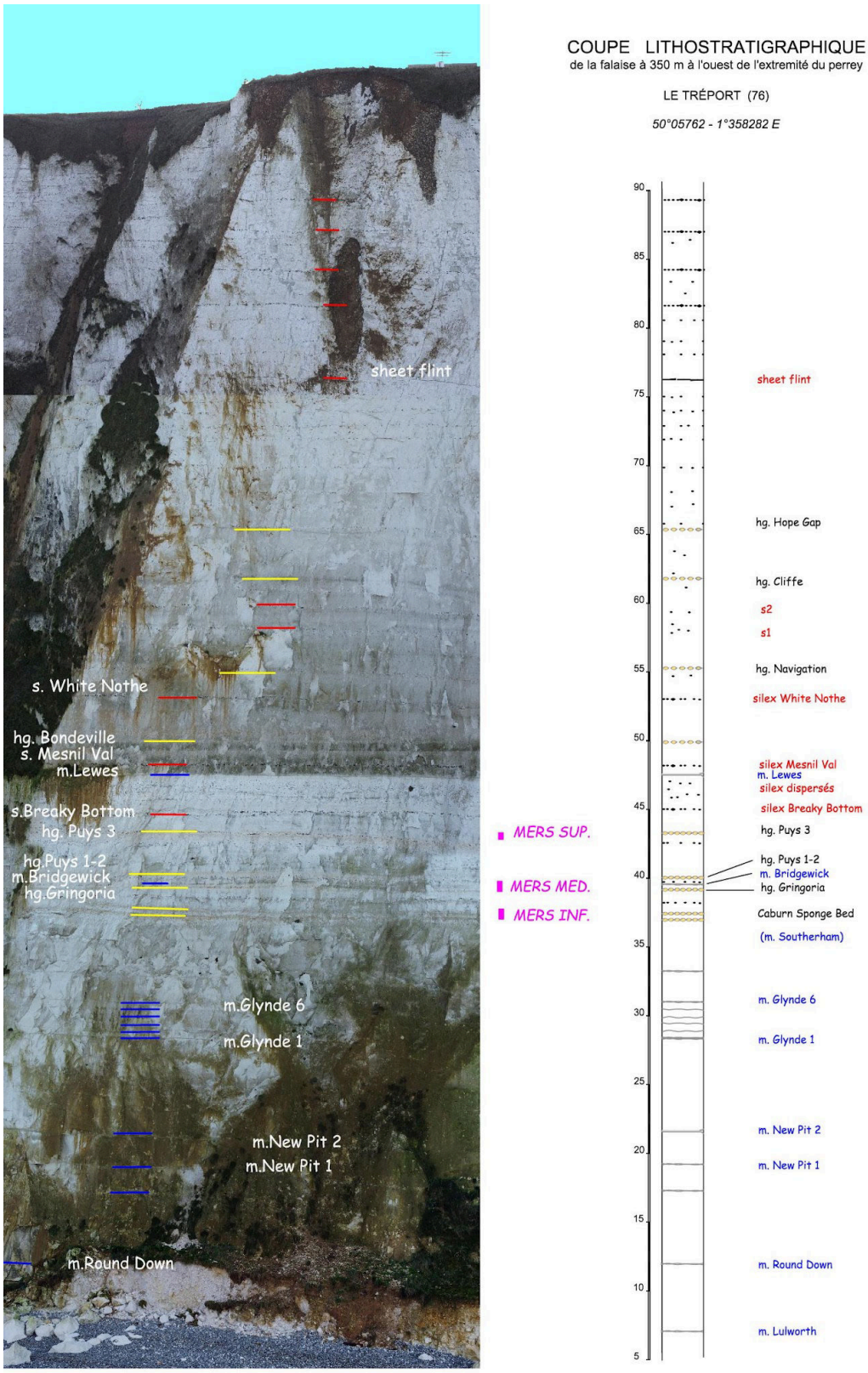


Fig. 132 - Falaise à l'W du perré du Tréport (assemblage de clichés drone)

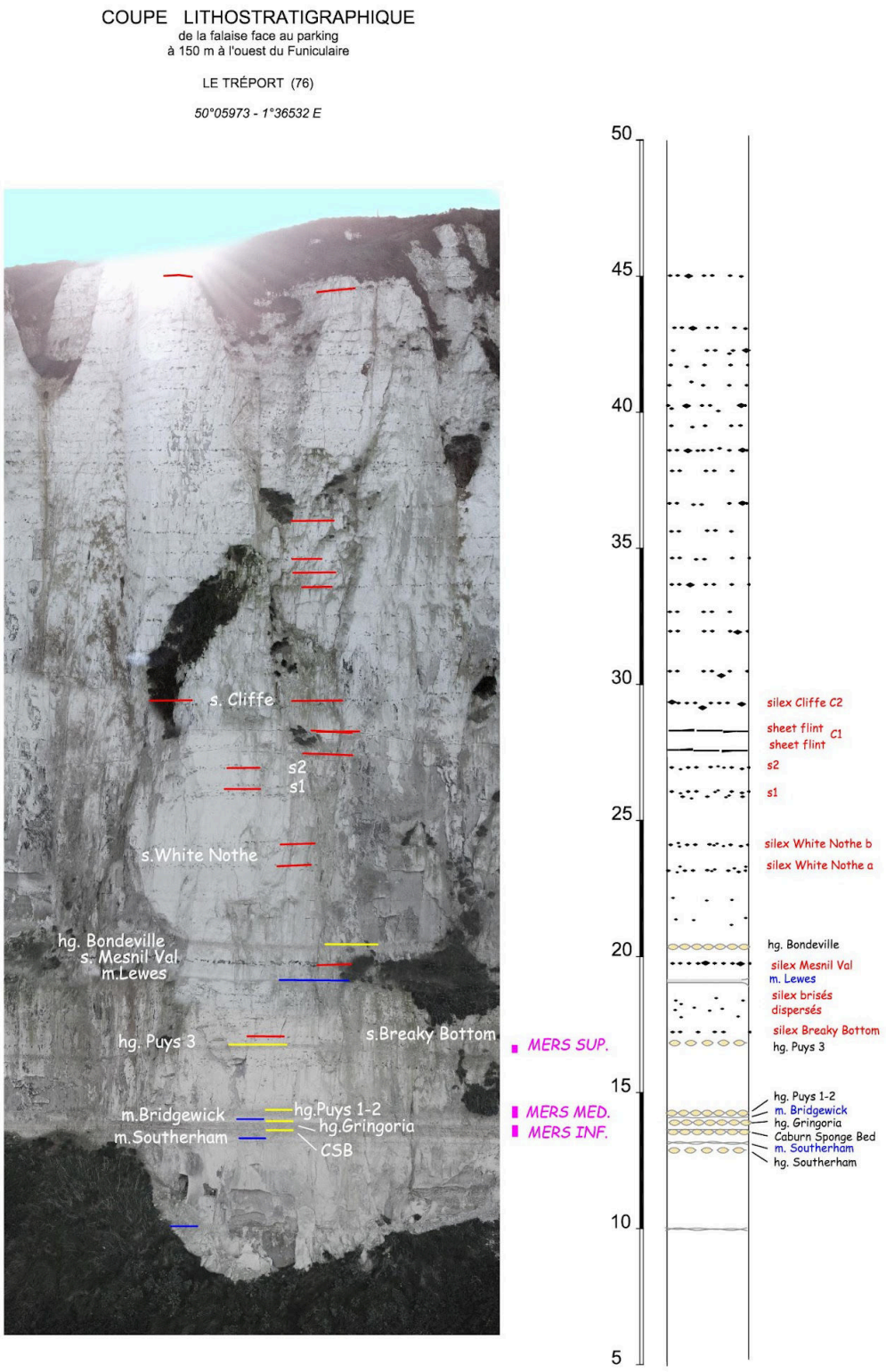


Fig. 133 - Falaise à l'W du funiculaire du Tréport (assemblage de clichés drone)

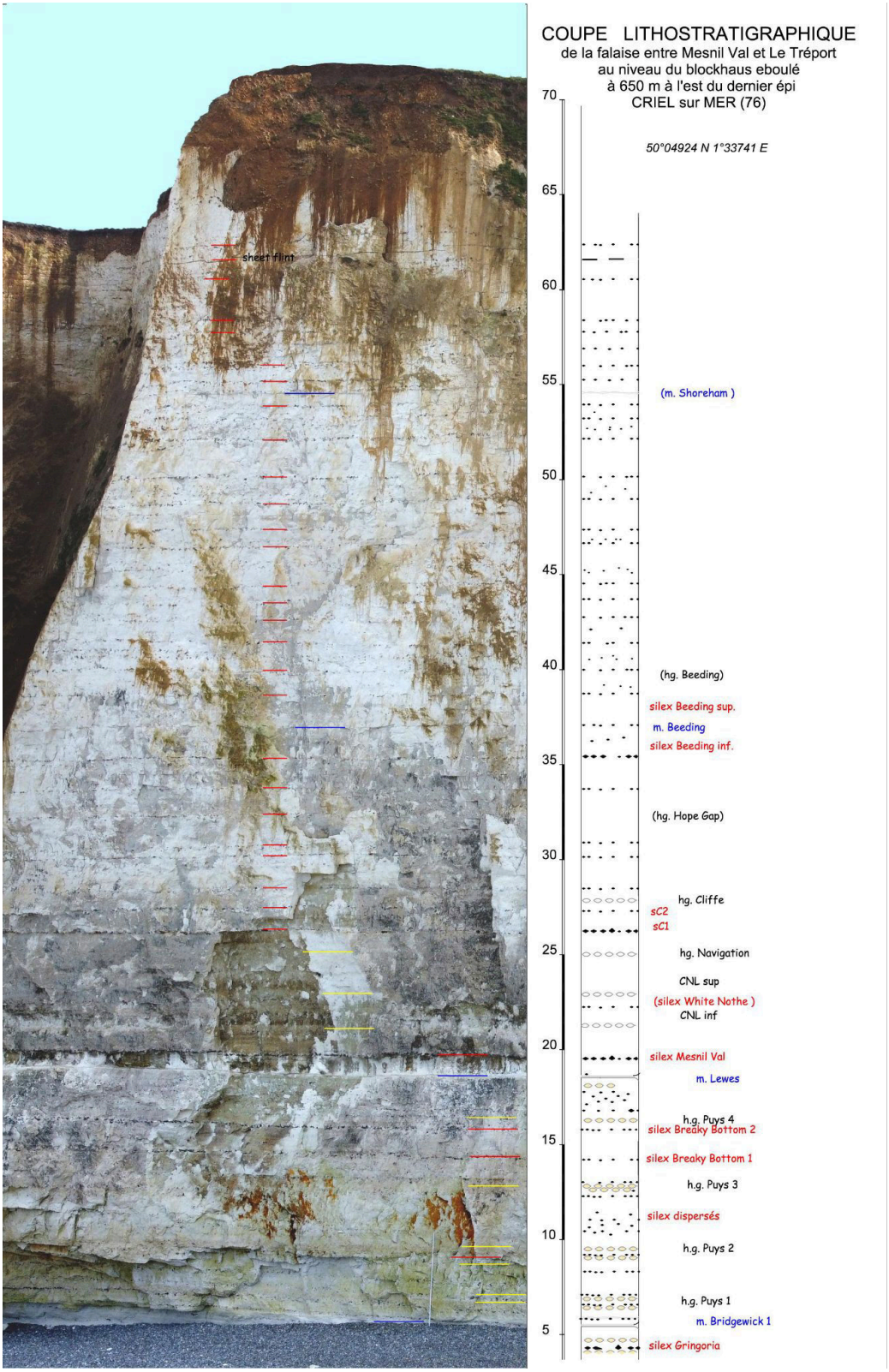


Fig. 134 - Falaise entre Le Tréport et Mesnil-Val (assemblage de clichés drone)

De Mers à Ault, via le Bois de Cise (2-2)

Cette coupe comporte trois accès à la mer : la plage de Mers-les-Bains à l'ouest, l'escalier du Bois de Cise au milieu, et la plage d'Ault-Onival à l'est. Elle est située sur le flanc est de l'anticlinal de la Bresle. Une grande partie du Turonien est accessible en pied de falaise, sur une distance d'environ six kilomètres. Cette coupe peut être comparée à celle réalisée sur le flanc ouest de l'anticlinal de la Bresle (coupe 2-1). Elle s'en distingue par une plus forte condensation de la sédimentation, qui se manifeste notamment par le renforcement et la coalescence des hardgrounds.

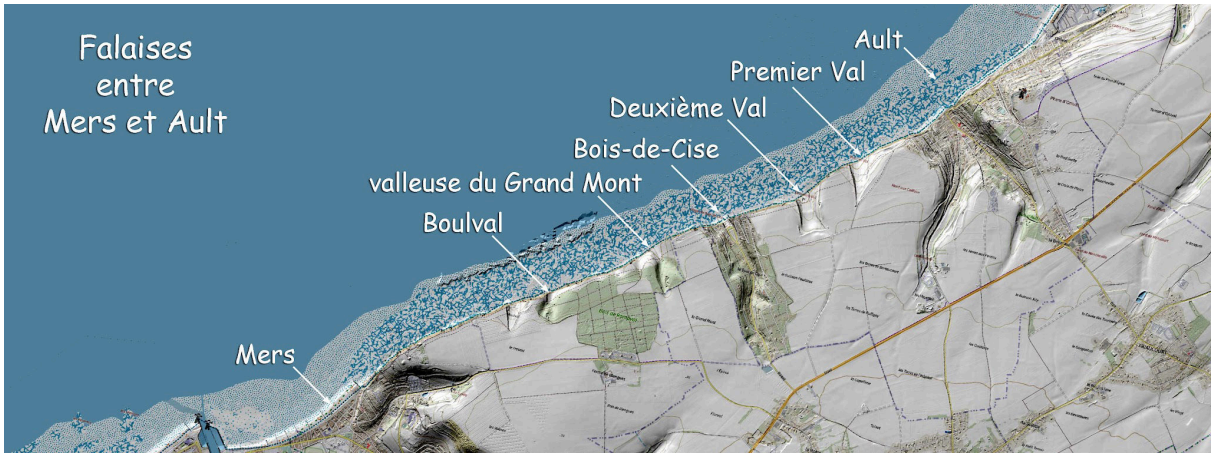


Fig. 135 - Les falaises entre Mers-les-Bains et Ault-Onival

Une particularité tectonique affecte cette coupe : la présence d'une flexure, située approximativement sous la chapelle Notre-Dame de la Falaise. De chaque côté de cette flexure, les couches sont sensiblement horizontales. Par ailleurs, des ondulations d'origine sédimentaire, sous forme de monticules et de cuvettes très atténués, affectent les craies turoniennes avec deux bombements à Bois de Cise et Ault .

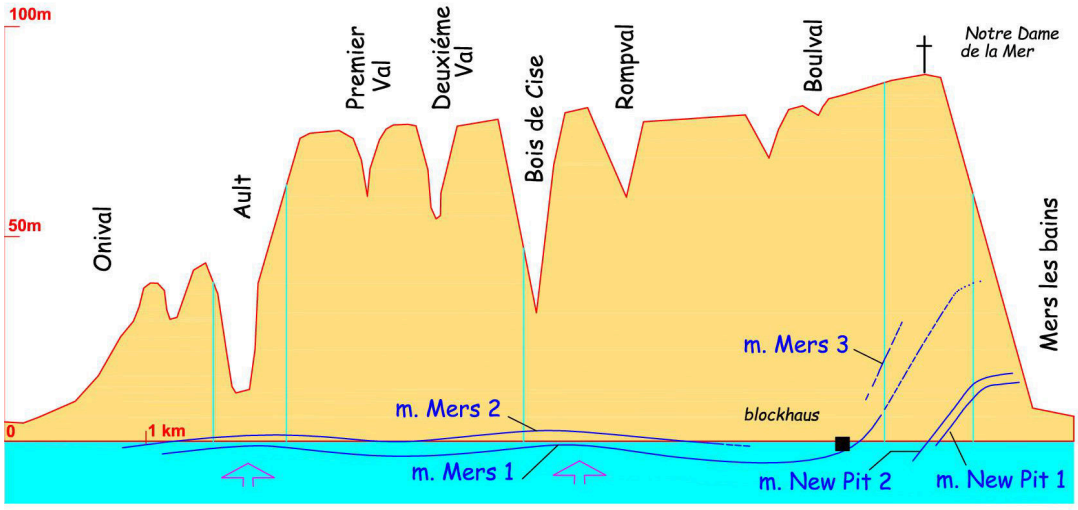


Fig. 136 - Coupe des falaises entre Mers-les-Bains et Ault-Onival

Une autre particularité, sédimentaire cette fois, concerne l'épaisseur des couches. Ainsi, de part et d'autre d'un point situé à proximité de la base de la flexure, le développement des couches est différent. Sur le terrain, ce point est approximativement positionné au niveau d'un blockhaus effondré sur le platier (50°04.58'N 1°23.63'E). La transition est compliquée à analyser car l'observation se fait d'un côté en falaise et, de l'autre, essentiellement sur le platier. Cette différence sera discutée ultérieurement.
MORTIMORE et POMEROL (1987) ont abordé la description de cette coupe en introduisant deux singularités : les hardgrounds Mers et la marne South Street.

Les *hardgrounds Mers* sont des niveaux bien identifiables dans la haute falaise de Mers. Selon ces auteurs, ils se répartissent en trois groupes :

- Hardgrounds Mers inférieurs : un triplet de hardgrounds accolés, ferrugineux, à surface supérieure glauconieuse.
- Hardground Mers médian (60 cm) : ferrugineux.
- Hardgrounds Mers supérieurs : trois hardgrounds dans des craies grises à silex.

Un regroupement en trois niveaux altimétriques, inférieur, médian et supérieur, est également repris ici, mais il ne correspond pas exactement à celui de MORTIMORE et POMEROL. Ainsi, dans notre acception, les hardgrounds Mers se composent de 3 groupes:

- Hardgrounds Mers inférieurs (HGs Mers inf.), subdivisés en 3 hardgrounds coalescents (a,b,c).
- Hardgrounds Mers médians (HG Mers méd.) clairement séparés en un couple
    - ° HG Mers méd. 1
    - ° HG Mers méd. 2.
- Hardgrounds Mers supérieurs (HG Mers sup.), apparemment coalescents. Ils sont en fait séparés par un niveau de silex en :
    - ❖ HG Mers sup. 1 (analogue du HG Puys 3)
    - ❖ HG Mers sup. 2 (analogue du HG Puys 4)

La *marne South Street* est la seule mention identifiée en France par les auteurs d'une marne exceptionnelle observée à Lewes, en Angleterre. Le critère de correspondance invoqué est l'attribution d'un *Micraster*.

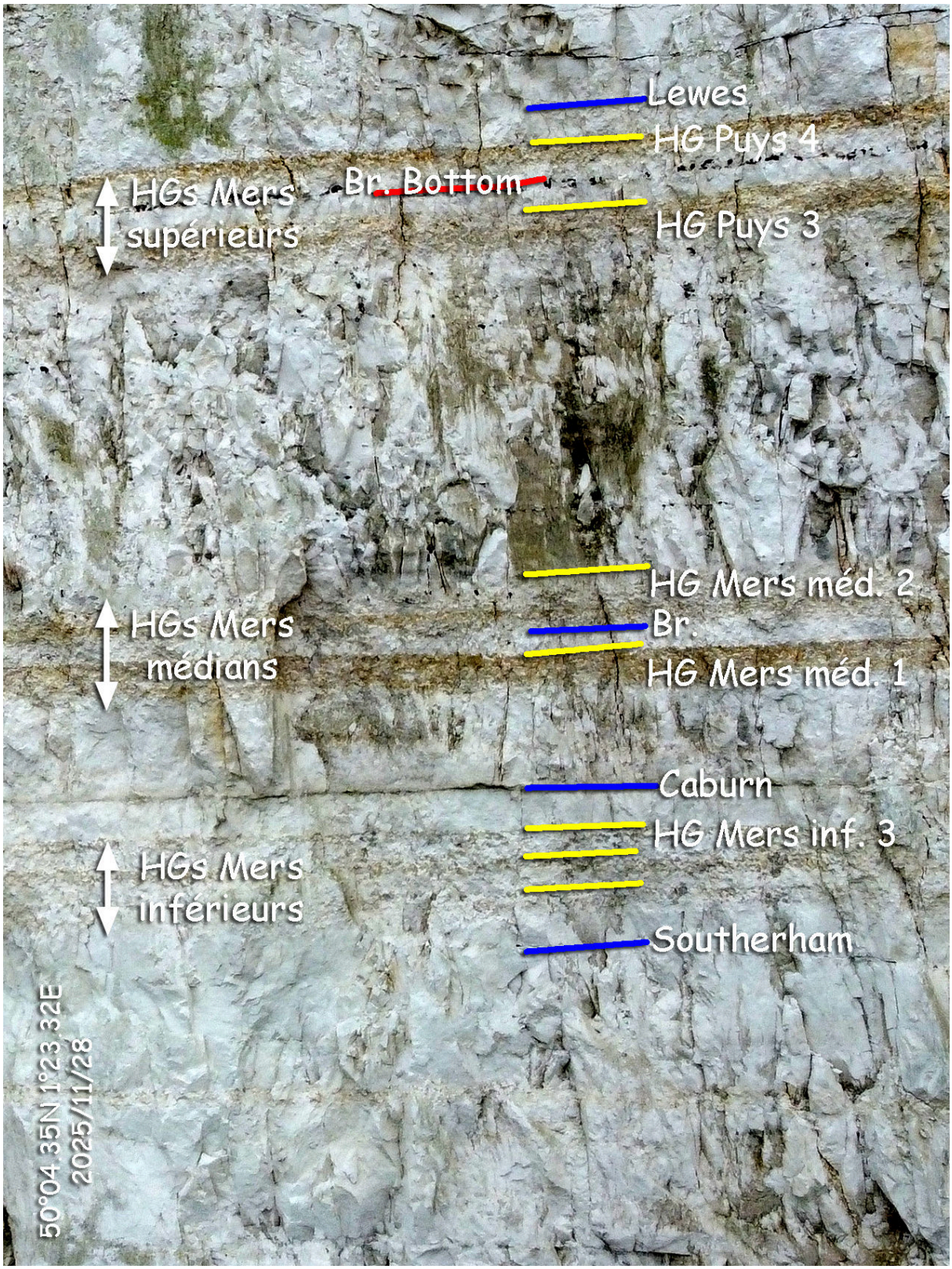


Fig. 137 - Les hardgrounds Mers en haute falaise de Mers, ici retenus

Intervalle T2 *pro parte*

L'importante accumulation de galets au niveau des épis cache la partie inférieure de l'intervalle. Seuls environ les 5 mètres supérieurs sont observables. Ils laissent voir les craies noduleuses surmontées de la marne du Val du Prêtre.

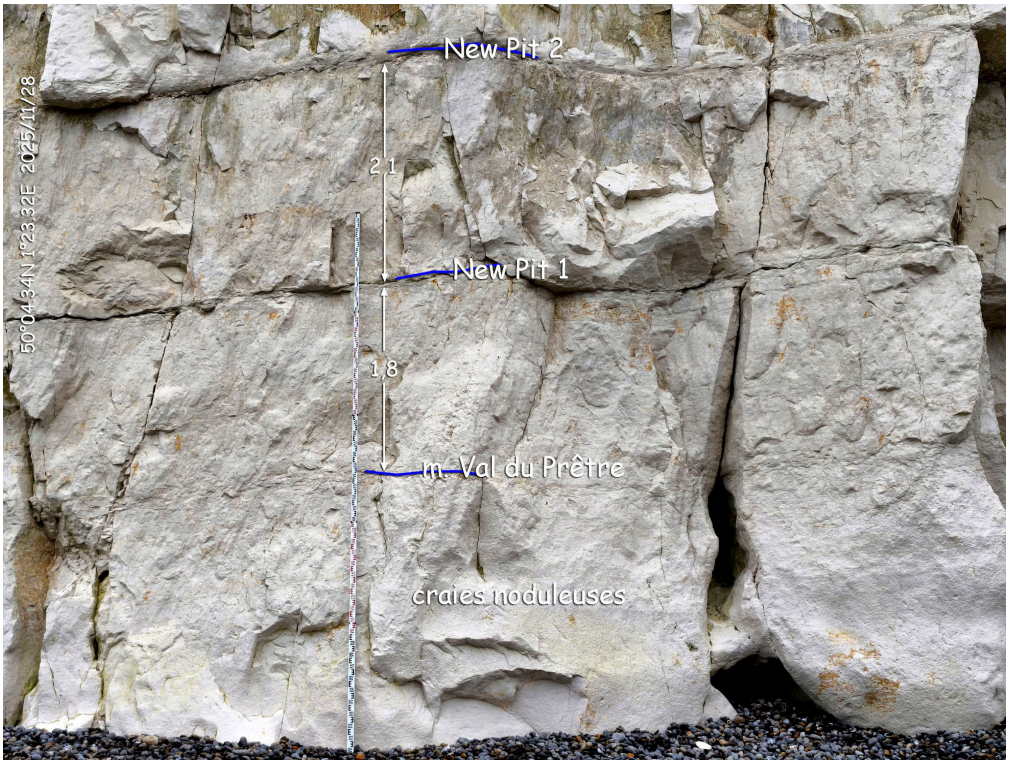


Fig. 138 - Partie supérieure de l'intervalle T2



Fig. 139 - La marne New Pit 1

Intervalle T3 : de la marne New Pit 1 à la marne Glynde 1

Le couple de marnes New Pit 1 / New Pit 2 est clairement reconnaissable et accessible dès le début de la falaise. La marne New Pit 2 est plus épaisse et plus fermée que la marne New Pit 1. L'épaisseur moyenne entre ces deux marnes est de 2,2 mètres. Plusieurs failles normales, de rejet métrique, ramènent ce couple à hauteur d'homme malgré le pendage. La faune récoltée entre New Pit 1 et 2, outre de nombreux *Conulus subrotundus* et *Spondylus spinosus*, est composée de *Gyrosoria lata*, *Orbirhynchia heberti*, *Concinnithyris albensis* et un autre petit spondyle : *Spondylus latus*. La marne New Pit 3, plus discrète que les précédentes, apparaît 3 mètres au-dessus de la marne New Pit 2. Une certaine nodularité affecte les craies au-dessus de New Pit 3, mais elle est moins marquée que dans les coupes plus à l'Ouest. La marne Glynde 1 se trouve 4,1 mètres au-dessus de la marne New Pit 3.



Fig. 140 - Partie supérieure de l'intervalle T3 et base de T4

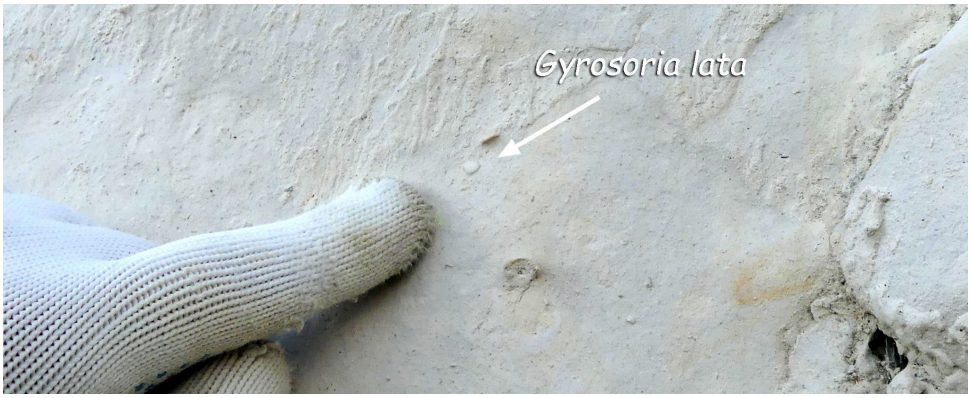


Fig. 141 - Première apparition de la petite* Gyrosoria lata *sous la marne New Pit 1

Intervalle T4 : de la marne Glynde 1 à la marne Southerham 1

Le faisceau des six marnes Glynde est identifiable, bien que les marnes 3, 4 et 5 soient plus discrètes et difficilement discernables à distance (épaisseur globale d'environ 3 mètres).
Une marne, peu marquée, à texture flaser, apparaît à environ 5 mètres au-dessus de la marne Glynde 6. Elle est interprétée hypothétiquement comme la marne Southerham, bien que cette dernière soit habituellement plus nette et préservée. Elle est précédée, à environ 1 mètre, par un hardground ferrugineux peu épais (hardground Southerham probable). Il n'est pas exclu de décaler l'événement Southerham plus haut, peut-être même jusqu'à la marne suivante, ici considérée comme marne Caburn.

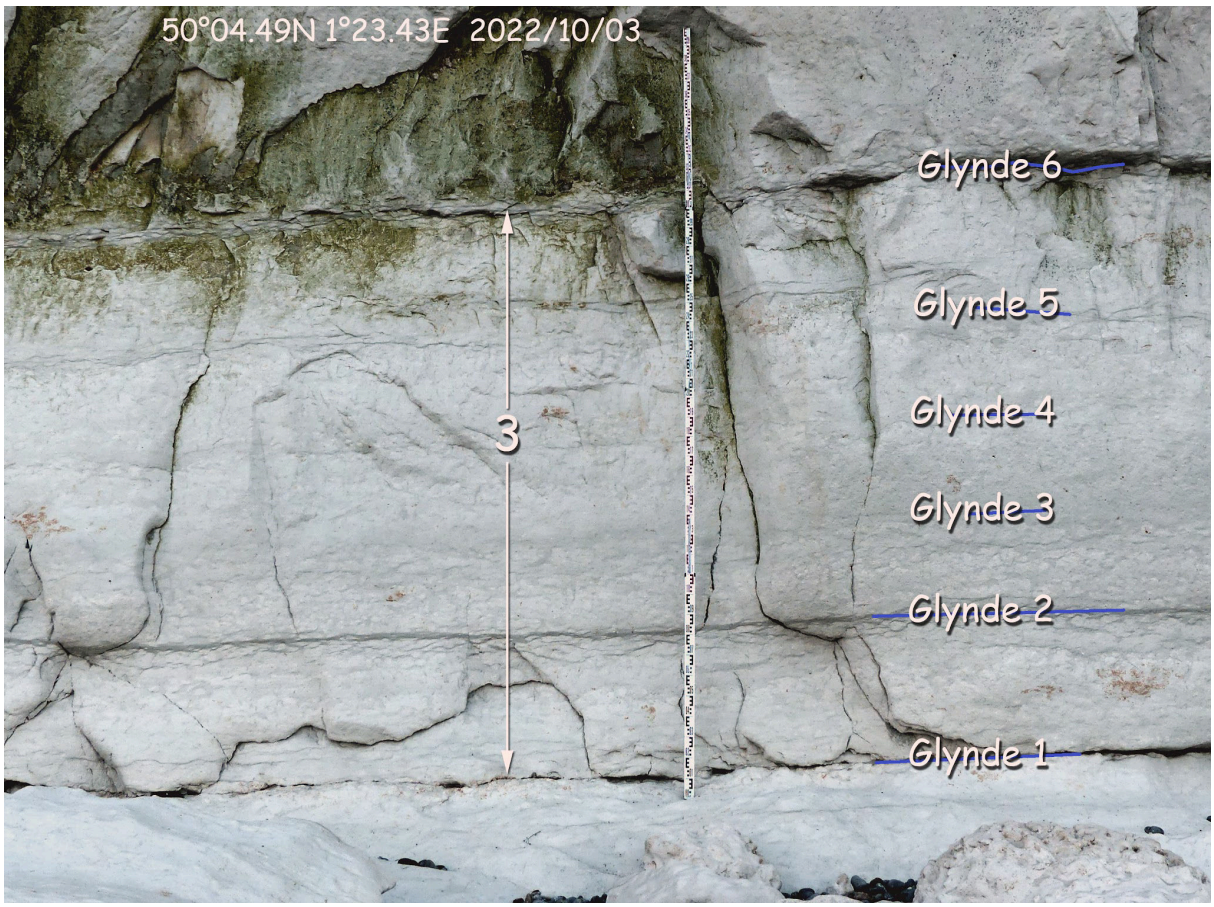


Fig. 142 - Les marnes Glynde, partie inférieure de l'intervalle T4

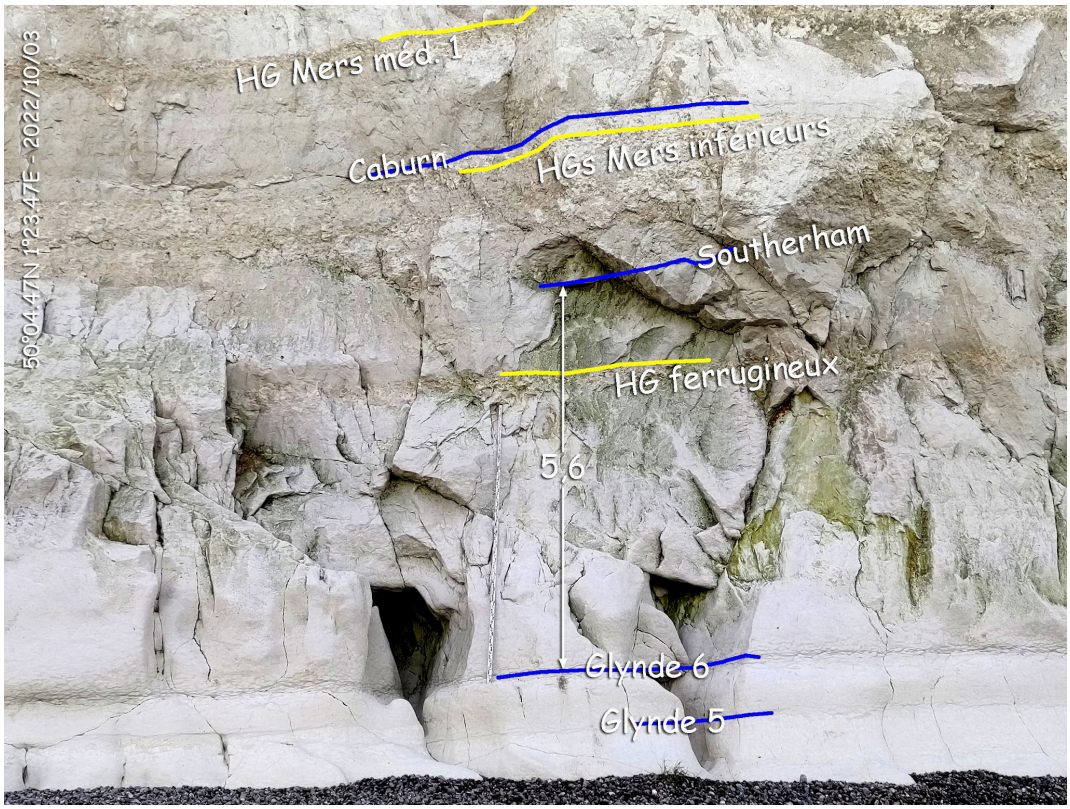


Fig. 143 - Partie supérieure de l'intervalle T4



Fig. 144 - Hardground ferrugineux dans la partie supérieure de l'intervalle T4

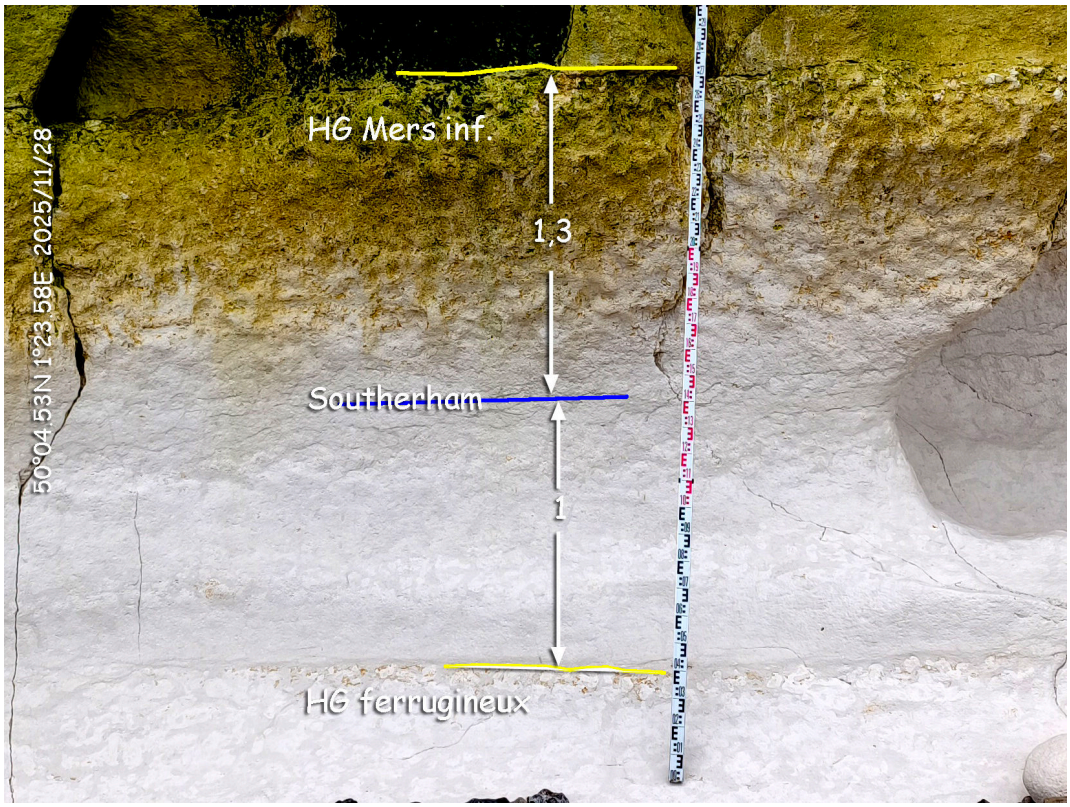


Fig. 145 - Partie supérieure de l'intervalle T4 et base de T5

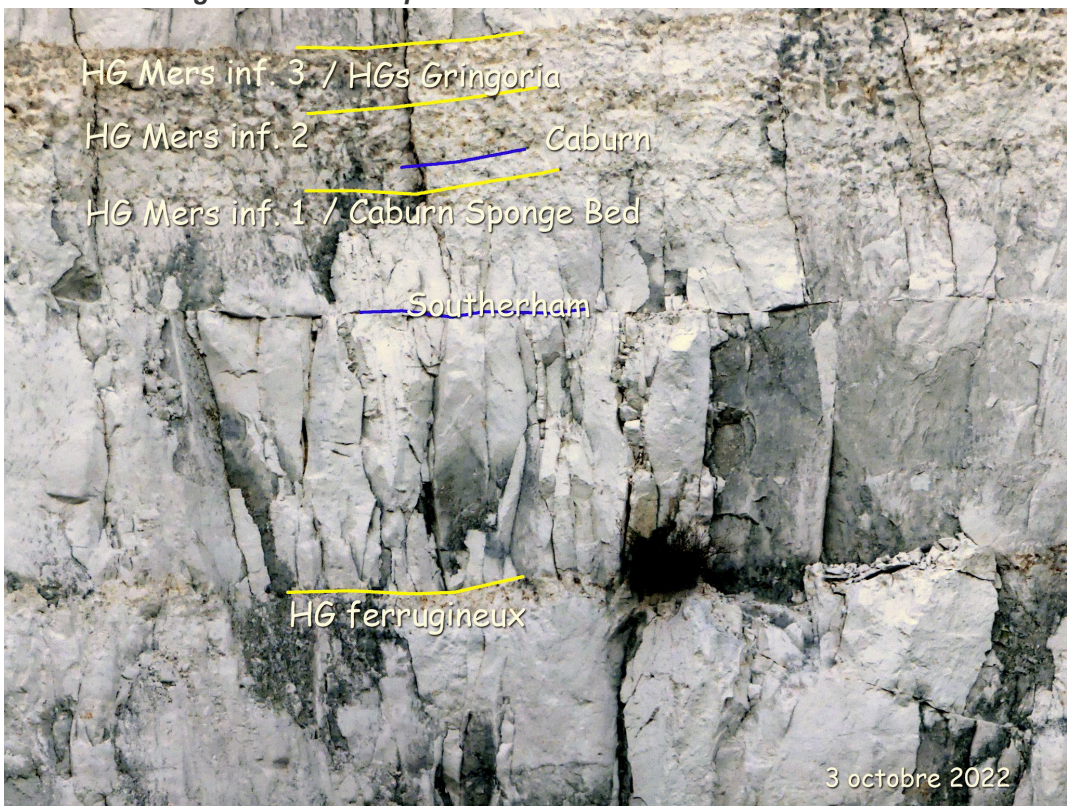


Fig. 146 - Partie supérieure de T4 et T5 - Du HG ferrugineux aux HGs Gringoria

Intervalle T5 : de la marne Southerham 1 à la marne Caburn

Épaisseur : environ 2 mètres.

Cet intervalle est caractérisé par le développement de niveaux condensés définis sous le terme de Hardgrounds Mers inférieurs. On les observe latéralement depuis la haute falaise de Mers à l'W, jusqu'à la base de la flexure à l'E où ils disparaissent sous le platier. Si la reconnaissance de ces hardgrounds est évidente, il n'en est pas de même des niveaux marneux, censés les encadrer et former les limites de l'intervalle T5. Précédemment, il a été souligné le caractère peu marqué de la marne retenue comme Southerham.
Un niveau marneux couronnant les hardgrounds Mers inférieurs existe bien, mais il n'est visible qu'en haute falaise. À la hauteur du platier, il se réduit à un joint ou disparaît complètement. Ce niveau marneux est attribué hypothétiquement à la marne Caburn.
Les HGs Mers inférieurs sont attribués au Caburn Sponge Bed, également connu sous le nom de hardground Blounts Farm (GALE, 2019). Ces hardgrounds sont peu fossilifères et contiennent quelques Micraster, non spécifiquement déterminés selon MORTIMORE et POMEROL, et que nous rapportons à *Roweaster joviniacensis*.

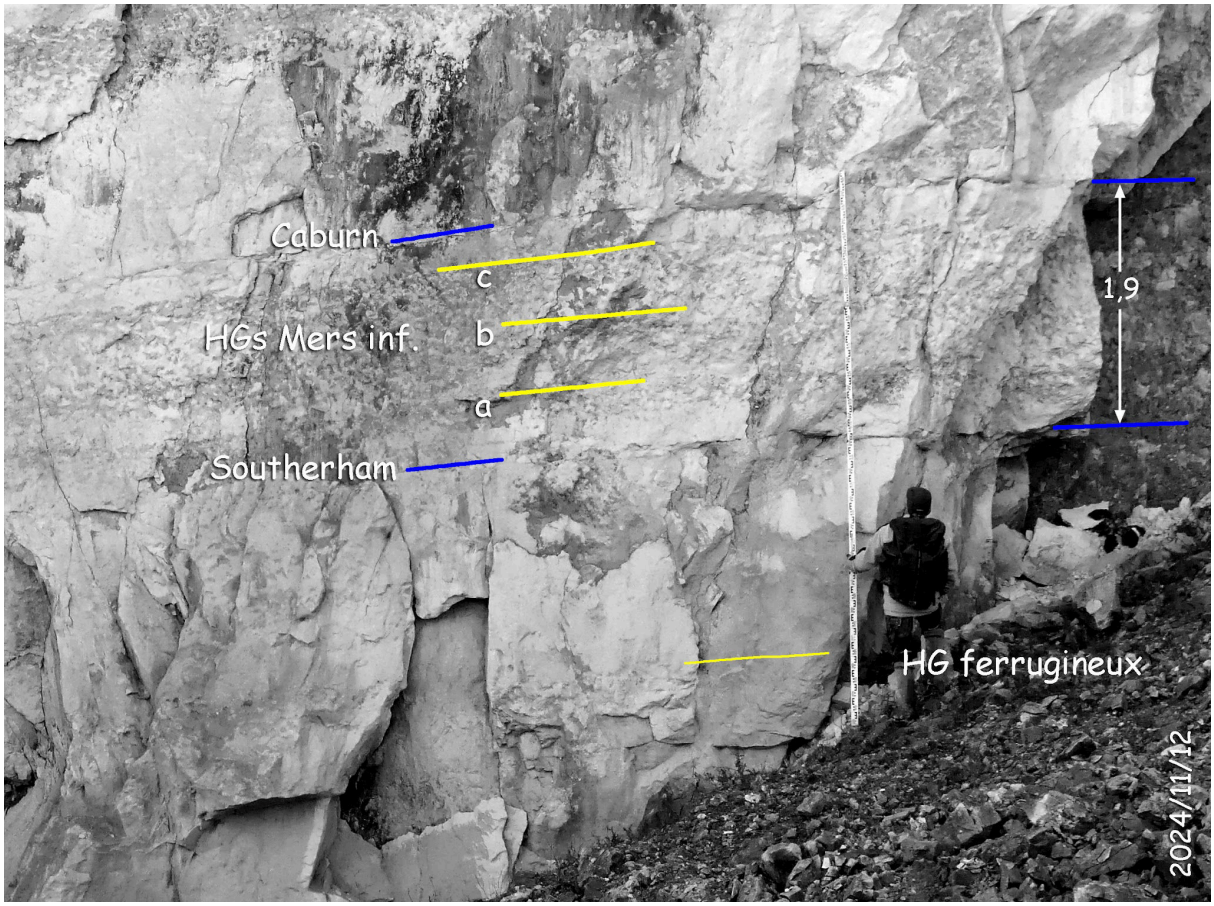


Fig. 147 - Intervalle T5 en moyenne falaise

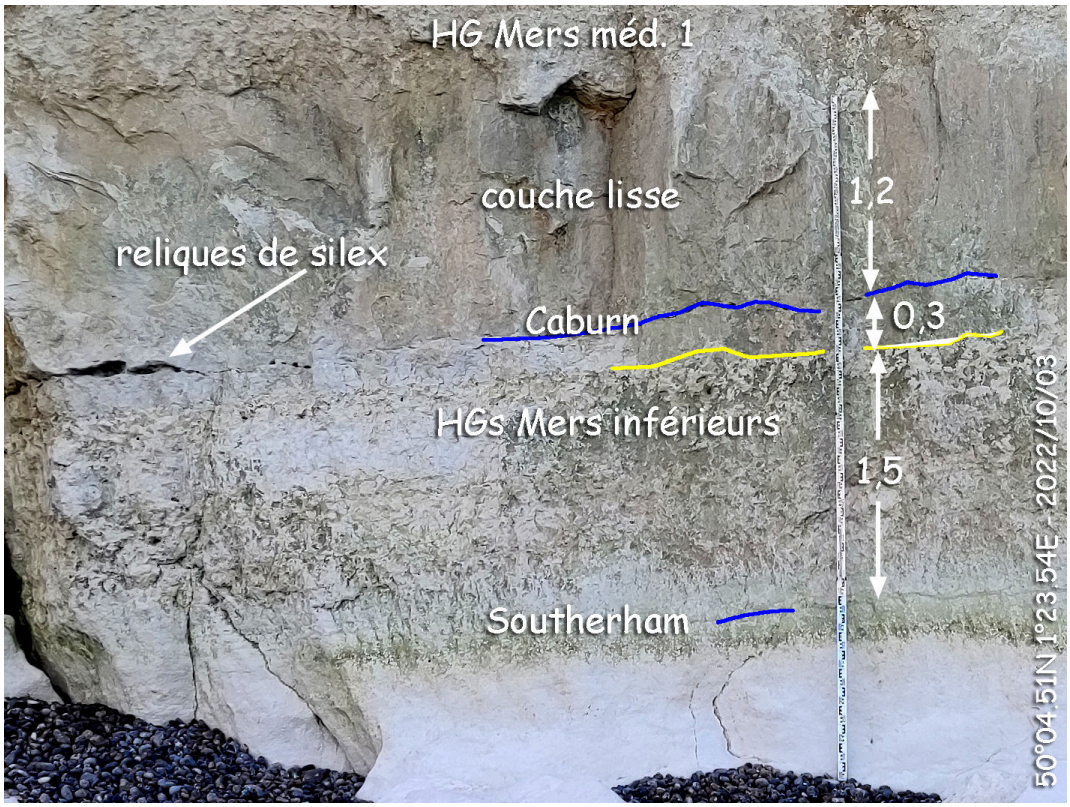


Fig. 148 - L'intervalle T5 observé en basse falaise

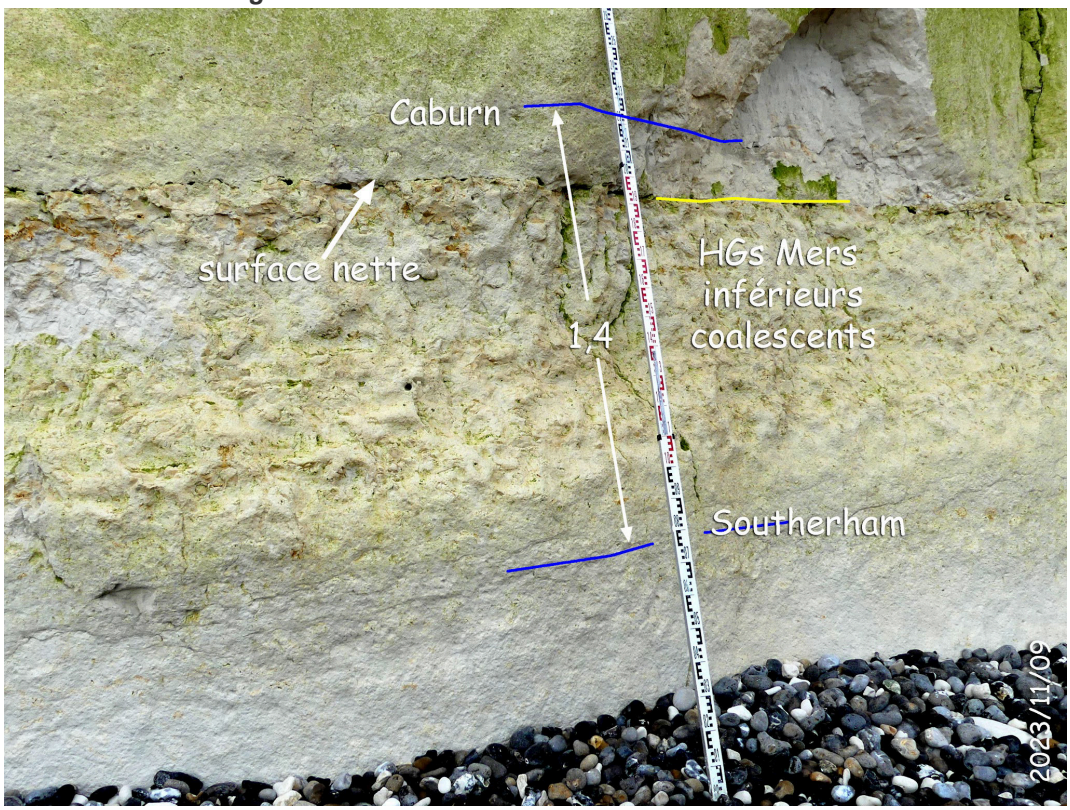


Fig. 149 - Intervalle T5 condensé au bas de la flexure

Intervalle T6 : de la marne Caburn à la marne Bridgewick

Épaisseur : environ 2,7 m.
Le tiers supérieur de cet intervalle est occupé par un hardground très bien marqué, intitulé HG Mers médian 1. Il est très coloré et contient des vestiges de silex. Sa surface supérieure nette est couverte de petits galets phosphatés, suggérant une érosion par des courants. Ce hardground n'a pas fourni de fossiles et est interprété comme équivalent aux HGs Gringoria.

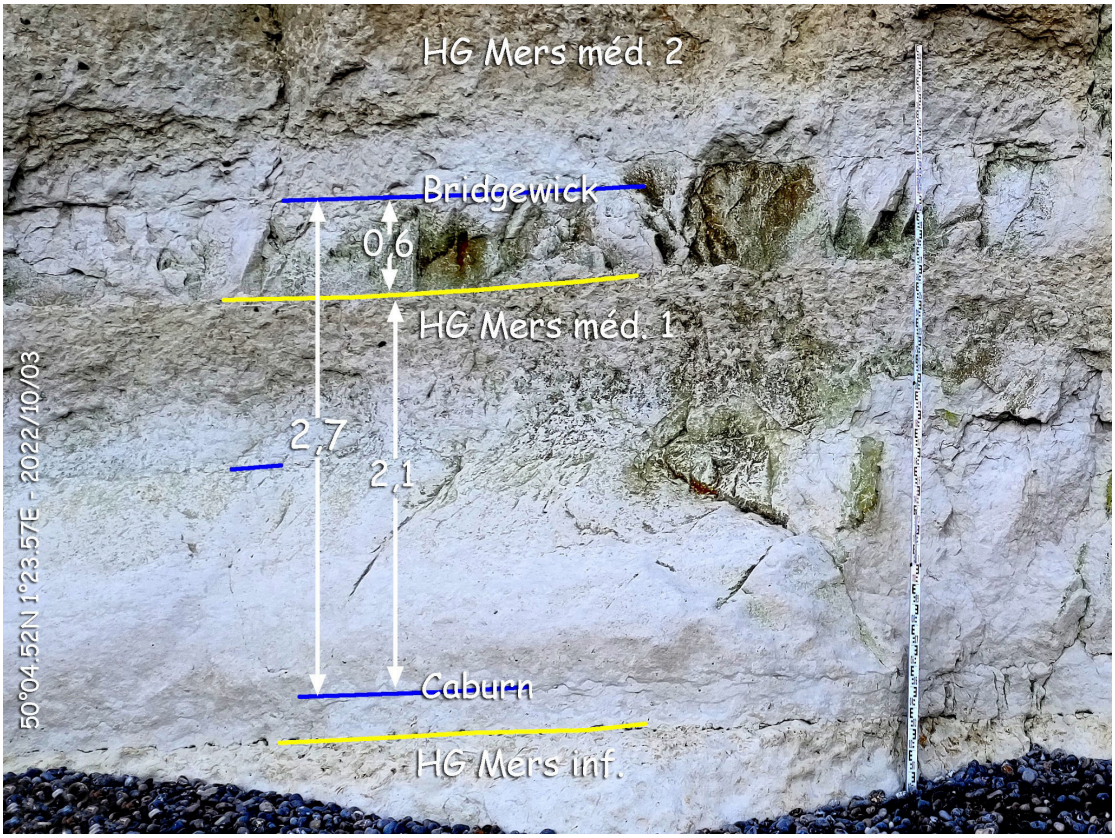


Fig. 150 - Intervalle T6



Fig. 151 - Plan rapproché sur les petits galets phosphatés à la surface du HG Mers méd. 1

Intervalle T7 : de la marne Bridgewick à la marne Lewes

Épaisseur variable, entre 7 et 8 m.
Comme pour l'intervalle précédent, les limites marneuses de référence n'apparaissent pas avec évidence. Un contexte local de haut-fond, caractérisé par une condensation sédimentaire et des hardgrounds, calqué sur l'anticlinal de la Bresle, est probablement responsable de leur effacement. Il subsiste donc une incertitude sur leur positionnement exact. L'intervalle peut être subdivisé en 3 parties :

1) Les *hardgrounds Mers médians 2a et 2b* recouvrant une marne attribuée à la marne Bridgewick 1. Le HG Mers méd. 2a est pauvre en macrofaune, tandis que le HG Mers méd. 2b en est riche, particulièrement sa face supérieure qui est couverte d'Échinides. On y récolte :

- Échinides : *Micraster leskei* (grands et petits), *Sternotaxis plana*.
- Brachiopodes : Nombreuses *Gibbithyris semiglobosa* et *rotunda*, *Woodwardirhynchia cuneiformis*, *Orbirhynchia reedensis*.

MORTIMORE et POMEROL (1987) signalent la présence de *Micraster cf. corbovis* du type de la Zone à Planus.
Cette faune serait représentative des hardgrounds Puys 1 et Puys 2.

2) Un ensemble de craie blanche tendre, globalement mal stratifié, d'environ 5 mètres d'épaisseur. Cette craie contient des silex : faiblement stratifiés à la base, rares dans le niveau médian, disséminés au sommet. Ces silex sont noirs et sans cortex. Ceux du sommet offrent un aspect tubiforme et hérissent le platier nu de colonnettes dressées. La faune est rare.

3) Les *hardgrounds Mers supérieurs* forment un motif caractéristique avec un niveau de silex qui les sépare en deux. Leur observation est possible sur une partie des 6 kilomètres de coupe. Elle s'effectue de deux manières de part et d'autre d'un point situé près d'un blockhaus effondré (50°04.59'N, 1°23.63'E).
Du côté Ouest, les hardgrounds apparaissent en coupe en falaise, dessinant le sommet et le flanc Est de l'anticlinal. Du côté Est, ils se suivent sur le platier, animés par des ondulations sédimentaires de faible amplitude. Mais, cette partition n'est pas simplement une distinction géographique, elle correspond aussi à des différences de taux de sédimentation.
Ainsi, côté Ouest, les hardgrounds Mers supérieurs forment une couche unique au sein de laquelle le silex médian est réduit à des plaques discontinues. Ce silex est le silex Breaky Bottom séparant les hardgrounds Puys 3 et Puys 4. Cette interprétation repose sur le contenu paléontologique du HG Puys 3 qui contient ici :

- Lamellibranches : *Inoceramus* sp.. Gastéropodes : Pleurotomaires.
- Brachiopodes : Nombreux *G. semiglobosa*, accompagnés de *Woodwardirhynchia cuneiformis*, *Cretirhynchia minor*.
- Échinides : petits *Micraster leskei,* grands *Sternotaxis* sp*., Gauthieria radiata.*
- Céphalopodes *: Lewesiceras mantelli, Hyphantoceras reussianum,* fragments de *Scaphites geinitzii, Sciponoceras* sp*.,* empreinte partielle de *Subprionocyclus* sp..

Du côté Est, les hardgrounds Mers supérieurs affleurent sur l'estran à la faveur de deux bombements, celui de Bois de Cise et celui d'Onival. Ils vont nettement se différencier. Les hardgrounds Puys 3 et Puys 4 se séparent. Le silex Breaky Bottom intermédiaire devient continu et prend une épaisseur de l'ordre de 1 à 2 décimètres. Sur le terrain et en photographie aérienne, ces trois composantes forment trois marches distinctes cartographiables.
Entre le HG Puys 3 et le silex Breaky Bottom se place une couche de craie contenant de belles *Lewesiceras* entières.
Le HG Puys 4, largement étalé sur l'estran, est bien caractérisé :

- Il est fossilifère et fournit *Micraster leskei* et *Plesiocorys transiens*. Une *Puzosia* de grande taille (72 cm) y a été récoltée.
- Son sommet est de plus en plus net et il se recouvre d'une marne qui envahit tous les creux. Ce tapis marneux, constant à Bois-de-Cise et à Ault, a été dénommé "marne Mers 1".

La marne Mers 1 est mise en équivalence avec la bentonite Lewes. Cette attribution est cependant hypothétique et elle sera discutée dans l'intervalle T8.

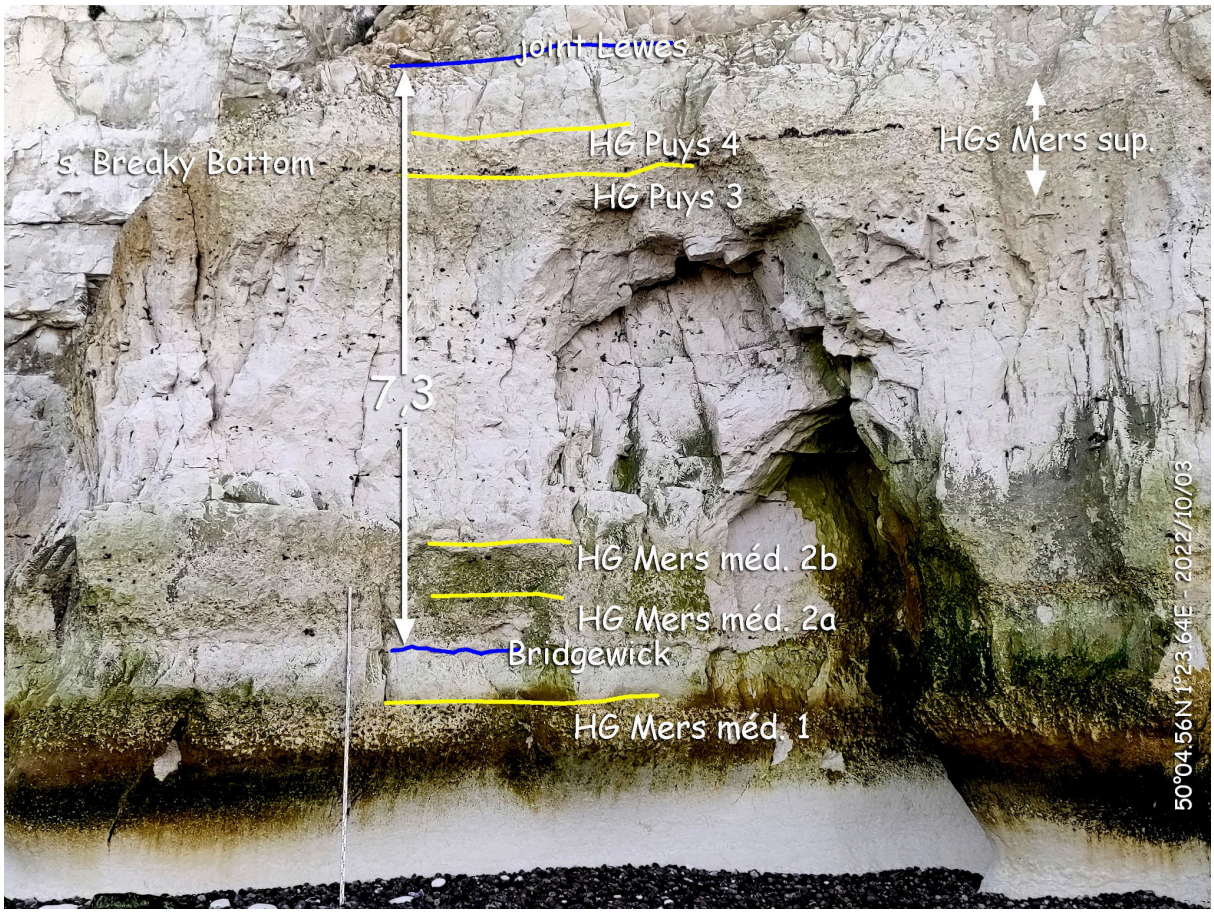


Fig. 152 - L'intervalle T7 à l'Ouest du blockhaus effondré

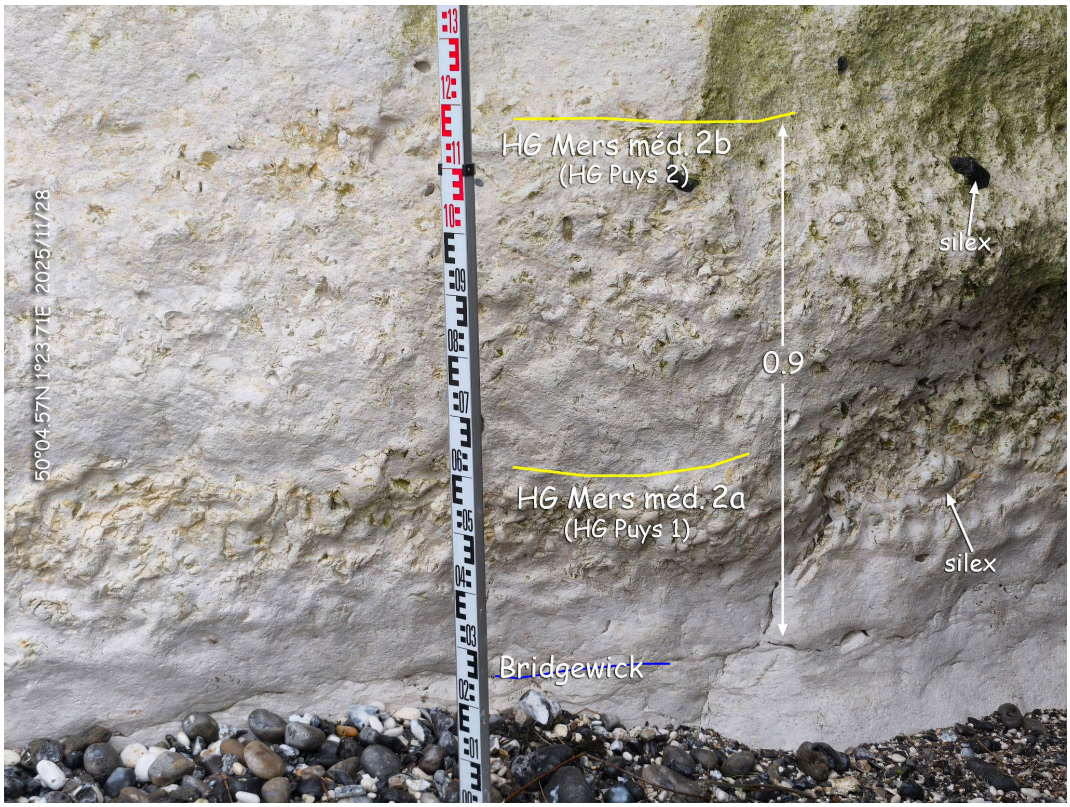


Fig. 153 - Les hardgrounds Mers médians 1 & 2

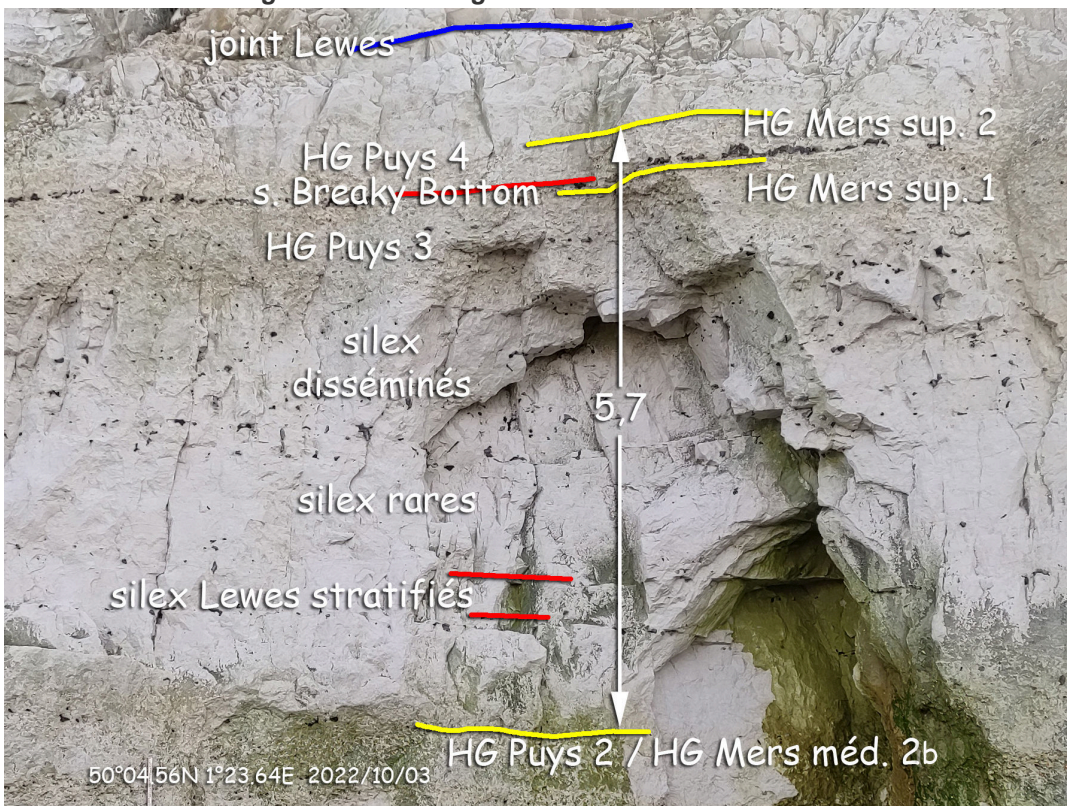


Fig. 154 - Craie blanche médiane à silex



Fig. 155 - Silex tubiformes - partie médiane de T7 - à l'W du blockhaus effondré

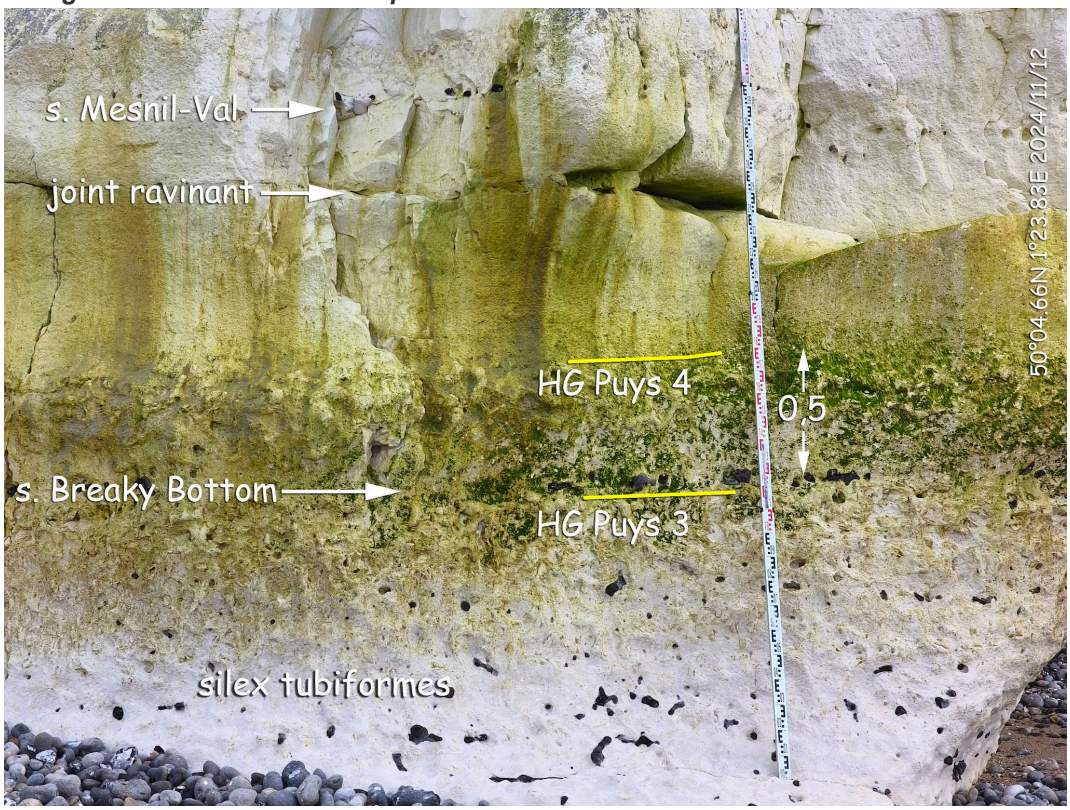


Fig. 156 - Les hardgrounds Puys 3 et 4 en coupe à la base de la falaise



Fig. 157 - Le silex Breaky Bottom sur le platier du Bois-de-Cise



Fig. 158 - Ammonites sous le silex Breaky Bottom



Fig. 159 - La marne Mers 1 à 570 m à l'W de l'escalier du Bois-de-Cise

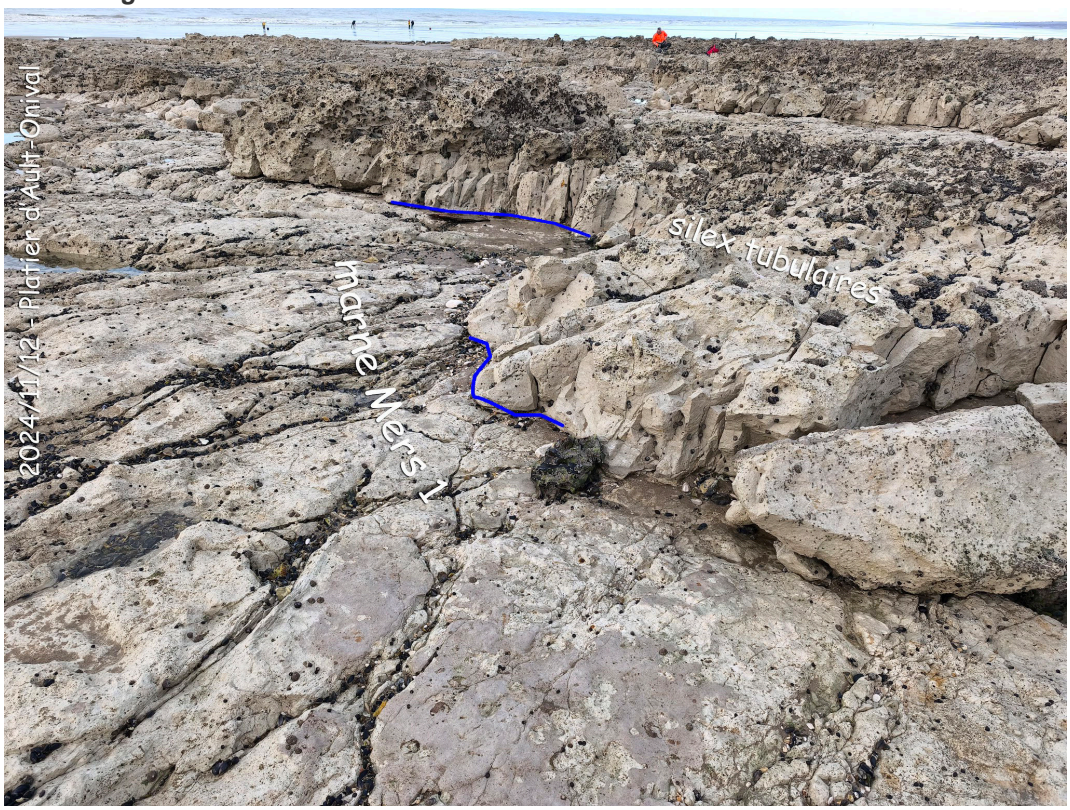


Fig. 160 - La marne Mers 1 sur le platier d'Ault-Onival



Fig. 161 - Niveaux-repères de la plage du Bois-de-Cise



Fig. 162 - Niveaux-repères au N de la valleuse d'Ault

Intervalle T8 : de la marne Lewes au HG Navigation

L'intervalle terminal du Turonien, ainsi que le Coniacien inférieur qui lui succède, posent encore des défis d'interprétation. Les hardgrounds, habituellement d'excellents marqueurs lithologiques et bien visibles dans la falaise, sont ici peu distincts. Ainsi, le HG Navigation qui définit la limite supérieure de l'intervalle T8 est particulièrement difficile à identifier. Globalement, dans tout le secteur du Bois de Cise à Ault, les hardgrounds sont faiblement individualisés. Ceci suggère une faiblesse des remaniements par les courants et un taux de sédimentation élevé durant le Turonien terminal et le Coniacien inférieur.
Faute d'une lithostratigraphie claire basée sur les hardgrounds, ce sont les niveaux de silex qui servent ici de principaux repères. Sur près de 5 kilomètres, certains de ces silex, auxquels des noms spécifiques ont été attribués, montrent une continuité remarquable. Ils constituent ainsi la trame d'une stratigraphie locale, que l'on peut corréler avec la stratigraphie traditionnelle. Voici la succession observée dans l'intervalle T8.

● La *marne Mers 1*, rattachée hypothétiquement à la bentonite Lewes, uniquement observée à Bois-de-Cise et Ault.
● Une couche crayeuse, d'une épaisseur de 0,5 à 1,5 m. Cette couche a pour limite supérieure un joint ondulé et ravinant.
- À l'Ouest du blockhaus, elle est homogène et ne contient pas de silex.
- Entre Bois-de-Cise et Ault, elle se charge de nombreux *silex dispersés tubiformes*. Classiquement, les silex tubiformes sont généralement disposés sous la marne Lewes. MORTIMORE (2018) les désigne en ce cas de "Lower Lewes Tubular Flints", mais ils peuvent également apparaître au-dessus, ce sont "Upper Lewes Tubular Flints" (MORTIMORE, 2010) avec une forme caractéristique en haltères. Dans notre cas, il n'est donc pas exclu que le joint ravinant supérieur puisse être le résidu de l'effacement d'une marne Lewes.
● Une couche de craie noduleuse comportant à sa base les derniers silex tubiformes. Ce niveau est assimilable à la Craie Noduleuse Lewes inférieure (notée CNL inf.).
● Une couche de craie sans silex avec de nombreux *Micraster leske*i et de nombreux *Gibbithyris semiglobosa*. Une correspondance avec le "Franc-Banc" des carrières de l'arrière-pays peut être envisagée.
● Un niveau de *silex Cise 1*, ici dénommé, discontinu, de type *Thalassinoides.*
● La *marne Mers 2*. Il s'agit d'un joint fermé qui peut être rempli localement de marne sur une épaisseur centimétrique. Il disparaît latéralement à environ 1 km à l'Ouest de l'escalier du Bois de Cise. Deux interprétations s'opposent :

1) MORTIMORE et POMEROL (1987) sur la base de la présence de *Micraster prækursor* et de possibles *M. normanniae,* font de la marne (ici dénommée) Mers 2 l'homologue de la marne South Street, une marne surnuméraire et singulière, observée en Angleterre (WIESE *et al*., 2017). Dans les autres coupes littorales normandes, une telle marne "Lewes bis" n'a pas été observée. Néanmoins, des cas d'une duplication de la marne Lewes sont signalés en d'autres régions : • En Allemagne, avec la marne associée au Micraster Event (WIESE & KRÖGER, 1998; WIESE *et al.*, 2004). • En Espagne (Santander, WIESE, comm.pers.). • Dans l'Aube (GALE *et al*., in press).

2) Un joint de cisaillement paléo-sismique injecté de marne et non une marne sédimentée.

● Un niveau de *silex Cise 2*, formé de grosses galeries type *Thalassinoides* dispersées sur 20 cm d'épaisseur.

Le couple formé par les silex Cise 1 / Cise 2, séparés d'environ 0,8 - 1 m, est assez constant et, au gré des ondulations sédimentaires, est observable plusieurs fois en bas de falaise entre Bois-de-Cise et Ault.

Chronologiquement, c'est un peu avant le niveau Cise 1 que débute le premier et fort épisode de génération de sheet-flints qui affecte la fin du Turonien. Les lames de silex subhorizontales sont les signes les plus évidents de ruptures brutales qui se propagent en se relayant ou en s'anastomosant. Mais d'autres phénomènes accompagnent les sheet-flints:

- Lorsque le cisaillement s'opère dans un niveau de silex, ces derniers se fracturent en morceaux ou se tordent, selon leur rhéologie.
- Si la boue crayeuse n'est pas suffisamment consolidée pour se fracturer, elle s'expanse et se fige en petits paquets.

Les silex Cise 1 & Cise 2 sont rapprochés des silex White Nothe 1 & 2.

● Craie sans niveau de silex évident, mais avec des sheet-flints souvent courbes. Épaisseur: environ 3,7 m.

● Un niveau de *silex Cise 3*

● Un joint de cisaillement mimant une marne très localement, noté marne Mers 3.

● Un niveau de *silex Cise 4* (à environ 0,6 à 1 m au-dessus de Cise 3)

● Craie allant de tendre à noduleuse (2,5 à 5 m environ), de teinte généralement plus grise. La nodularité s'accentue vers le sommet jusqu'à apparaître localement comme un hardground. La base contient *Micraster prækursor*, *Sternotaxis placenta* et *Gibbithyris semiglobosa.* Des figures s'apparentant aux *Zoophycos* s'observent au niveau du palier de l'escalier du Bois de Cise. De même, des silex plats pouvant en être des formes silicifiées sont visibles dans la rampe d'accès à la plage d'Ault-Est.

● Un *silex Ault 1* se confond avec le sommet de la craie noduleuse sous-jacente. Localement à Ault-Est, il existe un niveau ferrugineux pouvant être assimilé à un hardground. *Micraster cf. normanniae* est récolté à ce niveau. Il est considéré comme le sommet des *HGs Navigation.*

L'ensemble compris entre la marne Mers 1 et le silex Ault 1 est d'épaisseur variable, en moyenne d'une dizaine de mètres.



Fig. 163 - Sommet de T6, T7, T8 et base du Coniacien à la base de la flexure (cliché drone)

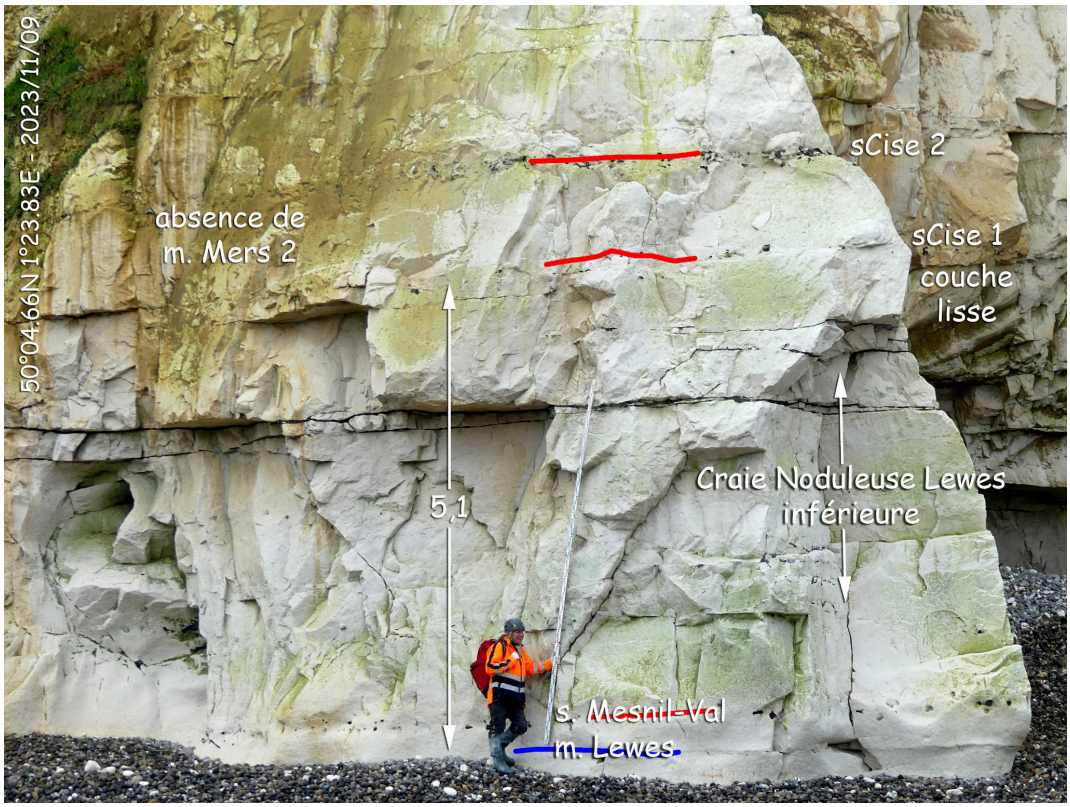


Fig. 164 - Base de l'intervalle T8 (côté Mers)

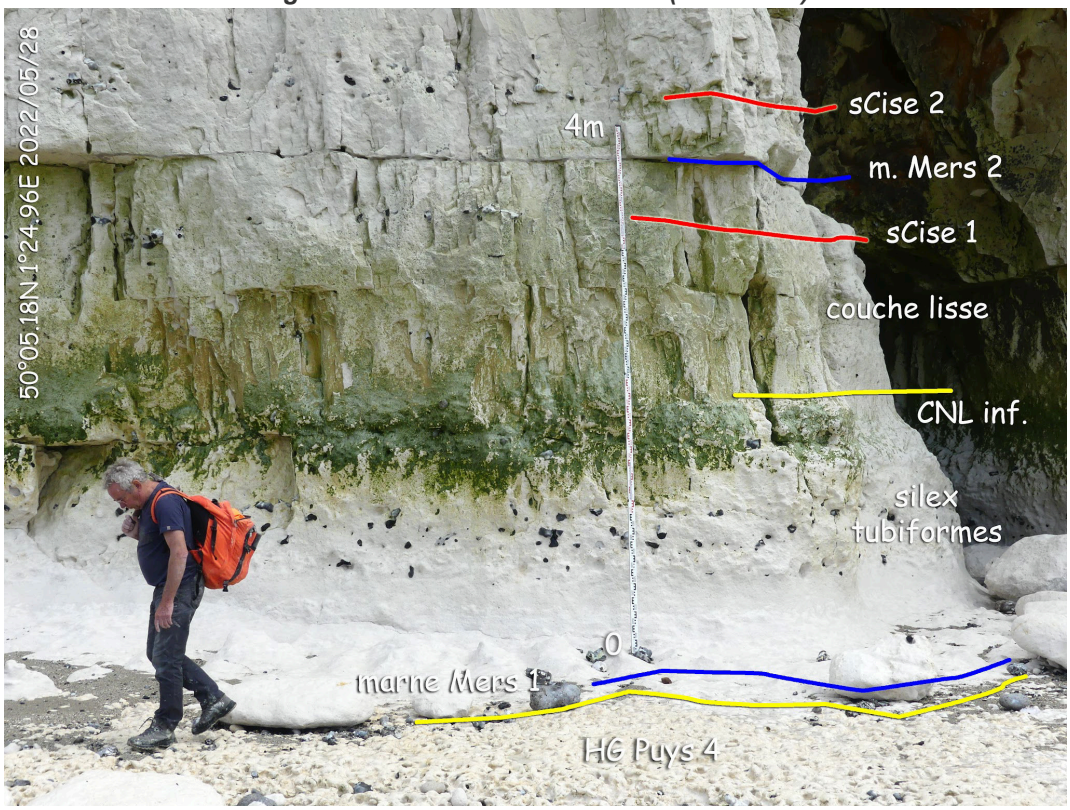


Fig. 165 - Base de l'intervalle T8, 670 m à l'Ouest de la descente de Bois de Cise

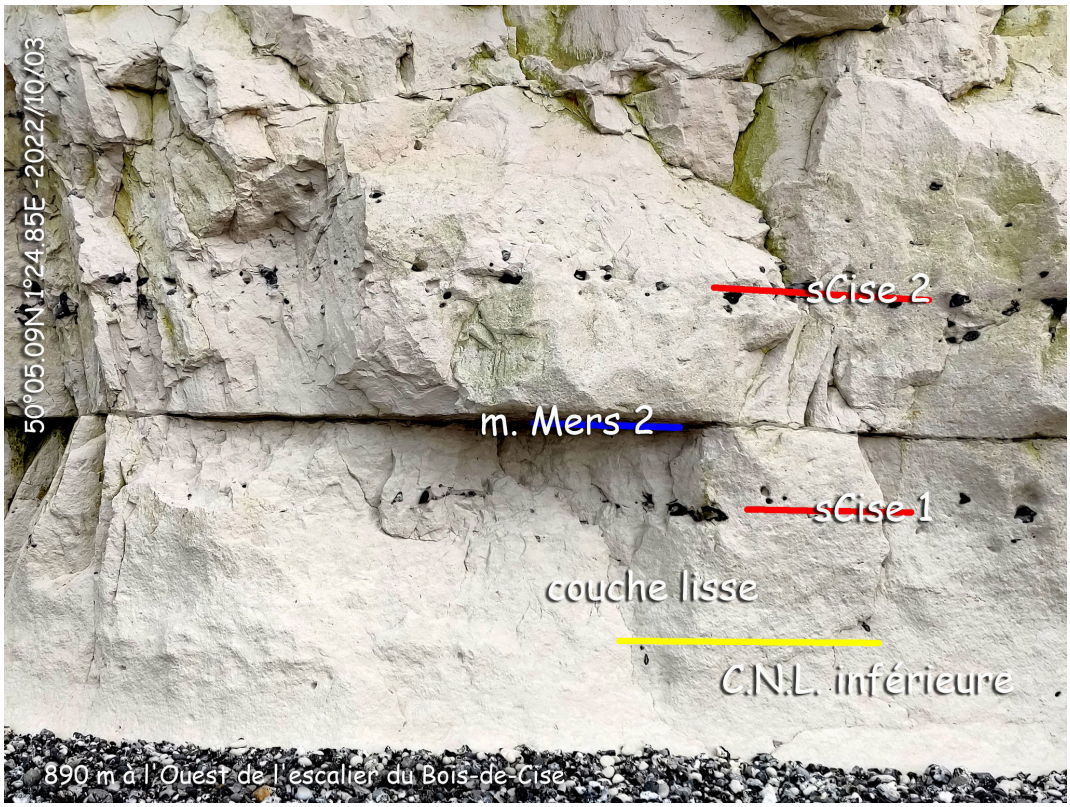


Fig. 166 - Le couple de silex Cise 1 / Cise 2



Fig. 167 - Phénomènes associés aux sheet-flints (niveau sCise 2)

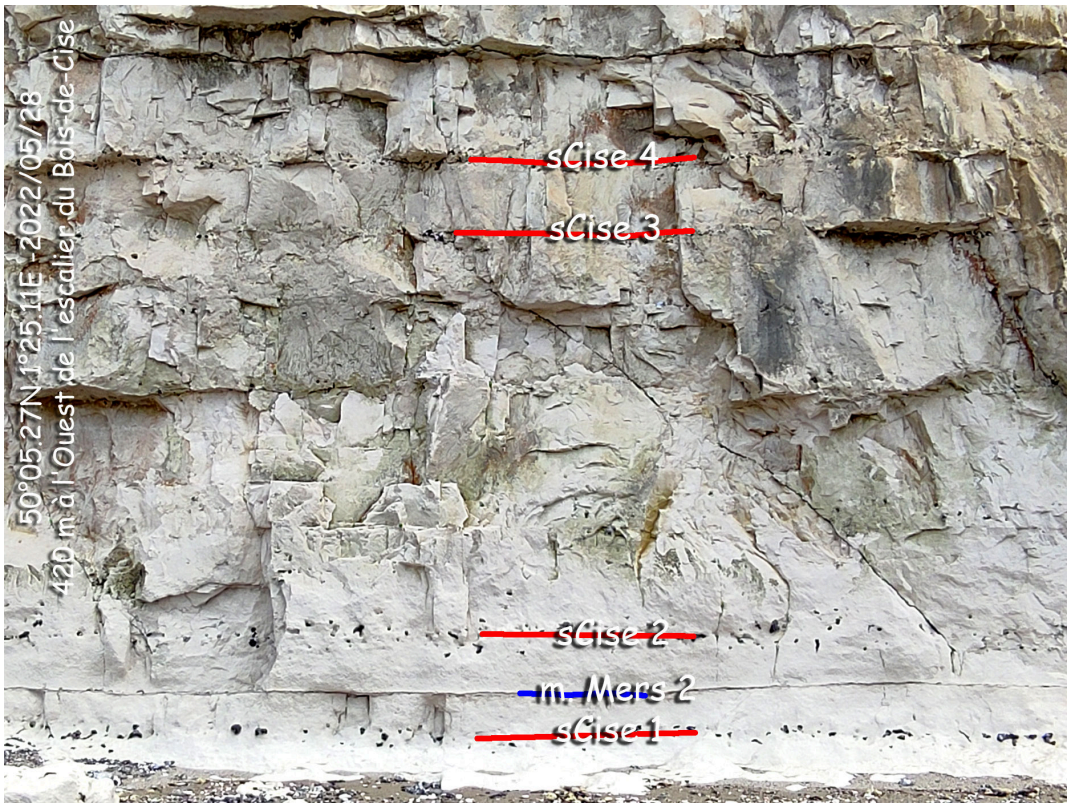


Fig. 168 - Les deux couples de silex sCise 1/sCise 2 et sCise 3/sCise 4

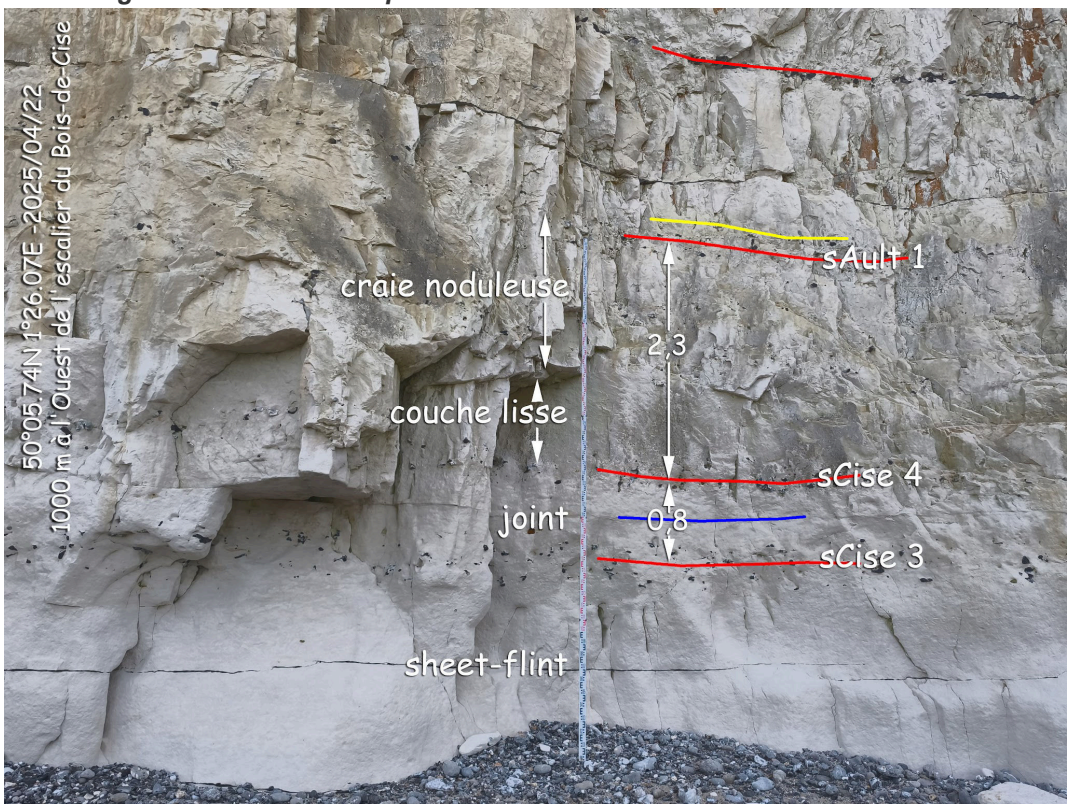


Fig. 169 - Passage du Turonien au Coniacien



Fig. 170 - Figures rattachées au Zoophycos Cuilfail



Fig. 171 - HG Navigation présumé - Ault Est (enrochements ouest)

Coniacien

L'étage Coniacien n'est visible qu'en falaise. Seuls quelques accès limités, comme l'escalier du Bois de Cise ou la piste surmontant les enrochements d'Onival permettent de s'en approcher localement. Ils ne permettent que quelques récoltes paléontologiques, insuffisantes pour caler les repères lithologiques avec précision. La coupe est la suivante :

● Le *silex Ault 1*.

● Une couche de craie d'environ 2 mètres d'épaisseur, remarquable par son homogénéité, sa finesse et sa presque absence de silex. Seul un claquage silicifié peut apparaître au tiers inférieur.

● Le *silex Ault 2*, un niveau de gros silex Thalassinoides, très bien marqué et qui s'observe en continu dans toutes les falaises du Bois de Cise à Onival. À ce niveau sont récoltés les premiers *Micraster cortestudinarium*. Une équivalence est proposée avec le second silex Cliffe qui couronne ailleurs un banc clair.

● Une couche de craie faiblement noduleuse, sans silex, d'environ 1 m d'épaisseur.

● Un ou deux sheet-flint(s) pouvant se réduire à un joint sec.

● Des craies dures et colorées, sur environ 3 mètres d'épaisseur, s'enrichissant en silex vers le haut. De loin, cet ensemble apparaît comme zoné. Vers le sommet, sont récoltés des échinides : *Sternotaxis placenta, Micraster cortestudinarium*, petits *Echinocorys scutata* et des Brachiopodes : *Gibbithyris semiglobosa.* Ce niveau est assimilé aux HGs Hope Gap.

● La *marne Bois-de-Cise 1*, un niveau marneux surtout bien exposé dans la piste d'accès aux enrochements d'Onival. Elle est attribuée hypothétiquement à la marne Beeding.

● Des craies dures (2 m à 2,5 m d'épaisseur environ), incluant un hardground discret, fournissant la même faune à petits *M. cortestudinarium* et *Gibbithyris*. Un réseau de sheet-flints s'y insère à la partie supérieure.

● Le *silex Ault 3*, un niveau de gros silex *Thalassinoides* très bien marqué, assimilé hypothétiquement au silex Beeding supérieur.

● Un hardground, dénommé ici *HG Montagne 1*, à environ 1 m à 1,5 m au-dessus du silex Ault 3, hypothétiquement assimilé au HG Beeding.

● Un couple de silex Ault 4 a/b, à environ 2 m au-dessus du silex Ault 3.

● Une couche de craie (1 m environ).

● Un hardground *HG Montagne 2*, souvent associé avec des sheet-flints, contenant *Micraster cortestudinarium* (vu en éboulis).

● Une couche de craie (2 m environ).

● Un couple de silex Ault 5 ab, composé de silex cornus dispersés, d'aspect ponctué au loin.

● Une couche de craie à silex (3 m environ) avec des traces marneuses peu nettes, rattachées très hypothétiquement aux marnes Shoreham.

● Un hardground, *HG Montagne 3*, épais et prononcé, avec une surface supérieure bien marquée, accessible en sommet de falaise, au carrefour entre la rue de St-Valéry et la rue de la Montagne. *Micraster coranguinum* est récolté immédiatement au-dessus.

Au sommet des hautes falaises, entre le Premier Val et le Deuxième Val, deux silex tabulaires sont observés nettement et désignés silex Onival 1 et 2. L'un d'entre eux est accessible dans la rue Charles Brehamet, associé à des débris d'inocérames. Ce faciès correspond aux couches du Coniacien moyen, probablement le silex Seven Sisters selon MORTIMORE et POMEROL (1987).

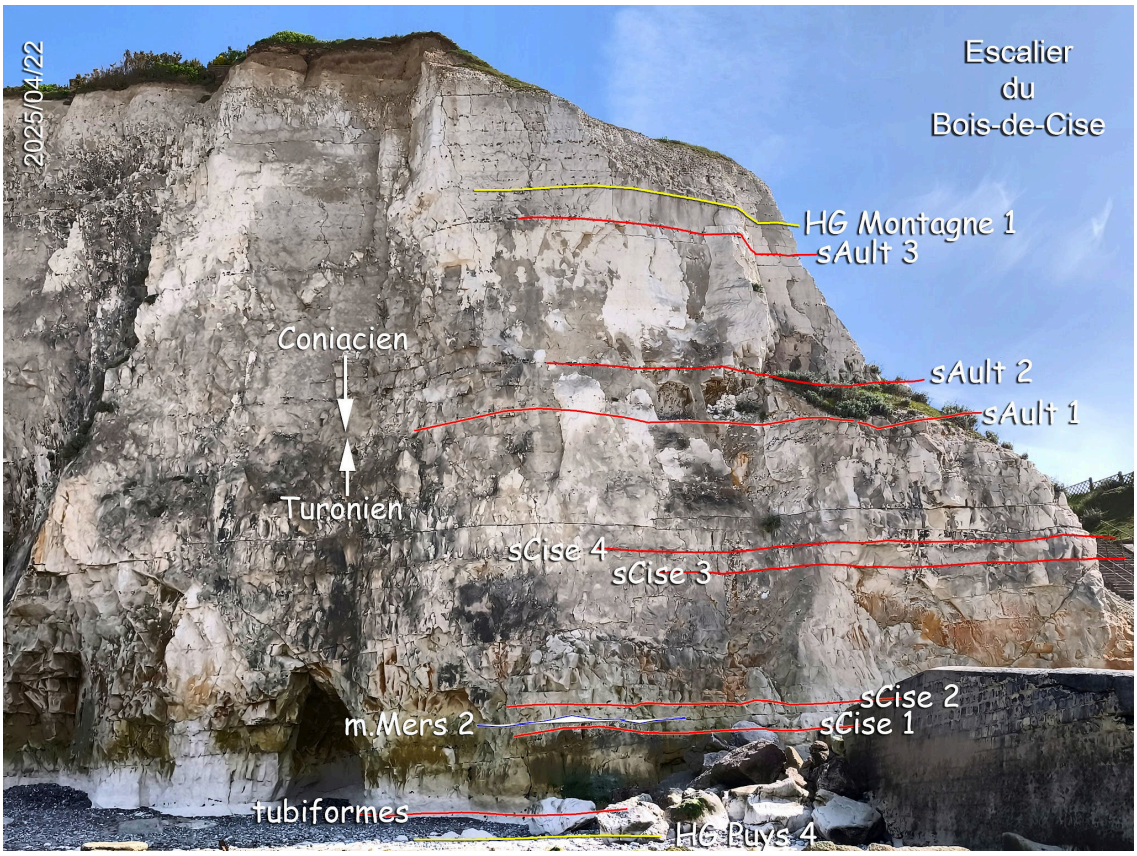


Fig. 172 - Passage du Turonien au Coniacien à l'escalier du Bois de Cise



Fig. 173 - Passage Turonien à Coniacien sur la piste des enrochements d'Onival

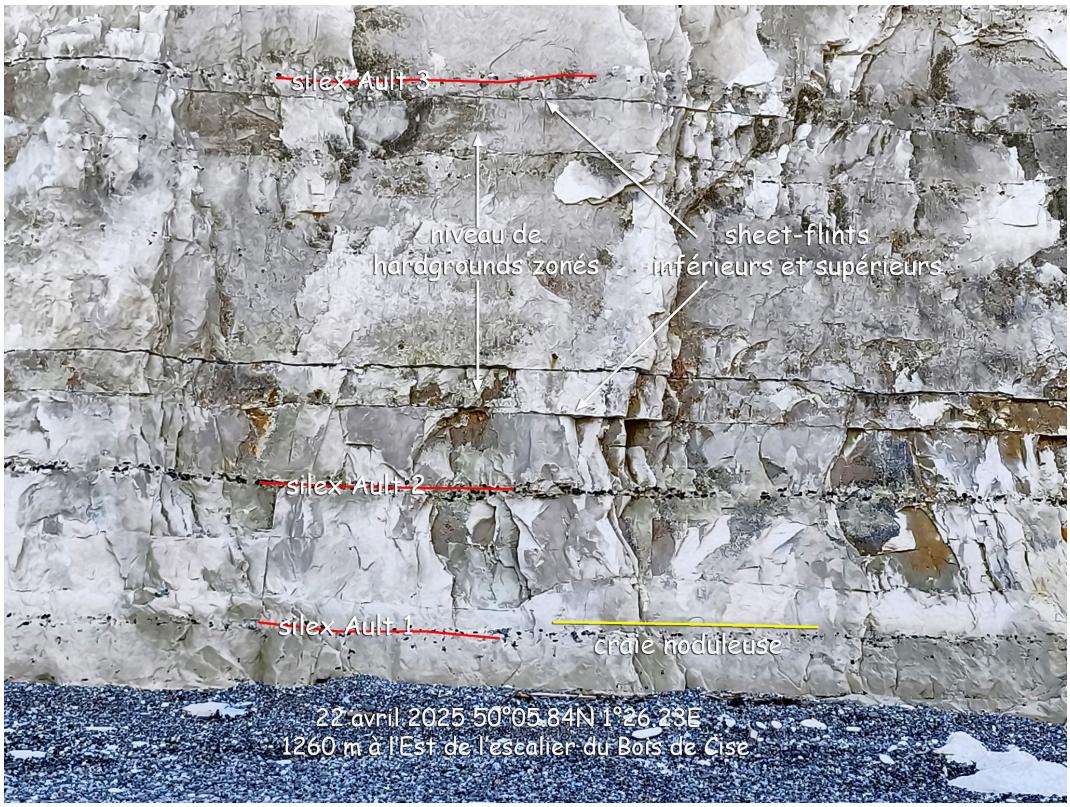


Fig. 174 - Base du Coniacien - 1260 m à l'Est du Bois de Cise



Fig. 175 - Marne Bois de Cise 1 - piste des enrochements Onival

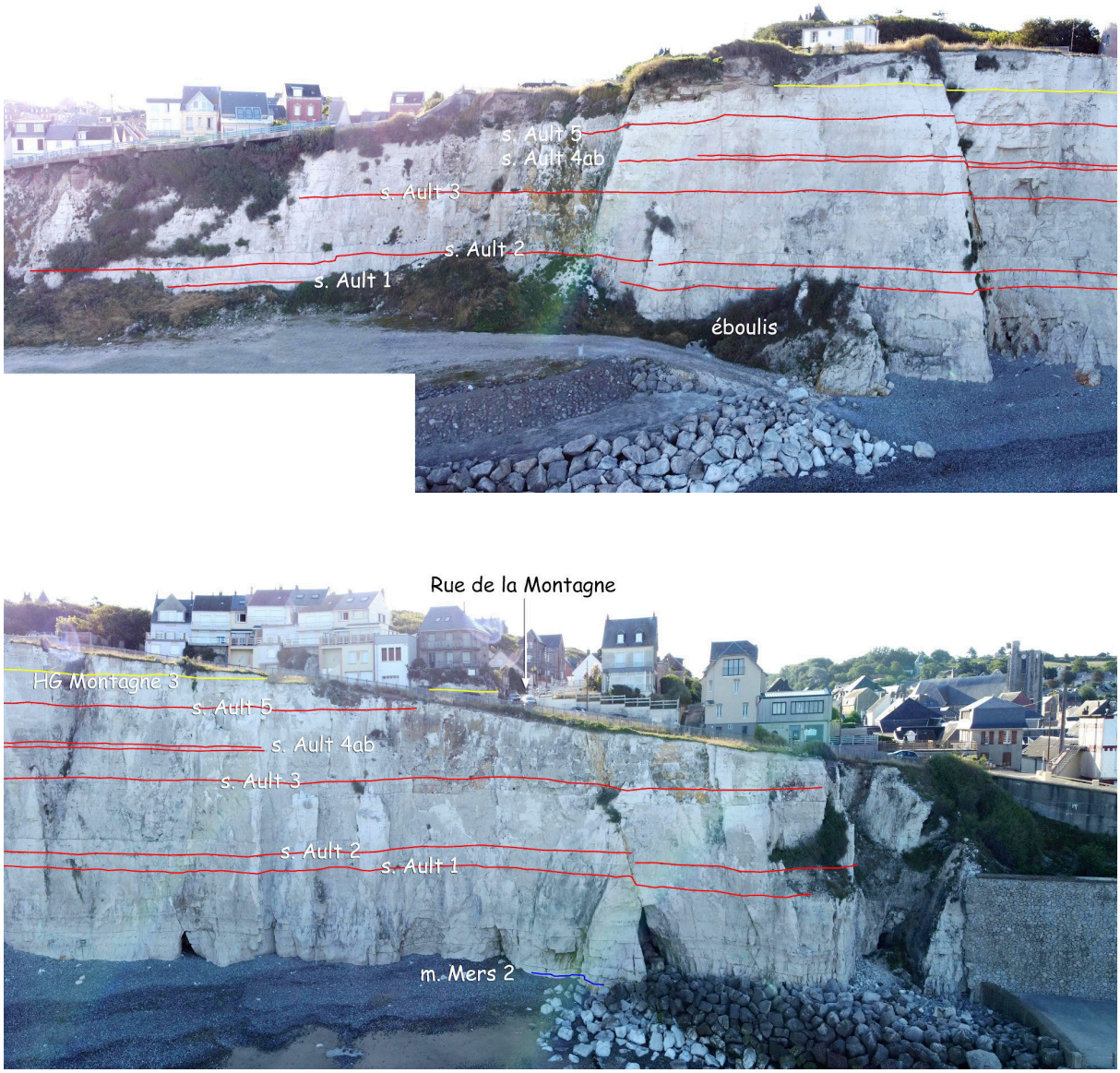


Fig. 176 - Falaise orientale d'Ault - Onival - vue par drone

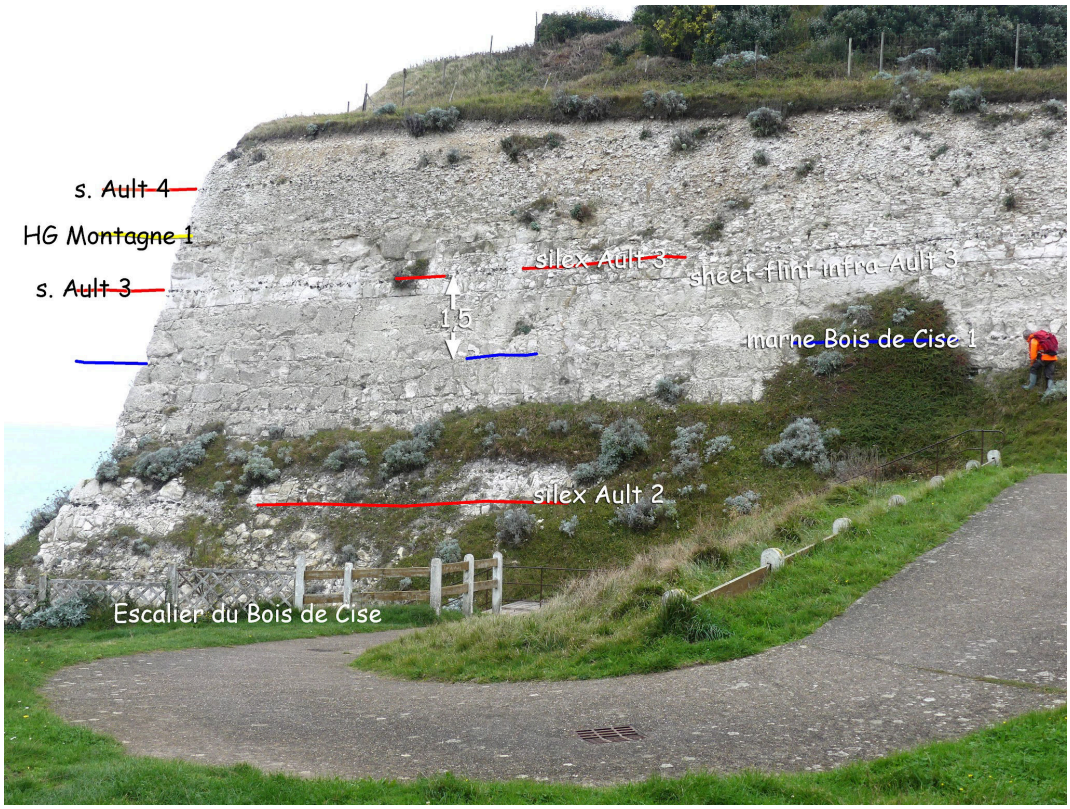


Fig. 177 - Du silex Ault 2 au silex Ault 5 - au sommet de l'escalier du Bois de Cise



Fig. 178 - Du silex Ault 4 au silex Ault 5 - éboulis sur la piste des enrochements

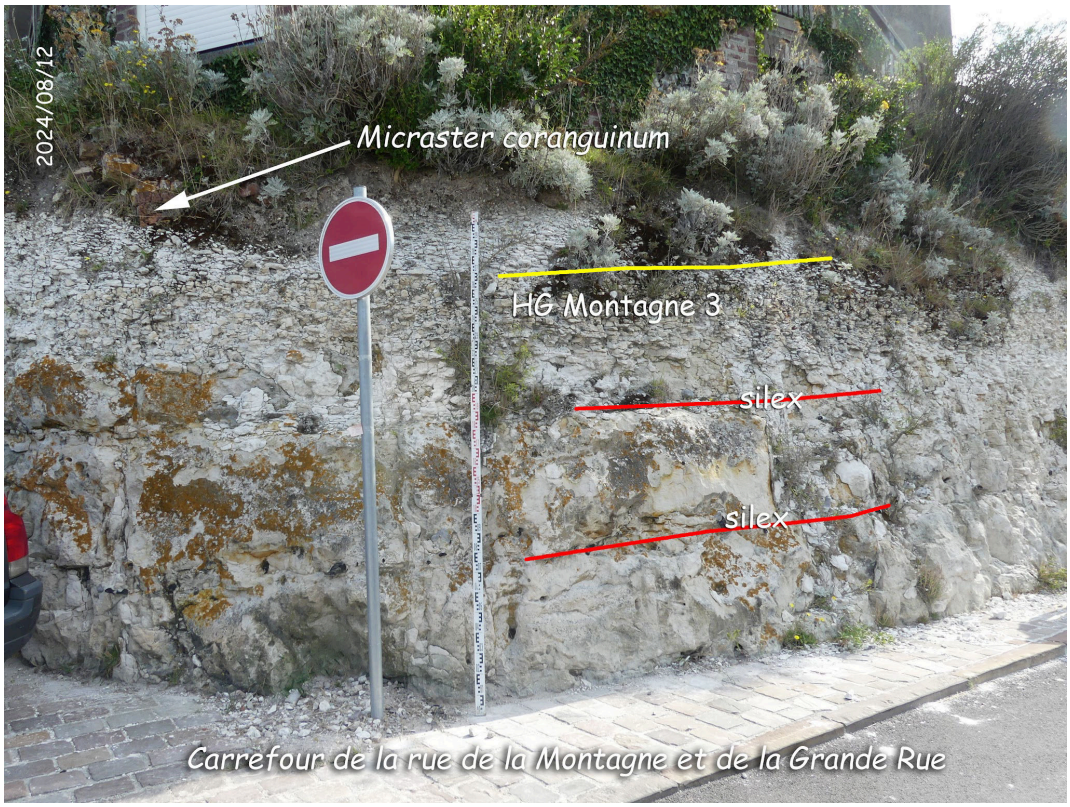


Fig. 179 - Le HG Montagne 3, à l'entrée de la rue de la Montagne



Fig. 180 - Probable silex Seven Sisters - tranchée de la rue Ch. Bréhamet

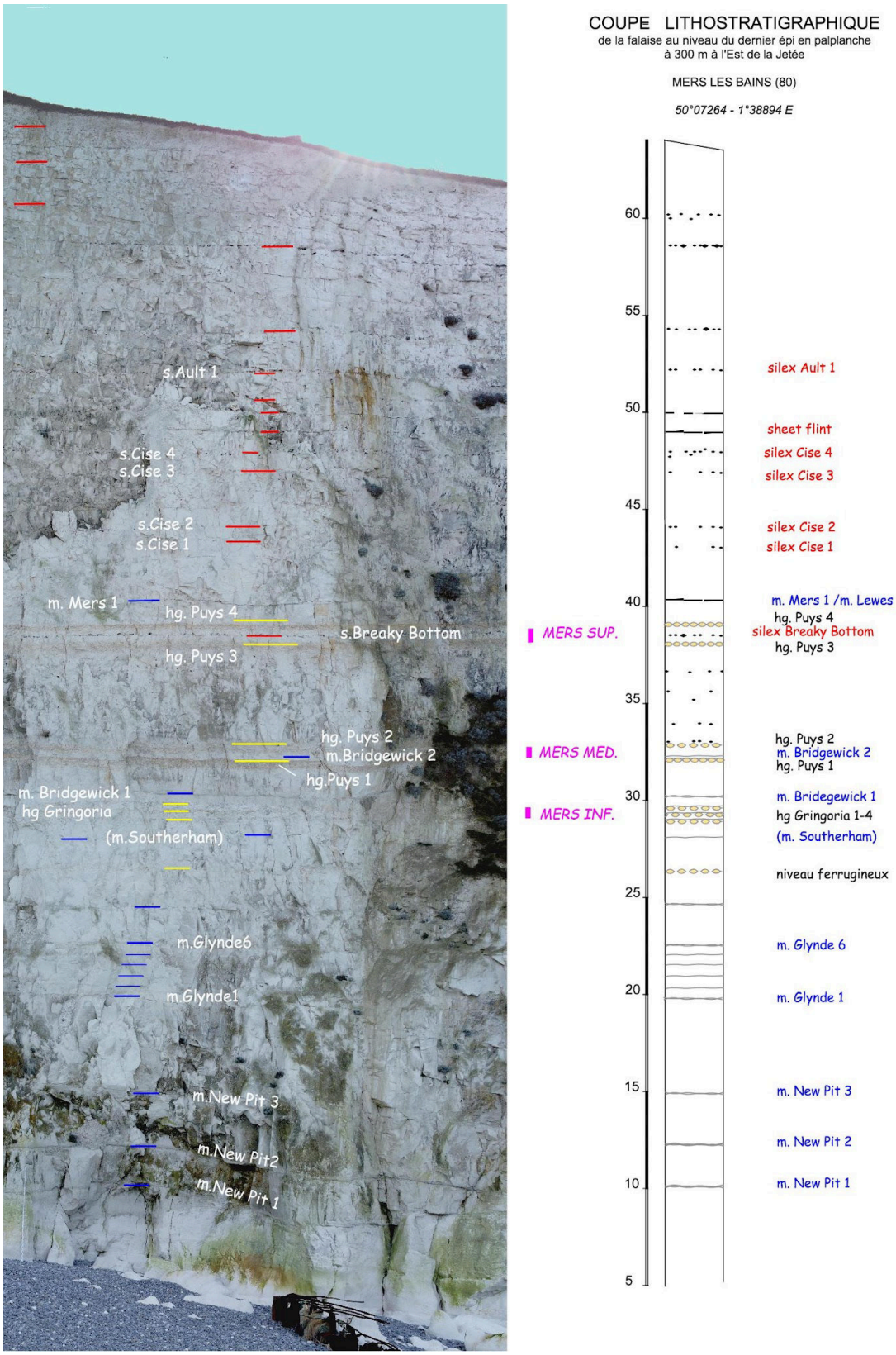


Fig. 181 - Falaise à l'Est de Mers-les-Bains (assemblage drone)

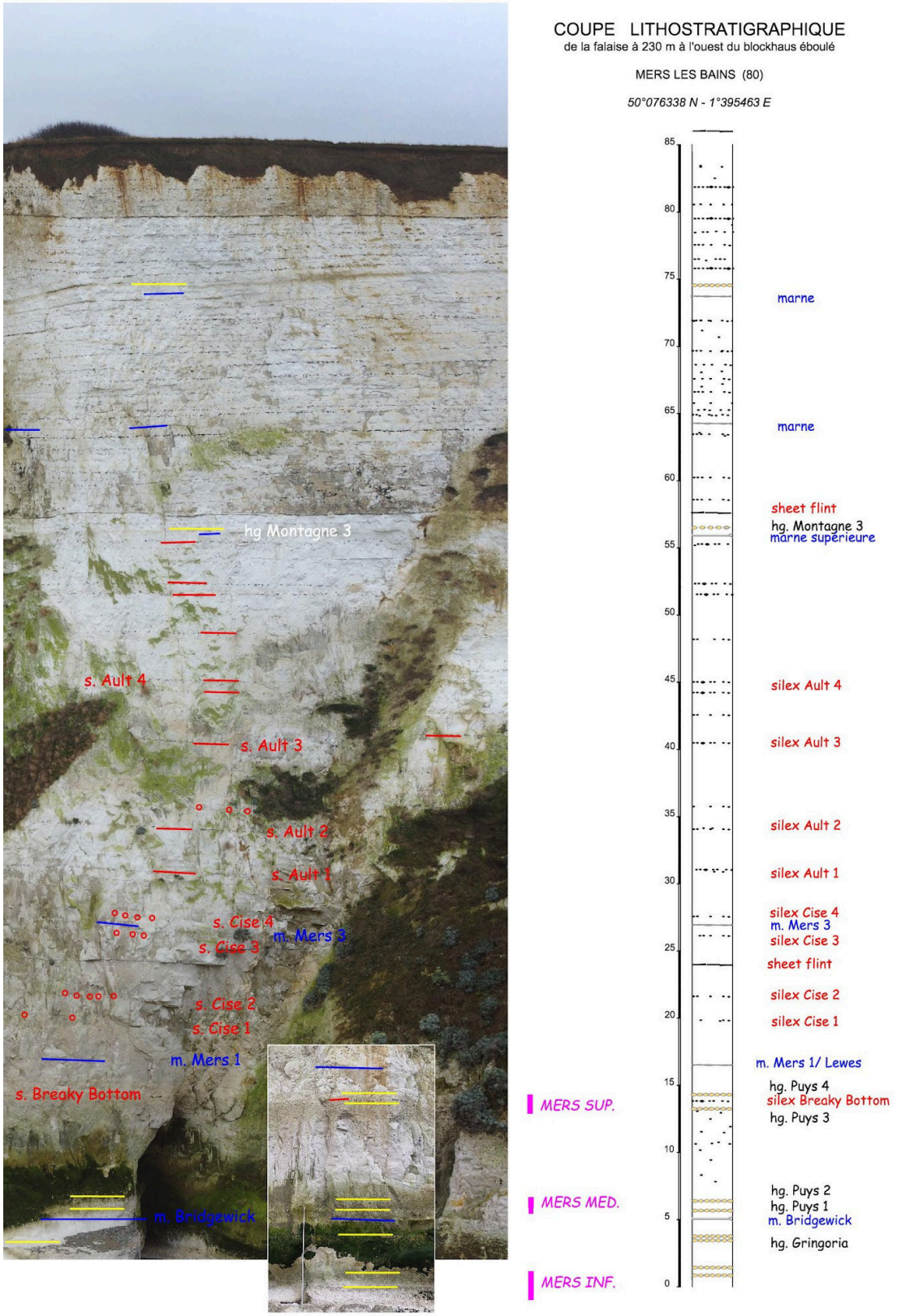


Fig. 182 - Falaise à proximité du blockhaus effondré de Mers-les-Bains (assemblage drone)

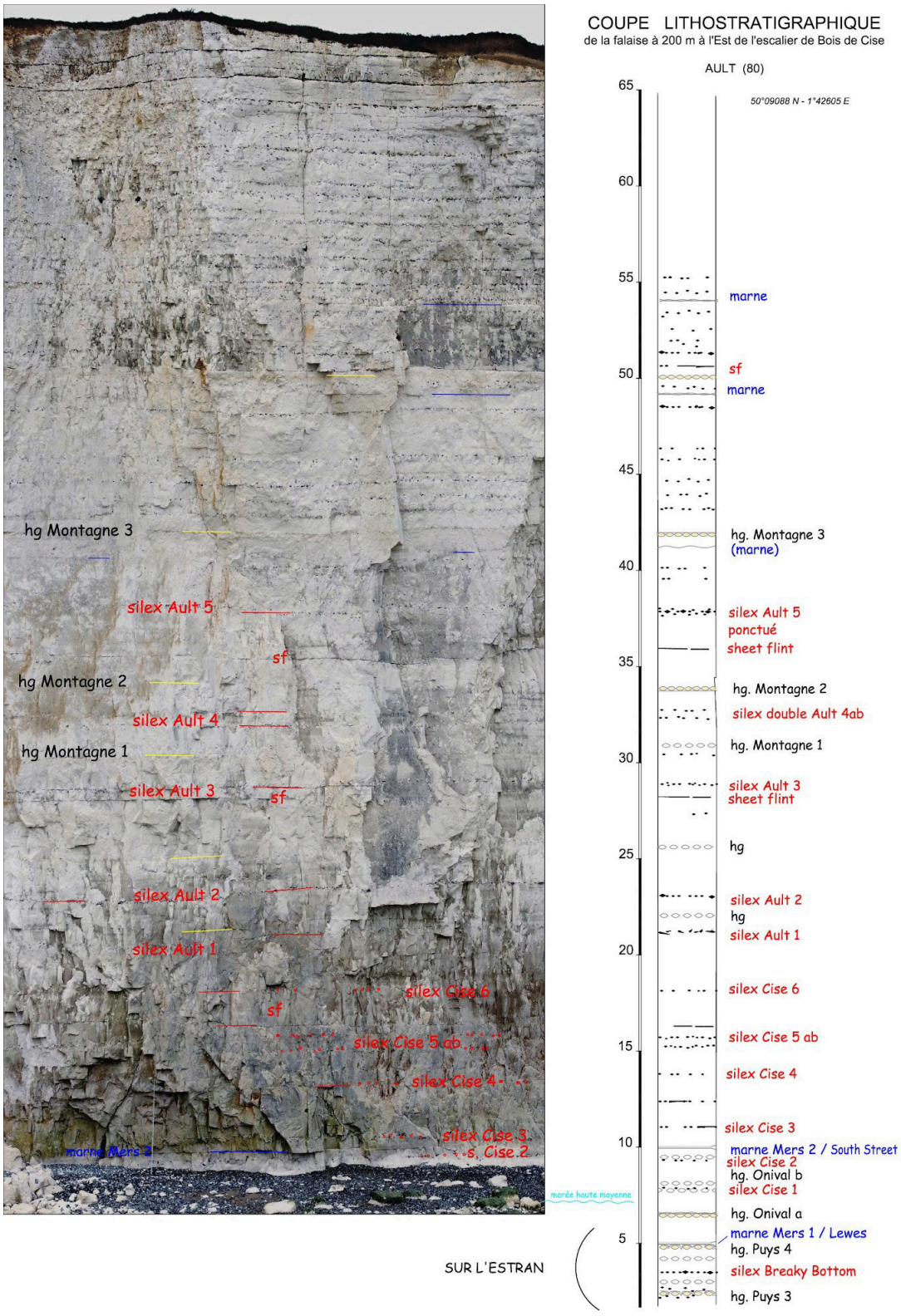


Fig. 183 - Falaise à l'Est de l'escalier du Bois de Cise (assemblage drone)

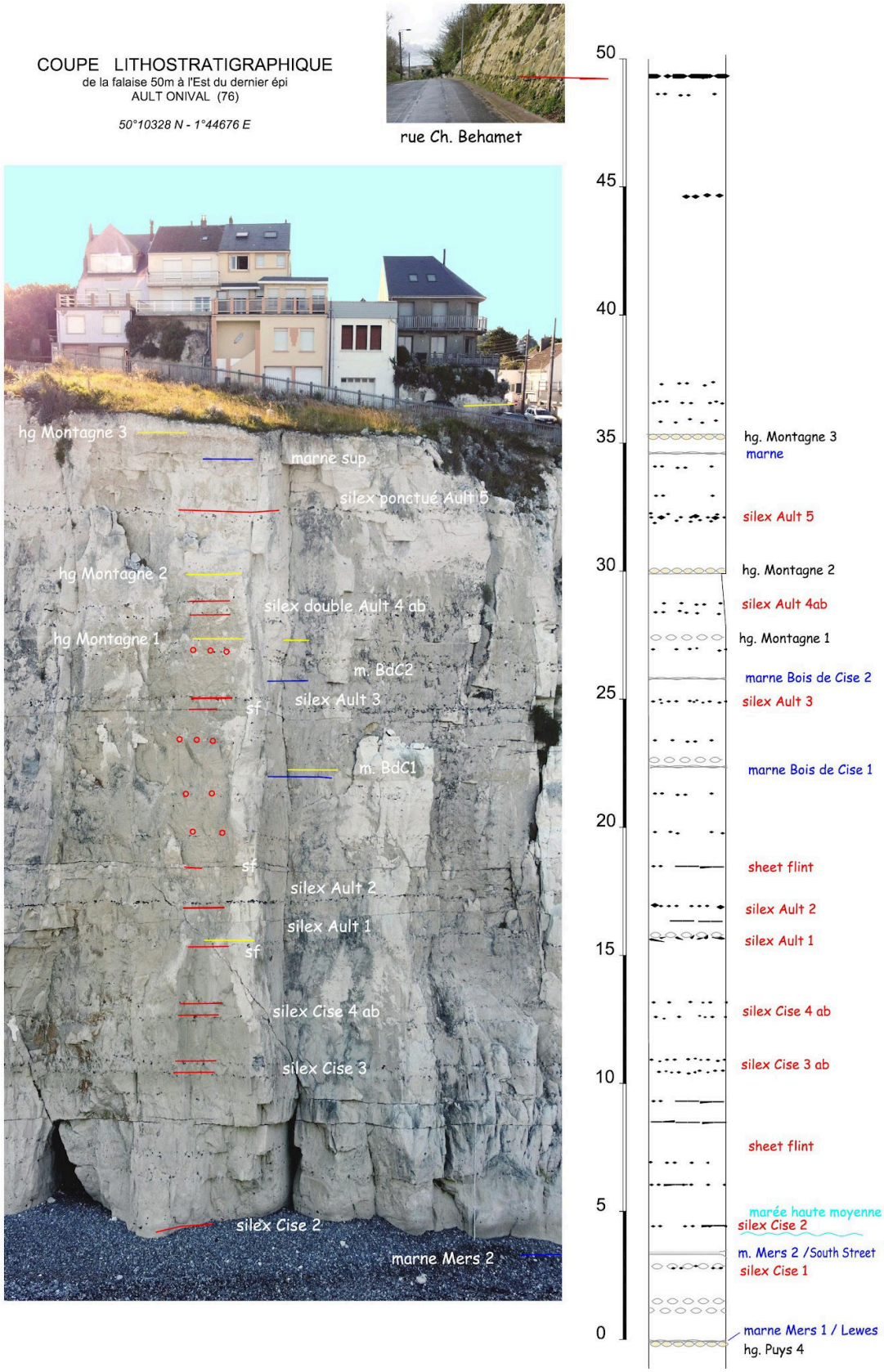


Fig. 184 - Falaise à Ault Onival (assemblage drone)

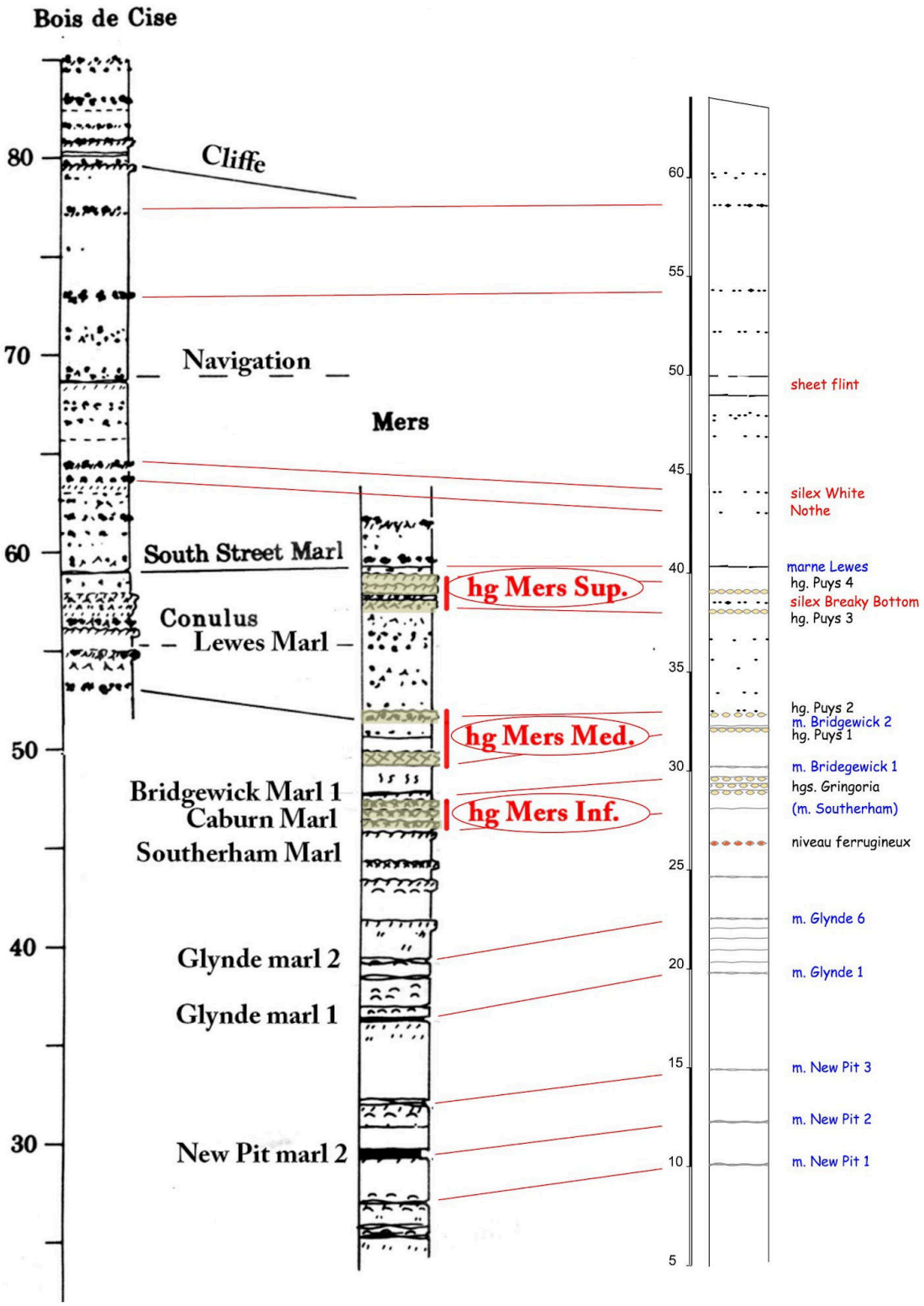


Fig. 185 - Comparaison avec la coupe de MORTIMORE et POMEROL, 1987

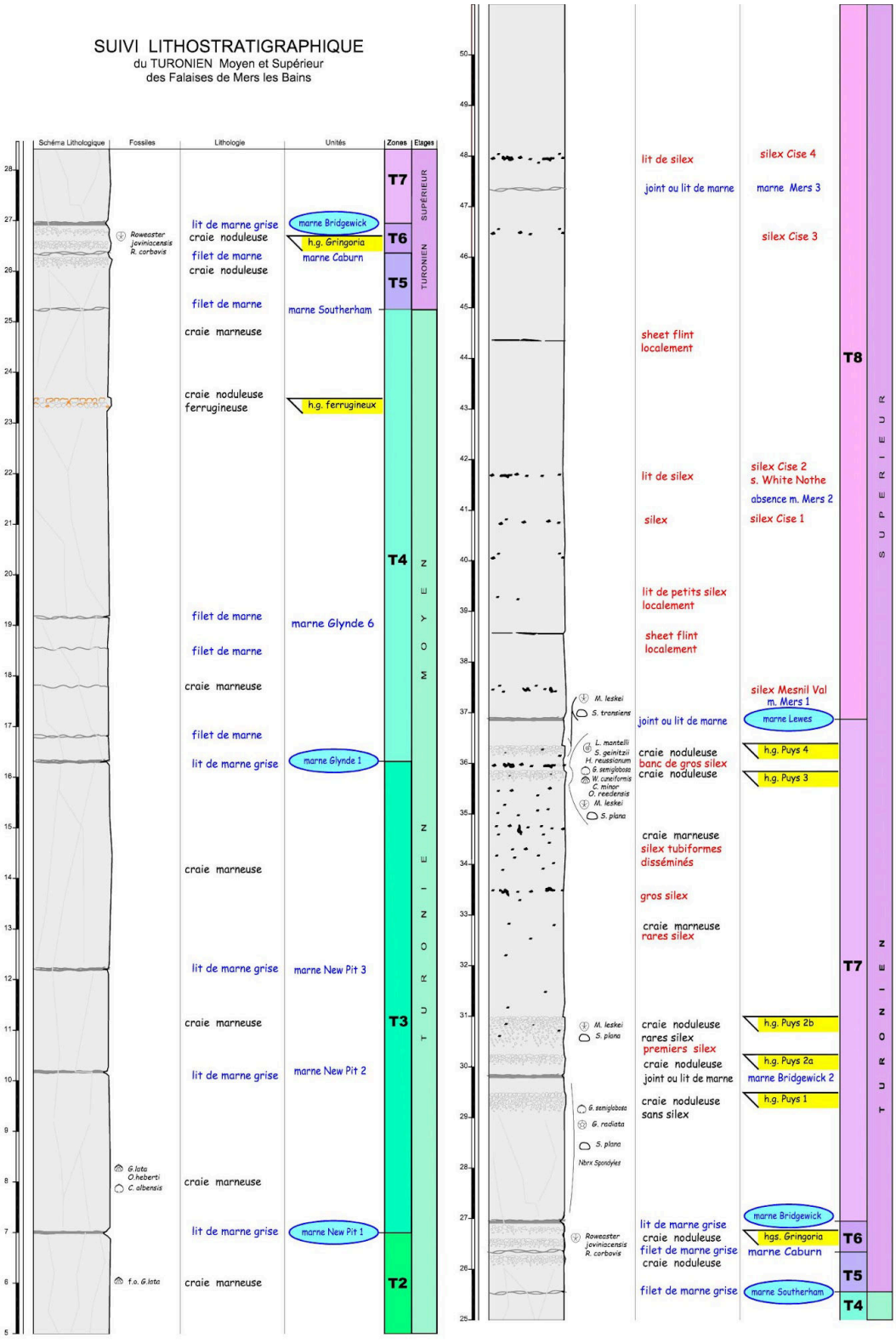


Fig. 186 - Log stratigraphique du Turonien moyen et supérieur - Mers les Bains

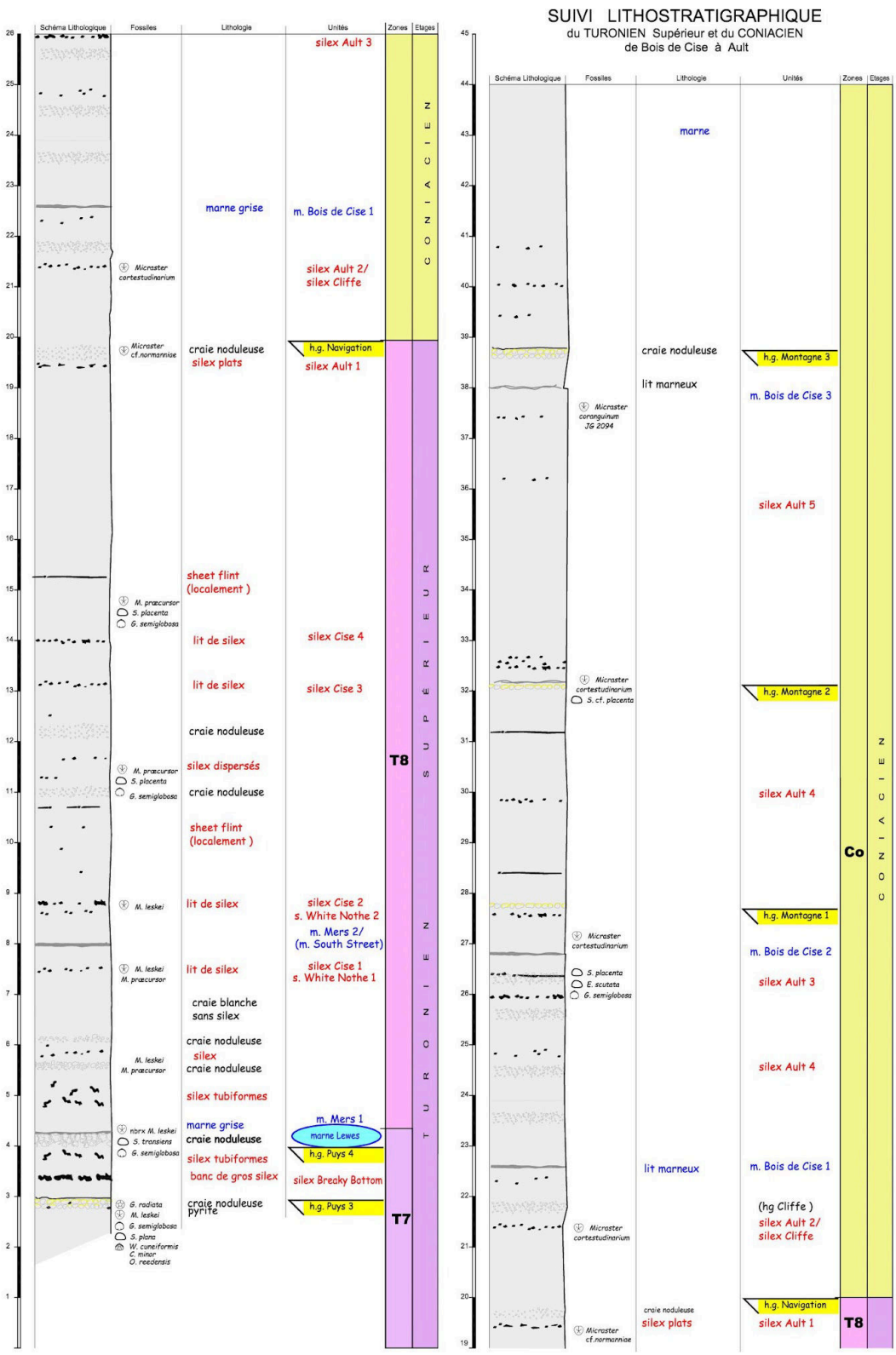


Fig. 187 - Log stratigraphique du Turonien sup. - Coniacien - Bois de Cise à Ault

Du Cap Fagnet aux Petites Dalles

Le Turonien fécampois apparaît dans plusieurs études.
MORTIMORE et POMEROL (1987) y reconnaissent la marne Glynde 1, la marne Southerham et la marne Bridgewick. Les hardgrounds Senneville, nom aujourd'hui adopté, y sont désignés sous le nom de hardgrounds Életot. Un parallèle est établi entre la coupe du Cap Fagnet et celle du Tilleul. Au Tilleul, ayant récolté *Fagesia catinus* juste au-dessus du hardground Antifer 3c, l'« horizon A » de JUIGNET (1974) est placé dans le Turonien.

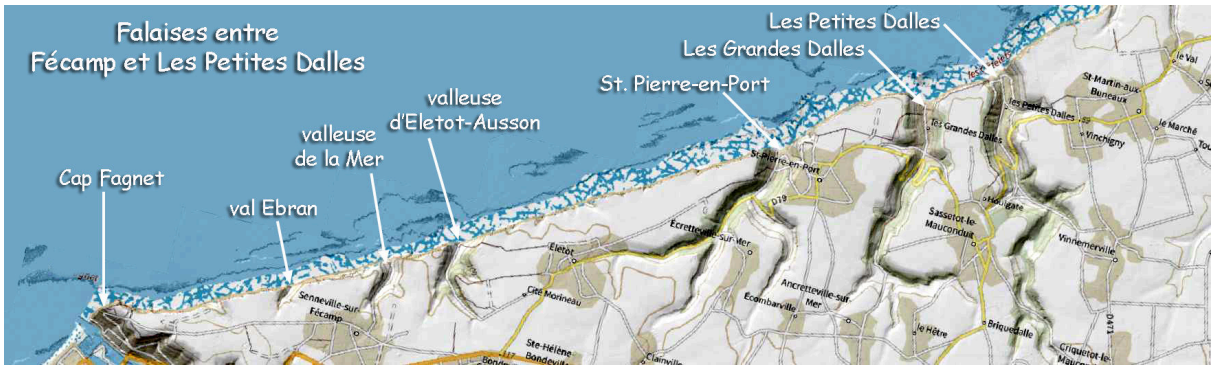


Fig. 188 - Les falaises entre Fécamp et Les Petites Dalles

La thèse (non publiée) de QUINE (1988) est une analyse détaillée, essentiellement sédimentologique. De nombreux hardgrounds y sont nommés, en particulier les hardgrounds Senneville, dont le nom sera conservé dans la littérature. Cependant, d'autres hardgrounds, comme ceux antérieurs aux hardgrounds Tilleul, désignés hardgrounds Golf et hardgrounds Cap, ou encore ceux postérieurs aux hardgrounds Senneville (hardground Életot, hardground Grandes Dalles, hardgrounds Petites Dalles 1 et 2), seront ignorés par la suite. De même, les niveaux marneux, tels que sa marne Senneville 7 (probable marne Southerham) et sa marne Grande Valleuse (probable marne Lewes), qu'il n'a pas corrélés avec les marqueurs britanniques, ne seront pas retenus.

JUIGNET et BRETON (1992) proposent une étude lithologique, stratigraphique et séquentielle. Ils distinguent trois formations :

1. La *Craie du Tilleul*, subdivisée en deux membres : la *Craie du Cap Fagnet* et la *Craie du Val Saint-Nicolas*. Elle débute au sommet du hardground Antifer 3c et se termine par le hardground Tilleul 2.
2. La *Craie de Senneville*, se terminant par le hardground Senneville 2.
3. La *Craie de Saint-Pierre-en-Port*, membre inférieur, se terminant par le hardground Életot.

Nous retiendrons la définition du hardground Fagnet à la limite de la Craie du Cap Fagnet et de la Craie du Val Saint-Nicolas, observable au Cap Fagnet et au Tilleul. L'origine volcanique de la marne Southerham (appelée marne Életot par les auteurs) est corroborée par des minéraux, conformément à la thèse de WRAY (1990).
HOYEZ (2008), dans le cadre d'une étude événementielle, identifie clairement la bentonite Lewes.

LASSEUR (2007) inscrit le Turonien dans une logique séquentielle :

- FS de la séquence 3. 2 = HG Antifer 3c,
- FS de la séquence 4 = HG Fagnet
- MFS de la séquence 4 = 1 m au-dessus du HG Fagnet
- FS de la séquence 4 = HG Tilleul
- MFS de la séquence 5 = quelques mètres sous la marne Southerham
- FS de la séquence 6.1 = sommet du HG Senneville 2
- MFS de la séquence 6.1 = marne(s ?) Lewes
- FS de la séquence 6.2 = HG Navigation.

MORTIMORE (2010) replace les craies normandes dans un contexte européen plus large, en réévaluant la signification de certains hardgrounds glauconieux dans l'évolution séquentielle. Selon cette nouvelle interprétation, les hardgrounds cénomaniens (HG Rouen et HGs Antifer) et turoniens (HGs Tilleul 1 et 2) ne seraient pas des événements isolés, mais des marqueurs de surfaces d'inondation maximale (MFS). Ces phases de hauts niveaux marins auraient entraîné une chute de la production de l'« usine à carbonate » sur la rampe isolée, conduisant à la formation de séries condensées et à un appauvrissement en fraction argileuse, contrairement aux séries de bassin qui sont enrichies en argile.

KENNEDY et GALE (2015) apportent de nouvelles précisions sur la faune d'ammonites présente dans le hardground Senneville 2. Elles permettraient de le situer au niveau de l'événement *Hyphantoceras reussianum*, connu en Europe. Nous verrons que nos propres observations divergent sur le fait que l'essentiel des fossiles provient du sommet du hardground Senneville 1, et non du hardground Senneville 2.

GALE (2019a) reconsidère les hardgrounds du Turonien moyen et supérieur, en Normandie et en Angleterre, en utilisant sa propre stratigraphie basée sur les microcrinoïdes.
Il compare :

- Les hardgrounds Tilleul (hardgrounds Tilleul 1 et 2 + hardground Tilleul 0 surnuméraire) aux hardgrounds Ogbourne et Pewsey du Dorset et du Wiltshire. Ils représenteraient une condensation sédimentaire entre la marne Round Down et la marne Glynde 1.
- Les hardgrounds Senneville au hardground Hitch Wood (hardground supérieur du Chalk Rock anglais).

Il propose également dans cet article une cyclostratigraphie basée sur les cycles d'excentricité $E_{405\ ka}$ (LASKAR *et al.*, 2011), cycles 232 à 221, dont les principales marnes (depuis les marnes Meads à la marne Lewes) correspondraient aux maxima d'excentricité.

Intervalle T1 & T2a *p.p.* : du HG Antifer 3 au HG Fagnet

Le passage du Cénomanien au Turonien était accessible au pied du Cap Fagnet. Il est interdit depuis les éboulements de février 2023. La coupe se situe entre l'escalier près de la jetée est du port de Fécamp et le Trou au Chien, une des trois remarquables arches locales. L'accès et le franchissement du Trou au Chien est limité aux périodes de marées extrêmes, avec un coefficient supérieur à 100. Du fait du très faible pendage, la limite d'étage se suit, à

hauteur d'homme, sur environ 400 mètres. De nombreux blocs effondrés permettent de compléter la coupe sur une dizaine de mètres d'épaisseur stratigraphique.
La coupe de référence est celle de JUIGNET (1974, p. 241, fig. 28).
Les "hardgrounds Antifer", définis par cet auteur au sud de la valleuse d'Antifer, y sont retrouvés. Ils correspondent ailleurs aux « marnes à *plenus* », elles-mêmes associées à l'événement mondial majeur appelé événement anoxique océanique 2 (OAE 2). En voici, quelques caractéristiques :

● Le **HG Antifer 2a**, avec sa surface érodée, perforée et couverte d'un enduit vert vif est le repère le plus évident à la base de la falaise.
● **Le HG Antifer 2b** : cette notation diffère ici de celle de JUIGNET qui l'indique HG Antifer 3a.
● Le sommet des hardgrounds Antifer 2 est placé au contact avec une craie marneuse riche en radioles de *Cidaris*, épaisse d'une dizaine de centimètres. Celle-ci paraît être l'homologue de la "***marne Jumel***" d'Antifer (HOYEZ *et al.*, 2020).

● Le **HG Antifer 3a** est un mince niveau de hardground surmontant la marne Jumel.
Une singularité du Cap Fagnet est la présence de 2 niveaux de silex au-dessus du HG Antifer 3a, lesquels n'existent pas à Antifer. Une hypothèse est émise que l'ensemble "marne Jumel fossilifère + couches à silex" représente le "*cold event*" (O'CONNOR *et al.*, 2020) à l'intérieur des marnes à *plenus*.
Le joint marneux Jumel est un guide visuel net à la base de la falaise du Cap Fagnet.
● Les 2 hardgrounds **HG Antifer 3b et 3c** à *Inoceramus pictus* et *Cidaris hirudo*, couronnés par un niveau verdi ou ferrugineux, terminent un Cénomanien mal daté.
Le HG Antifer 3 est mis en équivalence avec le HG Haven Cliff du Devon (GALE, 2026).

Les craies suivantes sont plus ou moins noduleuses, avec quelques surfaces d'arrêt de sédimentation (firmgrounds). Les quelque six mètres de ces craies jusqu'au HG Fagnet sont désignés comme le membre de la "Craie noduleuse du Cap Fagnet" (JUIGNET & BRETON, 1994). À environ 1 m au-dessus du HG Antifer 3c, ces auteurs signalent de grandes ammonites médiocrement conservées : *Mammites nodosoides*, *Fagesia catinus*, *Plesiovascoceras* sp., *Metasigaloceras rusticum*. En outre cette Craie noduleuse du Cap Fagnet renferme :

- des Inocérames : *I. hercynicus*, *I. apicalis*, *I. goppelnensis*;
- des Échinodermes : *Discoides inferus*, *D. minimus*, *Micraster* cf. *distinctus*, *Cardiotaxis cretacea*, *Hemiaster nasutulus*, *Calliderma smithiae*, *Pycinaster* sp..
- des Brachiopodes : *Concinnithyris* cf. *albense*, *Orbirhynchia cuvieri*.

● Le joint, souvent silicifié, à 1,2 m au-dessous du sommet du HG Fagnet, assimilé à la marne Lulworth (JUIGNET & BRETON, 1994).

Le sommet du HG Antifer 3c est considéré comme la limite entre le Cénomanien et le Turonien.

Les nuances lithologiques dans la base du Turonien sont peu contrastées. Néanmoins, on y distingue, de bas en haut, les niveaux suivants rapportés à ceux du Tilleul :
● une craie noduleuse (0,8 m),
● une alternance de marnes (marnes Pimont) et de craie noduleuse (0,8 m),
● un firmground, assimilé au FG Pimont (0,6 m),
● une craie tendre (0,7 m),
● 4 firmgrounds (FGs Valaine) peu épais, séparés par des marnes (1,4 m),
● une craie tendre (0,4 m),

● un joint, parfois silicifié, rapporté à la **marne Lulworth** et correspondant à la limite Turonien inférieur / Turonien moyen.

● Le **hardground Fagnet,** un hardground ferrugineux avec des vestiges de silex (0,5 m). Cette présence de fer est une caractéristique de ce niveau et traduit les mêmes apports que les brèches ferrugineuses observées à Berneval. On y récolte : *Conulus subrotundus*, *Concinnithyris albensis*, *Orbirhynchia cuvieri* et de nombreux Mytiloides.
Ce hardground traduit un épisode régressif généralisé. Pour GALE (2026), il appartient à sa zone TuR5 et équivaut au HG Branscombe du Devon.

Entre la Porte au Roi et la Porte à la Reine, les couches situées à environ 2 m au-dessous du HG Fagnet affleurent sur le platier. Des ammonites y sont présentes: *Lewesiceras* et *Mammites nodosoides*, mais pas de *Fagesia* situées plus bas. Dans ces couches supérieures de la Craie du Cap Fagnet, les inocérames sont fréquents, côtoyant *Orbirhynchia cuvieri*, *Concinnithyris albensis* (moins fréquentes), ainsi que de gros *Conulus* (diamètre 4 cm). D'abondants Spongiaires apparaissent sous le HG Fagnet.

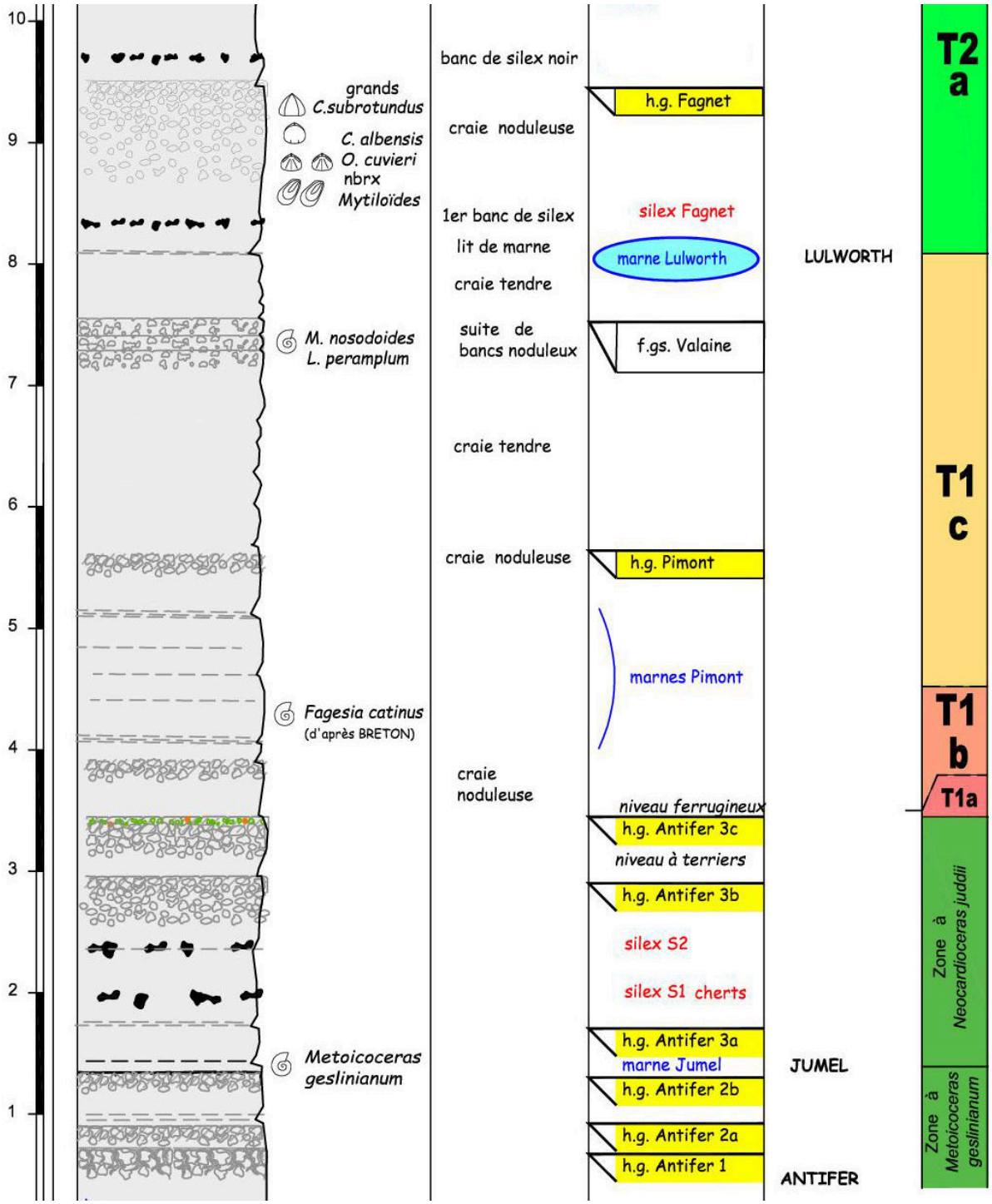


Fig. 189 - Log stratigraphique de la base du Turonien au Cap Fagnet

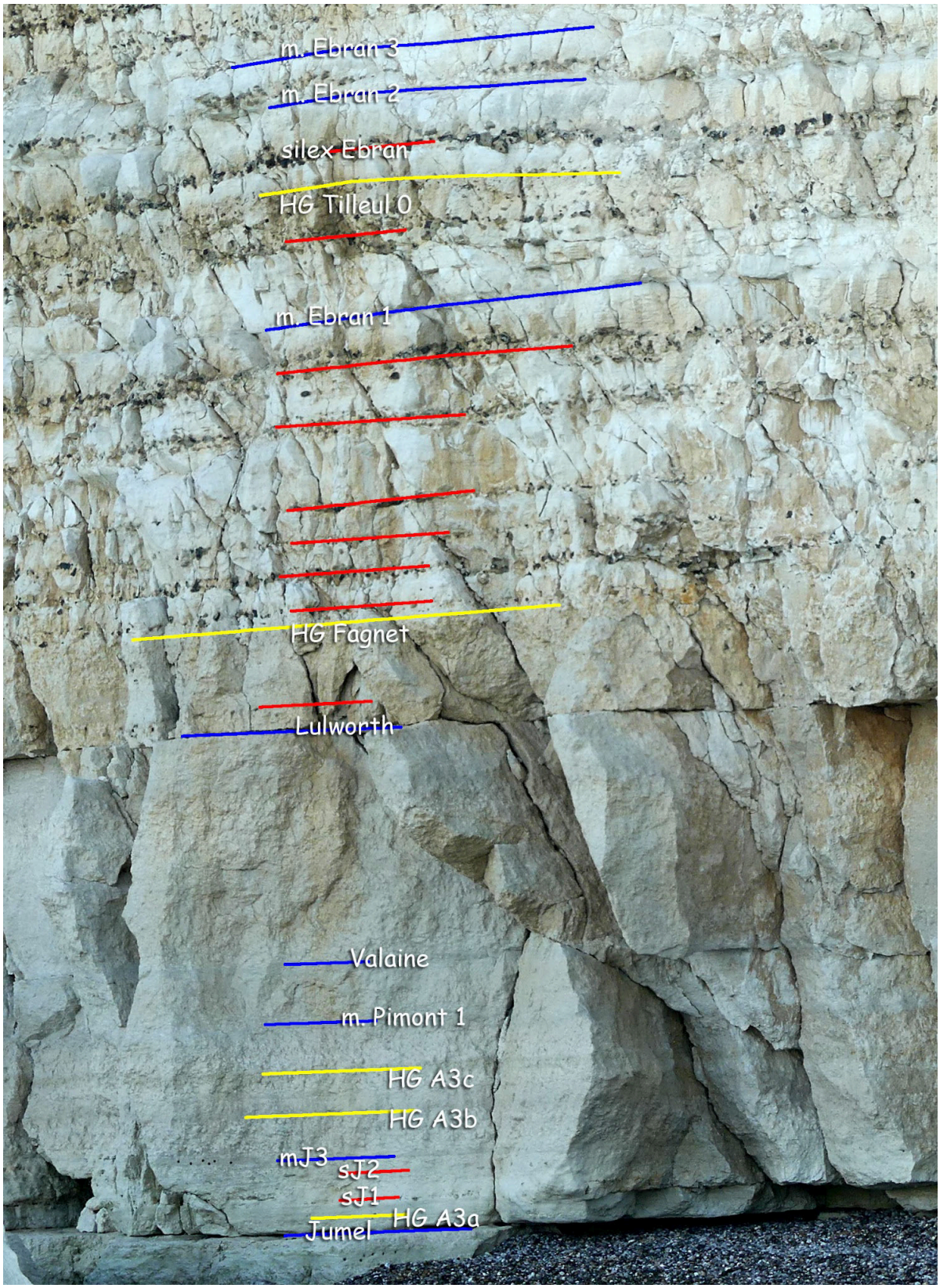


Fig. 190 - Base de la falaise du Cap Fagnet - Le Turonien jusqu'aux HGs Tilleul

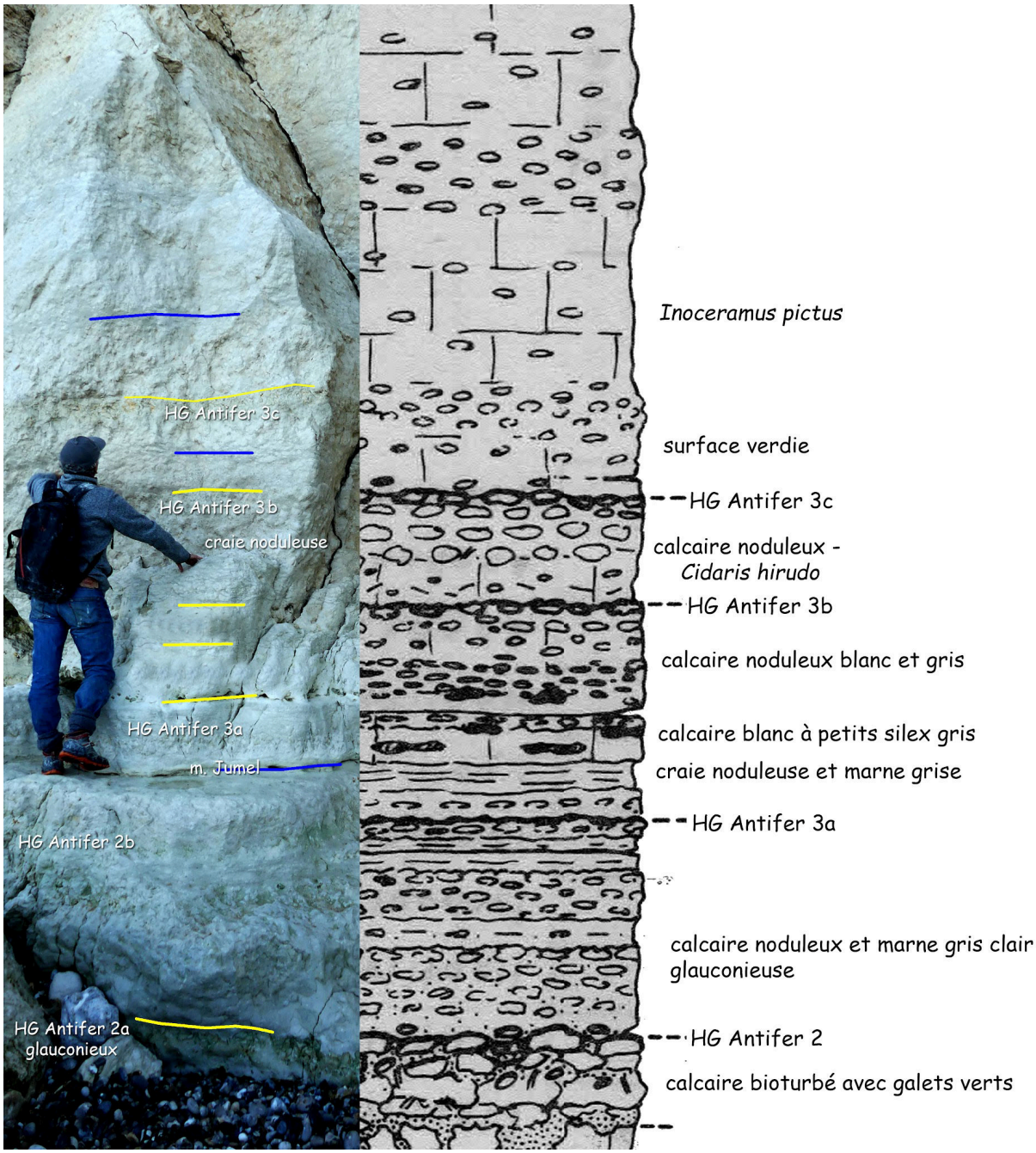


Fig. 191 - Les HGs Antifer et la base du Turonien : comparaison avec la coupe de JUIGNET (1974)

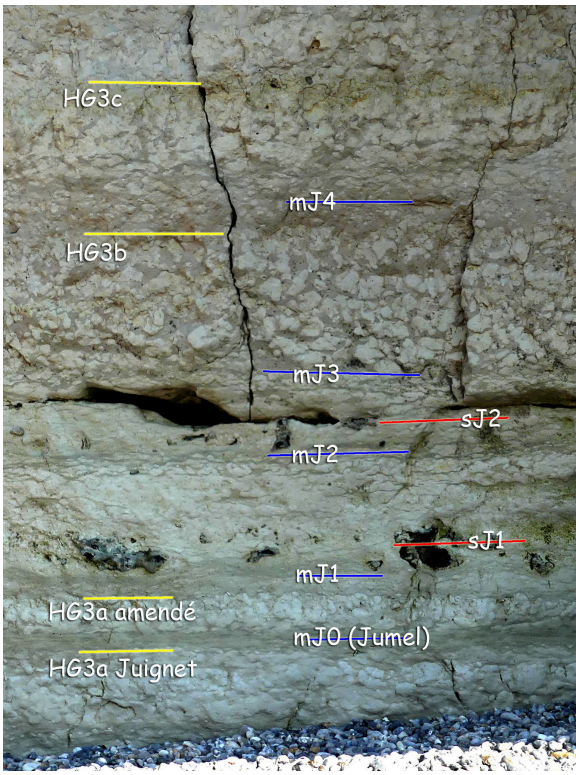


Fig. 192 - HGs Antifer supérieurs -

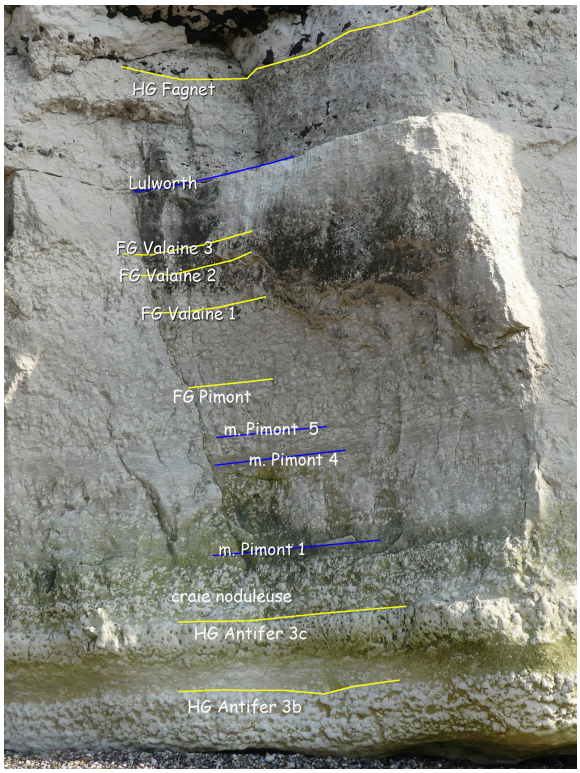


Fig. 193 - Intervalle T1 sur HGs Antifer

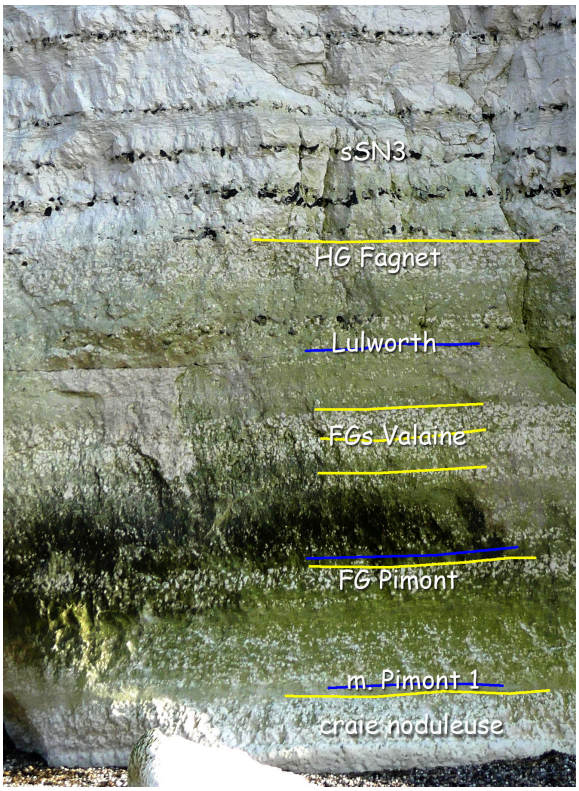


Fig. 194 - Intervalle T1

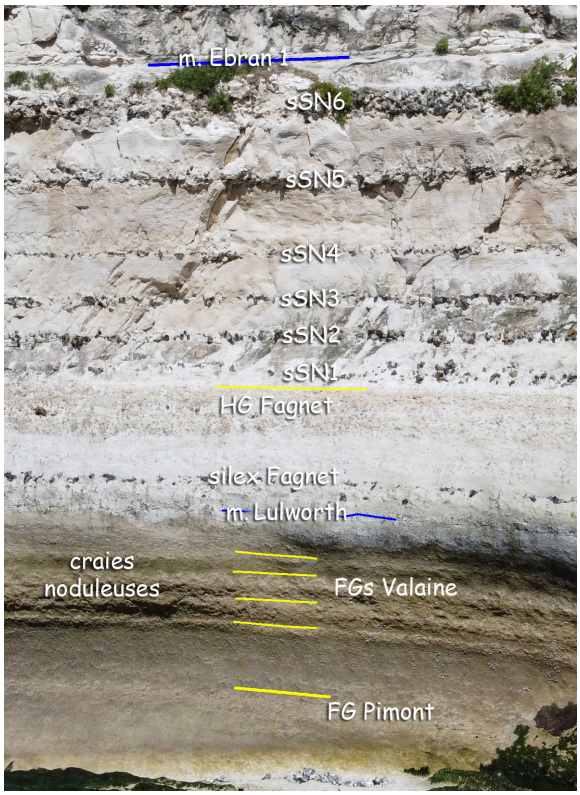


Fig. 195 - Intervalles T1 et T2

Intervalles T2 (*p.p.*) et T3 : du sommet du HG Fagnet à la marne Glynde 1

Un changement lithologique très net s'opère au sommet du HG Fagnet, justifiant la distinction faite par JUIGNET et BRETON (1994) de deux membres : membre de la "Craie du Cap Fagnet" au-dessous et membre de la "Craie du Val Saint-Nicolas" au-dessus. Les craies noduleuses passent à des craies tendres et lisses. À l'Est des éboulis de la Porte à la Reine, la surface lithifiée du HG Fagnet forme un platier net dégagé des craies tendres.
LASSEUR (2007) considère, dans sa séquence 4, que le membre de la "Craie du Cap Fagnet" correspond à une phase progradante et qu'une FS (Flooding Surface) se place au contact de la "Craie du Val Saint-Nicolas", soit au sommet du HG Fagnet. GALE (2026) met en équivalence le HG Fagnet et le HG Branscombe du Devon sur lequel les couches supérieures reposent en onlap. Il rappelle également d'autres cas internationaux où la hausse du niveau eustatique est avérée.

Cet ensemble composite mesure environ 13 mètres d'épaisseur et peut être scindé en 3 parties par deux marnes, une marne inférieure désignée ici marne Ebran 1 et un couple de marnes supérieures désignées marne Ebran 2 et marne Ebran 3.

a) **Partie inférieure** : **du sommet du HG Fagnet à la marne Ebran 1**
Épaisseur variant de 3 à 6 mètres
Cet ensemble de craie tendre est souligné par 6 niveaux de silex continus de type *Thalassinoides*, à coeur noir et cortex blanc, notés sSN1 à sSN6 (silex Saint-Nicolas). Le niveau sSN6 est dédoublé et les silex sont dispersés.
Deux niveaux discrets de marne à texture flaser apparaissent au-dessus des silex sSN3 et sSN5. Ils sont désignés *marne Heurt 1* et *marne Heurt 2*.
Lewesiceras peramplum a été observée au-dessous et au-dessus du silex sSN3, ainsi que des *Conulus*.
Les silex Saint-Nicolas peuvent être rapprochés des Glyndebourne Flints du Sussex (MORTIMORE & POMEROL, 1991), de l'île de Wight (MORTIMORE, 2010) ou ceux du Hertfordshire (GALE, 2023). Dans les séries plus profondes, ces silex sont absents ou très rares.
Hypothétiquement, la marne Ebran 1 peut être rapprochée de la marne Round Down.

b) **Partie médiane** : **de la marne Ebran 1 à la marne Ebran 3**
Épaisseur environ 1,7 mètre
Cette partie comporte le hardground Tilleul 0 défini par GALE (2019). Ce hardground est placé au sommet de sa zone de microcrinoïdes TuR7 (zone partiellement érodée). Il place également un niveau marneux au-dessus du HG Tilleul 0 (notre marne Ebran 2 ?) qu'il fait correspondre à la marne New Pit 1.
Le HG Tilleul 0, équivalent possible du HG Ogbourne (GALE, 2019) est composite. Il est fait d'une succession de 3 hardgrounds.
Dans chacun de ces 3 hardgrounds, on trouve un niveau de silex remanié (sE1, sE2, sE3). Le silex sE3 (ici désigné silex Ebran) est très bien conservé dans le secteur du Cap Fagnet, alors qu'il est remanié plus à l'Est, soulignant des courants érosifs.
Entre le HG Tilleul 0 et la marne Ebran 2 apparaît un niveau à petits silex type *Chondrites* mélangés à des petits silex anguleux (analogue à celui de la falaise

d'Amont à Étretat). Ces silex anguleux résultent probablement de la fragmentation et de la redistribution de silex préexistants.

c) **Partie supérieure : de la marne Ebran 3 à la marne Glynde 1**
Épaisseur environ 2 m
Cette partie comporte les hardgrounds Tilleul 1a, Tilleul 1b et Tilleul 2.
Le HG Tilleul 1b est le plus marqué, le mieux cimenté et il constitue la bordure de terrasses d'érosion différentielle. Comme le HG Tilleul 2, il est perforé de grosses galeries de fouissement, mais à la différence de ce dernier, celles-ci sont tapissées d'un enduit glauconieux. De fréquentes boules de pyrite sont incrustées à sa surface. La présence de pyrite suppose des apports en fer, des conditions réductrices et l'activité de bactéries sulfato-réductrices ($SO_4^{2-} + 2CH_2O \rightarrow H_2S + 2HCO_3^-$).
Les silex associés au HG Tilleul 1a sont disséminés. De gros silex cornus ou irréguliers se concentrent à la partie inférieure du HG Tilleul 1b.
Un niveau marneux net sépare les hardgrounds Tilleul 1 et 2.
Les HGs Tilleul 1 et 2 partagent les mêmes minéralisations que le HG Ogbourne.
GALE (2026) compare les domaines d'extension du HG Ogbourne en Angleterre et des HGs Tilleul en France. Il rappelle, comme nous le voyons à la suite, que les HGs Tilleul sont à peu près semblables de chaque côté de la faille de Fécamp. Cette faille ne semble donc pas avoir eu d'effet sur la sédimentation à cette époque. En revanche, dans la coupe la plus proche à l'Est, celle de Puys, il n'existe plus de trace de hardground type Tilleul. Entre les deux coupes se place la faille du Bray, se prolongeant en Angleterre par la zone faillée Portland-Wight. Au NW de l'île Wight s'étend la zone du HG Ogbourne. L'hypothèse de GALE est que l'accident profond Wight-Bray a été soumis à une brève période d'inversion tectonique, générée par la collision de l'Afrique du Nord et de l'Europe. Cette inversion aurait réactivé des reliefs et des escarpements qui, balayés par des courants, auraient été soumis à une forte érosion ou à une minéralisation superficielle (glauconie, phosphate).
Ainsi, la formation des hardgrounds Ogbourne / Tilleul résulterait de processus tectoniques plutôt qu'eustatiques.

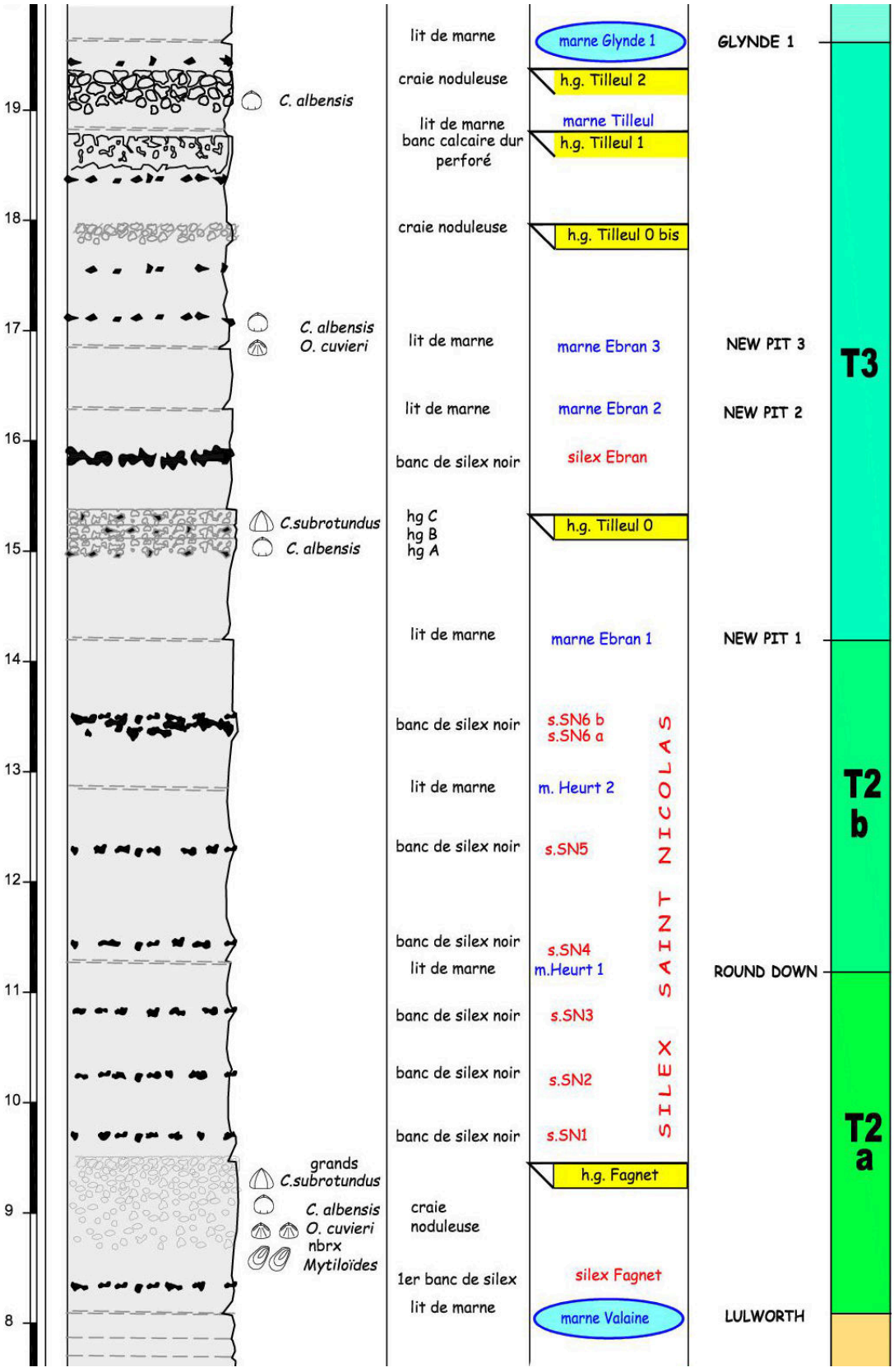


Fig. 196 - Log stratigraphique des intervalles T2-T3 (Lulworth-Glynde 1)

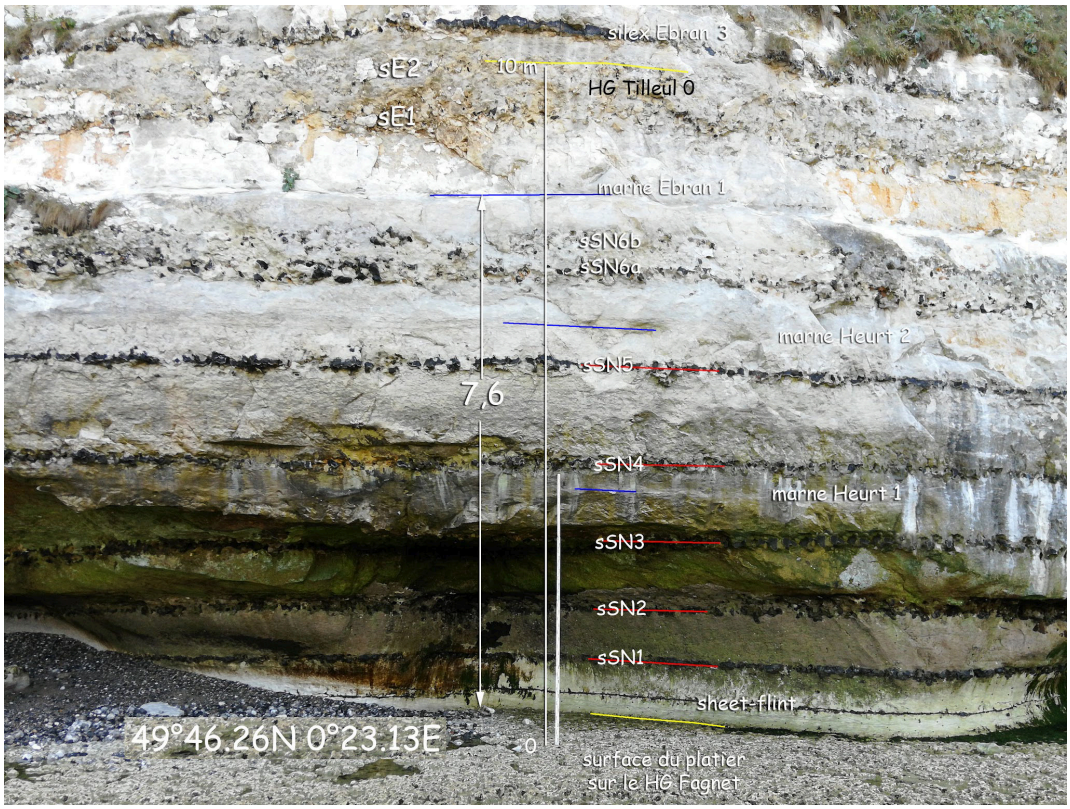


Fig. 197 - Les silex St. Nicolas, intervalle T2

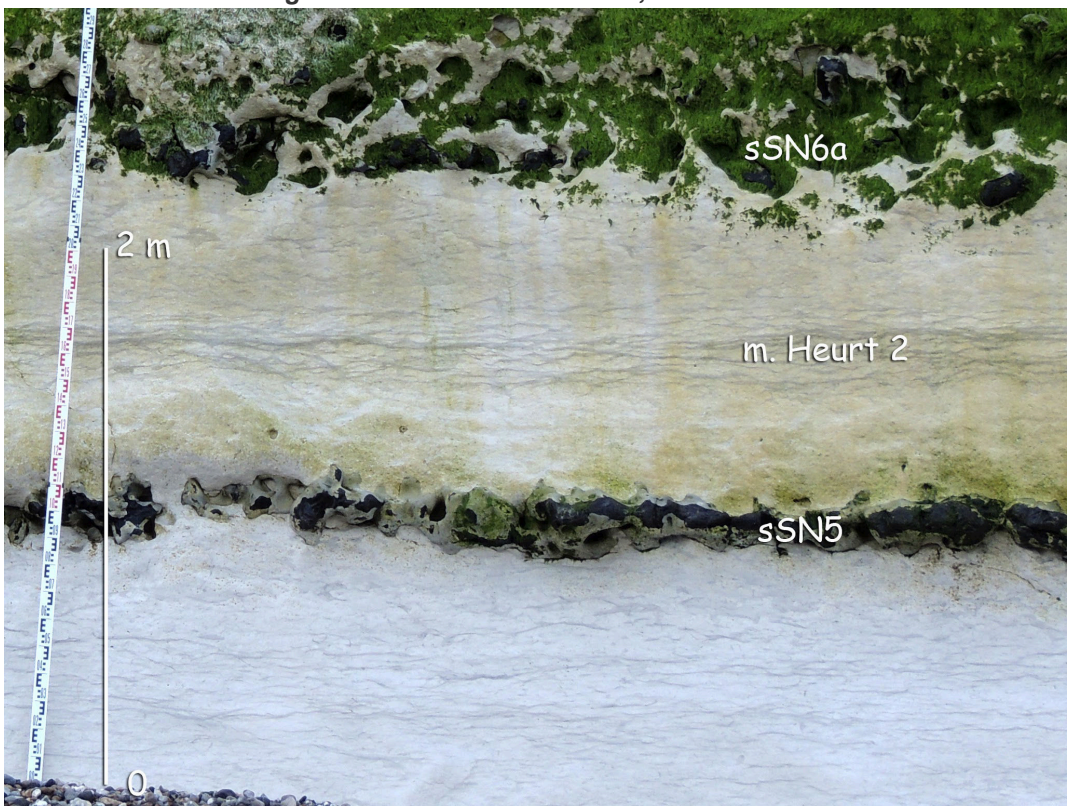


Fig. 198 - La marne Heurt 2 vers le sommet des silex St. Nicolas

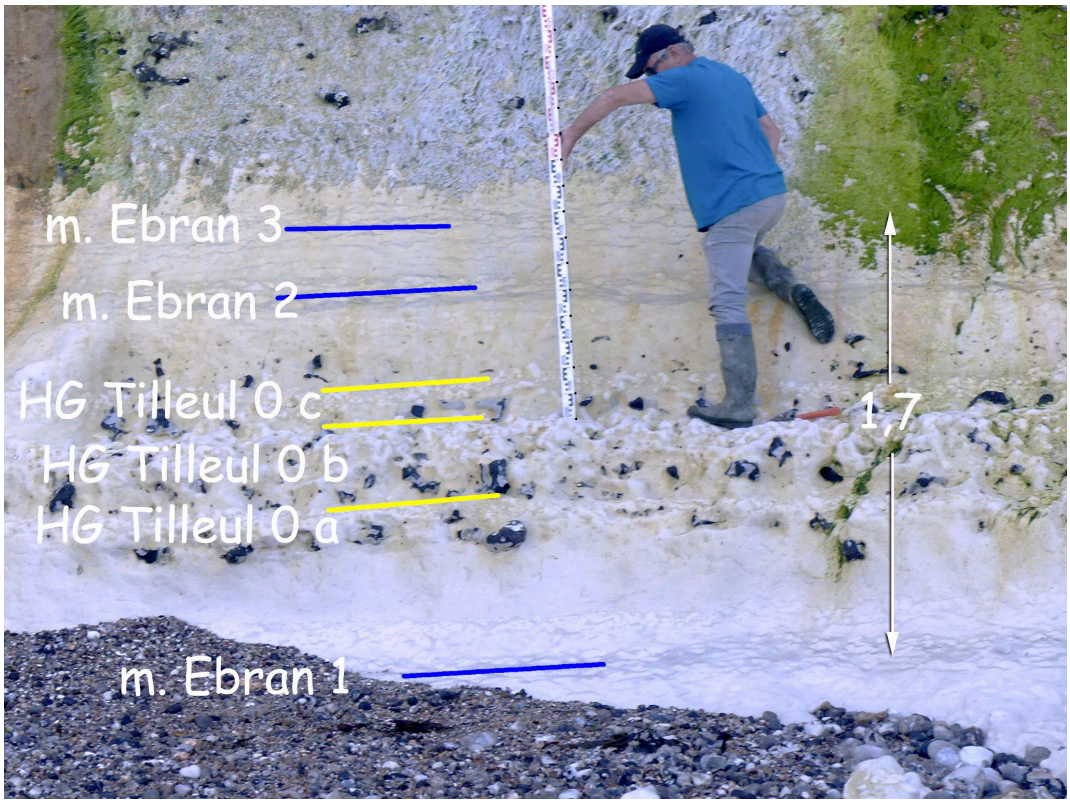


Fig. 199 - Le HG Tilleul 0 entre les marnes Ebran 1 et Ebran 2

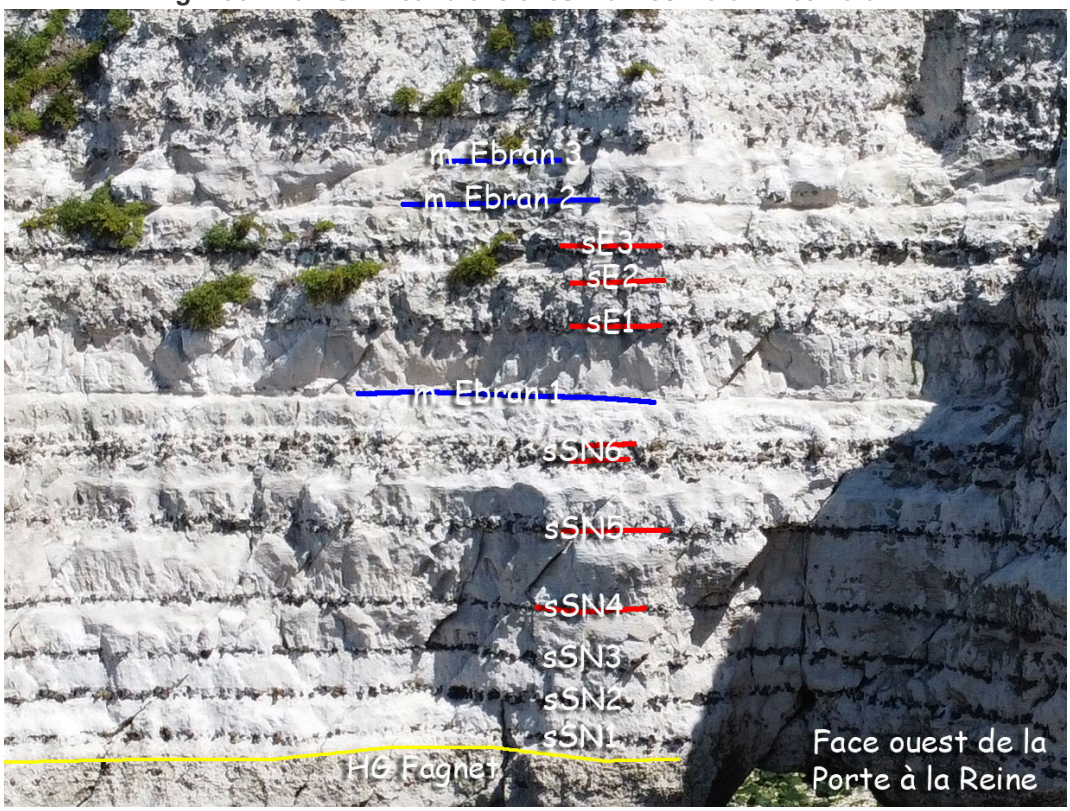


Fig. 200 - Silex Ebran 3 bien formé au Cap Fagnet



Fig. 201 - Les HGs Tilleul et le contact des intervalles T3 et T4

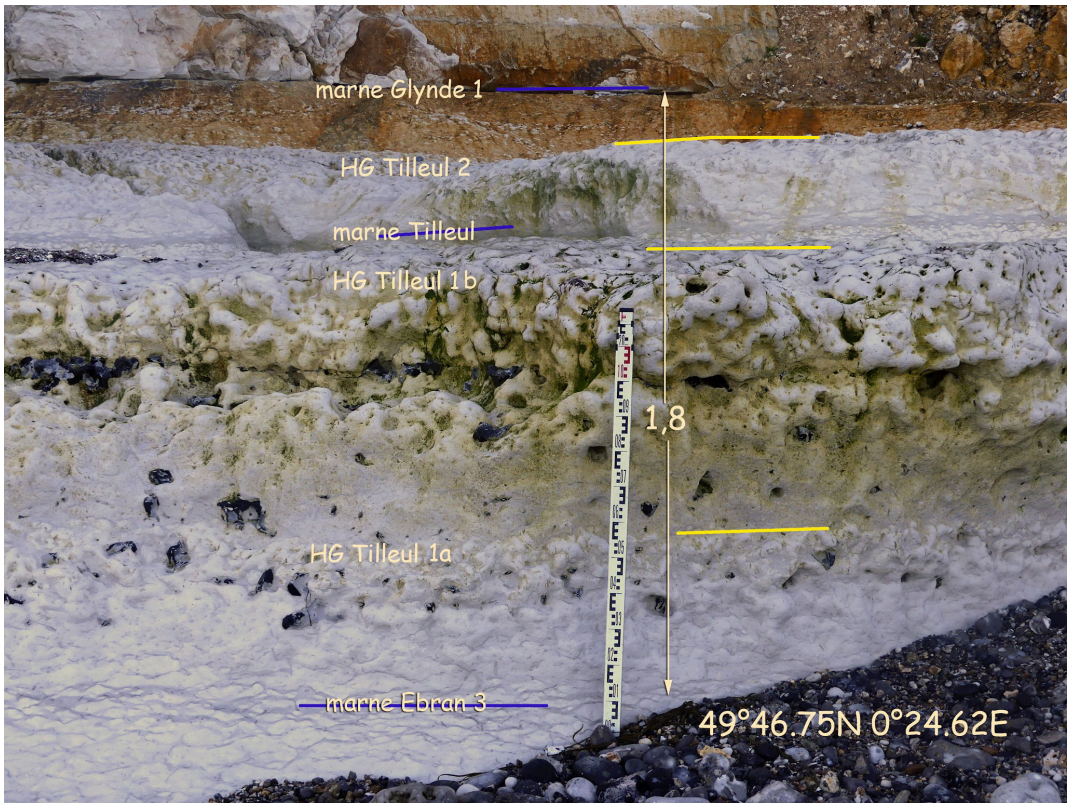


Fig. 202 - Les HGs Tilleul 1 et Tilleul 2

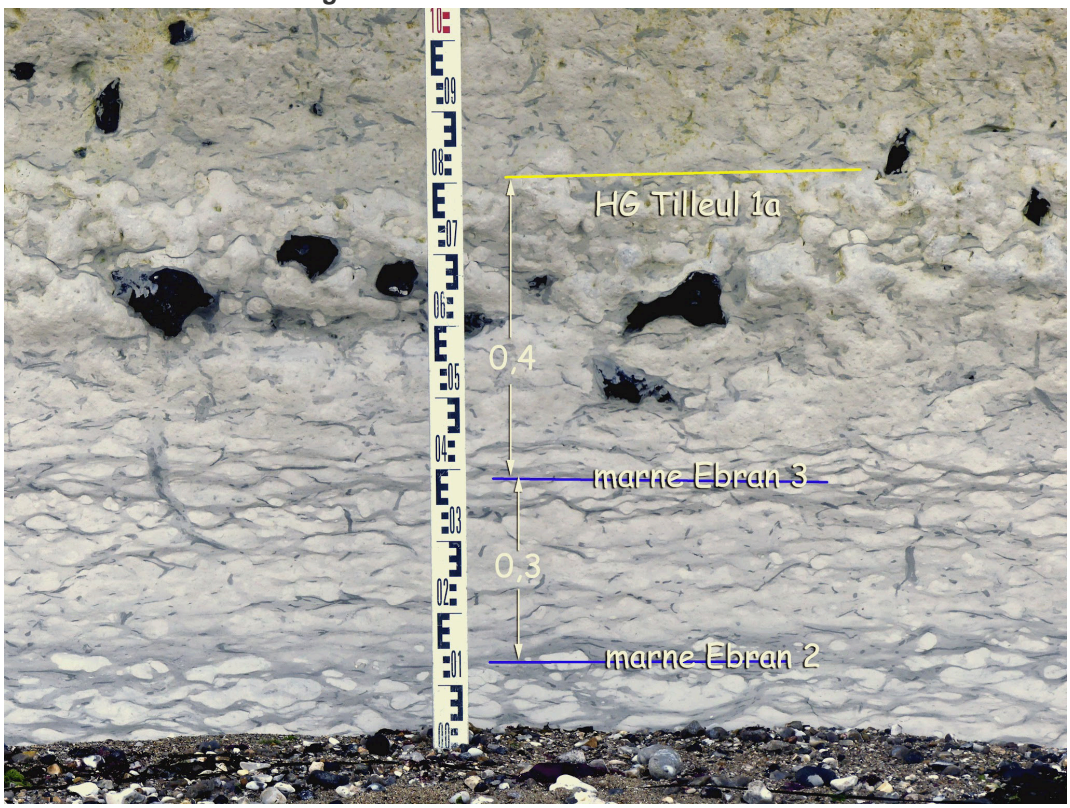


Fig. 203 - Les marnes Ebran 2 et 3 et le HG Tilleul 1a

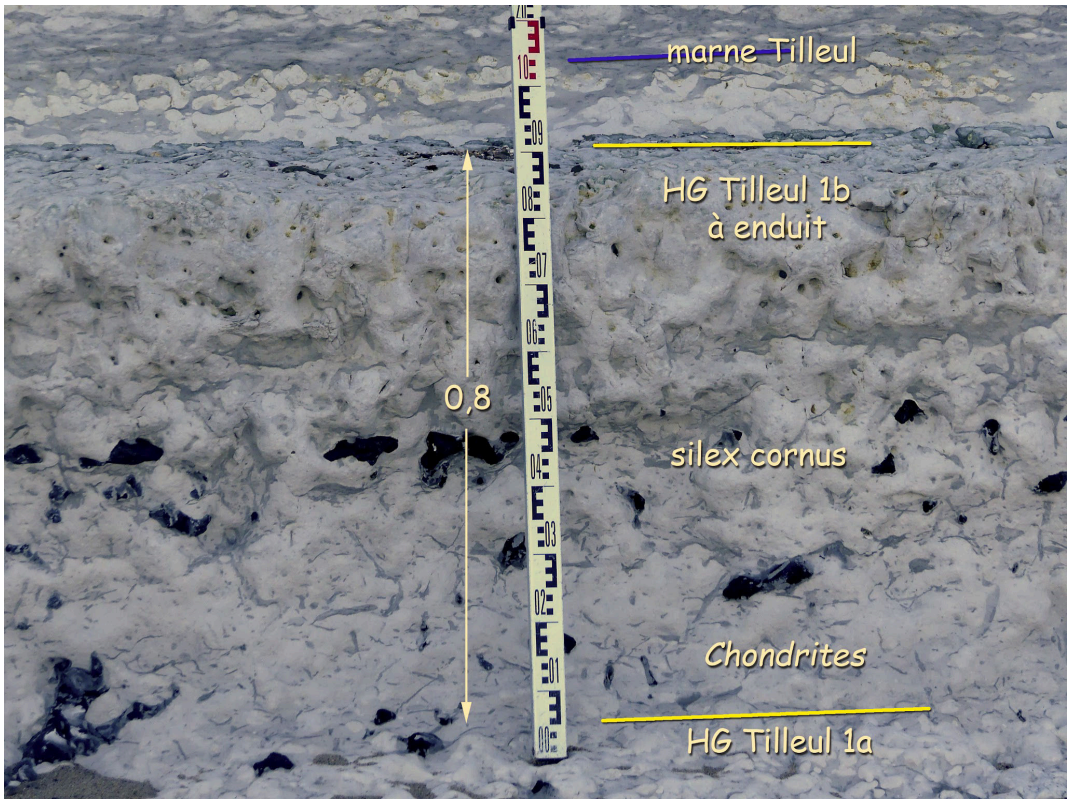


Fig. 204 - Les HGs Tilleul 1a et 1b

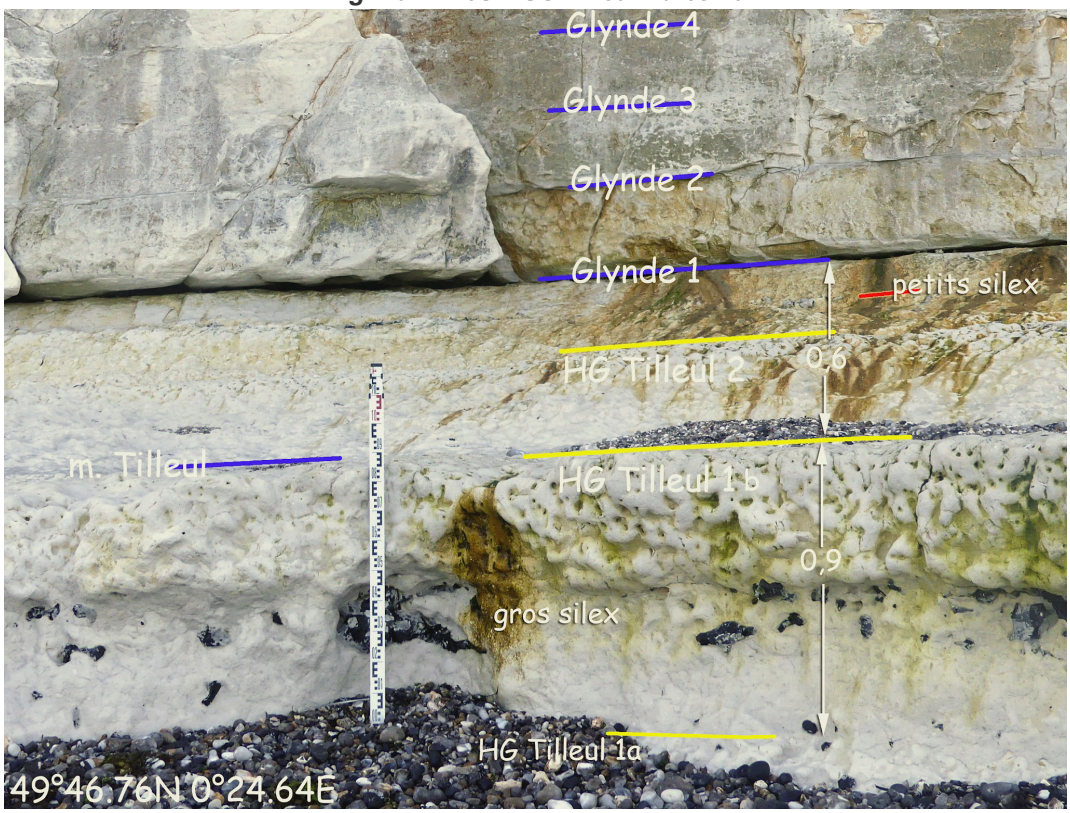


Fig. 205 - HGs Tilleul au sommet de l'intervalle T3 et base de l'intervalle T4

Intervalle T4 : de la marne Glynde 1 à la marne Southerham 1

Cet intervalle est particulièrement bien contraint par 2 niveaux marneux définis dans le Bassin Anglo-Parisien (ROBINSON, 1986; MORTIMORE & POMEROL, 1987). Sur la base de la géochimie des terres rares, WRAY (1999) attribue ces 2 marnes, la marne Glynde 1 et la marne Southerham 1, à des bentonites d'origine volcanique.
L'ensemble de l'intervalle peut être échantillonné sur un tronçon qui part d'environ 600 mètres à l'W du Val-de-la-Mer (ou valleuse de Senneville-sur-Fécamp) et qui aboutit à l'escalier du Val Ausson (ou valleuse d'Életot). On peut le subdiviser en 2 parties :

- **Une partie inférieure comportant les marnes Glynde**
  Épaisseur 3,3 m.
  A Senneville, on observe 6 niveaux de marnes, sensiblement équidistants, comme WRAY(1990, fig. A2.4) les a décrits à Puys (France), ainsi que dans le Sussex et dans le Kent. Il s'agit là d'un motif remarquable, avec la sixième marne relativement bien marquée.

  Les silex sont rares et généralement associés aux marnes.

  - silex mal formé au-dessus de la marne Glynde 1,
  - silex isolés et rares dans les marnes Glynde 3,
  - silex noduleux au-dessous de la marne Glynde 4,
  - silex bien formé, presque continu, dans la marne Glynde 5. Ce silex est désigné sG1.

- **Une partie supérieure** : **de la marne Glynde 6 à la marne Southerham**
  Épaisseur 6,9 m.
  Elle correspond exactement à la biozonation TuR10 de GALE (2019).
  Sur cette hauteur, les craies deviennent plus noduleuses. En particulier, au-dessus de la marne Glynde 6, sur un mètre d'épaisseur, elles constituent un hardground, dénommé ici *HG Val de la Mer*, pouvant correspondre au HG Pewsey phosphaté du Sussex (GALE, 1996), du HG Fognam Farm des Chilterns (GALE, 2019) ou du Spurious Chalk Rock de l'île de Wight (MORTIMORE, 2001). Mais d'autres amorces de hardground (notées HG VM2 à HG VM4) apparaissent à la suite.
  Plusieurs niveaux de silex sont présents (notés SG2 à sG6) :
  ● sG2, discontinu, est transformé en sheet-flint à l'intérieur du HG Val de la Mer;
  ● sG4 et sG5 sont des silex noduleux disséminés;
  ● sG3 forme un lit constant et bien marqué. Un des silex (sG3 ou sG4) correspond vraisemblablement au *silex Lydden Spout* de Douvres (GALE, 1996) et au silex Camp de César décrit ici dans la coupe de Puys;
  ● SG6, ou *silex Southerham* car on le trouve systématiquement sous la marne Southerham, est constitué de gros silex type *Thalassinoides*.

  En dehors des 6 marnes Glynde majeures, d'autres marnes mineures sont présentes dans l'intervalle, dont deux particulièrement marquées (mG10 et mG 12).

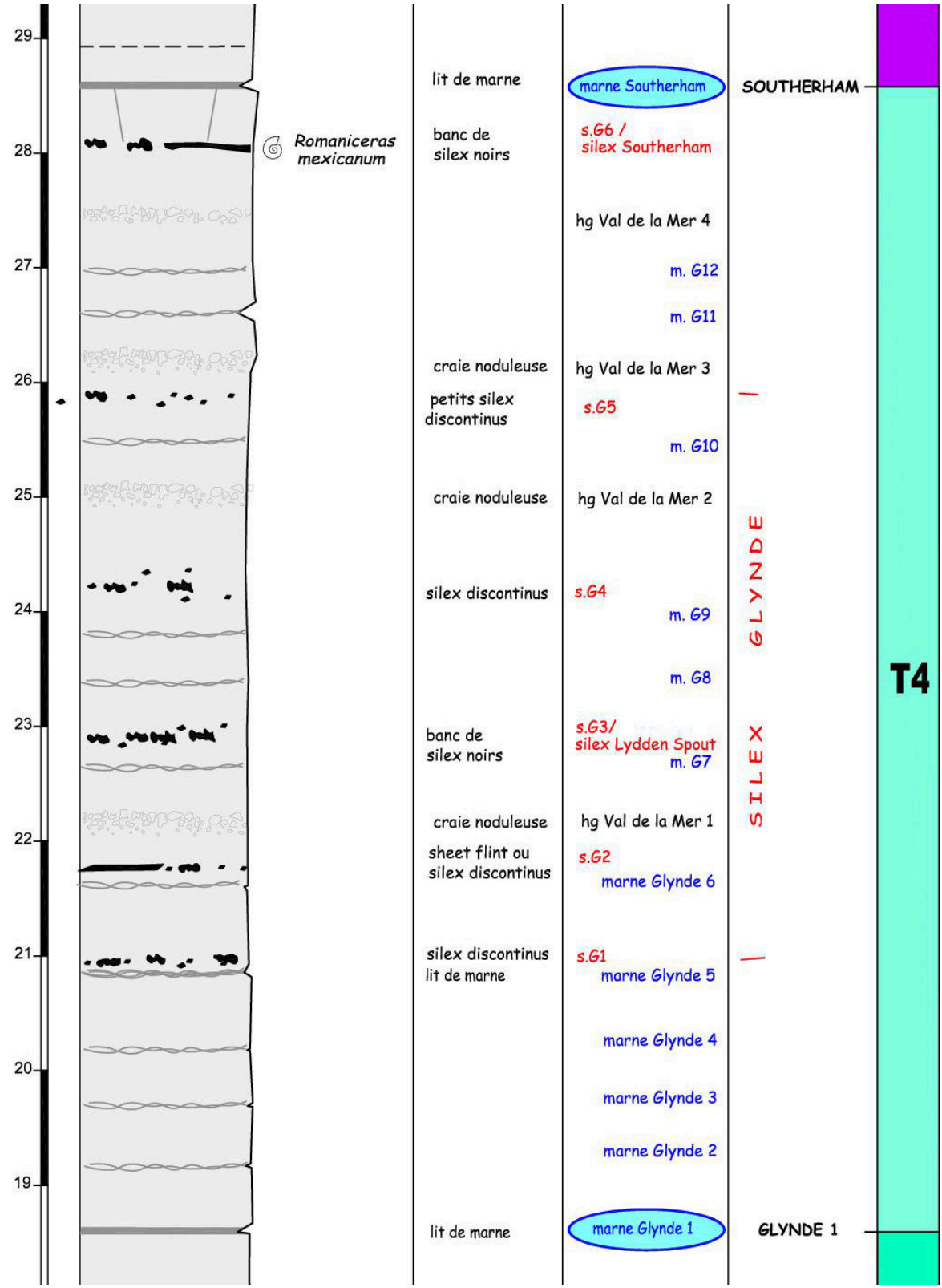


Fig. 206 - Log stratigraphique de l'intervalle T4 (Glynde 1 - Southerham)

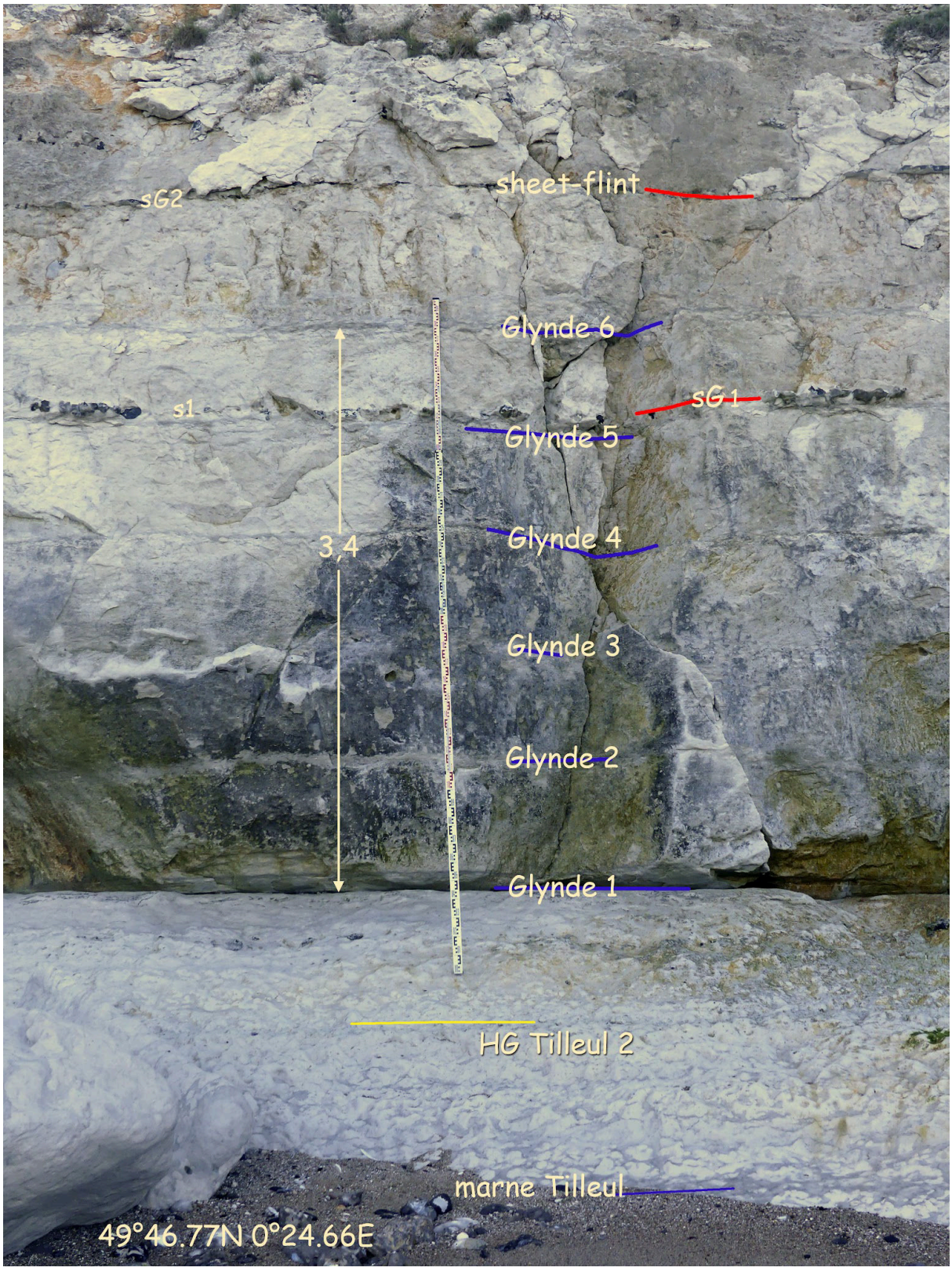


Fig. 207 - Les marnes Glynde et la base de l'intervalle T4

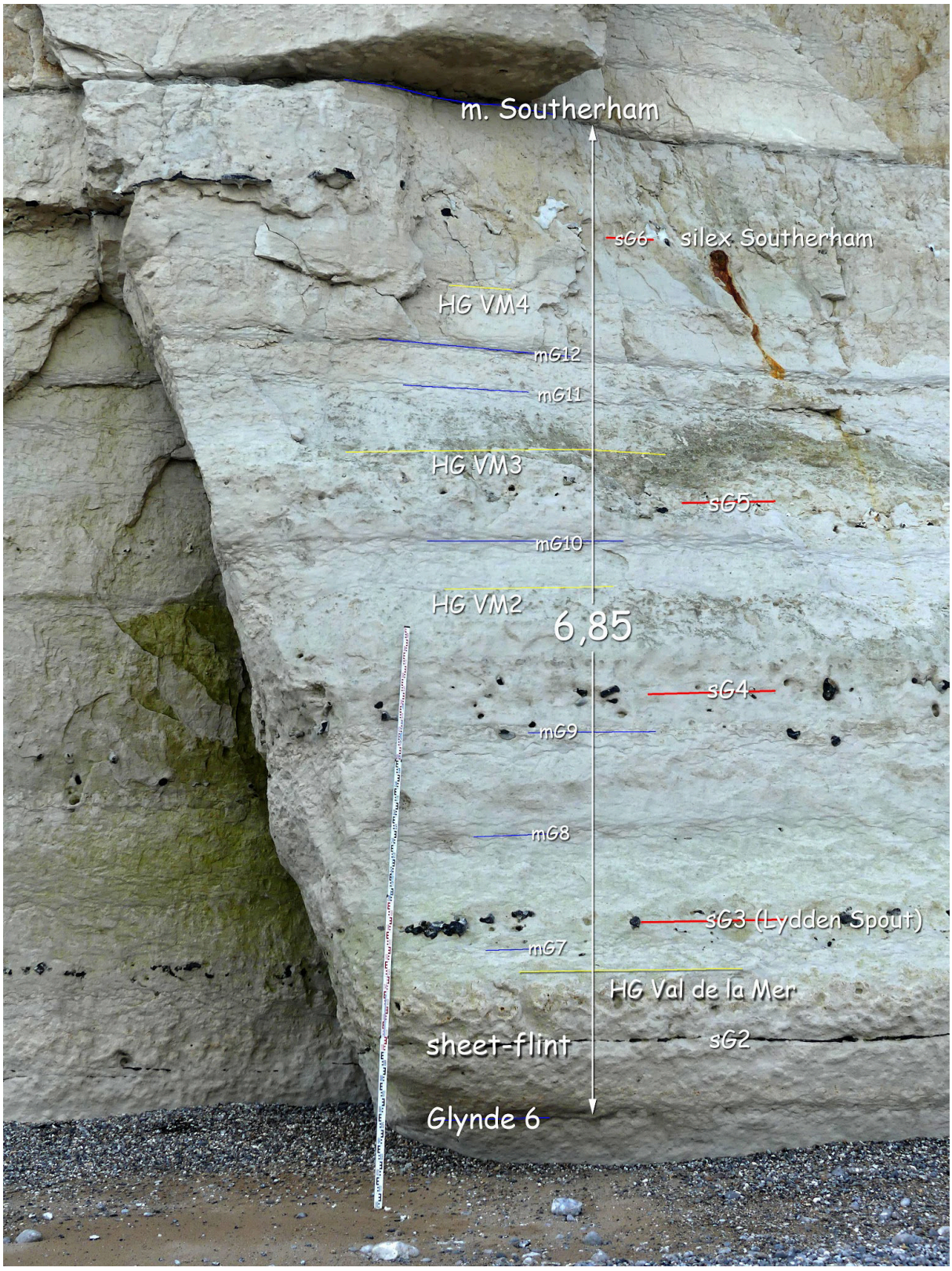


Fig. 208 - Partie supérieure de l'intervalle T4 avec les 4 niveaux de hardground Val de la Mer

Intervalle T5, T6, T7 *(p.p.)* : de la marne Southerham au sommet des HGs Senneville

Cet intervalle est bien délimité lithologiquement. A sa base, la bentonite Southerham est accessible entre le Val de la Mer et le Val Ausson (Életot). A son sommet, les hardgrounds Senneville forment un banc dur sombre dans la falaise qui s'affaisse à l'Est en provoquant une extension du platier (49°47.86'N, 0°27.22'E).
L'intervalle est divisé en deux parties :

a) Partie inférieure : de la marne Southerham à la base des hardgrounds Senneville

Épaisseur environ 6 mètres.
Elle est formée de craie plus ou moins noduleuse.
● La *bentonite Southerham 1*, à la base de l'intervalle, est un marqueur important reconnu dans tout le Bassin Anglo-Parisien (MORTIMORE & POMEROL, 1987). Son origine volcanique est étayée par la géochimie, en particulier l'anomalie en Ce et Eu (WRAY, 1990) et elle en conserve des minéraux primitifs (JUIGNET & BRETON, 1992). C'est une marne pleine (ou marne fermée) d'au moins 10 cm d'épaisseur induisant une coupure franche dans la falaise.
● Deux autres marnes à texture flaser s'observent à 0,9 et 1,5 m au-dessus. Notées ici marnes Southerham 2 et 3, la correspondance avec leurs homologues anglaises n'est pas assurée.
● Deux niveaux de craie noduleuse font suite. MORTIMORE et POMEROL (1987) y signalent la présence de *Micraster corbovis*, du type zone à *Lata*. Dans le niveau inférieur de craie noduleuse, les nodules sont recouverts d'une patine ferrugineuse. Chacun de ces niveaux de craie est recouvert par une marne :
- Au-dessus du niveau inférieur, une marne dénommée marne Hâbleville 1.
- Au-dessus du niveau supérieur, une marne dénommée marne Hâbleville 2.

● Des craies noduleuses moins marquées se déposent à la suite (au moins 4 rythmes élémentaires). Dans ces niveaux, MORTIMORE et POMEROL (1987) ont collecté *Orbirhynchia dispansa*.
● Un hardground franc couronne ces craies noduleuses. Il est dénommé ici HG Hâbleville. Collée à la face supérieure de ce hardground vient une marne parfois effacée, dénommée marne Senneville 1.
● Une marne franche permanente, ondulée, de faible épaisseur, se situe à environ 30 à 40 cm au-dessus du HG Hâbleville. Elle est ici désignée *marne Senneville 2*.

L'interprétation de la marne Senneville 2 n'est pas assurée. MORTIMORE et POMEROL (1987) la considèrent comme étant la marne Bridgewick 2 et KENNEDY & GALE (2015) comme la marne Caburn. Les arguments paléontologiques ne sont pas totalement discriminants; elle est ici assimilée à la marne Bridgewick 2.

b) Partie supérieure : les hardgrounds Senneville

Épaisseur cumulée d'environ 2,5 mètres.
Les *Hardgrounds Senneville* sont constitués d'une succession de hardgrounds.
Ce terme de hardgrounds Senneville a été défini par QUINE (1988). Il se substitue à celui de hardgrounds Életot de MORTIMORE et POMEROL (1987) qui a été abandonné depuis.

Classiquement, deux hardgrounds majeurs sont retenus par les auteurs, HG Senneville 1 et HG Senneville 2. En fait, ces hardgrounds sont composites. Le HG Senneville 1 peut être subdivisé en HGs Senneville 1a et 1b, de même que le HG Senneville 2 admet une différenciation en HG Senneville 2a et 2b, voire 2c parfois.
Le HG Senneville 1b et le HG Senneville 2a sont les mieux marqués avec une forte induration et la présence de perforations sinueuses de gros diamètre. Ils se distinguent l'un de l'autre par la couleur de leur enduit de surface :
● brun phosphaté pour le HG Senneville 1b,
● vert glauconieux pour le HG Senneville 2a.
Dans certains cas, les HGs Senneville 1 et 2 sont coalescents. Mais ils peuvent parfois se séparer (jusqu'à 80 cm) laissant entre eux une craie tendre à gros silex.

Les HGs Senneville sont assez riches en macrofaune, notamment en ammonites. Il nous faut souligner ici des discordances d'interprétation avec deux publications : JUIGNET & BRETON (1994) et KENNEDY & GALE (2015a). Dans celles-ci, le HG Senneville 2 y est présenté comme le plus fossilifère. Au contraire, nos propres récoltes conduisent à la conclusion que c'est le HG Senneville 1 qui fournit le plus de faune.

Pour JUIGNET & BRETON (1994) :
HG Senneville 1 : *Lewesiceras peramplum*, *Anisoceras* sp.,
HG Senneville 2 : *Subprionocyclus neptuni*, *Lewesiceras mantelli*, *Scaphites geinitzii*, *Hyphantoceras reussianum*, *D. saxonicum*.

Pour KENNEDY & GALE (2015a) :
Ces ammonites proviennent du HG Senneville 2 : *Lewesiceras mantelli*, *Sciponoceras bohemicum bohemicum*, *Hyphantoceras reussianum*, *Mesopuzosia mobergi*, *Lewesiceras woodi*, *Subprionocyclus hitchinensis*, *Subprionocyclus branneri*, *Subprionocyclus normalis*, *Allocrioceras nodiger*, *Allocrioceras billinghursti*, *Scaphites geinitzii*.

Nous avons récolté :
● HG Senneville 1 : *Hyphantoceras reussianum, Scaphites geinitzii, Lewesiceras mantelli, Mesopuzosia mobergi,* accompagnées d'Échinides *(Gauthieria radiata, Micraster leskei),* de Brachiopodes *(Gibbithyris semiglobosa, Woodwardirhynchia cuneiformis, Cretirhynchia minor, Orbirhynchia reedensis).*
● HG Senneville 2 : *Allocrioceras* sp.

Cet ensemble de faunes d'ammonites est typique d'un événement biostratigraphique bien reconnu, l'"événement *Hyphantoceras*" à la partie supérieure de la zone à *Subprionocyclus neptuni*. Au-dessus, la récolte d'ammonites devient rare et même rarissime pour les ammonites de zone. Selon nous, l'ensemble HGs Senneville est composite et seul le HG Senneville 1 représenterait l'événement *Hyphantoceras.*
Globalement, cet événement biologique est associé à un événement isotopique lourd du ^{13}C, le plus important de tout le Turonien. Aucune analyse n'ayant été faite dans cette partie du littoral, cette assertion n'a pu être vérifiée.
Cet événement est également interprété (JARVIS *et al*., 2015) comme un épisode de refroidissement (phase III de WIESE & VOIGT, 2002), voire même par certains comme un épisode de reglaciation polaire au cours d'un étage Turonien particulièrement chaud.

L'ensemble des hardgrounds Senneville est à intégrer dans le "*Chalk Rock*", largement représenté dans le Sud de l'Angleterre, une formation fortement lithifiée, minéralisée et condensée. Ce "*Chalk Rock*" comporte une suite de hardgrounds dont le plus élevé est le *Hardground Hitch Wood* fournissant la même faune que celle qui vient d'être décrite. Dans les parties plus profondes du bassin, ces hardgrounds passent à des craies alternativement noduleuses ou tendres, beaucoup plus épaisses, au sein desquelles les niveaux marneux, et plus spécifiquement les bentonites, sont préservés.

Dans certaines régions d'Angleterre où le Turonien est fortement condensé, le hardground le plus bas du Chalk Rock est le HG Ogbourne. En suivant ce hardground dans l'Angleterre méridionale et en Normandie, GALE (2019) a montré qu'il constituait une discontinuité stratigraphique majeure, pour laquelle l'érosion/condensation pouvait atteindre la marne Round Down (alias Malling Street de MORTIMORE) du Turonien inférieur. En Normandie, les 3 hardgrounds Tilleul correspondent au HG Ogbourne. La sédimentation post-Tilleul a été respectée ensuite pour une partie du Turonien moyen et du Turonien supérieur.

Selon cet auteur, les HGs Ogbourne et Hitch Wood seraient la conséquence eustatique de deux cycles d'excentricité E_{405ka} (LASKAR, 2020; HUANG, 2018) ayant des effets sédimentaires majeurs :

- le début du cycle E227,
- le début du cycle E223.

Ces cycles sont, tous les deux, situés à des minima d'excentricité. Les 3 cycles intermédiaires seraient marqués par des hardgrounds de moindre importance (HGs Pewsey, Fognam Farm et Blounts Farm).

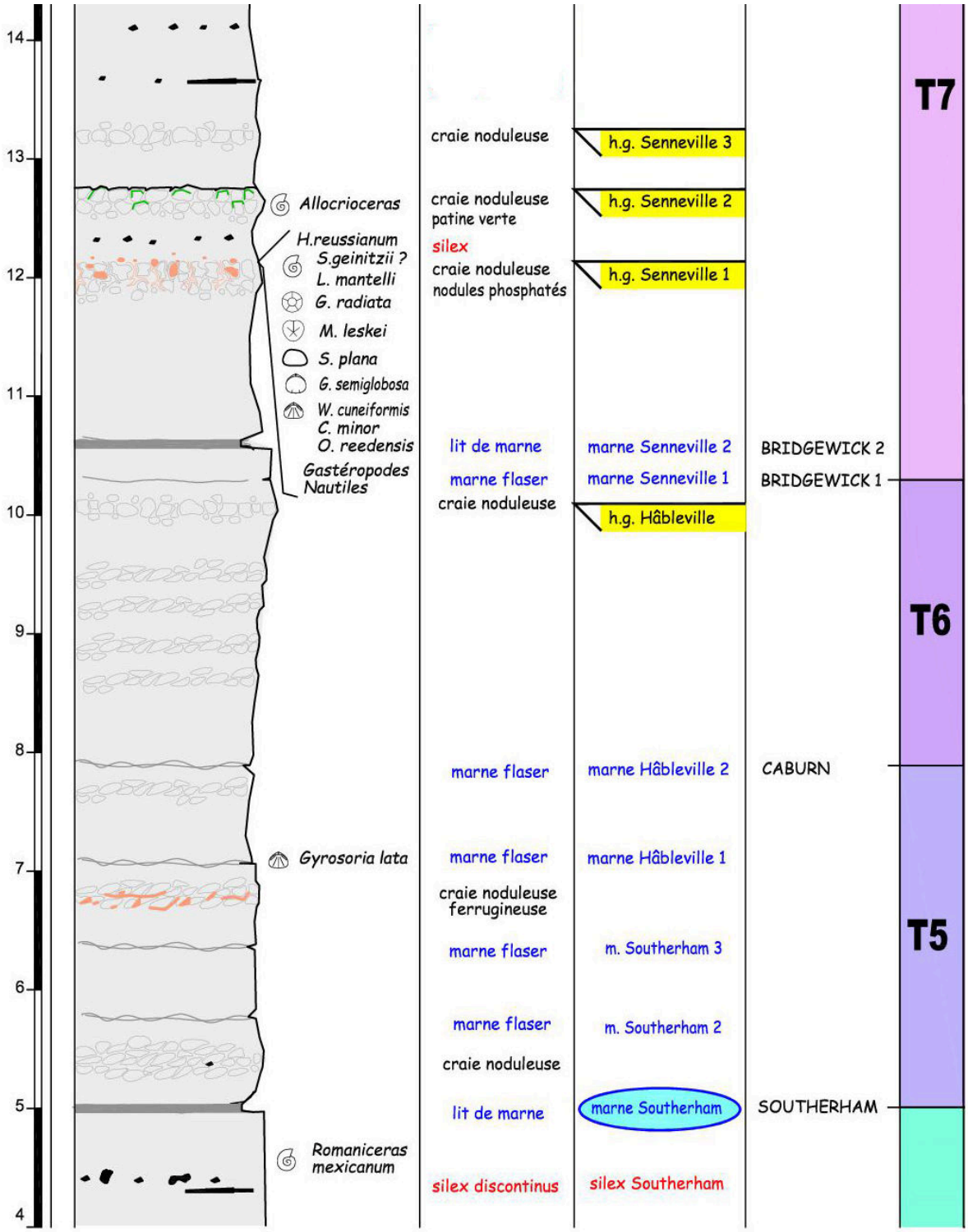


Fig. 209 - Log stratigraphique entre la marne Southerham et les HGs Senneville

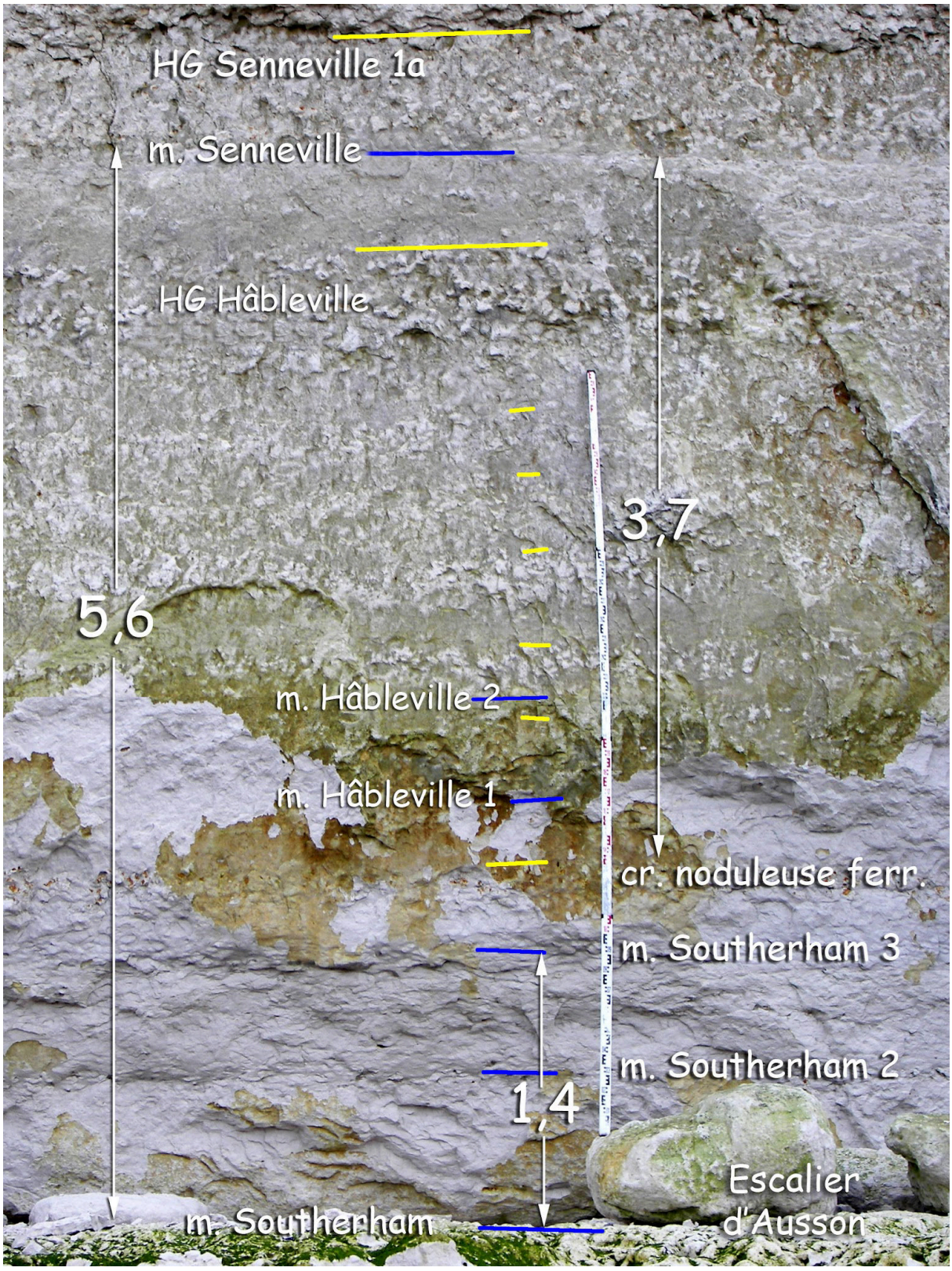


Fig. 210 - Intervalle entre la marne Southerham et les HGs Senneville, à l'escalier d'Ausson

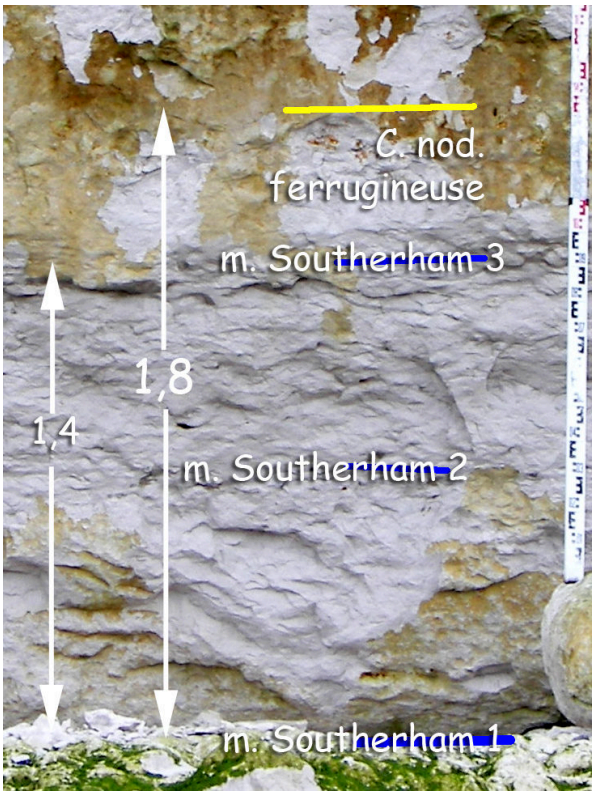


Fig. 211 - Base de l'intervalle T5

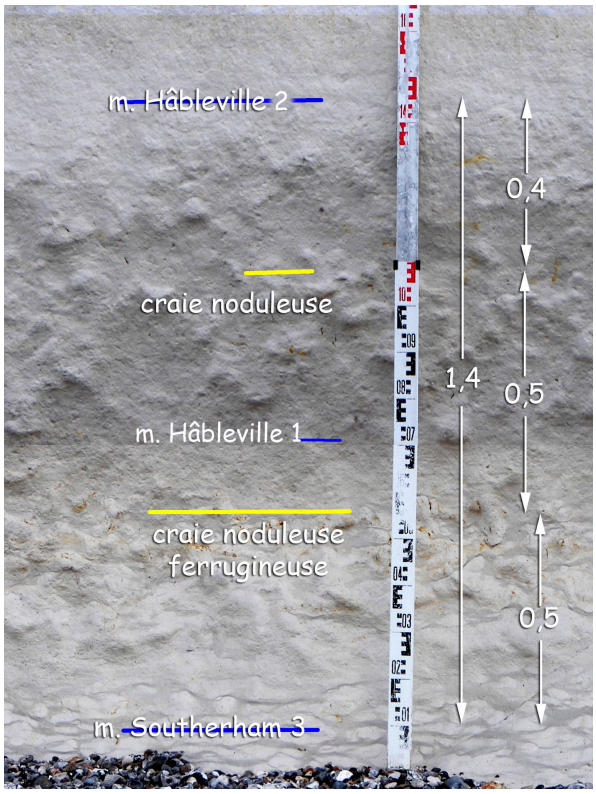


Fig. 212 - Partie médiane de T5

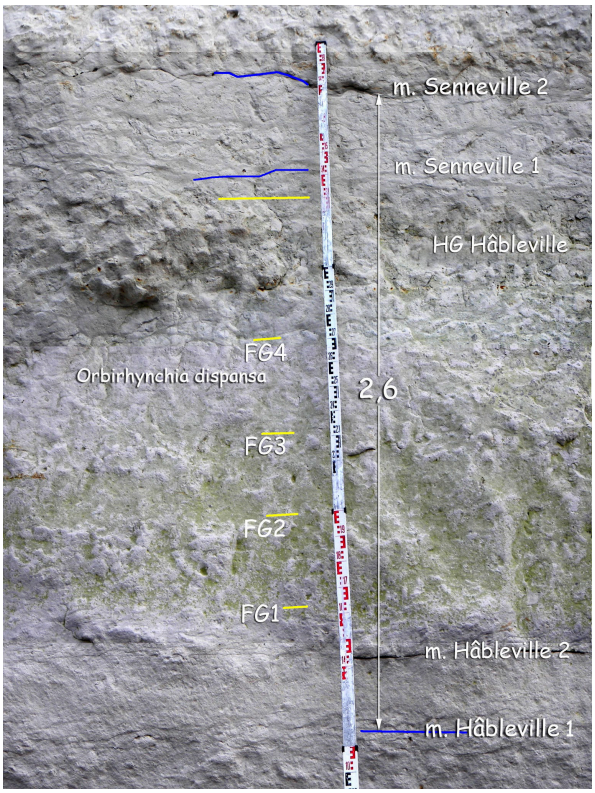


Fig. 213 - Entre m. Hâbleville et Senneville

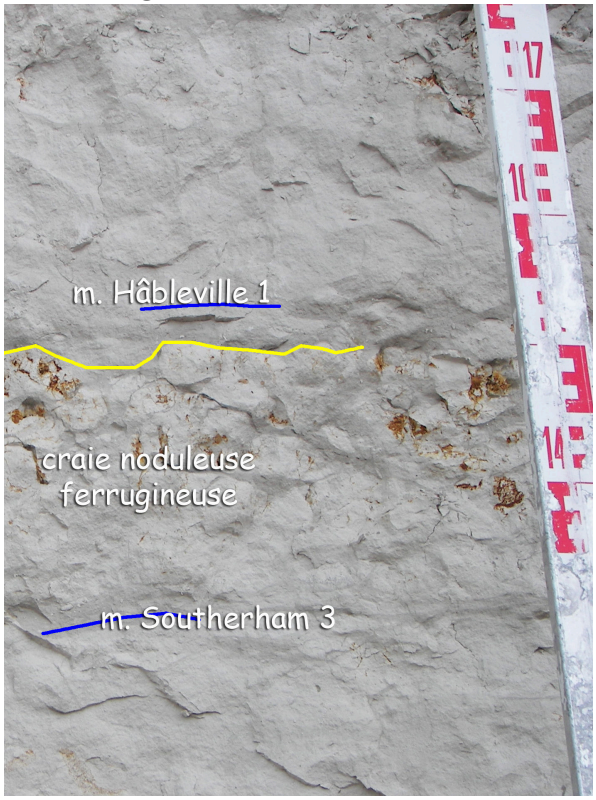


Fig. 214 - Craie noduleuse ferrugineuse

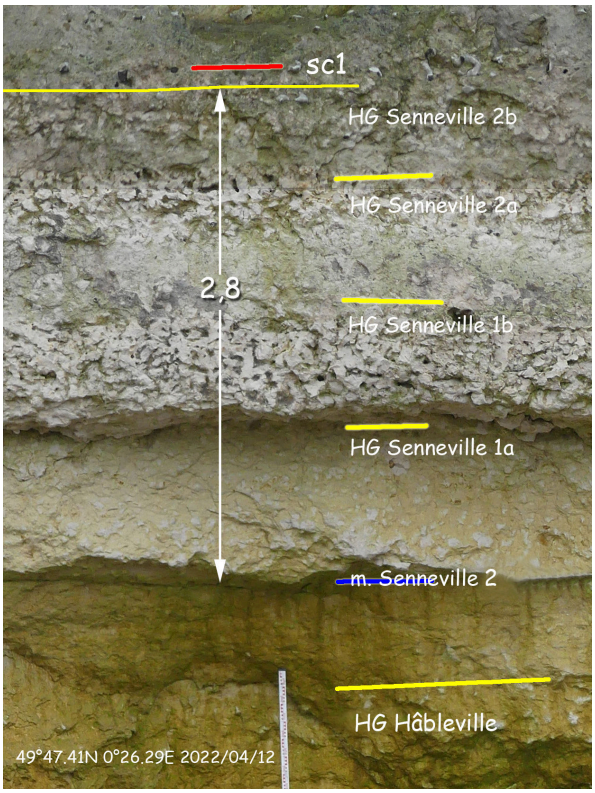


Fig. 215 - Hardgrounds Senneville

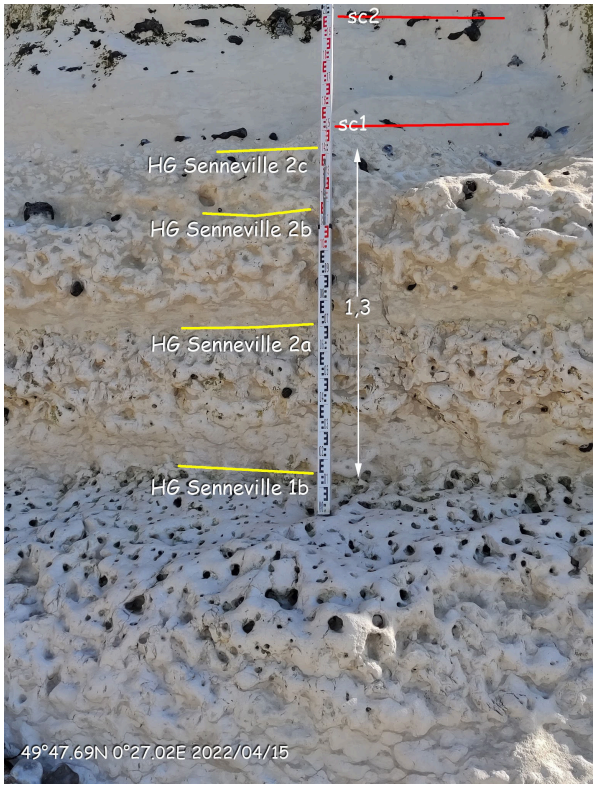


Fig. 216 - Hardgrounds Senneville

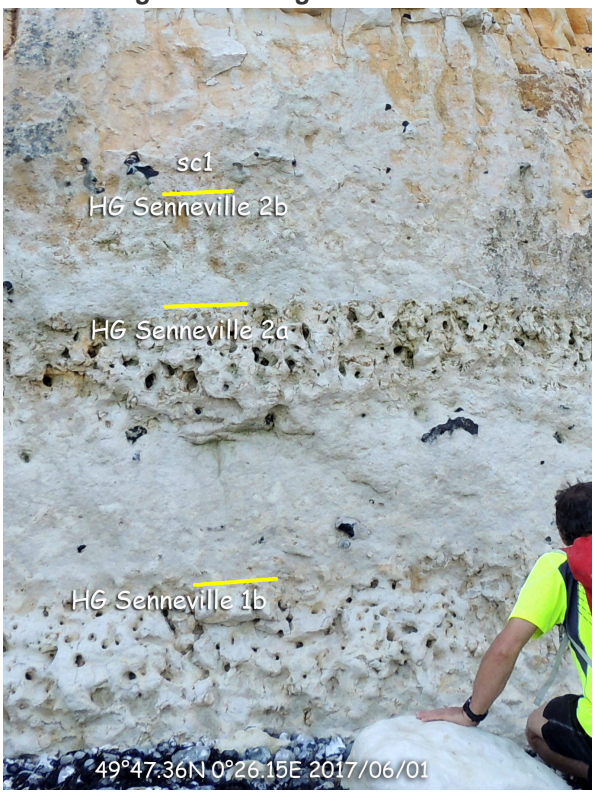


Fig. 217 - HGs Senneville dissociés

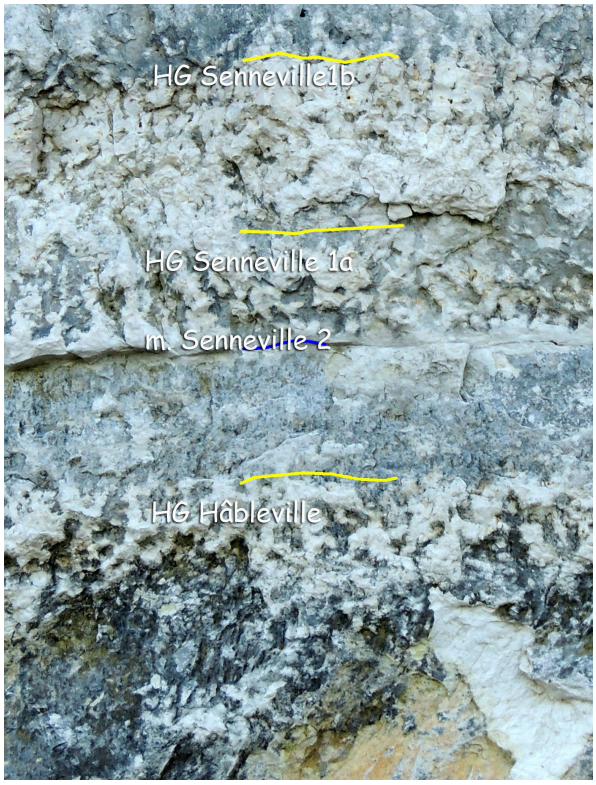


Fig. 218 - Marne Senneville 2

Intervalle T7 *(p.p.)* : du sommet du HG Senneville à la marne Lewes

La base de cet intervalle est bien délimitée sur le terrain par le contact avec un hardground franc. Le sommet peut être parfois problématique car la bentonite Lewes est diversement conservée. Ainsi, à mi-chemin entre l'escalier d'Ausson et la valleuse de Saint-Pierre-en-Port (49°47.91N, 0°27.60E), la base de la falaise montre une belle marne fermée d'une dizaine de centimètres d'épaisseur. Vers l'ouest, elle s'amenuise et se réduit à un simple joint que l'on peut encore toucher dans les panneaux éboulés (par exemple, celui du Chien-Neuf). Vers l'Est, elle reste bien caractérisée sur le platier jusqu'à Est de la plage des Petites Dalles.
L'intervalle peut atteindre 8,3 mètres d'épaisseur.
D'après la forme des silex, il est subdivisé en 3 parties :

a) **Partie inférieure** : **les *silex cornus***
Épaisseur : 4,5 m.
Craie à lits de silex isolés, généralement hérissés de cornes. Seuls 4 niveaux (sc1 à sc4) gardent une disposition stratifiée. Dans la portion médiane, les silex sont désorganisés et remaniés au sein de 2 niveaux de craie noduleuse (craie noduleuse Vigneaux 1 et 2).

b) **Partie médiane** : **les *silex tabulaires***
Épaisseur : 1,6 m.
Craie comportant 3 niveaux principaux (st1 à st3) de silex semi-continus épais (environ 20 cm) noirs. Par endroits, un quatrième silex isolé (st2') vient s'intercaler. Les paramoudras verticaux sont communs. Ces silex constitueraient un ensemble plus complet de silex tabulaires *Thalassinoides* type Breaky Bottom préservés du remaniement dans la partie supérieure suivante. Ils appartiennent aux Kingston Beds de MORTIMORE. Ces silex tabulaires, bien représentés ici à Életot, comme à Lewes en Angleterre, sont plus réduits dans les séries plus profondes plus à l'Est.

c) **Partie supérieure** : **les *silex tubiformes***
Épaisseur : 2,4 m.
Craie à silex dispersés dont une proportion de silex cylindriques creux (principalement vers le sommet). Seul un niveau de silex garde un aspect stratifié. Il est assimilé au silex Breaky Bottom/ Anis Knob du Sud de l'Angleterre. Sous ce silex, une brèche à gros éléments de craie témoigne de forts remaniements par des courants.
Les silex tubiformes sont assez caractéristiques des silex Lewes inférieurs (par rapport à la marne Lewes). On les retrouve également à Puys ou à Criel. Par contre, le groupe de plusieurs silex tabulaires est spécifique à la région de Fécamp.

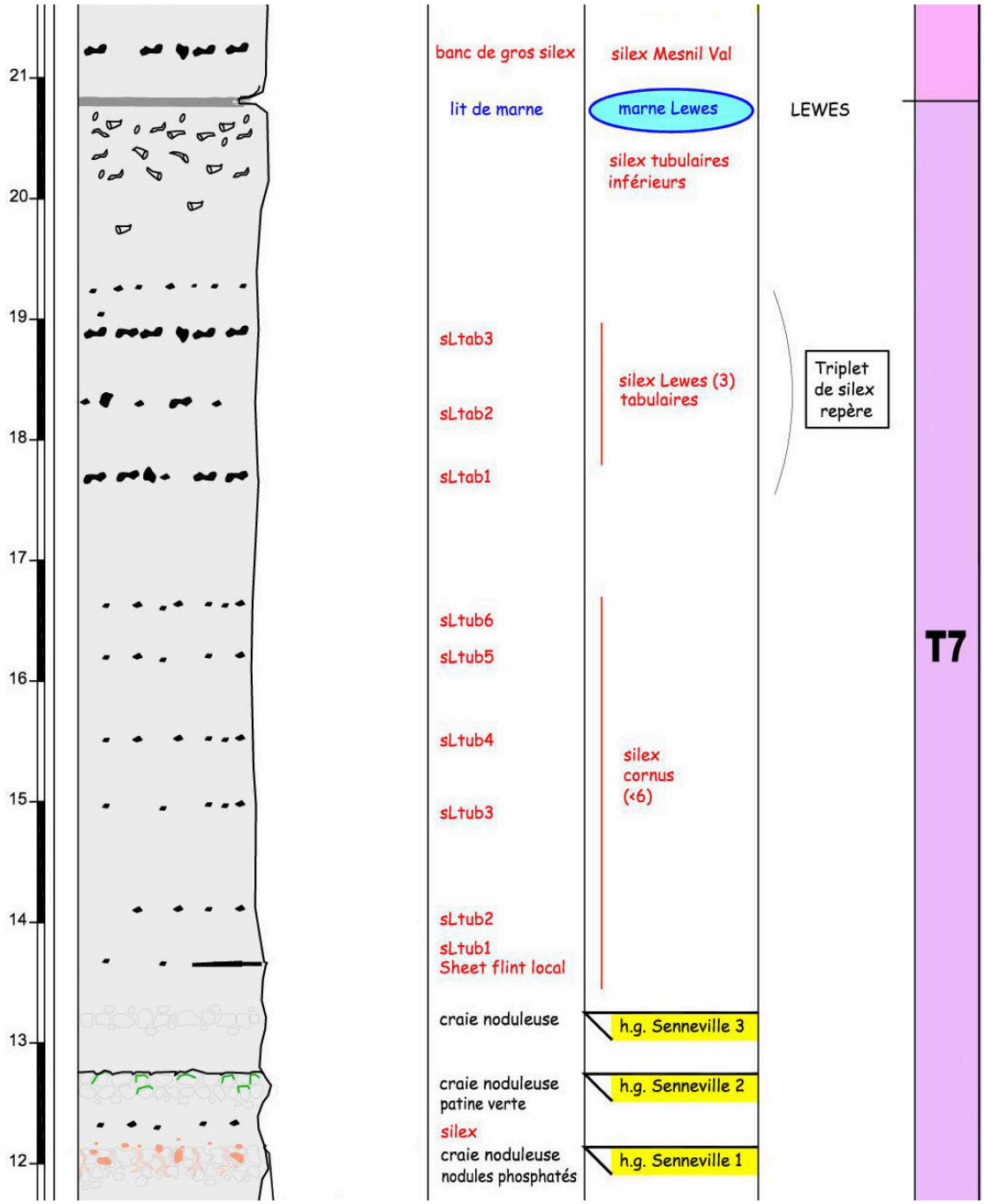


Fig. 219 - Intervalle T7 au-dessus des HGs Senneville

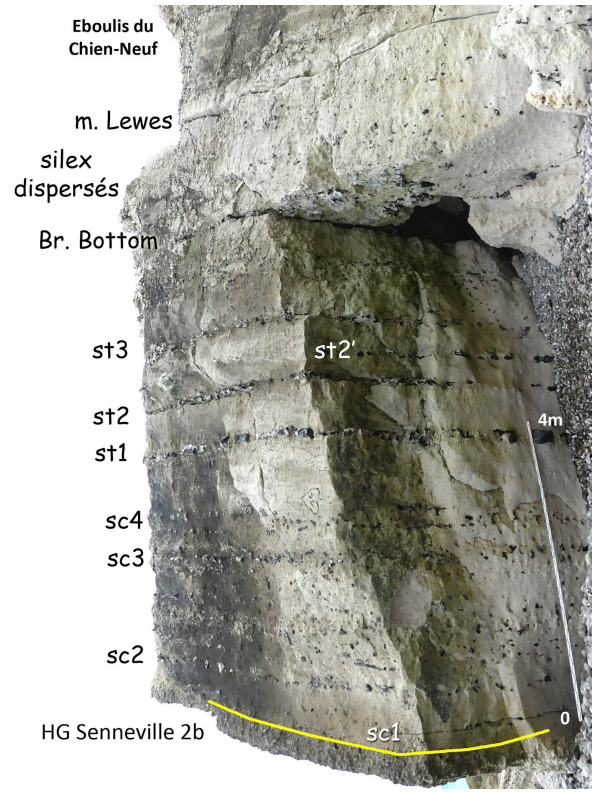


Fig. 220 - Intervalle T7

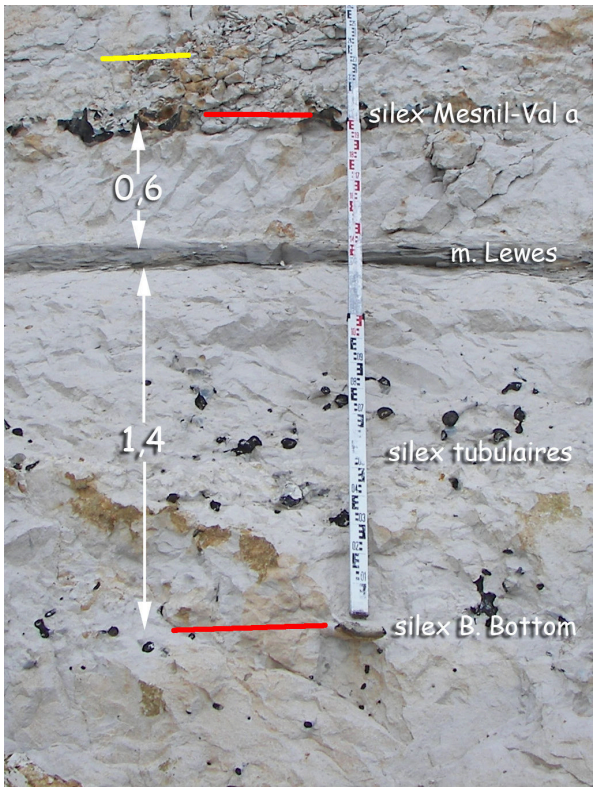


Fig. 221 - Sommet de l'intervalle T7

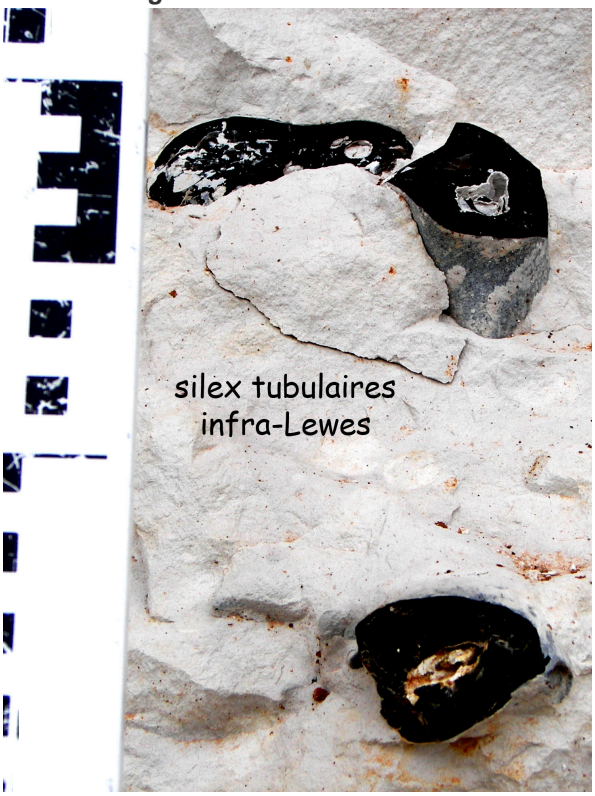


Fig. 222 - Silex tubiformes

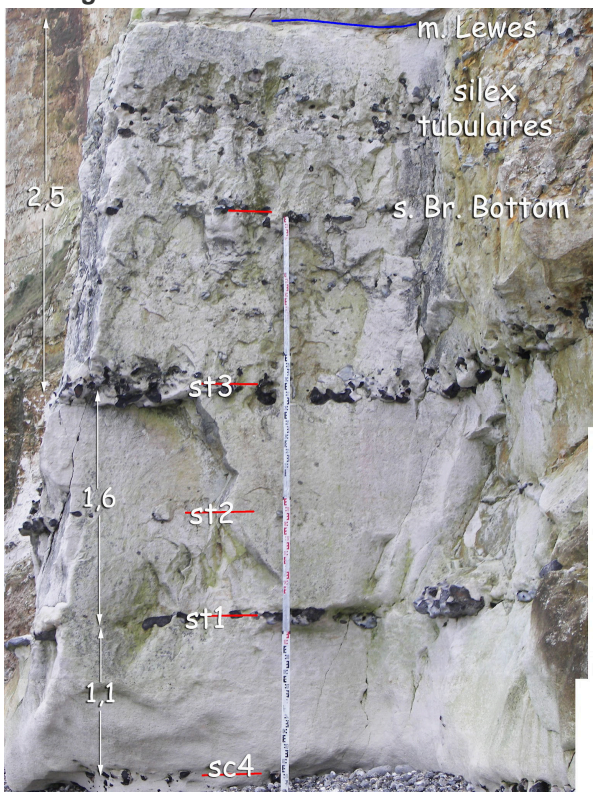


Fig. 223 - Silex tabulaires et silex tubiformes

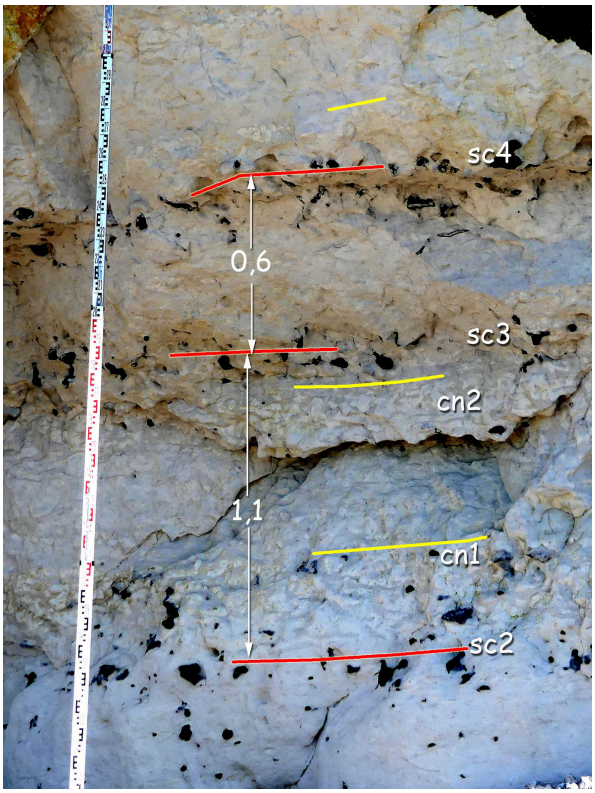


Fig. 224 - Silex cornus supra-Senneville

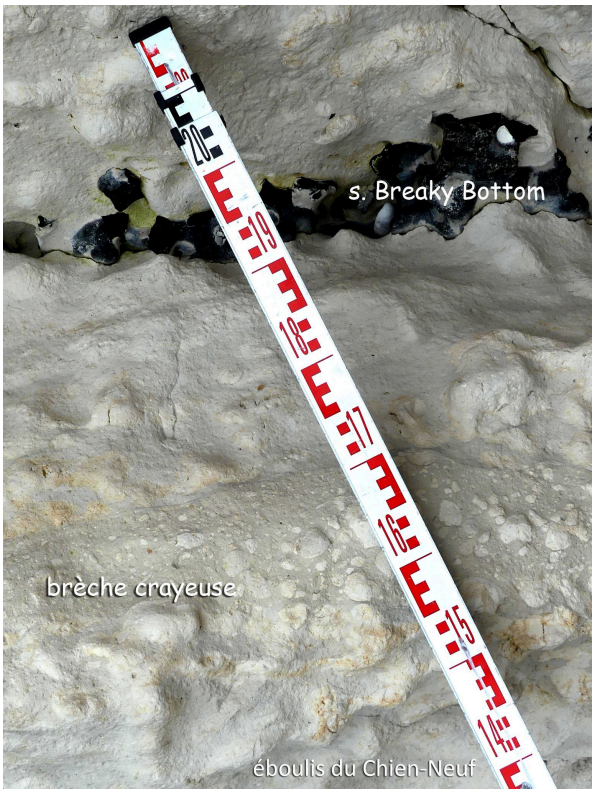


Fig.225 - Silex Breaky Bottom



Fig. 226 - Paramoudra dans silex tabulaires

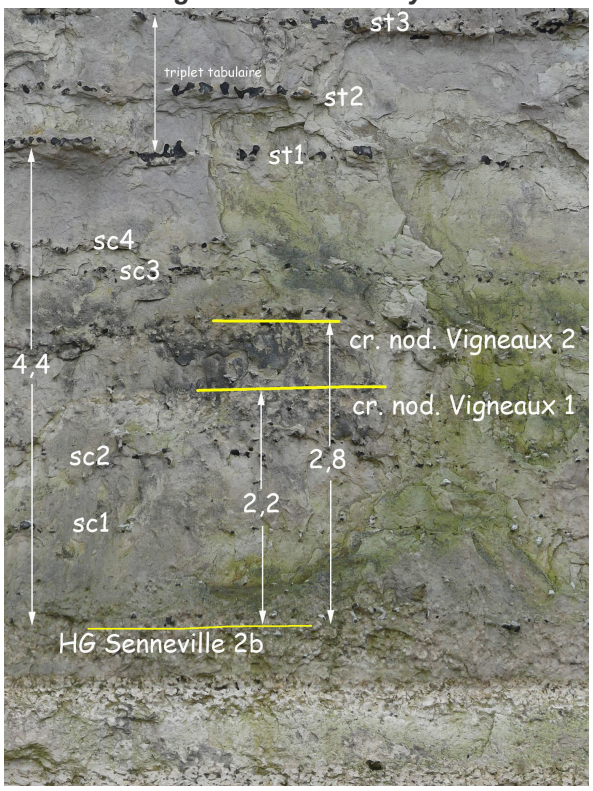


Fig. 227 - Craies noduleuses supra-Senneville

Intervalle T8 : de la marne Lewes aux HGs Navigation

Cet intervalle marque la fin du Turonien. Il correspond exactement à la subdivision T8 de AMÉDRO & ROBASZYNSKI (2000) reprise par HOYEZ (2008). C'est également la partie moyenne de la Craie noduleuse Lewes (MORTIMORE & POMEROL, 1987). Il s'étend partiellement à la fois sur les zones TuR13 et TuR14 de GALE (2019).
Les deux repères lithologiques qui l'encadrent sont ici relativement bien reconnaissables.

Les niveaux successifs sont les suivants :

● La **bentonite Lewes**, avec une épaisseur d'une dizaine de centimètres, s'enfonce sous les galets à mi-chemin entre la valleuse d'Ausson et Saint-Pierre-en-Port (49°47.91N 0°27.60E). Plus à l'Ouest, son épaisseur diminue et elle n'est plus représentée que par un joint servant de plan de décollement aux blocs éboulés. Cette épaisseur exceptionnelle de la marne est corrélative de l'épaississement local du Turonien terminal.

● Le **silex Mesnil-Va**l, silex *Thalassinoides* discontinu, à environ 1 m au-dessus de la marne Lewes, encadré ou englobé par deux hardgrounds (*HG Bondeville a* et *HG Bondeville b* plus épais).

● Une **couche à silex disséminés** et plus ou moins anguleux.

● La **Craie Noduleuse Lewes inférieure**
Le terme de Lewes Nodular Chalk est repris de MORTIMORE et POMEROL (1987) et abrégé ici CNL). Il consiste en une succession de 3 couches de craie noduleuse massive sur plus d'un mètre d'épaisseur. On n'observe pas de dolomitisation, à la différence des mêmes niveaux plus au SW. Ces craies noduleuses comportent parfois, à leur partie supérieure, des sheet-flints. La plupart d'entre eux sont subhorizontaux. Ils se relaient, en baïonnette, d'un niveau stratigraphique à un autre. Leur caractère de surfaces de cisaillement postérieurement silicifiées a été évoqué. Cette silicification efface toutes les marques directionnelles qui auraient pu être imprimées à leur surface. Le cas plus intéressant est celui de sheet-flints horizontaux couplés qui comportent dans le volume qui les sépare une famille de sheet-flints obliques. Leur géométrie montre qu'il s'agit de fentes de tension. Elles sont interprétées comme des fractures de RIEDEL. Si les sheet-flints sont bien d'origine paléosismique et générés par des ondes de surface (claquage), alors le dispositif indiquerait la progression apparente d'une onde du SW vers le NE. Les claquages se concentrent préférentiellement dans les craies fines au contact des craies noduleuses lithifiées.
La Craie Noduleuse Inférieure, roche dure et sans silex, est considérée ici comme équivalente du *Franc-Banc*, pierre de taille réputée des carrières de la vallée de la Seine (cf. volume 2).

● le ***silex White Nothe*** ou South Street 3 (MORTIMORE *et al.*, 2001) : un niveau de silex irrégulièrement développé latéralement. Les silex dépassent 20 cm d'épaisseur par endroits et ils disparaissent presque ailleurs.

● La **Craie Noduleuse Lewes supérieure** (CNL sup), parfois ferrugineuse (épaisseur environ 40 cm). Entre la CNL supérieure et les HGs Navigation, la craie est fréquemment

traversée par des sheet-flints et des fentes de tension obliques silicifiées, ou parsemée de silex éclatés.

● Le ***Zoophycos*** **Cuilfail**, marqueur ichnologique composé de figures de broutage provoquées par le flabelle (*spreite*) d'un organisme vermiforme. Ces figures sont fines, plates ou faiblement inclinées. Ce niveau a été décrit par MORTIMORE au tunnel de Cuilfail, au NE de Brighton et étendu au reste du Bassin Anglo-Parisien. La Fig. 3.10.a dans MORTIMORE *& al.* (2001) en donne une bonne représentation. La silicification de ces fines discontinuités conduit à des silex *Zoophycos* de forme courte et plate. Entre Életot et les Petites Dalles, la couche à *Zoophycos* est claire et les *Zoophycos* restent assez discrets et peu caractéristiques.

● Les **hardgrounds Navigation**, coalescents, souvent au nombre de 3, le premier étant le plus marqué et traversé de galeries. Leur épaisseur est très variable. Leur netteté est également fluctuante. Ainsi, ils peuvent presque passer inaperçus ou au contraire être fortement sculptés par l'érosion en bas de falaise (valleuse de Saint-Pierre-en-Port)

L'absence d'ammonite (seule une *Lewesiceras* a été récoltée) et la rareté des inocérames font reposer classiquement la datation par la macrofaune sur les échinides. Rappelons que MORTIMORE *et al*. (2001) récoltent :

° des petites formes de *Micraster leskei*, sous la marne Lewes,

° des grandes formes de *M. leskei*, dans les silex Lewes tubiformes supérieurs,

° *Micraster praecursor*, sous la Craie Noduleuse Lewes,

° des grandes formes de *Micraster*, dans la Craie Noduleuse Lewes,

° *Micraster normanniae* sens large, entre CNL et HGs Navigation compris,

° *Micraster normanniae* sens strict, dans les marnes Navigation.

De nombreux *Echinocorys* et *Micraster normanniae* ont été ici récoltés au-dessus du silex White Nothe et dans les HGs Navigation.

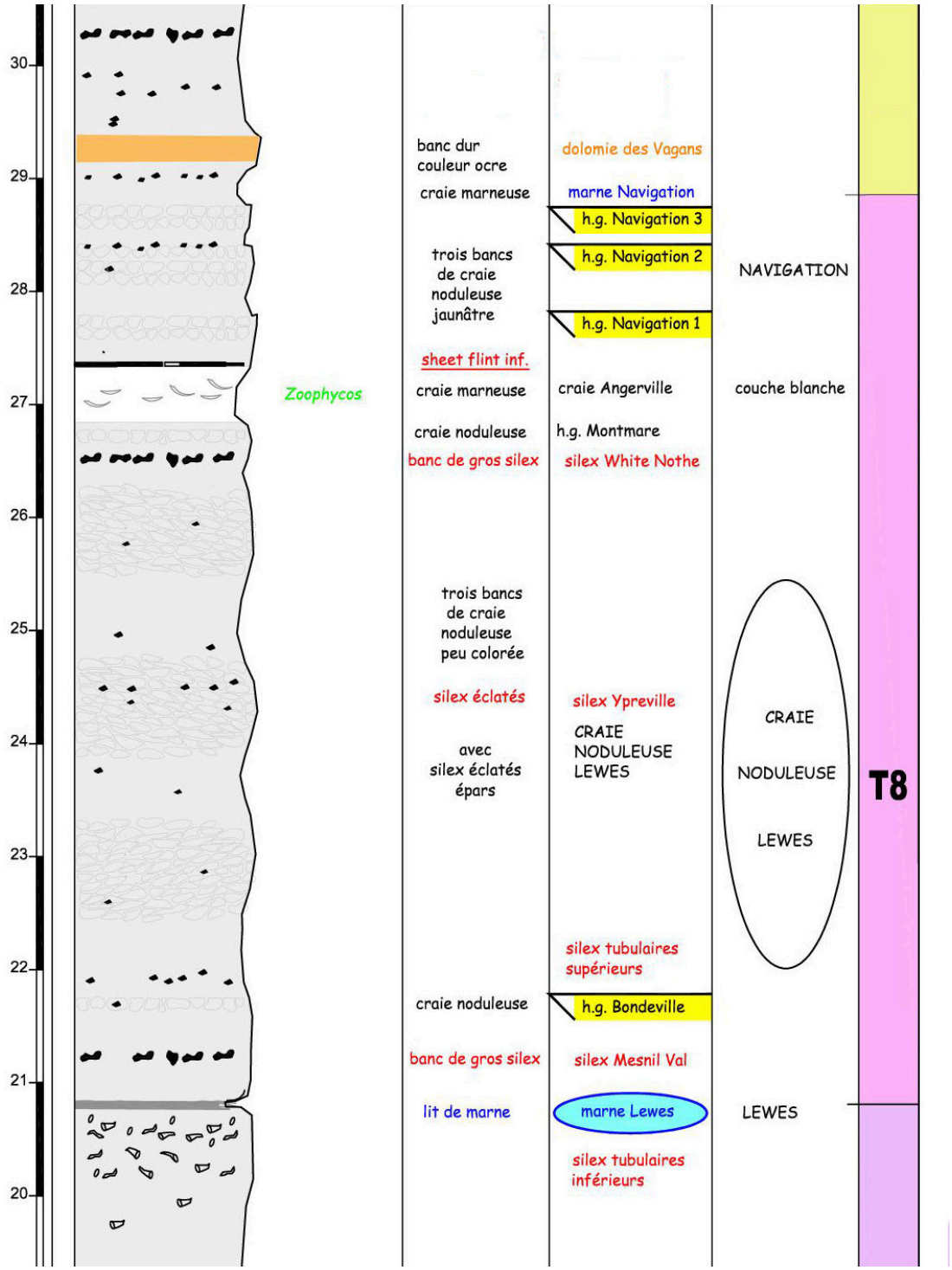


Fig. 228 - Intervalle T8

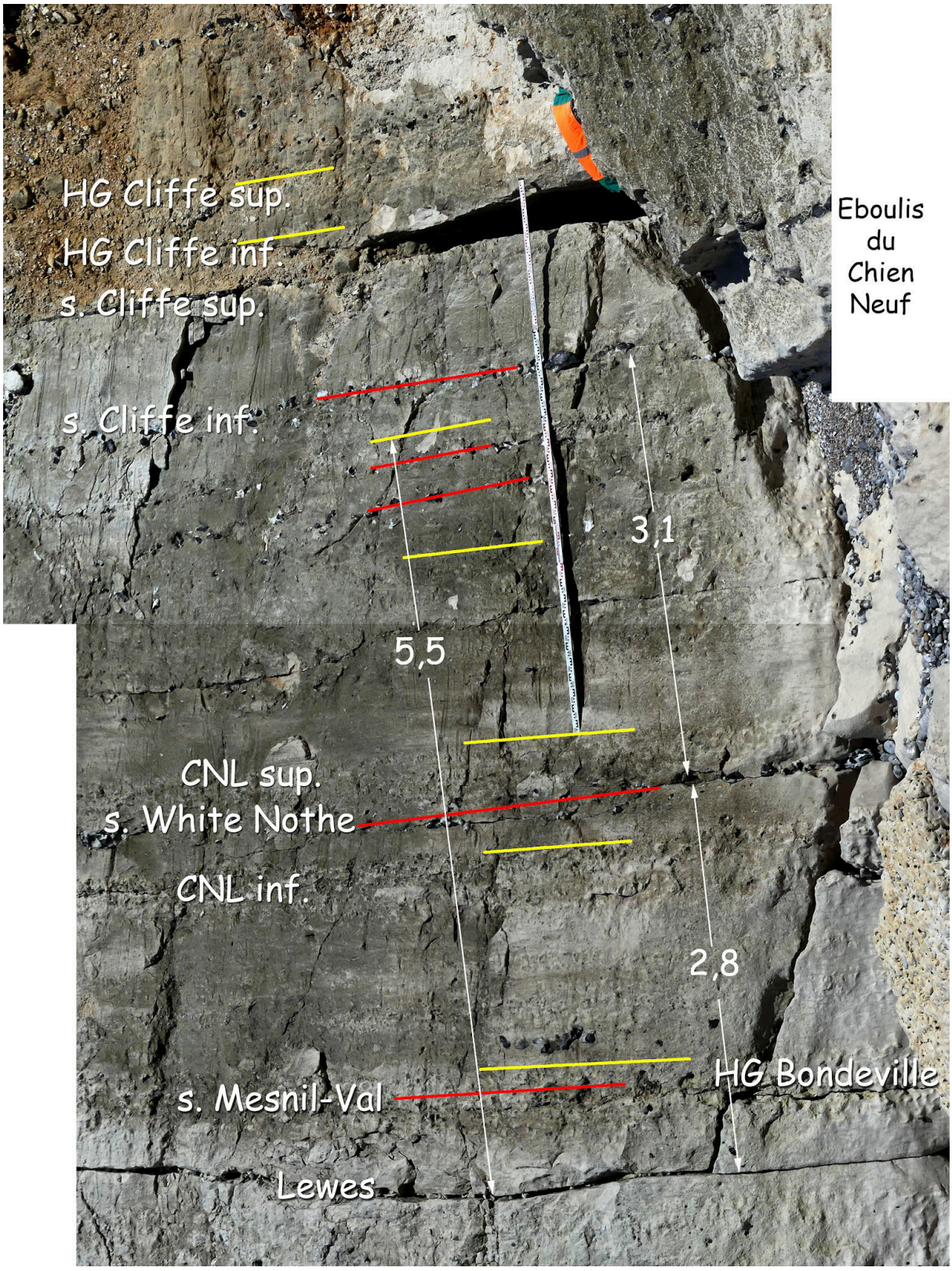


Fig. 229 - Intervalle T8 - Éboulis du Chien Neuf

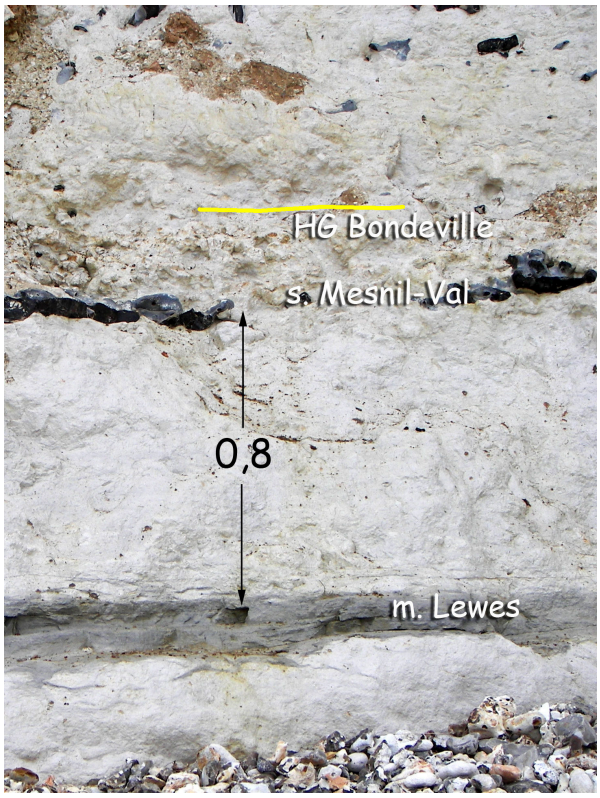


Fig. 230 - Base de l'intervalle T8

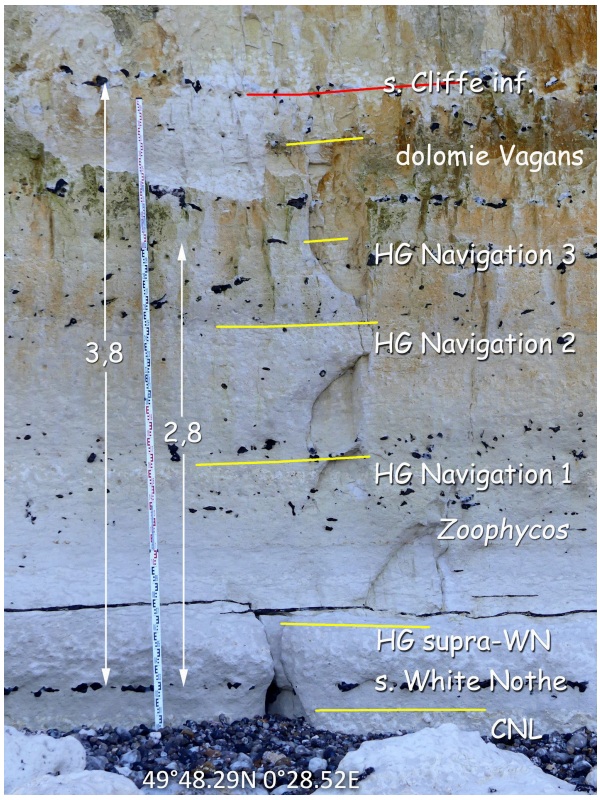


Fig. 231 - Contact Turonien - Coniacien

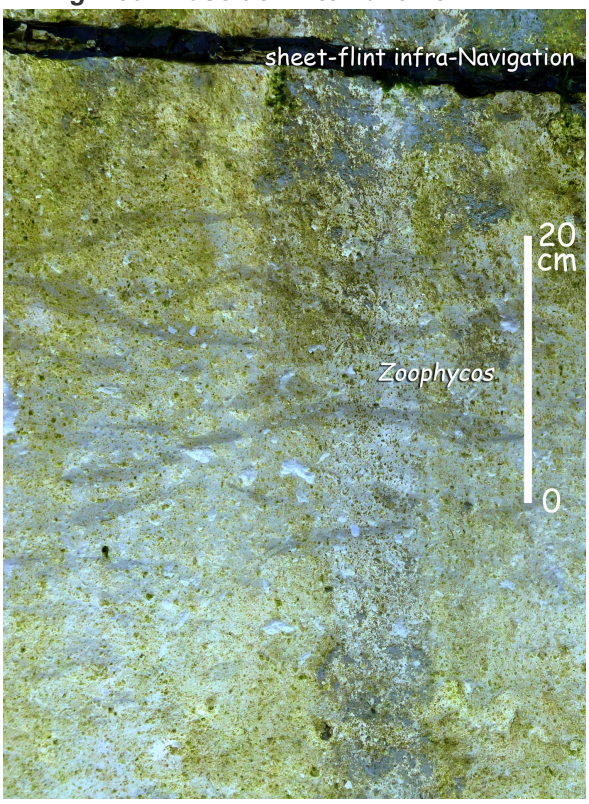


Fig. 232 - Niveau à Zoophycos

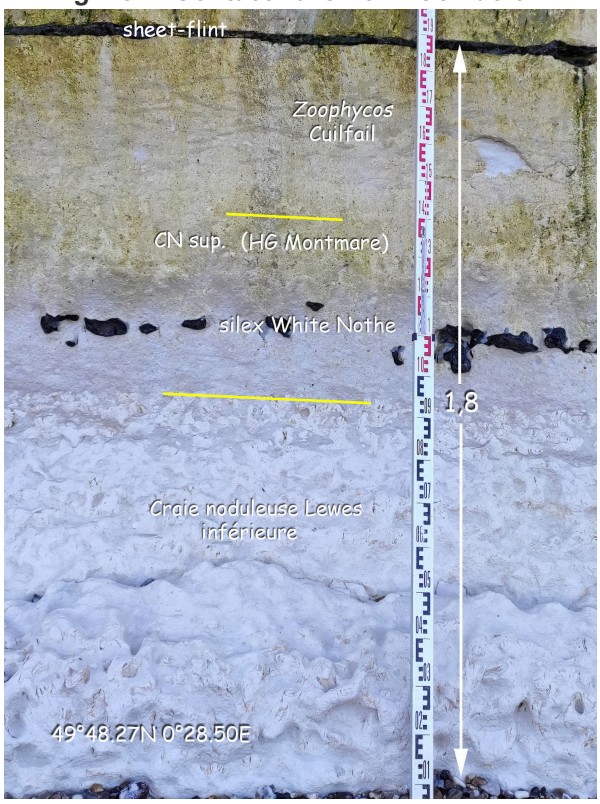


Fig. 233 - Partie supérieure de T8

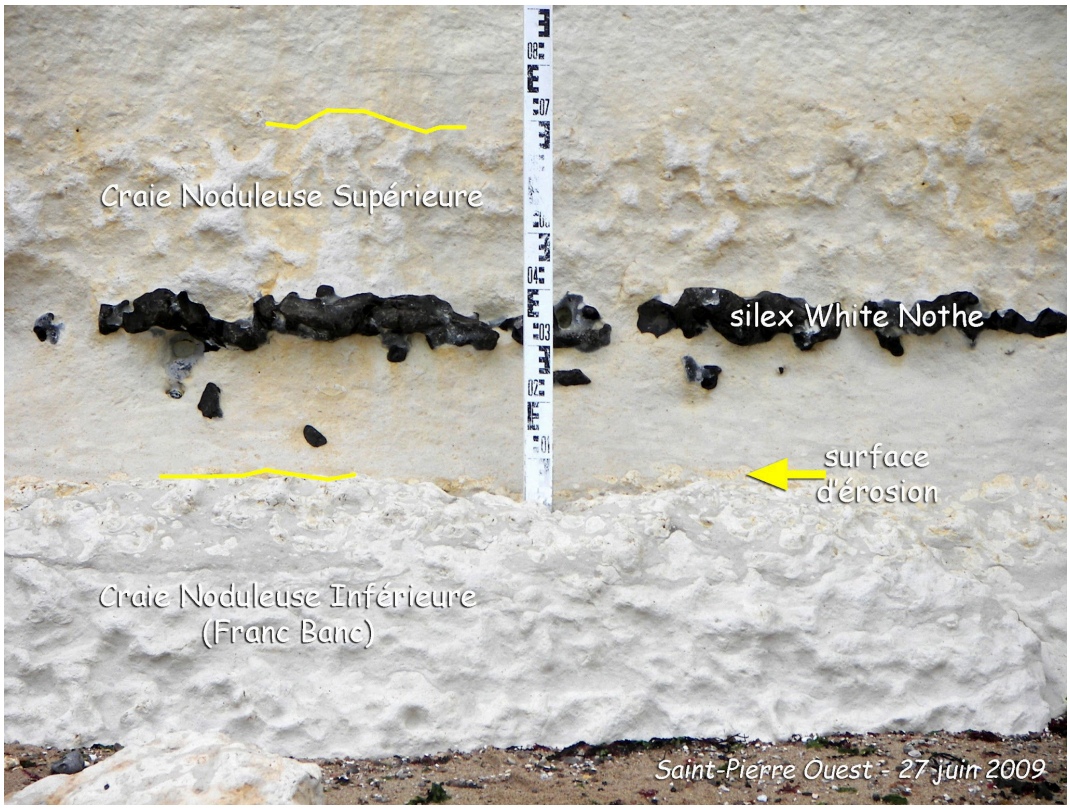


Fig. 234 - Les craies noduleuses de part et d'autre du silex White Nothe

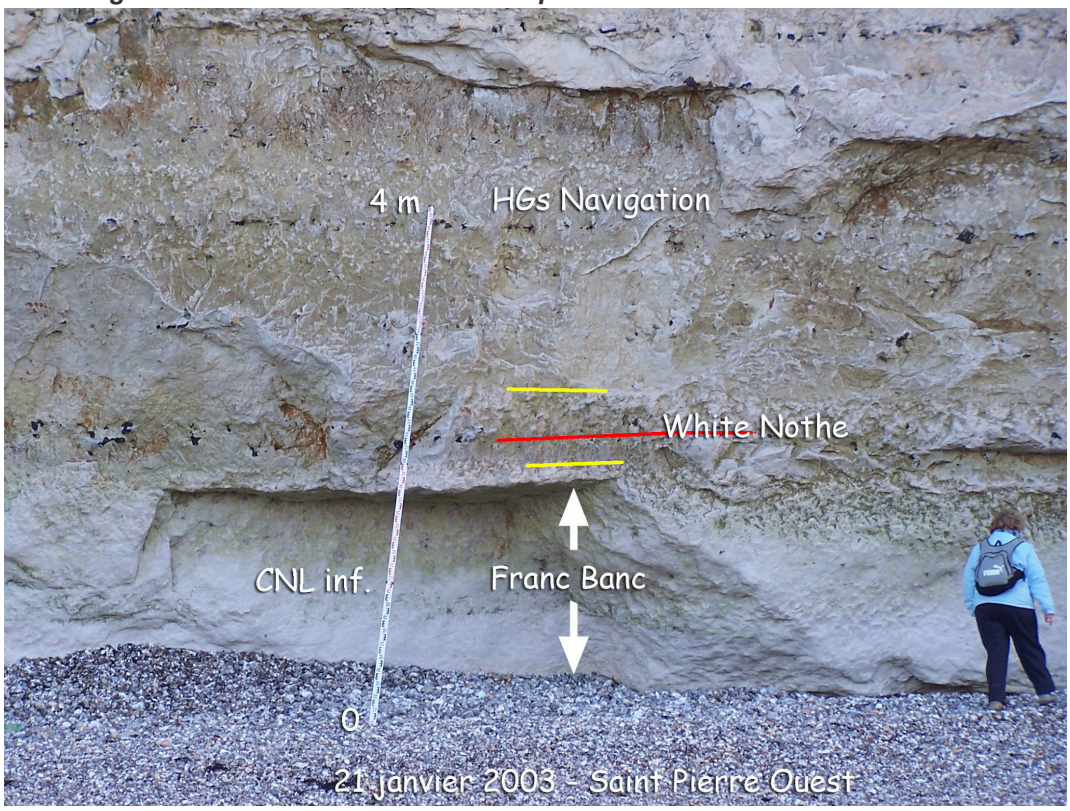


Fig. 235 - La Craie Noduleuse Inférieure alias Franc Banc de l'arrière-pays

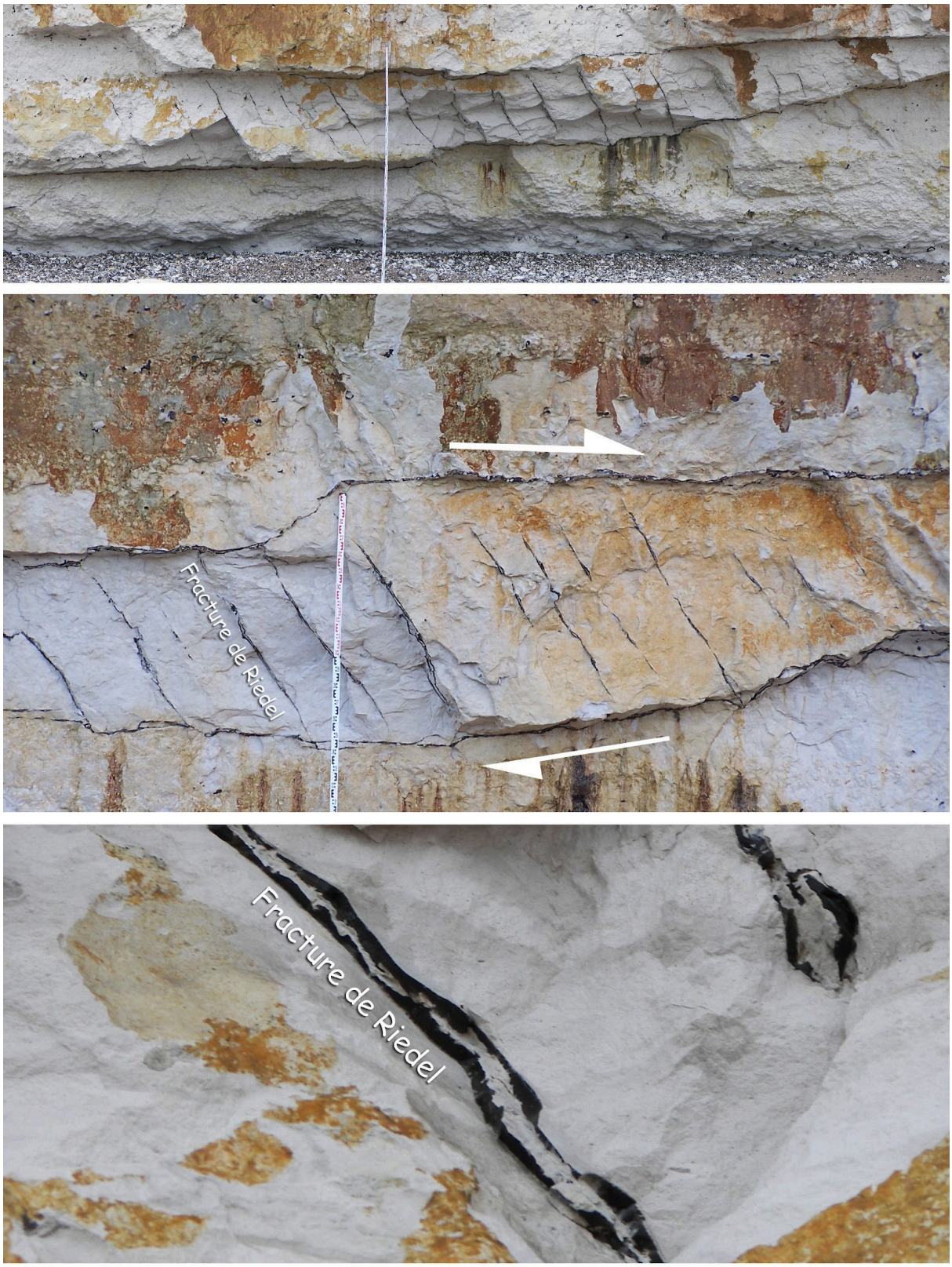


Fig. 236 - Sheet-flints subhorizontaux conjugués et sheet-flints obliques - St. Pierre ouest

Coniacien inférieur

Le passage du Turonien au Coniacien s'observe sur une longue distance depuis l'Ouest de la valleuse de Saint-Pierre-en-Port jusqu'à l'Est de la valleuse des Petites Dalles. Ce fait est dû aux ondulations sédimentaires (monticules et cuvettes) qui affectent les hardgrounds Navigation (et successifs) et qui les replacent périodiquement à la base de la falaise. Il s'y ajoute peut-être une surélévation tectonique au niveau de la valleuse des Petites Dalles. L'amplitude des ondulations est plus faible que dans le secteur d'Étretat.
Une caractéristique remarquable de la transition Turonien - Coniacien du secteur Fécamp - Saint-Pierre-en-Port est l'abondance des sheet-flints. Ces silex particuliers représentent la silicification de joints tectoniques. Parmi ceux-ci, les silex subhorizontaux, plus ou moins ondulés et diverticulés, sont les plus remarquables. Ils sont considérés ici comme le résultat de cisaillements consécutifs à la propagation d'ondes sismiques de surface. Ils se concentrent principalement le long de discontinuités lithologiques préexistantes (surface de hardground, silex). Ils apparaissent au-dessus du silex Mesnil-Val et disparaissent (provisoirement) au niveau du HG Cliffe. Leur maximum d'occurrence se situe au-dessus des hardgrounds Navigation. La silice des sheet-flints est généralement empruntée aux silex contigus qui s'amaigrissent, voire disparaissent.

Les principaux repères lithologiques sont :

● La ***"dolomie" Vagans*** : une couche d'une vingtaine de centimètres, de teinte plus foncée orangée. Le terme de dolomie ne préjuge que d'une apparence, aucune vérification microscopique n'a été réalisée. La présence de marnes Navigation, souvent citées dans les craies anglaises, n'a pas été constatée dans le Pays de Caux. Nous supposons que ce niveau en est l'équivalent et qu'il correspond hypothétiquement à la limite Turonien - Coniacien. La dolomitisation est très variable et parfois imperceptible. L'épaisseur entre le silex White Nothe et le sommet de la dolomie Vagans est de l'ordre de 3 mètres, avec de multiples claquages silicifiés (sheet-flints).

● Le **silex Cliffe inférieur** (sCf1).

● Un **banc clair**, homogène, sans silex (ou parfois un silex intercalaire lorsque le banc est épais), d'épaisseur métrique environ.

● Le **silex Cliffe supérieur** (sCf2*)*.

Le motif "banc clair encadré par les deux silex Cliffe" est un horizon repère facilement identifiable.
Les silex Cliffe sont rapportés à la "Cliffe Flint Band" qui couronne les hardgrounds Navigation dans le Sussex et dans le Kent (MORTIMORE *et al.*, 2001). Le couple de gros silex *Thalassinoides* séparés par une bande métrique de craie marneuse homogène sans silex accompagne probablement la tendance transgressive du Coniacien.
Le silex Cliffe supérieur est souvent mieux marqué que le silex inférieur.

● Le hardground Cliffe (en fait, 2 hardgrounds).

● 2 niveaux constants de silex disséminés, appelés ici silex Briquedalles inférieur et supérieur.

● Les hardgrounds Hope Gap, mal stratifiés, formant un ensemble assez compact surtout marqué par une coloration ferrugineuse.

● La marne Beeding: un mince liseré parfois dédoublé, encadré par 2 lits de silex transformés fréquemment en sheet-flints.

● Le HG Beeding, toujours présent à environ 1,5 m - 2 m au-dessus de la marne Beeding.

● Le HG Light Point, formé de 2 niveaux coalescents, affecté par une stratification en monticules et cuvettes.

● Le HG Etigue.

● La marne Shoreham, associée à d'épais niveaux de silex.

Toutes les hautes falaises, entre le Cap Fagnet et l'échelle de Saint-Martin-aux-Buneaux, exhibent continûment le niveau bentonitique Shoreham, considéré empiriquement comme la limite supérieure du Coniacien inférieur.

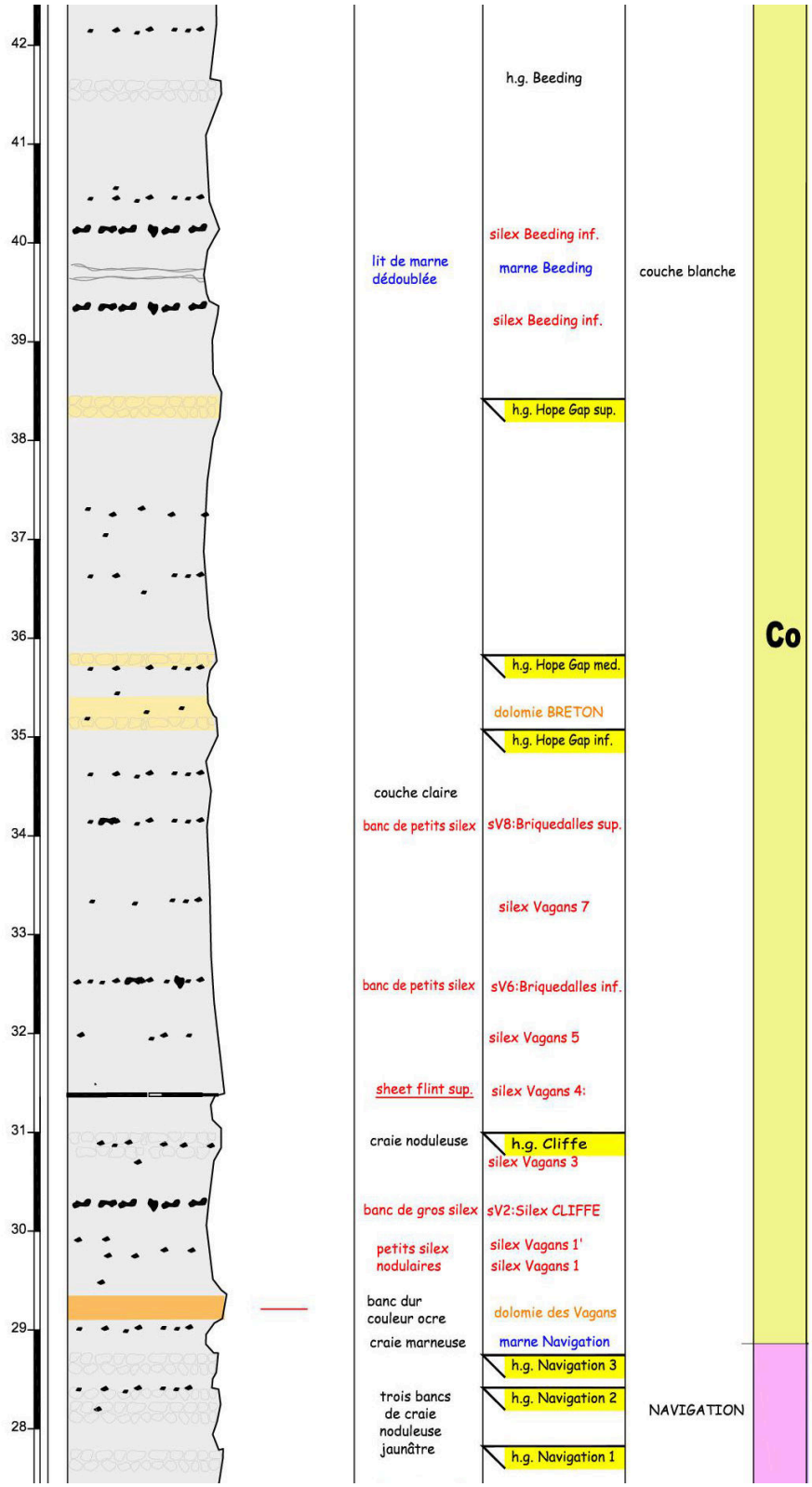


Fig. 237 - Log stratigraphique de la base du Coniacien

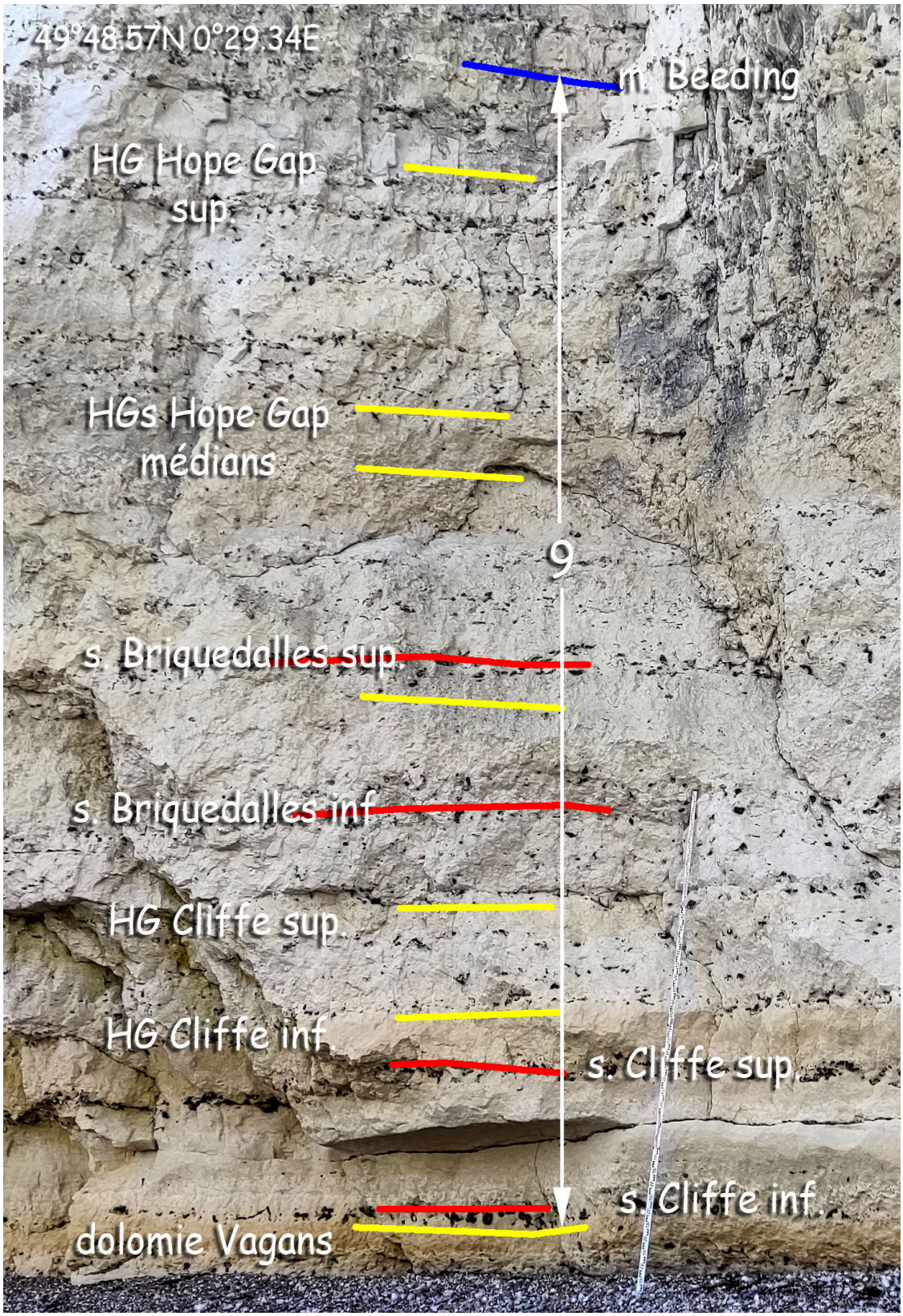
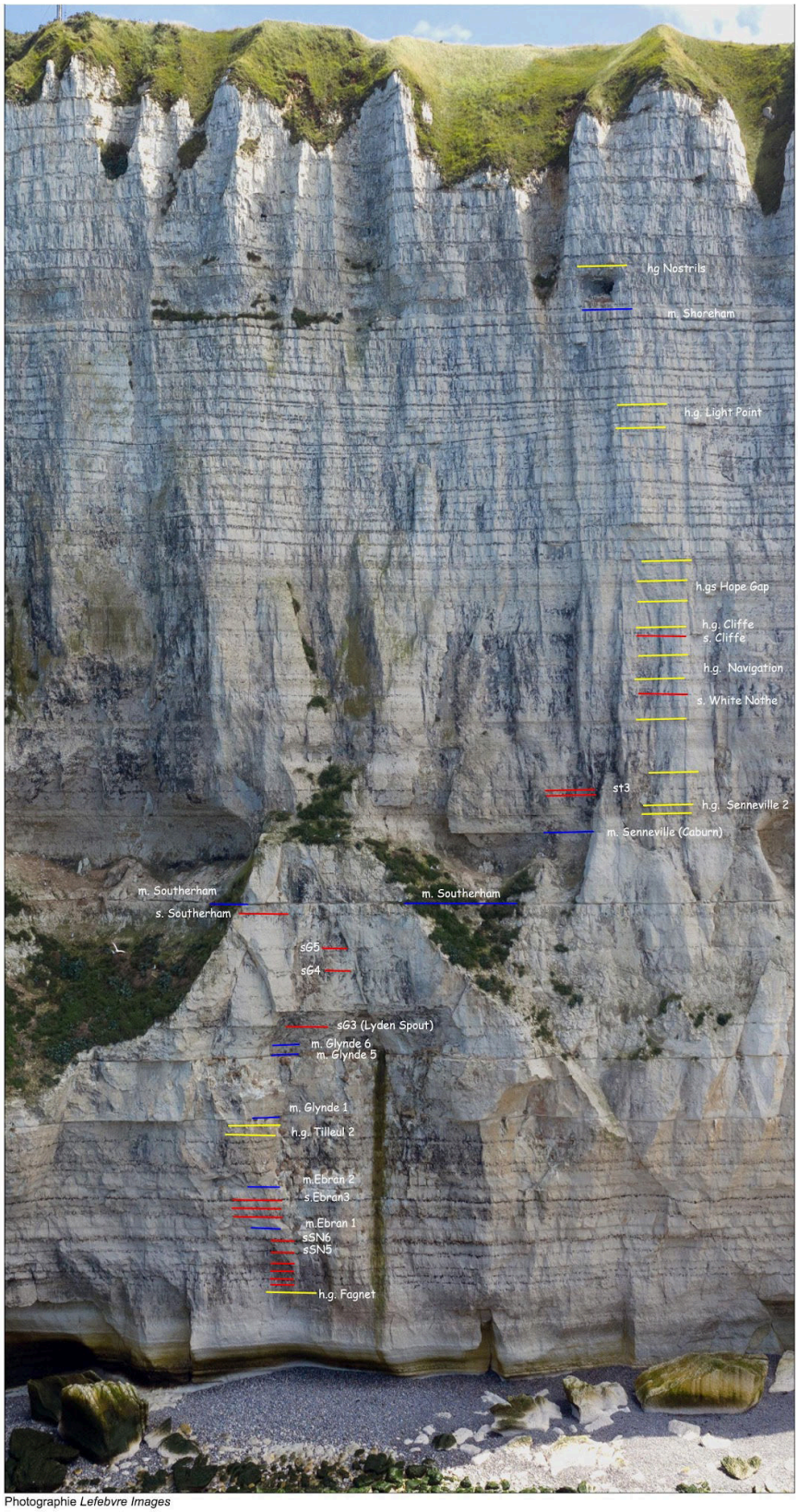


Fig. 238 - Base du Coniacien



Photographie *Lefebvre Images*

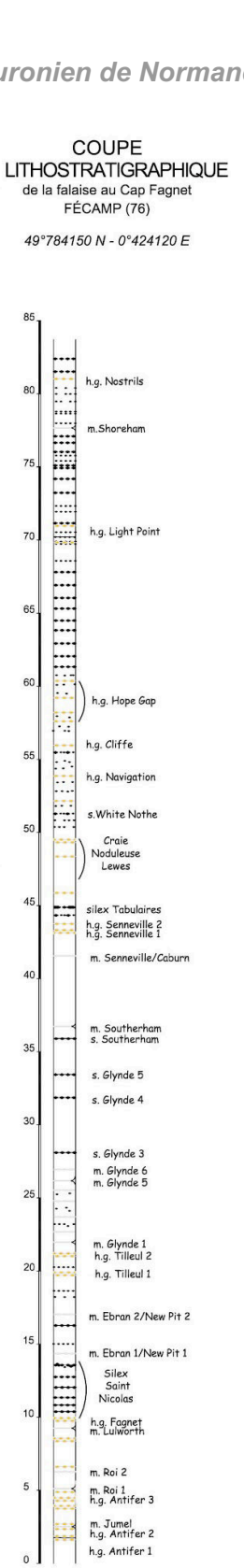


Fig. 239 - La falaise du Cap Fagnet

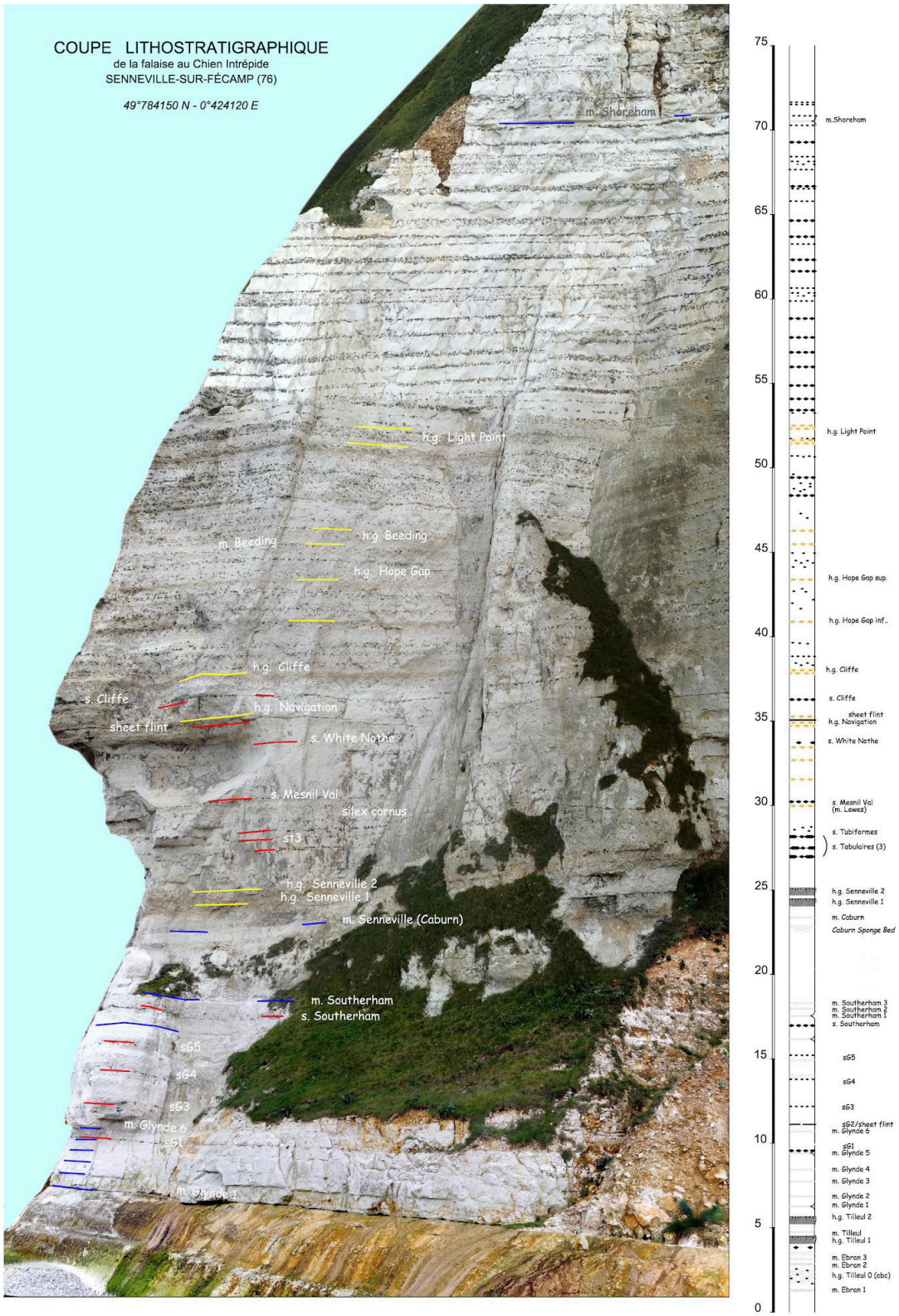
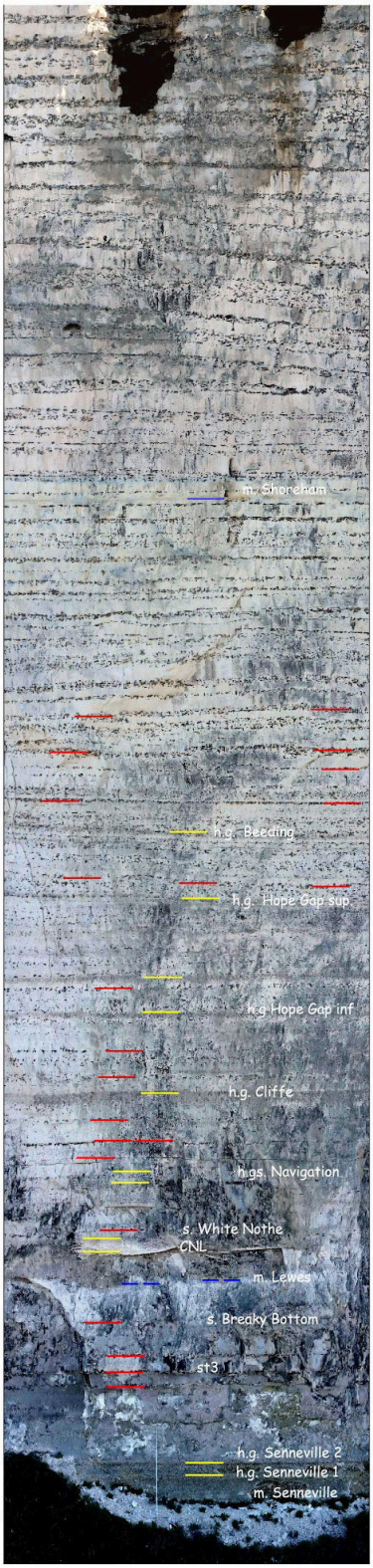


Fig. 240 - La falaise du Chien Intrépide



COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE
de la falaise à l'Est de l'éboulis du Chien Neuf
SENNEVILLE-SUR-FÉCAMP (76)

49°784150 N - 0°424120 E

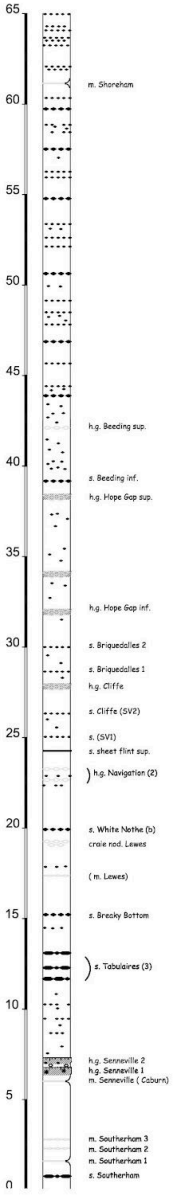


Fig. 241 - Falaise à l'Est de l'éboulis du Chien Neuf

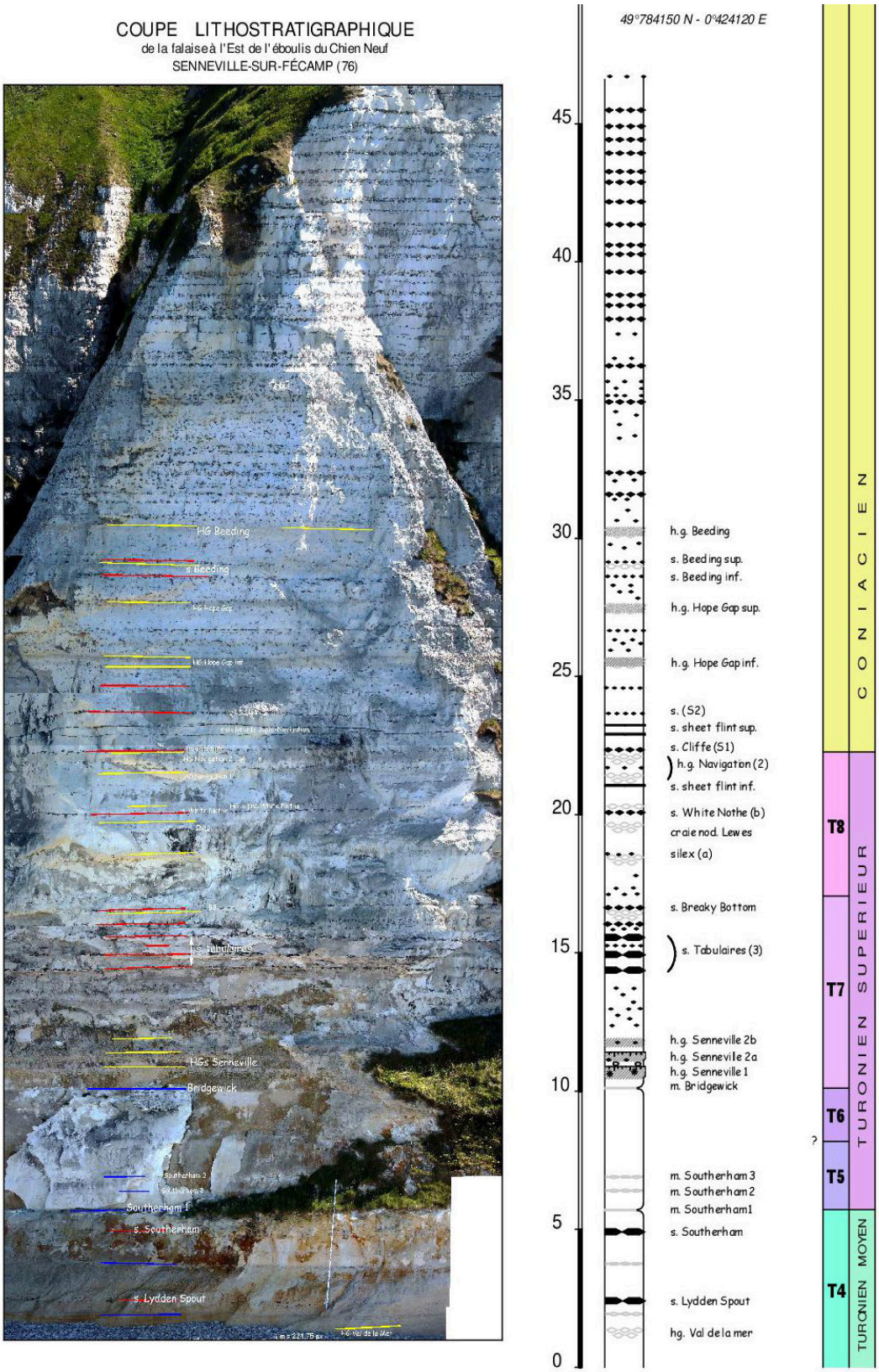


Fig. 242 - Falaise au-dessus de l'éboulis du Chien Neuf - Senneville

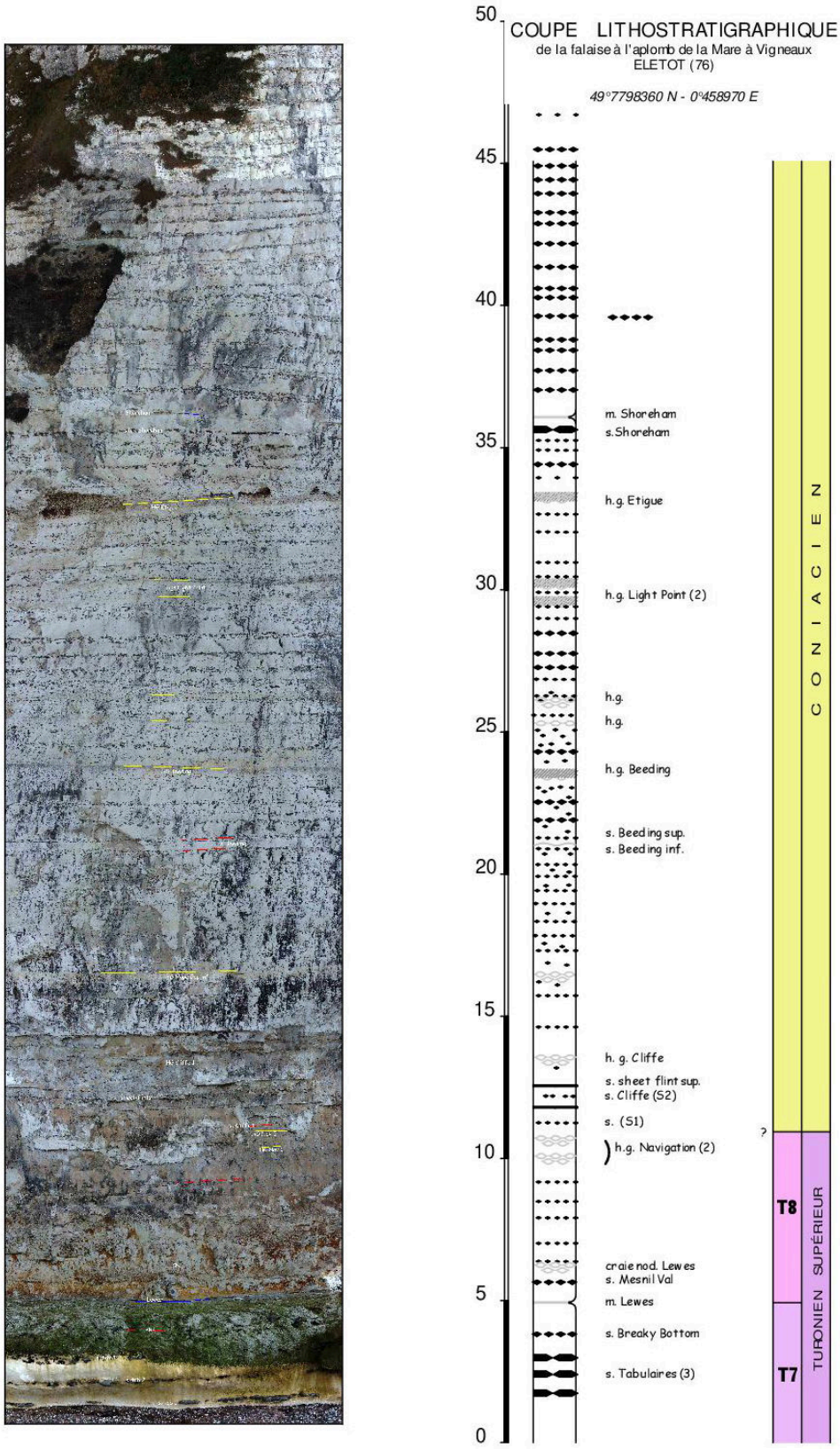


Fig. 243 - Falaise au-dessous de la Mare à Vignaux - Életot

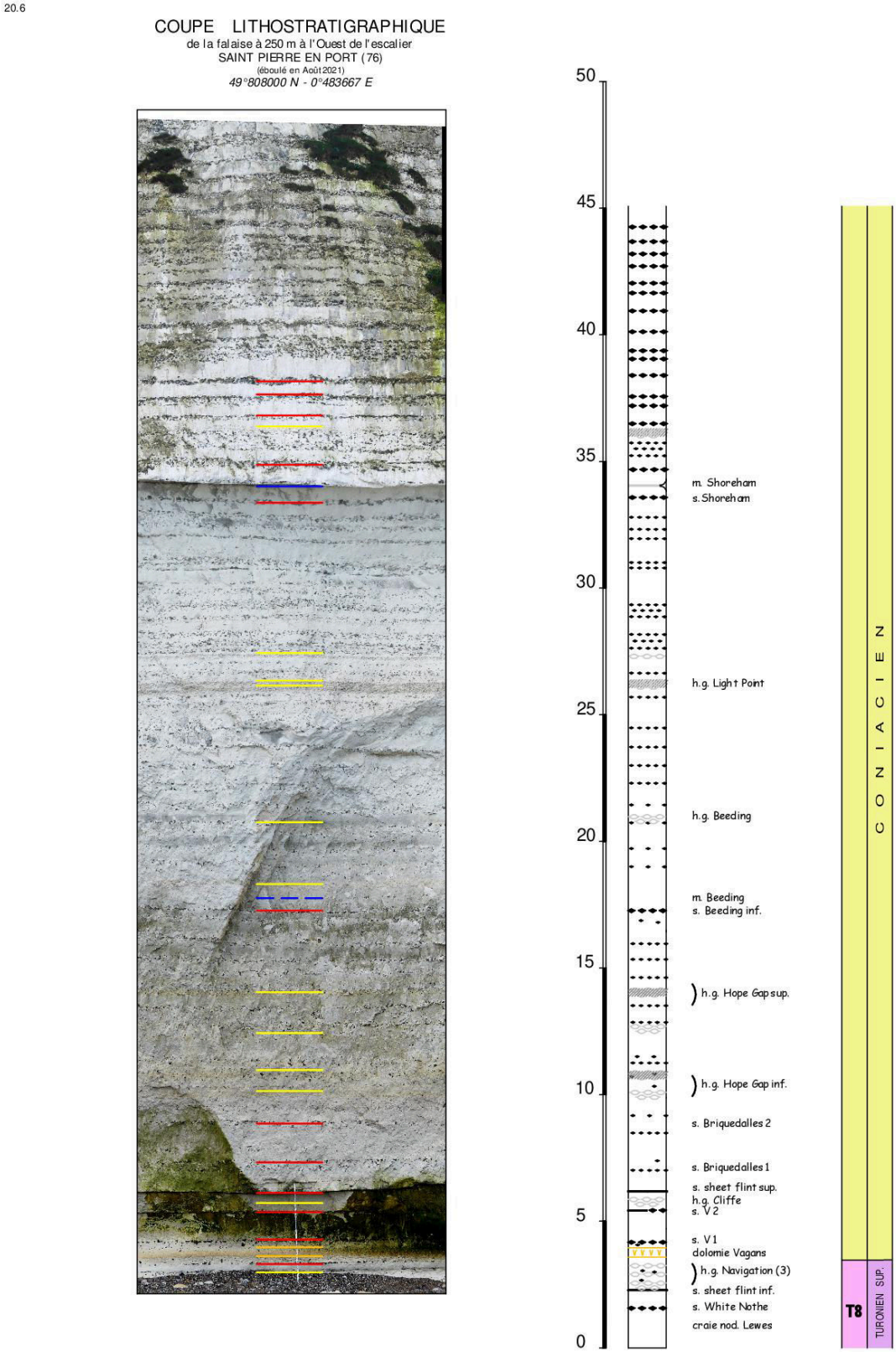


Fig. 244 - Falaise à Saint-Pierre-en-Port

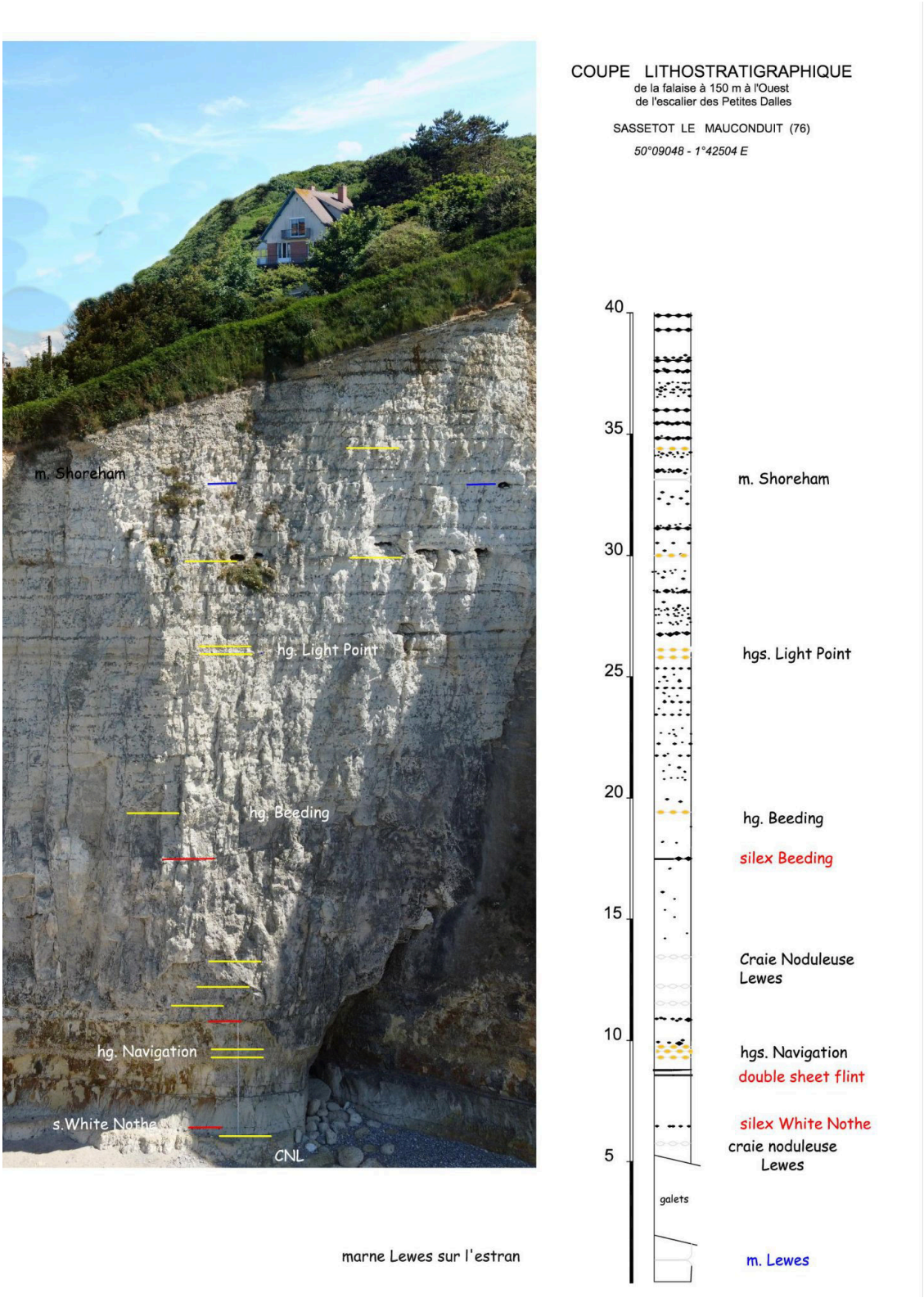


Fig. 245 - Falaise à l'Ouest des Petites Dalles

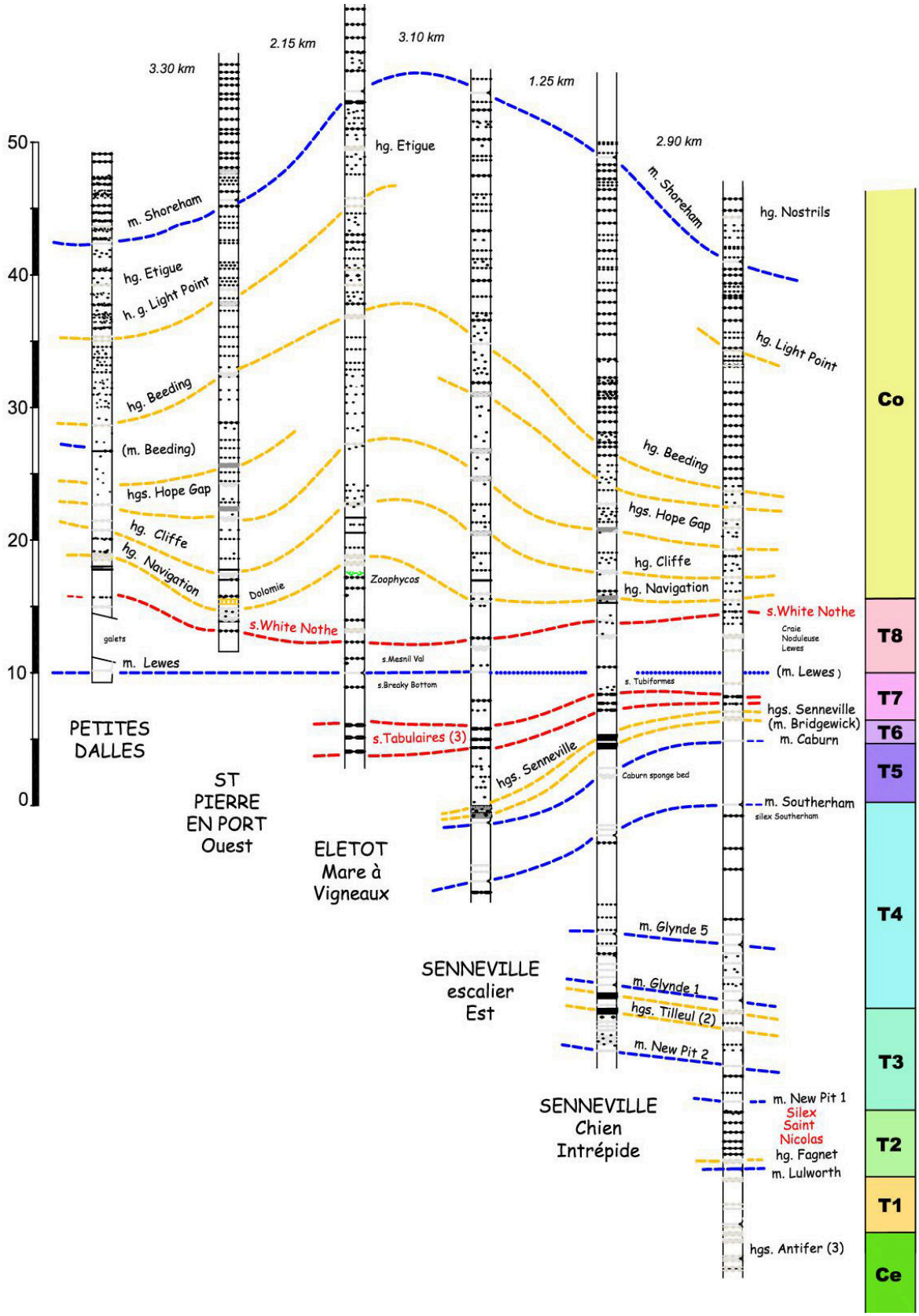


Fig. 246 - Corrélation des coupes du Cap Fagnet aux Petites Dalles

Du Fourquet nord à Vaucottes

Le Turonien est visible dans les falaises littorales au NE du Cap d'Antifer. Du fait d'un pendage tectonique apparent vers l'Est, les couches de base sont accessibles en pied de falaise à la valleuse d'Antifer, tandis que les couches sommitales s'enfoncent sous le platier à l'Est de Vaucottes. Ce Turonien réapparaît ensuite à l'Est de Fécamp, sous l'effet d'un rejet vertical d'une centaine de mètres dû à la faille de Lillebonne-Fécamp.

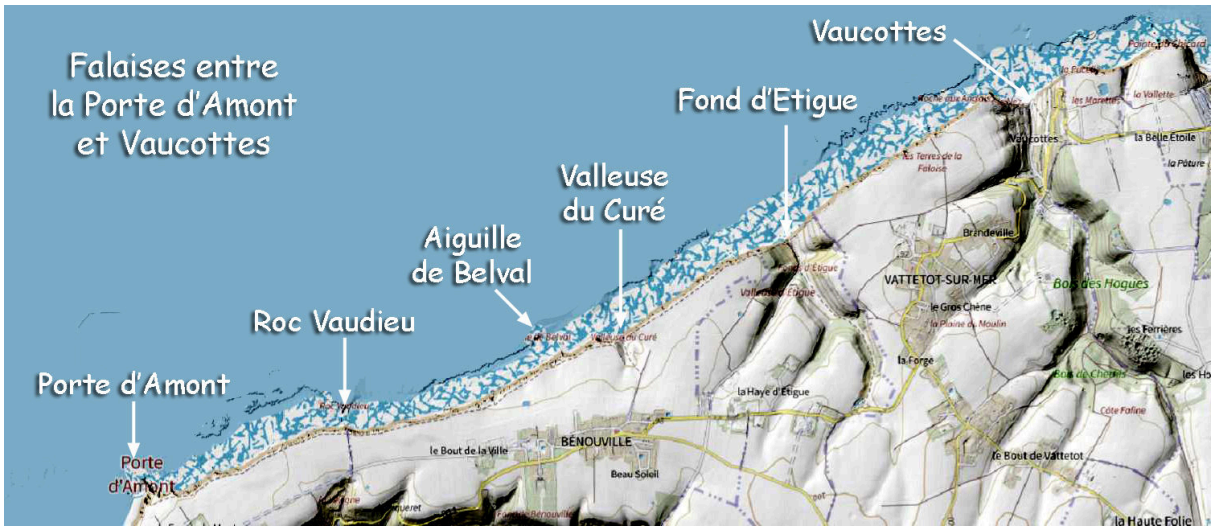


Fig. 247 - Les falaises entre la Porte d'Amont (Etretat) et Vaucottes

Une stratification particulière

À l'ouest de la faille de Lillebonne-Fécamp, la caractéristique sédimentaire majeure du Turonien (ainsi que d'une partie du Coniacien) est sa stratification. Celle-ci est modulée par des ondulations de longueur d'onde hectométrique. Ces ondulations remarquables ont été décrites sous différents noms :

- "bancs sédimentaires" de KENNEDY et JUIGNET (1974),
- "concave-up and concave-down structures" de QUINE (1988),
- "géométries" de LASSEUR (2007),
- "monticules et cuvettes sédimentaires" de HOYEZ (2008),
- "complexe d'Étretat" de MORTIMORE (2008).

Diverses interprétations en ont été proposées : construction de biohermes, creusement par des chenaux de marée, façonnage par des courants de fond ou des courants de contour, réponse sédimentaire à des accidents tectoniques profonds.

La connaissance stratigraphique des terrains affectés par les ondulations est peu documentée. Ceci tient au fait que :

1) La macrofaune est rare,
2) Les nombreux biseaux et lacunes stratigraphiques ne permettent pas de suivre les niveaux-repères sur de longues distances.

Aucune coupe verticale ne permet, seule, d'expliquer toute l'histoire turono-coniacienne de la région d'Étretat. Celle-ci ne peut être reconstituée que par l'addition de coupes partielles choisies pour leur représentativité. Il s'agit donc d'une coupe synthétique.
La démarche adoptée est de rechercher les coupes élémentaires les moins affectées de lacunes et dans lesquelles les couches sont les plus développées. Pour les choisir, il est nécessaire de comprendre le mode de formation des "monticules et cuvettes sédimentaires". La version la plus simpliste consiste en un modèle symétrique, comme représenté sur la figure suivante.

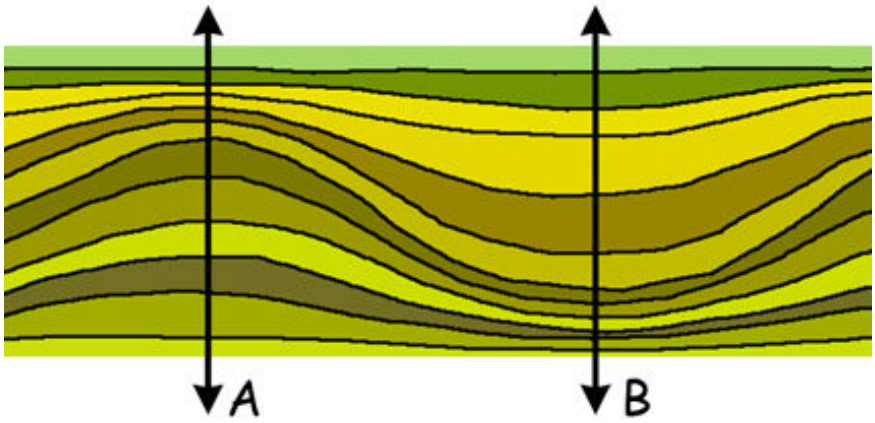


Fig. 248 - Modèle élémentaire des monticules et cuvettes

Entre deux phases à sédimentation horizontale, les monticules et les cuvettes présentent des taux de sédimentation variables, forts ou réduits, de manière opposée.
En réalité, les axes des ondulations sont rarement fixes. Ils se déplacent latéralement vers le SW. Cette translation est lente. Une même ondulation (convexité par exemple) peut se suivre pendant une fraction d'étage, de l'ordre de la centaine de milliers d'années. Un flanc de monticule, généralement le flanc SW, s'engraisse au profit de l'autre. La dissymétrie traduit l'action d'un courant dominant et la présence d'un amont et d'un aval. Si dans certains cas (NOE-NYGAARD & SURLYK, 1985), l'hypothèse de l'engraissement préférentiel du flanc amont peut être envisagée, elle est à exclure pour les monticules d'Étretat. En effet, la densité des hardgrounds sur le flanc NE est plus importante et elle traduit un effet érosif plus soutenu sur le flanc amont courant.
En conséquence, la préservation des témoins stratigraphiques est mieux assurée:

- à l'aplomb des monticules, dans la phase première de croissance,
- à l'aplomb des cuvettes, dans la phase terminale de croissance.

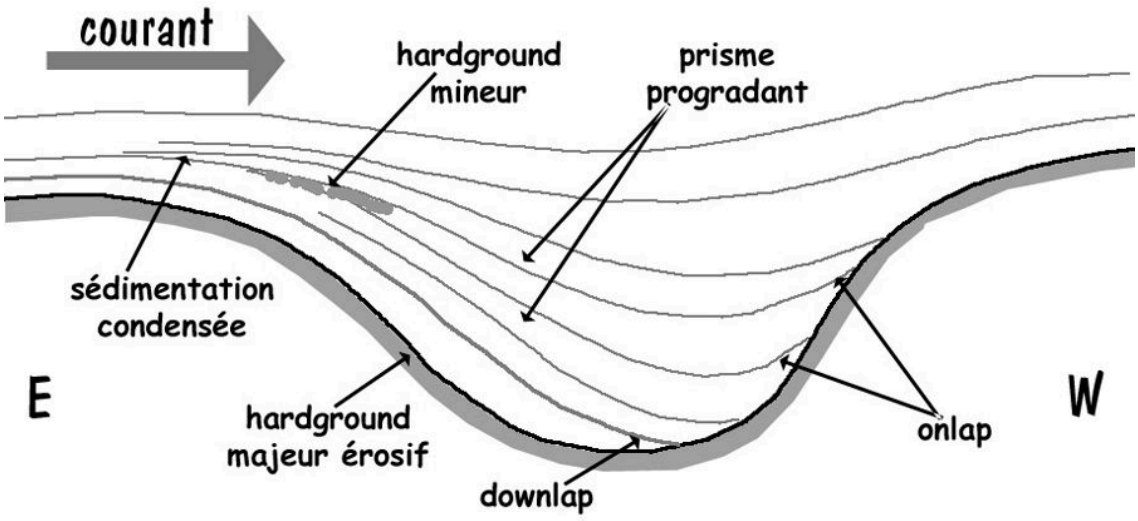


Fig. 249 - Asymétrie de remplissage d'une cuvette sédimentaire

La puissance et la morphologie des ondulations varient au cours du temps. Ainsi, une période principale se distingue, au cours de laquelle les monticules (et parallèlement les cuvettes) sont nombreux et avec un rapport amplitude/ longueur d'onde fort. Les limites de cette période correspondent à deux niveaux stratigraphiques repères, en l'occurrence deux hardgrounds. Il s'agit:

- du hardground Tilleul 2, du Turonien moyen
- du hardground Navigation.

Ces hardgrounds s'identifient assez bien entre Antifer et Étretat. Le premier est faiblement ondulé et s'observe entre Le Fourquet et le sud de la Porte d'Amont. Le second est plus fortement ondulé, mais il se suit parfaitement dans toutes les falaises.

● Le **HG Tilleul 2** fait partie d'un couple de hardgrounds, Tilleul 1 et Tilleul 2, défini par JUIGNET (1974) à la plage du Tilleul, de part et d'autre de la valleuse d'Antifer. Cette dénomination a été consacrée par les études successives (KENNEDY & JUIGNET, 1974; MORTIMORE & POMEROL, 1987; QUINE,1988; JUIGNET & BRETON, 1991,1994; LASSEUR, 2007; HOYEZ, 2008; MORTIMORE, 2010; KENNEDY & GALE, 2015, 2019).

● Le **HG Navigation** (en réalité composite) désigne un groupe de hardgrounds du Turonien terminal, défini dans le Sussex (MORTIMORE, 1983) et reconnu ensuite dans les craies de la région de Dieppe (MORTIMORE & POMEROL, 1987). Entre Étretat et Fécamp, leur identification est plus problématique (HOYEZ, 2008; MORTIMORE, 2010). La marne Navigation qui les recouvre (côté anglais surtout) est considérée comme coniacienne.

Une série stratigraphique synthétique

Au-dessus des HGs Tilleul, la sédimentation est très variable d'une verticale à une autre. Ici bien représentée, là absente. Des coupes partielles ont été retenues, là où les couches sont les mieux préservées et là où elles possèdent des caractéristiques constantes. Celles-ci servent ensuite à bâtir une série stratigraphique synthétique.

Le choix des coupes se porte d'abord sur l'axe des monticules dans leur phase de croissance, puis quand ceux-ci ont atteint leur maturité, on se déplace vers les cuvettes en phase de remplissage.

Une toponymie locale a été établie pour désigner les monticules et les cuvettes observés dans la falaise, de la manière suivante (du sud vers le nord) :

- monticule de la Roche Trouée ou du Tilleul Nord,
- cuvette du Tilleul Nord,
- monticule de la Courtine Sud,
- cuvette de la Pointe de la Courtine,
- monticule de la Courtine Nord,
- cuvette de la Courtine Nord,
- monticule de la Pisseuse de Valaine,
- cuvette de Valaine,
- monticule de la Pointe de Valaine,
- cuvette de Valaine,
- monticule de la Manneporte,
- cuvette de Jambourg Sud,
- monticule de la valleuse de Jambourg,
- cuvette de la Porte d'Aval,
- monticule du perré Sud,
- monticule des Roches Blanches ou du perré Nord,
- cuvette du perré Nord,
- monticule du Jardin Public,
- cuvette de l'escalier,
- monticule de la Chapelle,
- cuvette de la Porte d'Amont.

Au niveau de la Porte d'Amont, un ravinement sédimentaire exceptionnel de plus de 50 mètres d'amplitude érode une grande partie du Coniacien inférieur et partiellement le Turonien supérieur. Il est qualifié de "Grand ravinement". Au Nord de ce Grand ravinement de la Porte d'Amont, les ondulations du Coniacien inférieur laissent percer des dômes de Turonien supérieur. Trois de ces zones hautes sont particulièrement retenues, car elles permettent d'y toucher les couches les plus élevées du Turonien :

- le monticule du Roc Vaudieu,
- le haut-fond de l'Aiguille de Belval,
- le monticule d'Etigue Est.

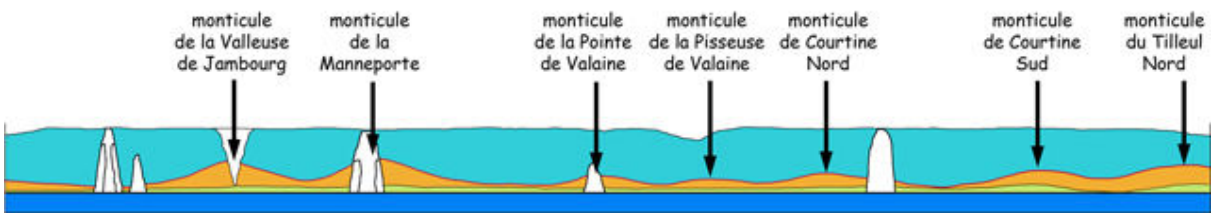


Fig. 250 - Désignation des monticules au S du village d'Étretat

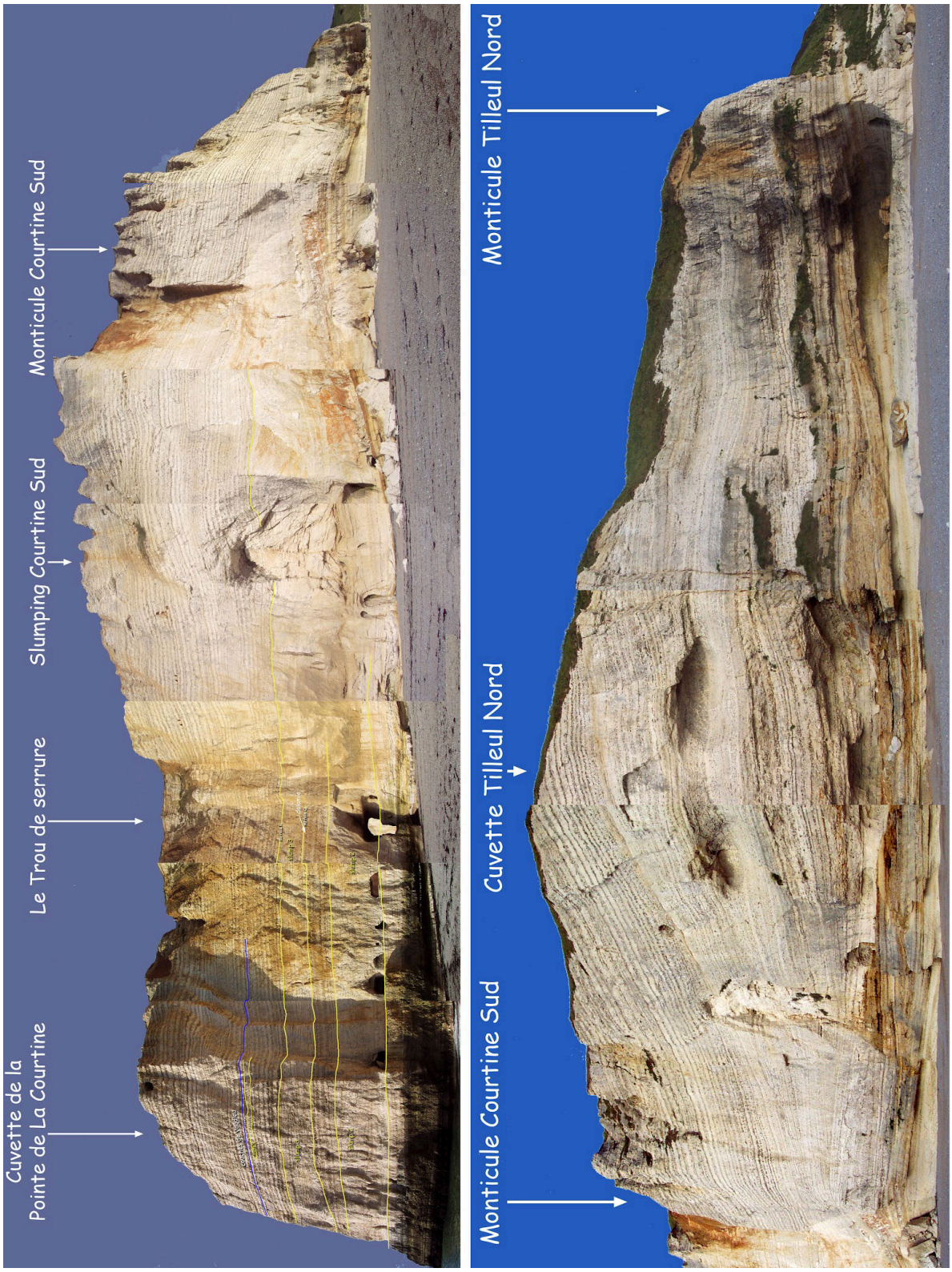


Fig. 251 - Panorama de la falaise d'amont du Tilleul (a : Nord, b : Sud)

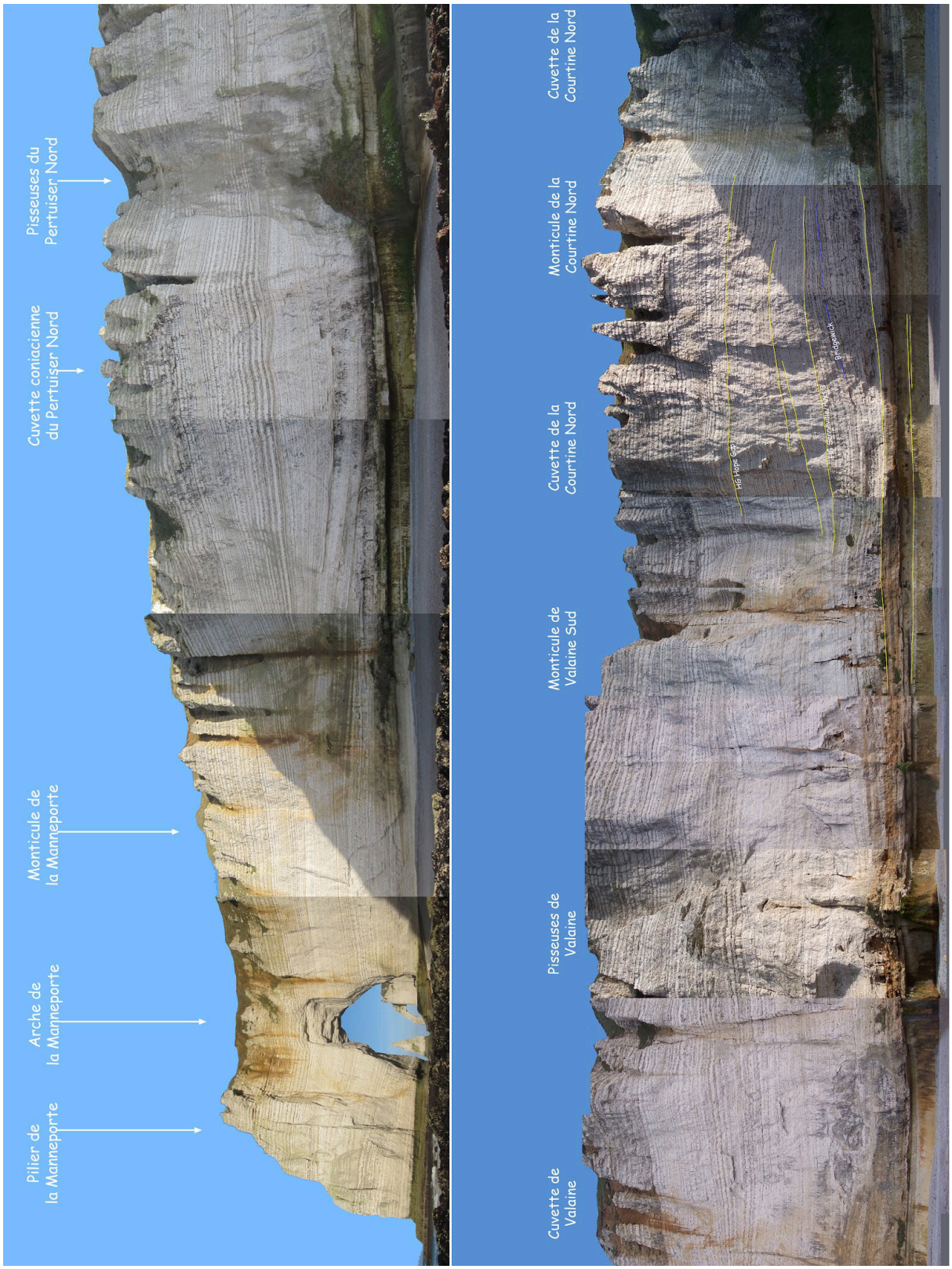


Fig. 252 - Panorama entre La Courtine et la Manneporte (a : Nord, b : Sud)

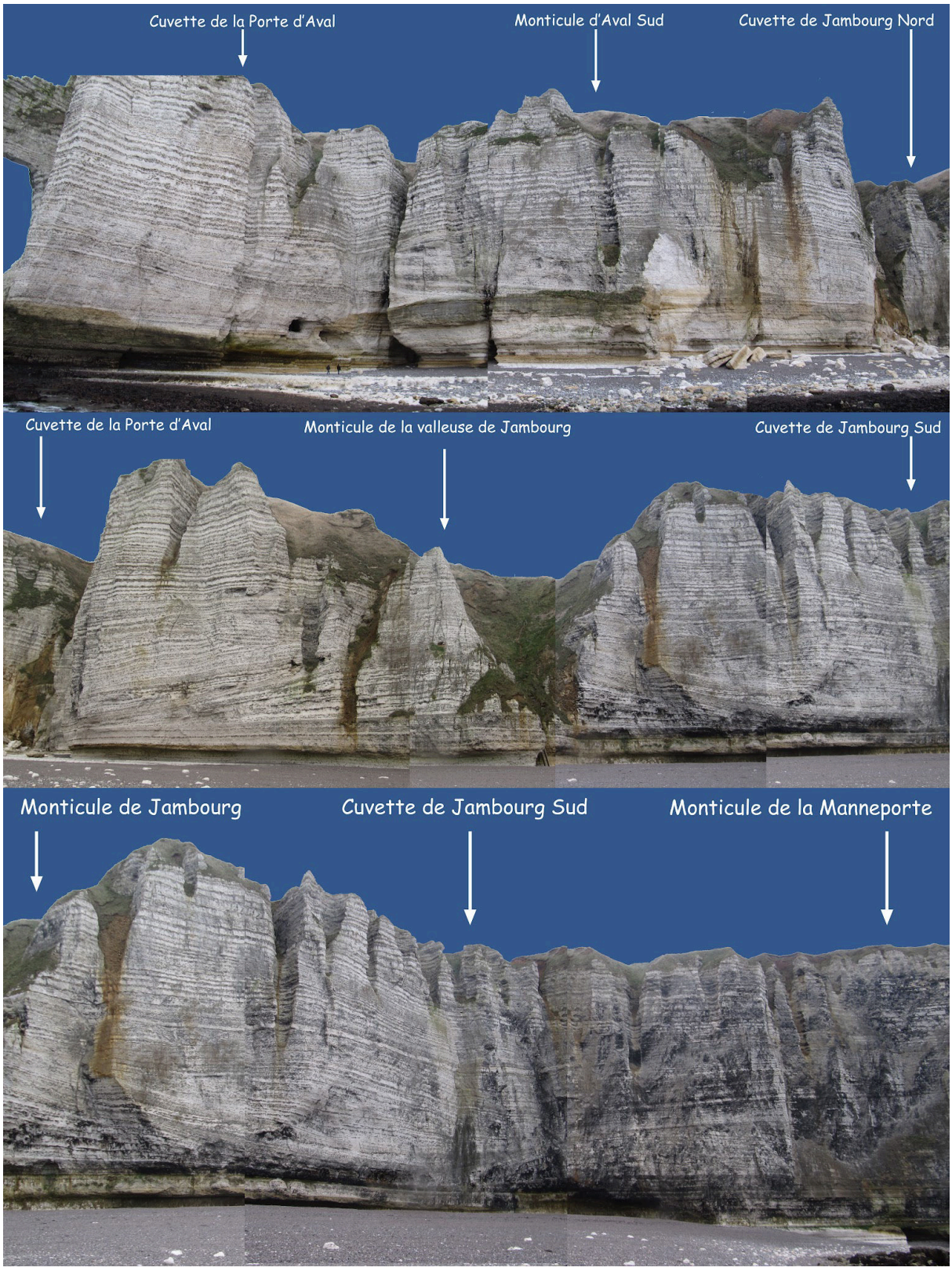


Fig. 253 - Panorama entre La Manneporte et le Massif d'Aval (a, b, c : du N au S)

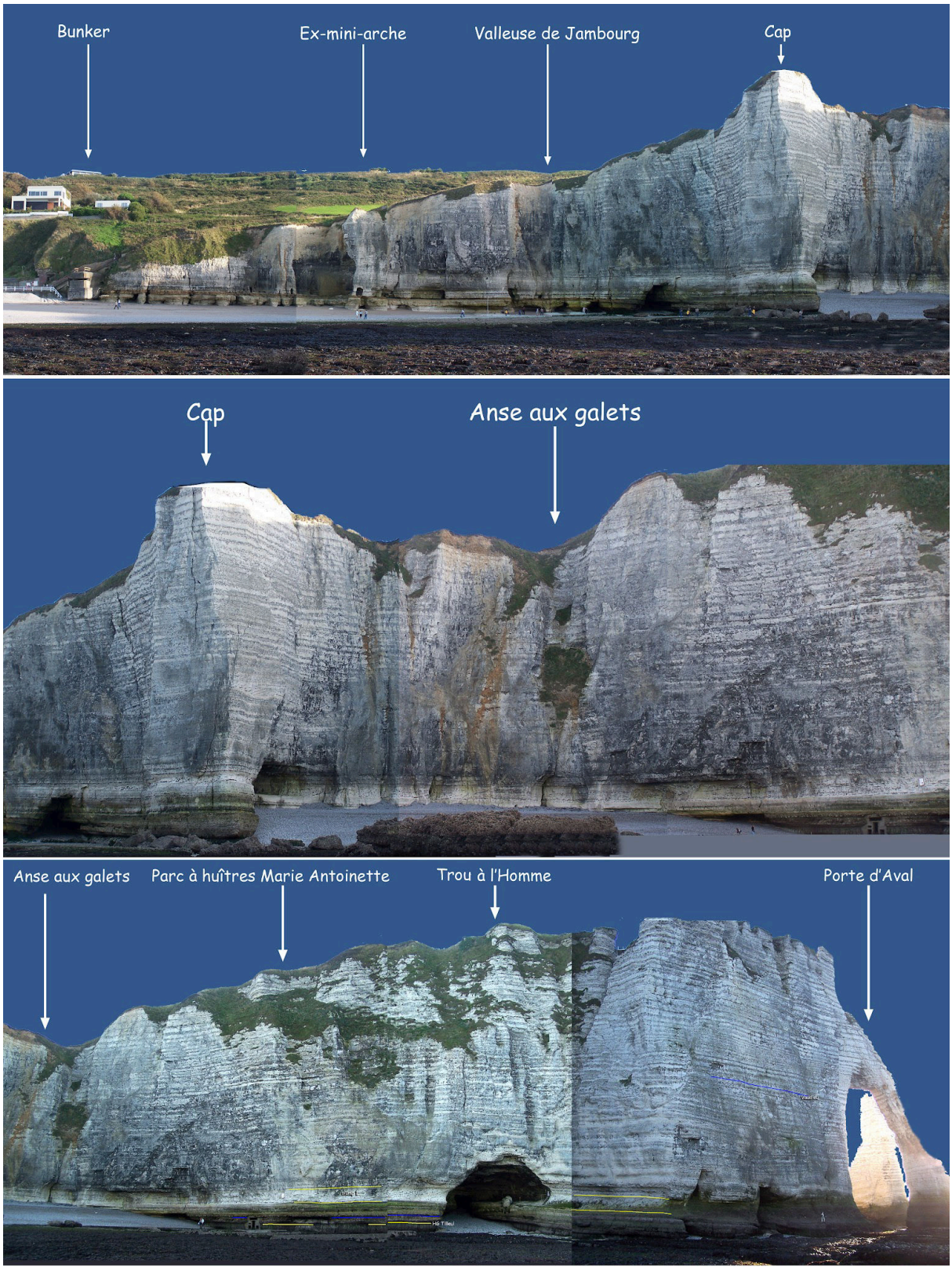


Fig. 254 - Panorama entre la Porte d'Aval et le perré d'Étretat (a, b, c : du N au S)

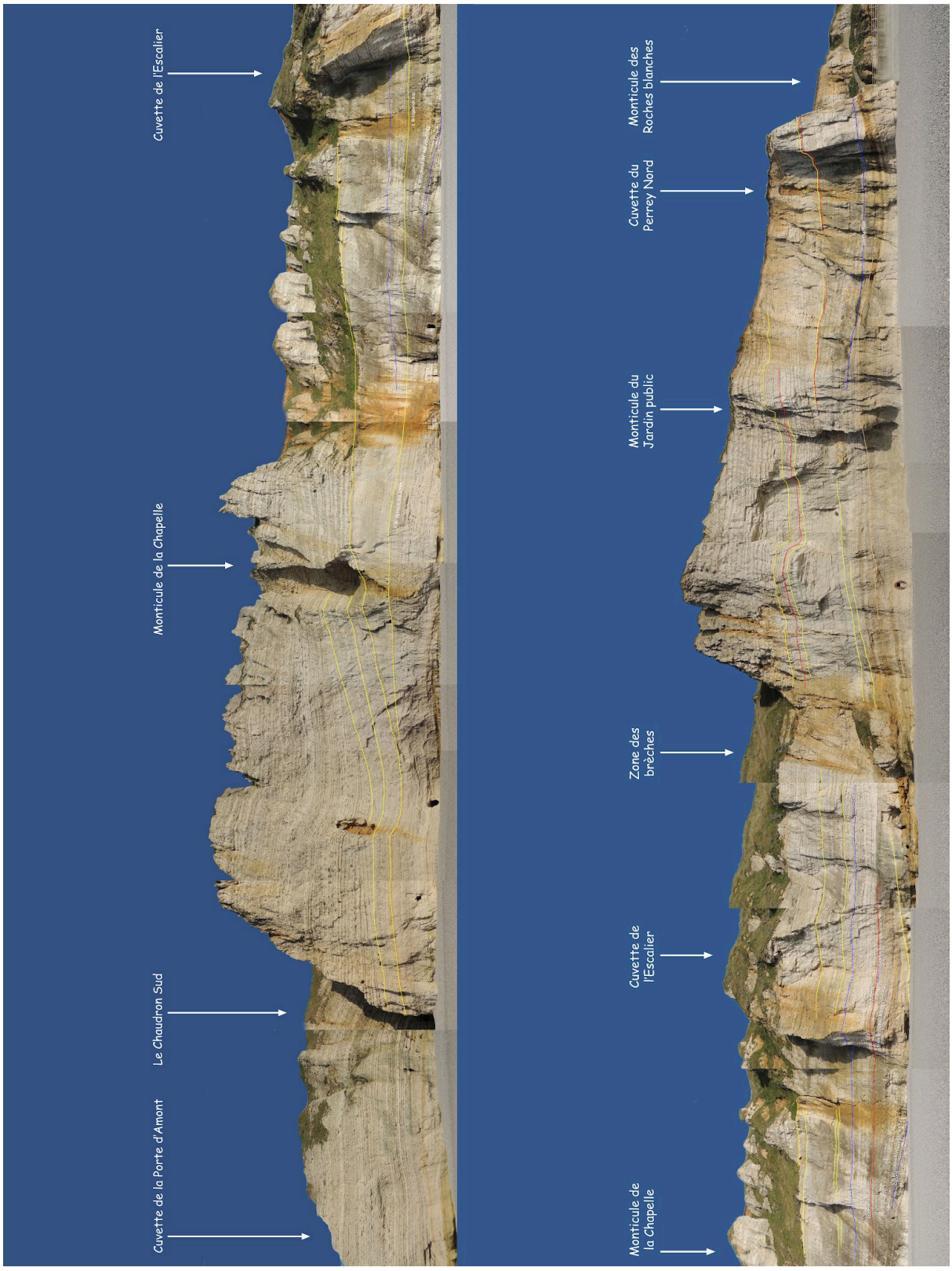


Fig. 255 - Panorama de la falaise d'Amont d'Étretat ((a : Nord, b : Sud)

Substratum cénomanien au Sud de la plage du Tilleul

Le passage du Cénomanien au Turonien s'observe entre la Pointe du Fourquet et la valleuse d'Antifer. Le Cénomanien terminal est représenté par les *hardgrounds Antifer* (JUIGNET, 1974) correspondant aux marnes à *plenus* de JEFFERIES (1963). La base de ces hardgrounds est marquée par une surface d'érosion assimilable à la surface d'érosion sub-*plenus*, notée SESP. Pour un positionnement aisé de la SESP, repérer le deuxième niveau marneux, à 1,2 m au-dessus de la marne Antifer, un aquifère travertineux.

- **Le HG Antifer 1a** est un calcaire noduleux bioturbé, riche en graviers colorés de glauconie, à rares débris de cherts. Il fait suite à un double niveau marneux (mA4a et mA4b). À sa partie supérieure, il contient de fréquentes *Orbirhynchia multicostata* et peut donc être rapproché du bed 1 de JEFFERIES (1962).
- **Le HG Antifer 1b** est également un calcaire noduleux, mais qui contient d'assez nombreux cherts et de rares graviers glauconieux.
- **Le HG Antifer 2** : niveau double de hardground.
  La partie inférieure est la plus caractéristique, appelée initialement HG Antifer 2 par JUIGNET (et désignée *HG Antifer 2a* ici). Elle est formée d'un calcaire clair entièrement perforé de terriers recouverts par un enduit vert vif. Cette propriété n'est partagée qu'avec les hardgrounds Tilleul du Turonien. De gros nodules verdis se détachent à la partie supérieure. Ce hardground correspond au niveau 11 de MOREL (1998) avec un maximum de Mn. La partie supérieure (*HG Antifer 2b*) présente des bioturbations gris clair et est couronnée par une surface d'érosion.
  Le HG Antifer 2a contient *Metoicoceras geslinianum*, *Sciponoceras gracile*, *Actinocamax plenus*, débris d'*Inoceramus pictus*. Le HG Antifer 2b contient : *Metoicoceras geslinianum*, *Euomphaloceras septemseriatum*, *Orbirhynchia multicostata*, *Orbirhynchia wiesti*. *R. cushmani* disparaît au-dessus du HG Antifer 2. Le HG Antifer 2 peut correspondre au Bed 3 de JEFFERIES (1962).
- **Le niveau Jumel** : marne grise bioclastique à radioles de Cidaris (épaisseur 15 cm), formant une encoche claire caractéristique dans la falaise. Cette marne correspond au pic principal du $\delta^{13}C$ des mesures de MOREL (1998) ou son niveau 13. Cependant, des mesures isotopiques plus serrées gagneraient à être faites autour de cet intervalle assez riche en organismes benthiques. Ceci permettrait peut-être d'identifier la phase froide temporaire de l'OAE2 (Plenus Cold Event).
- **Le HG Antifer 3a** : calcaire très noduleux (ébauche de hardground) avec débris d' *I. pictus*. De rares *Actinocamax plenus* ont été trouvés dans le HG Antifer 3 (*s.l.*). Une surface d'érosion au sommet du HG Antifer 3a forme un joint de décollement franc, avec surplombs, au niveau duquel les blocs de craie se détachent de la falaise.
- **Le HG Antifer 3b** : calcaire clair avec gros terriers au sommet.
- **Le HG Antifer 3c** : calcaire à nodules recouverts d'une patine glauconieuse. Le contact entre Antifer 3b et 3c n'est pas franc. Présence de nodules pyriteux à une quinzaine de cm du sommet. *Neocardioceras juddii* et nombreux radioles de *H. vesiculosa.* Le sommet du HG Antifer 3 *s.l.* est considéré comme la partie sommitale du Bed 7 de JEFFERIES (AMÉDRO & ROBASZYNSKI, 2001).

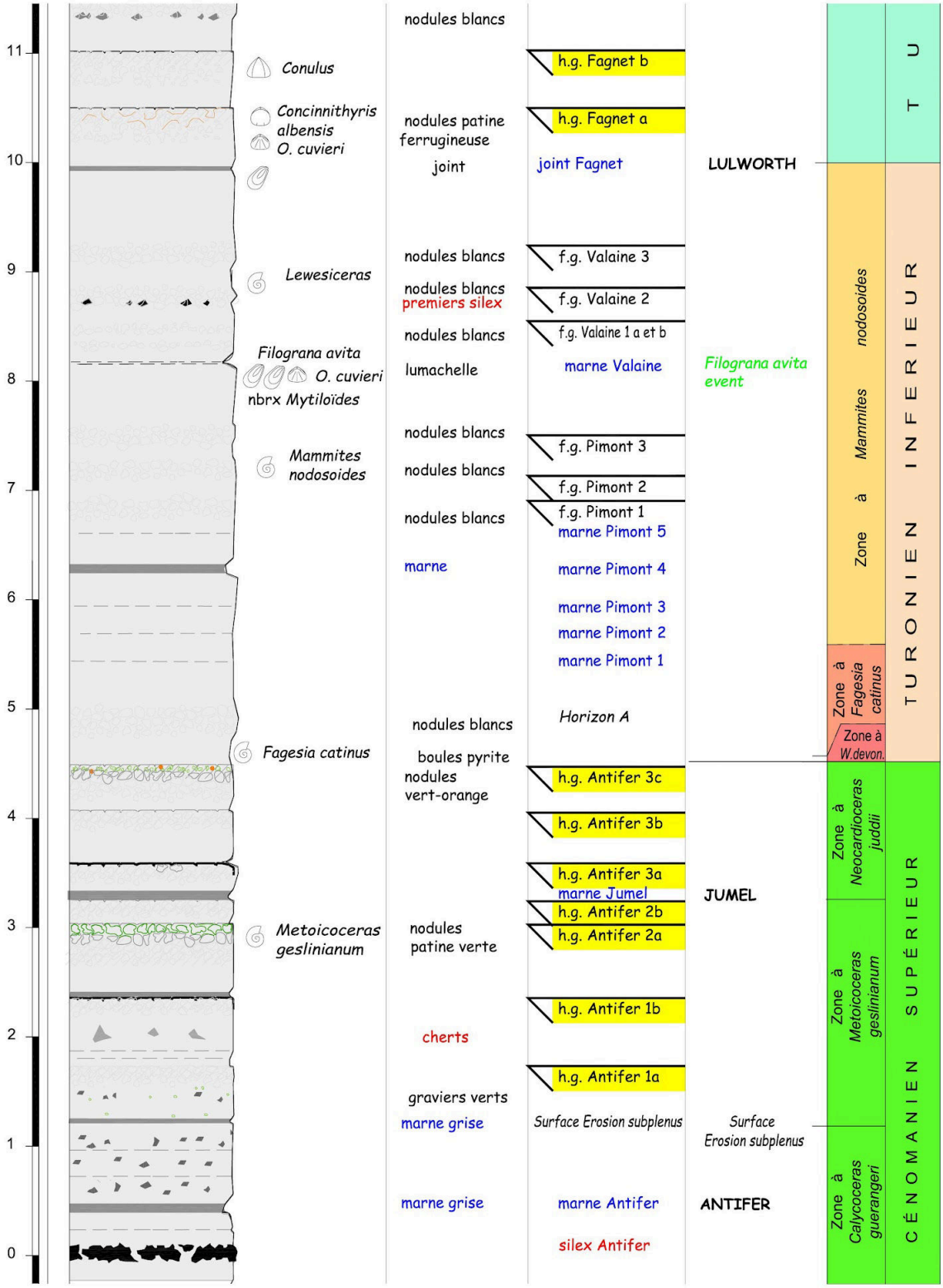


Fig. 256 - Coupe stratigraphique du passage Cénomanien-Turonien à la valleuse d'Antifer

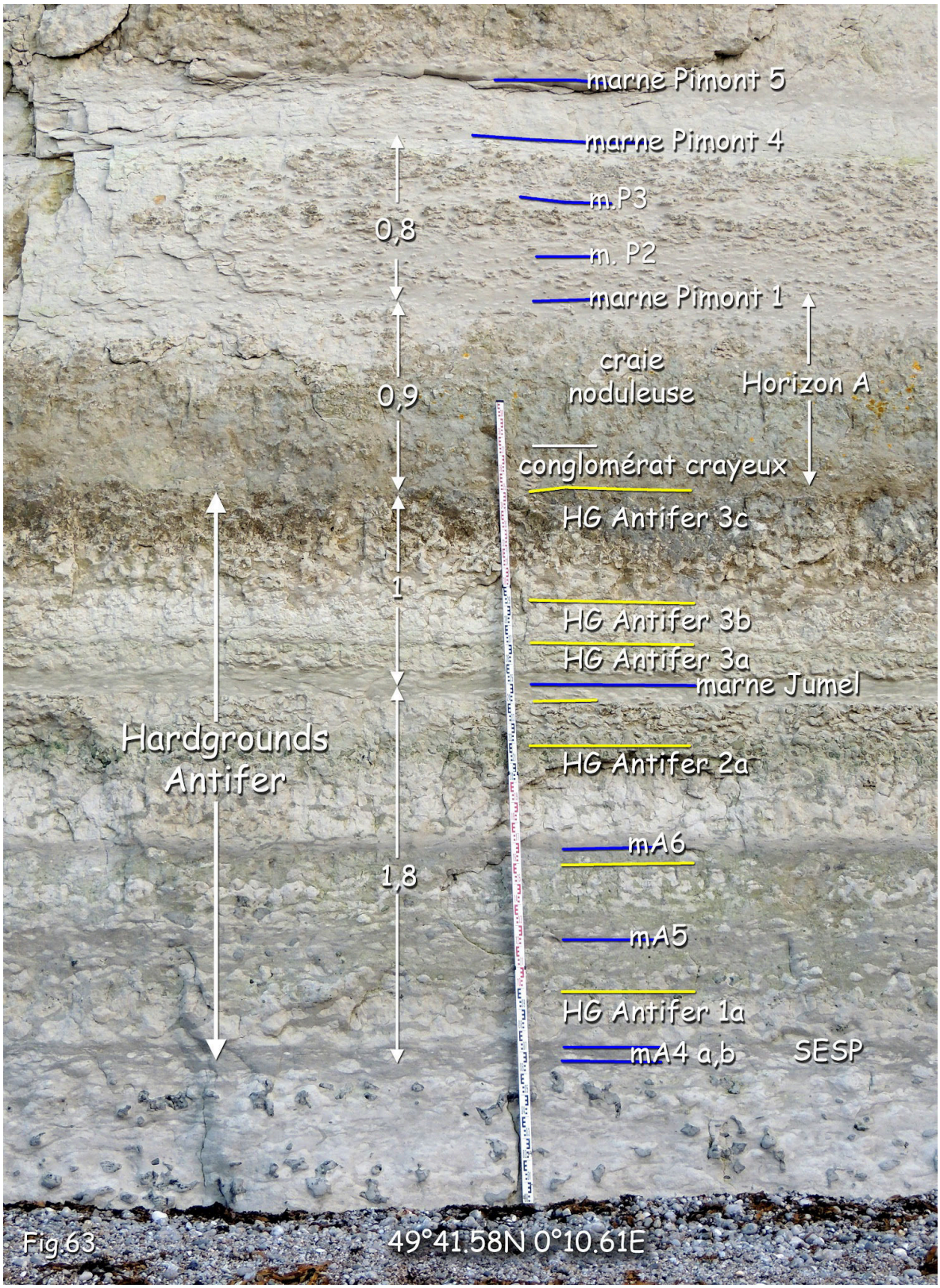


Fig. 257 - Les hardgrounds Antifer cénomaniens et la base du Turonien - Plage du Tilleul Sud

Intervalle T1 et T2 *p.p.* : Base du Turonien

Succédant aux hardgrounds Antifer, la suite turonienne est observable :

- de part et d'autre de la valleuse d'Antifer,
- sur le platier au N de la Pointe de la Courtine (couches à ammonites)
- sur le platier au N de la Manneporte (HG Fagnet uniquement).

La présence de certains joints marneux nets permet de diviser la suite de la série stratigraphique en trois "horizons":

- Horizon A, compris entre le sommet du HG Antifer 3c et la marne Pimont 1.
- Horizon Pimont, entre la marne Pimont 1 et la marne Valaine.
- Horizon Valaine, entre la marne Valaine et le joint Fagnet..

- **Horizon A** de JUIGNET : Il comprend d'abord un conglomérat à éléments de craie (20 cm) puis une craie noduleuse claire, sans discontinuité de stratification, d'épaisseur moyenne 0,8 m. À la suite de la tempête Darragh (décembre 2024), la surface du HG Antifer 3c a été dégagée et de nombreuses *Fagesia* ont été observées dans le conglomérat de base. La présence de *M. nodosoides*, ammonite turonienne, signalée par MOREL (1998) devrait être confirmée ; pour notre part une ammonite (JG_850) avec côtes et tubercules, recueillie à ce niveau avec les *Fagesia,* présente des caractéristiques de *Morrowites*.
- **Horizon Pimont** comprenant:
  - 5 couplets marne/craie sans silex. Les 5 niveaux marneux sont nommés ici marnes Pimont 1 à 5. La marne Pimont 1 est une craie marneuse à structure flaser qui renferme de grandes ammonites *Fagesia catinus*. Plus haut, apparaissent les *Mammites nodosoides*. La marne Pimont 4 est la plus marquée et elle forme avec la marne Pimont 5 un couple séparé d'environ 30 cm. Ce n'est qu'au-dessus de la marne ici attribuée à Pimont 5 que FERRÉ (1995) identifie le premier foraminifère planctonique typique du Turonien, *Helvetoglobotruncana helvetica.*
  - 3 firmgrounds Pimont : craies très noduleuses ou bréchoïdes.
  - Une craie bioclastique avec d'abondants *Mytiloides* et rares petits silex.
  - La marne Valaine terminant l'horizon, mince mais sujette à une forte dissolution karstique. Cette marne est associée au niveau à *Filograna avita* (zone TuR4, GALE, 2019).
- **Horizon Valaine** comprenant:
  - 3 firmgrounds (Firmgrounds Valaine 1 à 3). Dans le FG Valaine 2, des silex isolés réapparaissent, alors qu'ils avaient presque totalement disparu après le HG Antifer 1b. Le même fait se produit avec le silex Morden, en Angleterre, entre Londres et Cambridge (HOPSON *et al*., 1996).
  - Un intervalle d'environ 1m de craie homogène.
  - Le joint Fagnet : mince niveau marneux discret, assimilé à la marne Lulworth.

- **HGs Fagnet 1 à 3 :** hardgrounds ferrugineux successifs à *Inoceramus labiatus*. Ils sont placés par GALE (2019) dans la zone TuR5, comme la marne précédente. Le HG Fagnet 3 comporte déjà des silex Saint-Nicolas. Le HG Fagnet est mis en équivalence avec le HG Branscombe du Devon (GALE, 2026).

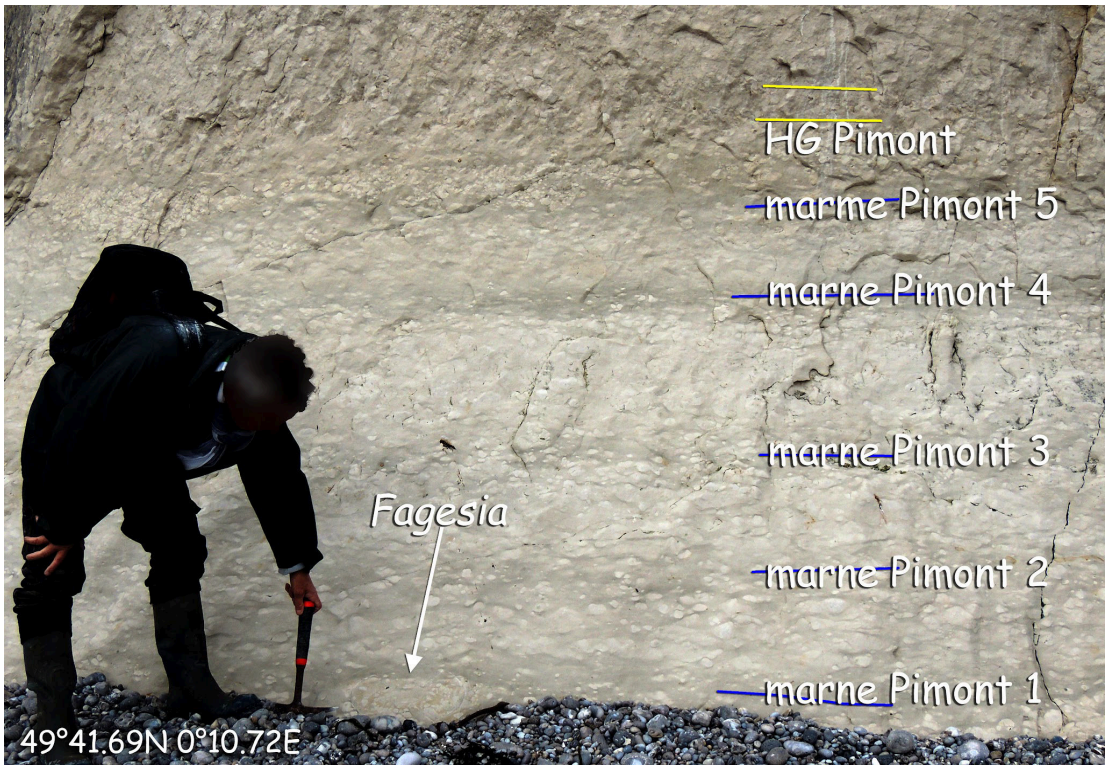


Fig. 258 - Les marnes Pimont - Sud de la plage du Tilleul

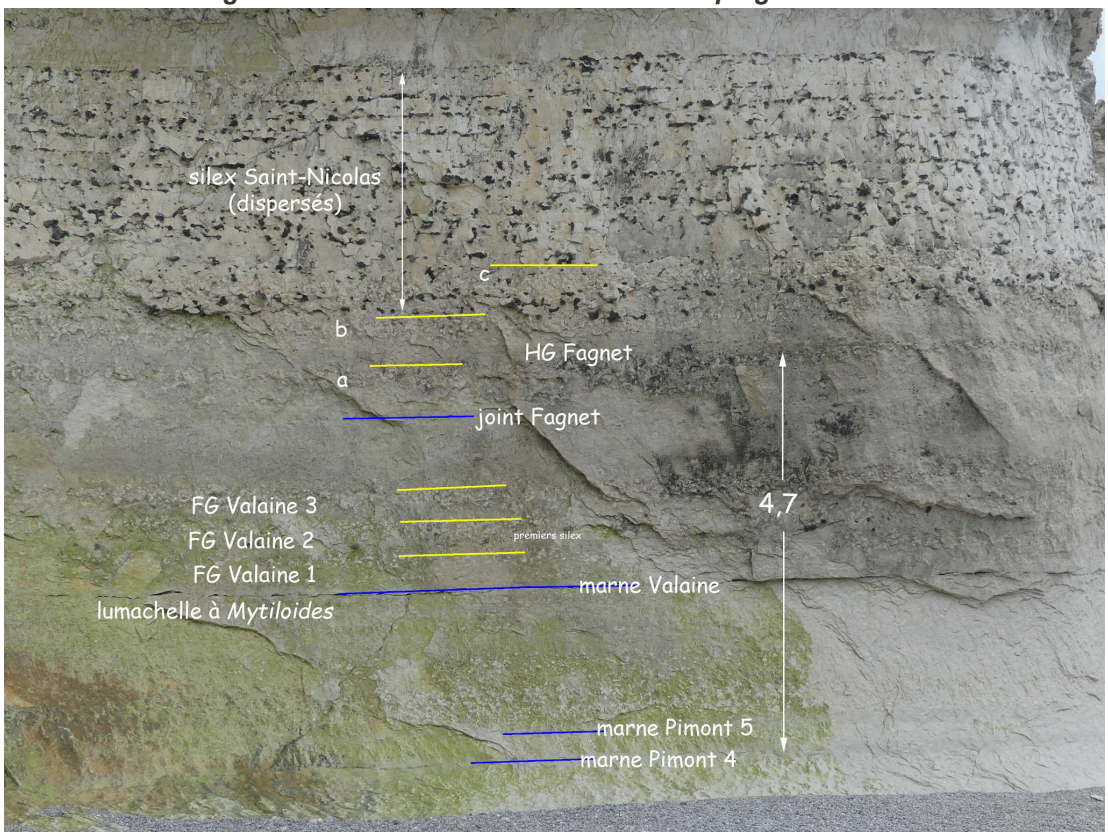


Fig. 259 - Des marnes Pimont aux silex Saint-Nicolas - Sud de la plage du Tilleul

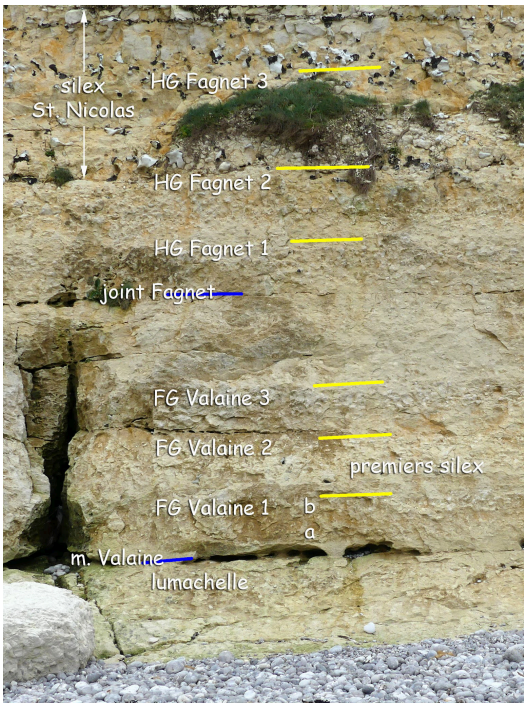


Fig. 260 - De la m. Valaine aux HGs Fagnet

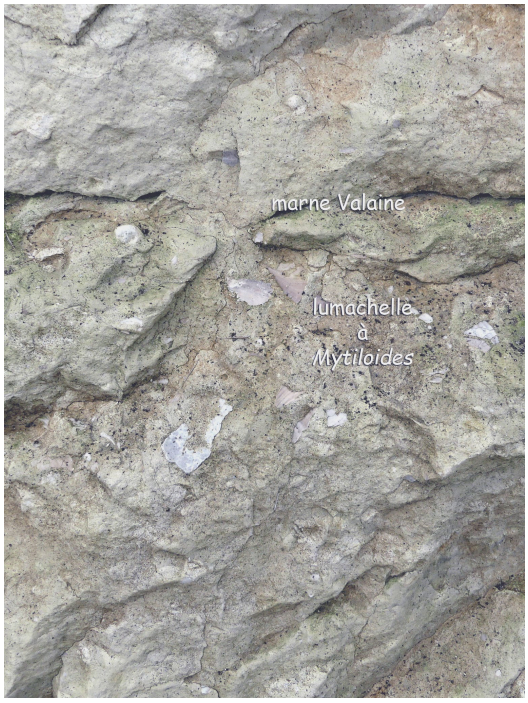


Fig. 261 - La lumachelle à **Mytiloides**

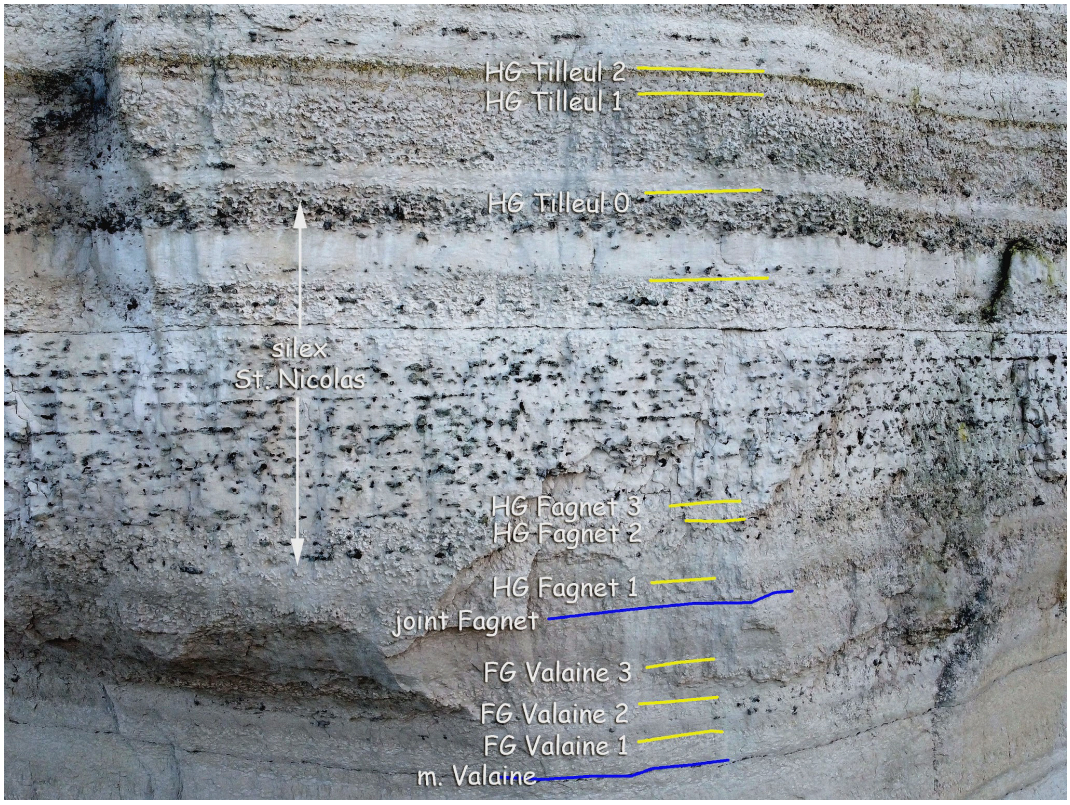


Fig. 262 - De la marne Valaine aux HGs Tilleul - falaise S de la plage du Tilleul

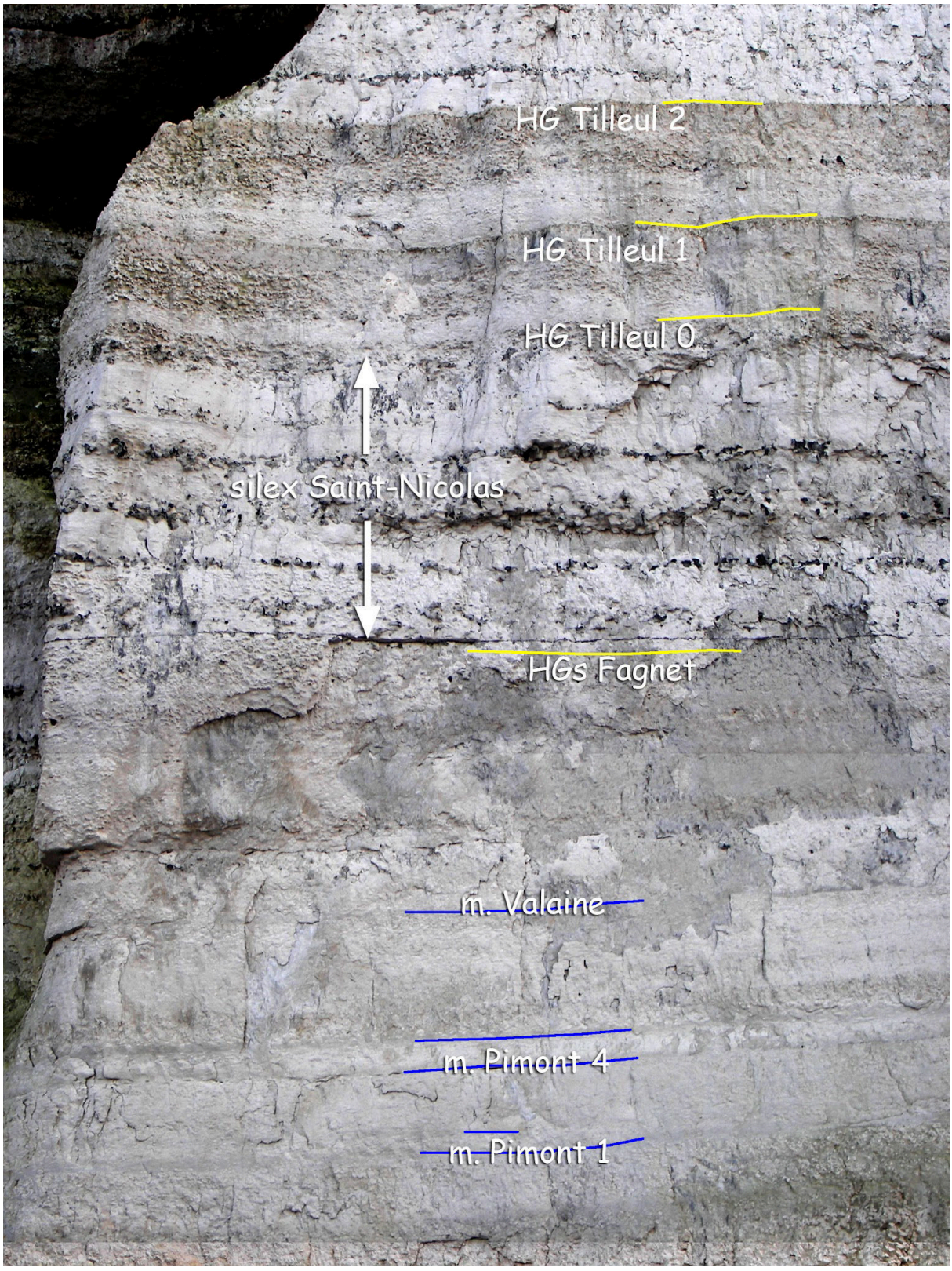


Fig. 263 - De la base du Turonien aux HGs Tilleul - falaise S de la plage du Tilleul

Intervalles T2 p.p. et T3 : du HG Fagnet à la marne Glynde 1

Les observations peuvent être réalisées : au monticule de la Roche Trouée, au monticule Courtine Sud, à la Pointe de Valaine, au monticule de la Manneporte, à la valleuse de Jambourg, sur le platier au N du massif d'Aval, au monticule des Roches Blanches.

La succession de bas en haut est la suivante:

- Les **silex Saint Nicolas**. Selon l'endroit, ces silex peuvent être régulièrement stratifiés ou largement dispersés. L'épaisseur de ce membre varie de plusieurs mètres à moins d'un mètre près de la Pointe de Valaine.
- Le **HG Tilleul 0**.
- Le **niveau à *Chondrites*** silicifiés. À Senneville, ces mêmes terriers ne sont pas silicifiés.
- Le **HG Tilleul 1**.
- Le **HG Tilleul 2**.

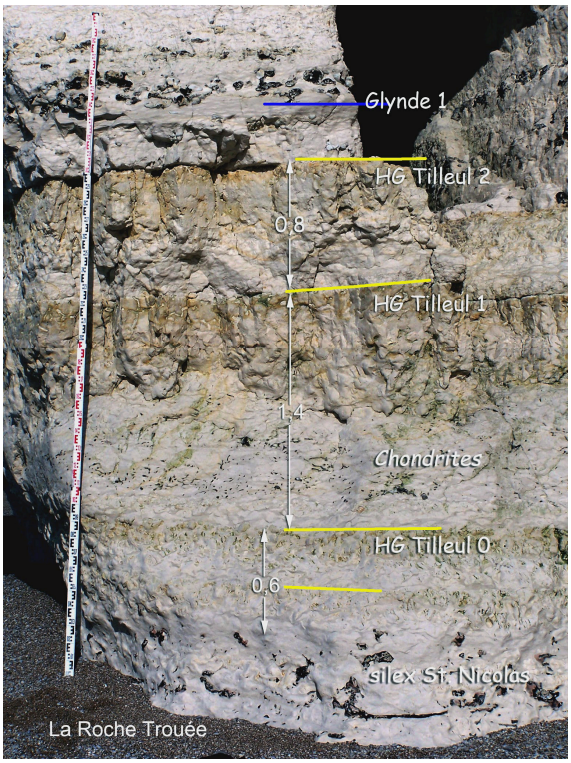


Fig. 264 - Les HGs Tilleul - Roche Trouée

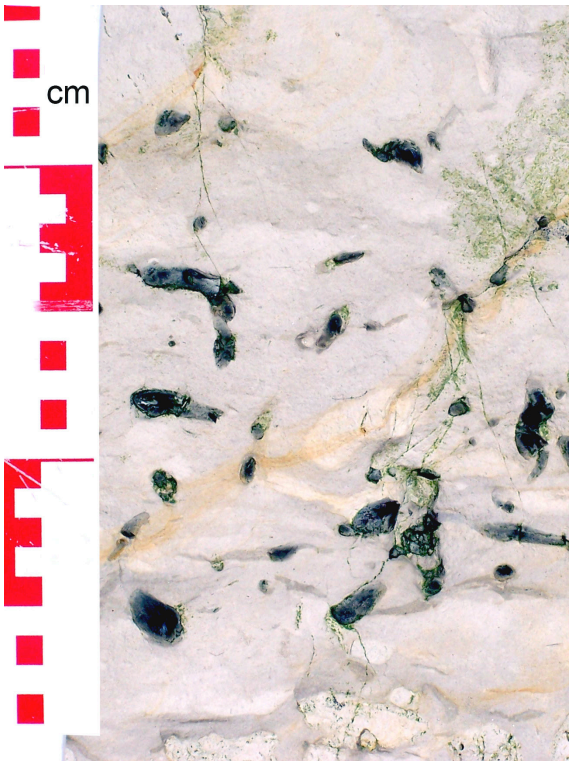


Fig. 265 - Chondrites silicifiés

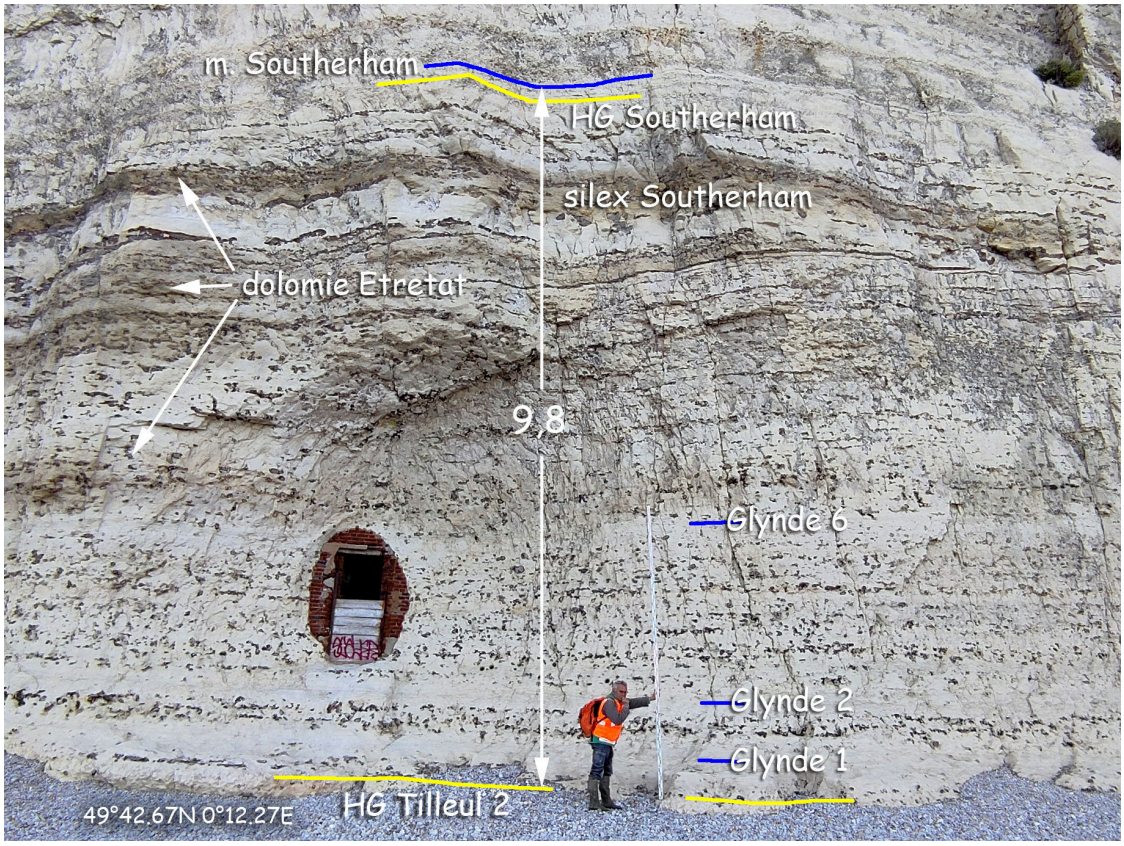


Fig. 266 - De la marne Glynde 1 à la marne Southerham - falaise d'Amont Étretat

Intervalle T4 : de la marne Glynde 1 à la marne Southerham

Cet intervalle peut atteindre une dizaine de mètres d'épaisseur et est observable :

- au monticule de la Roche Trouée,
- au monticule Courtine Sud,
- au monticule de la Manneporte,
- au monticule de la valleuse de Jambourg,
- au Sud du perré de la plage d'Étretat,
- au monticule des Roches Blanches (perré nord-est d'Étretat).

Durant cet intervalle se forment des monticules courts, au-dessus du fond durci et plat constitué par les hardgrounds Tilleul. La craie blanche est chargée de nombreux petits silex cariés, résultant probablement de la silicification de traces de *Zoophycos*. La hampe verticale de cette trace avec un filet hélicoïdal est parfois préservée. Vers le haut, les silex deviennent de mieux en mieux stratifiés et continus, parfois ils deviennent tabulaires.

A la base de l'intervalle, des niveaux décimétriques de marnes flaser s'intercalent dans la craie et sont attribués aux marnes Glynde 1, 2, 3 et 6.
Plusieurs niveaux de hardground sont présents, les plus marqués étant vers le sommet.
Sur les flancs et au fond des cuvettes se produit une dolomitisation. Vers le milieu de l'intervalle, elle peut conduire à une dolomie rousse, dénommée ici "*dolomie Étretat*".
La dissolution de cette dolomie (ou de minéraux sulfatés qui l'accompagnent) conduit, en plusieurs endroits, à la formation de brèche et à l'effondrement des hardgrounds sus-jacents. Ce mécanisme est spectaculaire au nord de la valleuse d'Antifer ou dans la falaise nord d'Etretat.
L'abaissement du niveau marin, dans la seconde moitié de l'intervalle T4, est supposé responsable de la formation de la dolomie. L'évaporation dans des cuvettes isolées conduit à la formation de saumures denses enrichies en Mg^{2+} qui percolent au travers d'un sédiment encore mou et perméable. Une substitution partielle s'effectue qui remplace l'aragonite originelle par la dolomite.
Les hardgrounds et la dolomie correspondent au "Spurious Chalk Rock" d'Angleterre (ROWE, 1908) ou au "Fognam Farm Hardground" (GALE, 2019).

Un niveau marneux franc, rapporté à la marne Southerham, termine l'intervalle. Il couronne plusieurs monticules. Bien développé sur leur flanc sud et à leur sommet, il s'amenuise, puis disparaît, sur leur flanc nord, tronqué par des hardgrounds supérieurs. Il est bien visible:
- au monticule de la Roche Trouée (Tilleul nord),
- au monticule Courtine Sud,
- au monticule de la Manneporte,
- au monticule de Jambourg (accessible au sommet de l'ex-échelle),
- au monticule d'Aval Sud,
- au monticule du bunker (accessible près des projecteurs lumineux),
- au monticule des Roches Blanches.

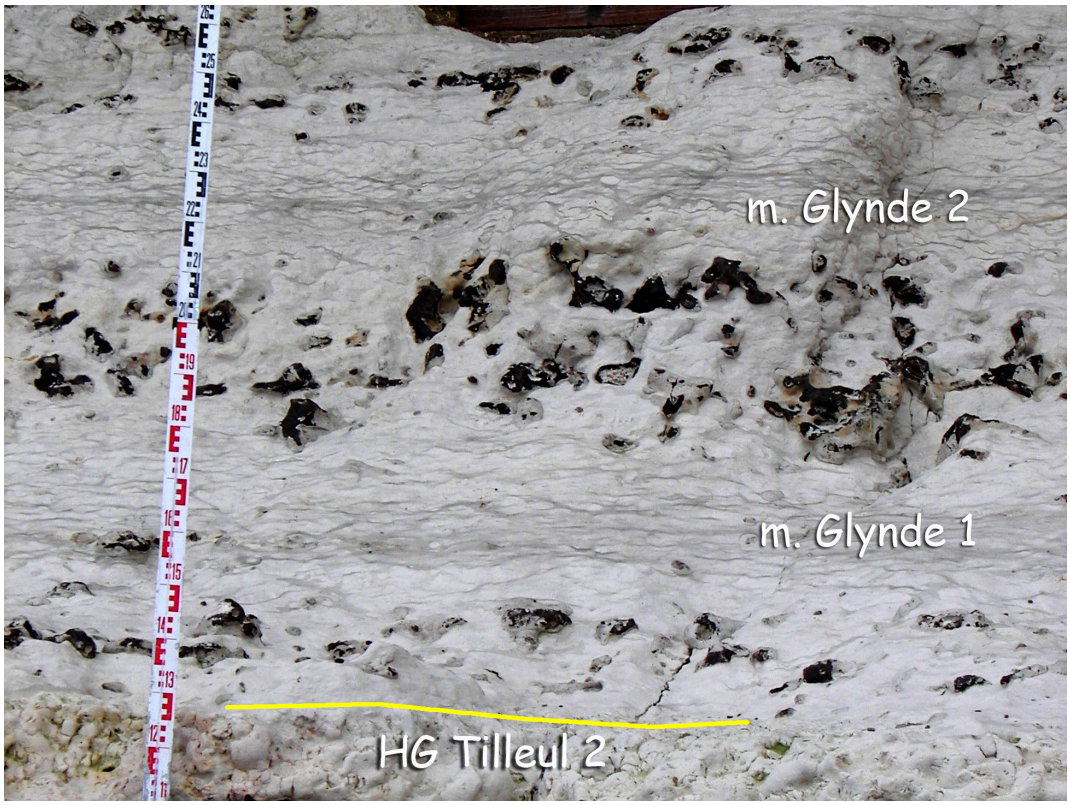


Fig. 267 - Les marnes Glynde 1 et 2 - falaise d'Amont Étretat



Fig. 268 - Silex creux associés aux marnes Glynde - falaise d'Amont Étretat

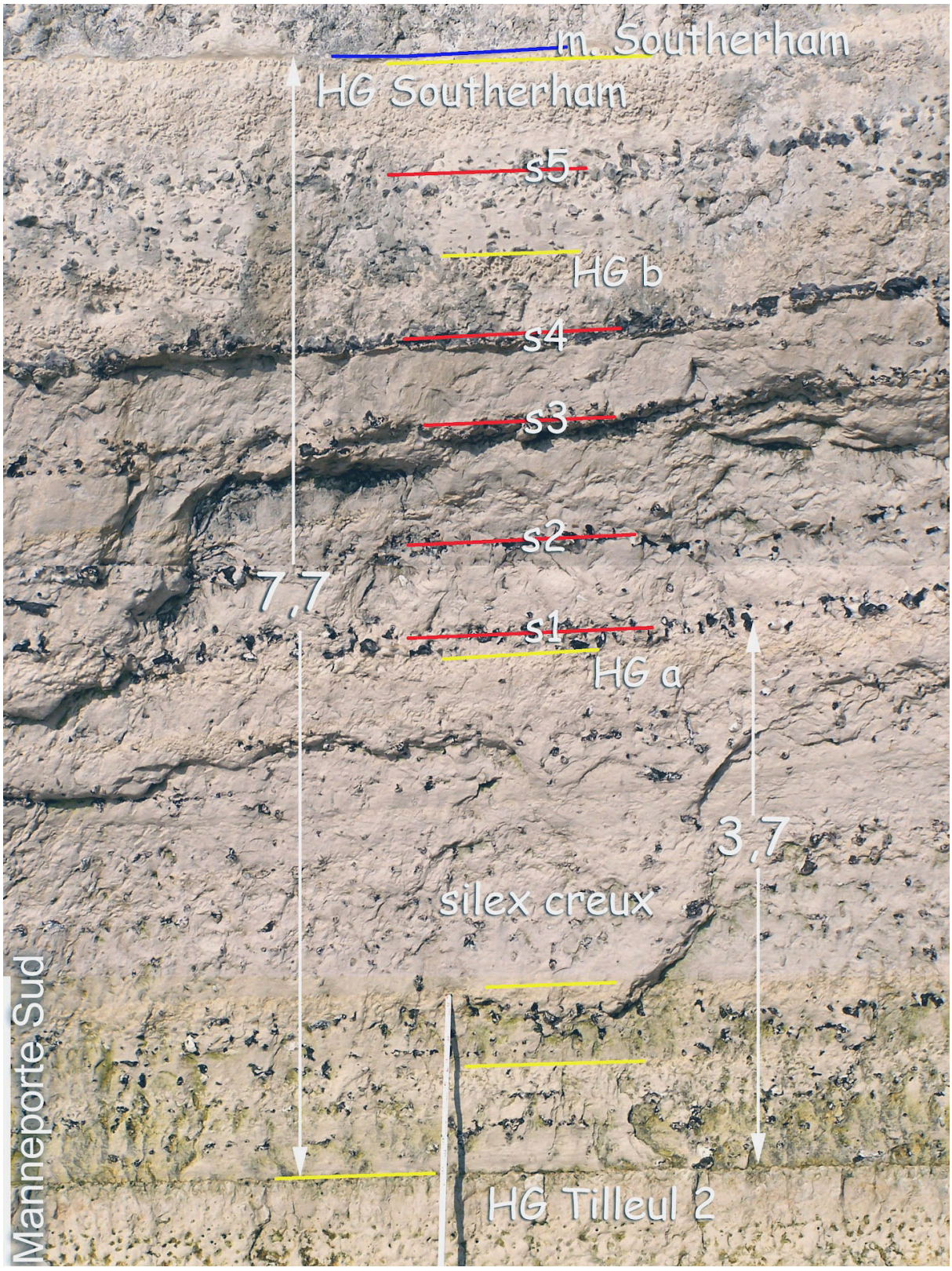


Fig. 269 - Du HG Tilleul 2 à la marne Southerham - monticule de la Manneporte S

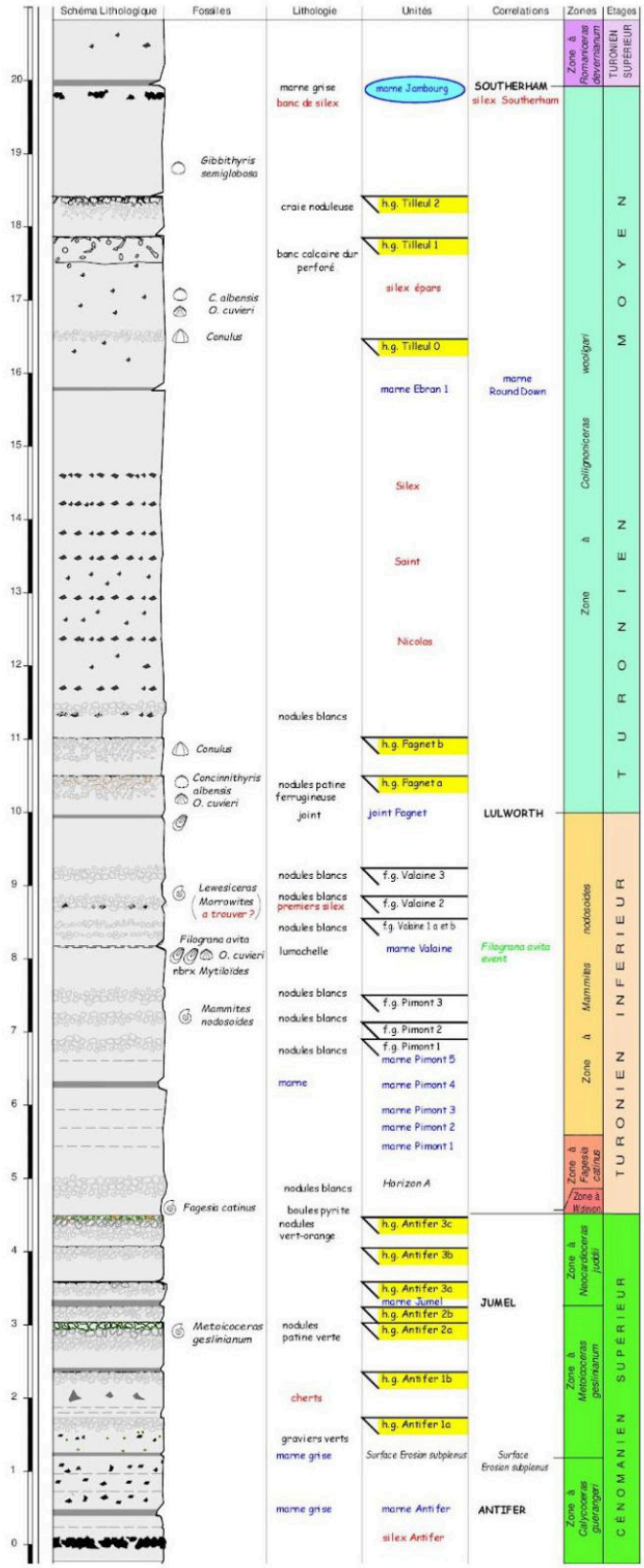


Fig. 270 - Log stratigraphique du Turonien inférieur et moyen (pied de falaise entre valleuse du Fourquet et valleuse du Tilleul)

Intervalles T5 et T6 : de la marne Southerham à la marne Bridgewick 1

Cet intervalle composite est d'épaisseur extrêmement variable. Il n'atteint son maximum d'épaisseur (une quinzaine de mètres environ) qu'au sommet de monticules sédimentaires où la sédimentation est restée soutenue, comme par exemple le monticule de la Manneporte. Il comporte trois membres:

● **Membre inférieur**

Il est composé de craies à silex souvent plats. Une dolomitisation, comme pour les craies infra-Southerham, peut également se produire. La dolomitisation s'accompagne d'une imprégnation chimique du cortex des silex semi-tabulaires qui prend alors une teinte rosée.

● **Membre médian**

Deux hardgrounds désignés *HG Vévigne 1 & 2* (HOYEZ, 2008). Ils sont rarement accessibles, ce qui rend leur datation paléontologique problématique. Ils peuvent représenter la condensation du Caburn Sponge Bed et des HGs Gringoria décrits dans les chapitres précédents.

● **Membre supérieur**

Il est composé de craies alternant avec des bancs de silex épais (c'est-à-dire pouvant dépasser 20 cm) de type *Thalassinoides.* Ces craies apparaissent sur des hauts-fonds ou des monticules dont le dos est fortement courbé et sur lesquels les couches supérieures viennent s'appuyer en biseau. Ces silex sont mis en équivalence avec les silex Bridgewick d'Angleterre ou avec les silex Gringoria de la coupe de Dieppe. Leur résistance face aux houles actuelles explique probablement la persistance de récifs sur le platier ou de pointes, comme l'Aiguille de Belval. Ces silex Bridgewick, en monticules de forme lenticulaire en coupe verticale, peuvent disparaître latéralement entre les monticules. Il ne subsiste alors de l'intervalle que les hardgrounds Vévigne sur une épaisseur d'environ deux mètres. Ces hardgrounds forment un ensemble compact difficilement grignoté par des épisodes successifs de courants érosifs et ils servent de dalle-support lors de la reprise de la sédimentation. Un même phénomène a déjà été constaté pour les hardgrounds Tilleul.

La masse des monticules, armés de silex parfois épais et serrés, justifie l'appellation locale de "**couches à silex**". Cette particularité est à considérer à l'échelle du Bassin Anglo-Parisien. En Angleterre (MORTIMORE & WOOD, 1986), un "maximum à silex" (flint maximum) s'observe à la base de la zone traditionnelle à *Sternotaxis planus*. Il prend le nom de "complexe basal" dans la Province méridionale ou de "série à silex Brandon" dans la province septentrionale. Il est clairement positionné stratigraphiquement au-dessus de la marne Caburn. Il comprend :

● les "silex Bridgewick" au-dessous de la marne Bridgewick 1,

● les "silex Bopeep" de part et d'autre de la marne Bridgewick 2.

L'édification des monticules à silex pourrait avoir comme cause partielle le piégeage des particules par des organismes (éponges siliceuses, bryozoaires), comme dans les mud-mounds danois (NOE-NYGAARD & SURLYK (1985).

Dans le secteur d'Étretat, les "couches à silex" s'observent avec le plus de netteté :

- dans le milieu de la falaise de la Roche Trouée, au N de la plage du Tilleul,
- dans le milieu de la falaise dans le monticule de la Manneporte,
- au tiers inférieur de la falaise à la valleuse de Jambourg,
- à 200 m au Sud du massif de la Porte d'Amont,

- à la Pointe de Belval.
- de part et d'autre de la valleuse d'Etigue (partie supérieure uniquement).

Quelques particularités des "couches à silex" sont à noter :

1) Au pied des monticules (ou dans les cuvettes adjacentes) peuvent s'accumuler des coulées gravitaires d'un mélange craie et silex, semblant provenir du décollement du sommet de monticules (donc d'âge postérieur aux couches à silex). Ces masses molles sont parfois déformées en donnant des plis synsédimentaires couchés. De beaux exemples de chaque côté du Massif d'Aval à Étretat ont été depuis longtemps rapportés (KENNEDY & JUIGNET, 1974 ; BROMLEY & EKDALE, 1987).
2) Au cœur des monticules, dans la zone de forte accrétion sédimentaire, les paramoudras sont fréquents. Ces colonnes siliceuses se sont formées lors de la diagenèse précoce autour de terriers verticaux ou de cheminées d'expulsion de fluide.
3) Peu après leur formation, les silex épais de type *Thalassinoides* sont très sensibles aux contraintes mécaniques ou aux élévations de pression interstitielle provoquées par des surcharges brutales. Ainsi, les énormes masses slumpées dans les cuvettes du Coniacien inférieur ont eu un effet sur les silex du Turonien supérieur. Le cas le plus spectaculaire en est fourni à la Pointe de la Courtine avec la formation de *mégasilex* (HOYEZ, 2008 ; MORTIMORE, 2010). Le silex primitif est fractionné, puis autour des éléments s'agglomère de la silice secondaire. Les fractures autour du silex sont elles-mêmes silicifiées sous forme d'anastomoses. La forme résultante du silex est très contournée. Parmi le cordon de galets, on retrouve parfois des blocs polis de ces silex volumineux montrant des zones de colorations différentes exprimant leur croissance polyphasée.

Vers le sommet des couches à silex (pas au sommet) apparaissent deux niveaux de marne, séparés par un silex et considérés comme les **marnes Bridgewick 1 et 2**. La meilleure exposition est offerte sur le platier, entre la valleuse du Curé et l'Aiguille de Belval. À Étretat, elles sont très peu nettes.

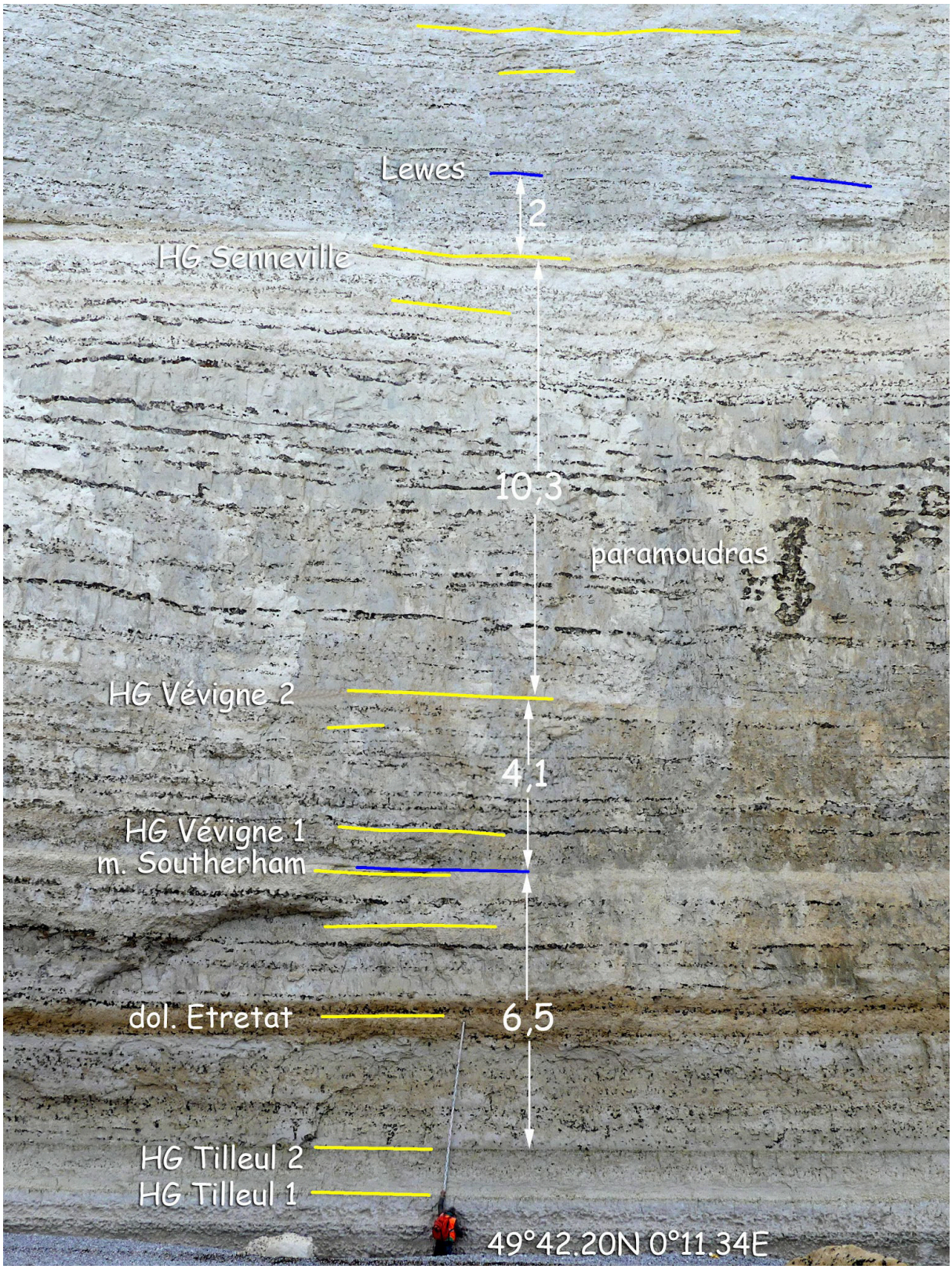


Fig. 271 - Du HG Tilleul 2 à la marne Southerham - monticule de la Manneporte S



Fig. 272 - Brèche d'effondrement dans la dolomie - falaise d'Amont du Tilleul



Fig. 273 - Silex rosés et dolomitisation - falaise d'Amont du Tilleul

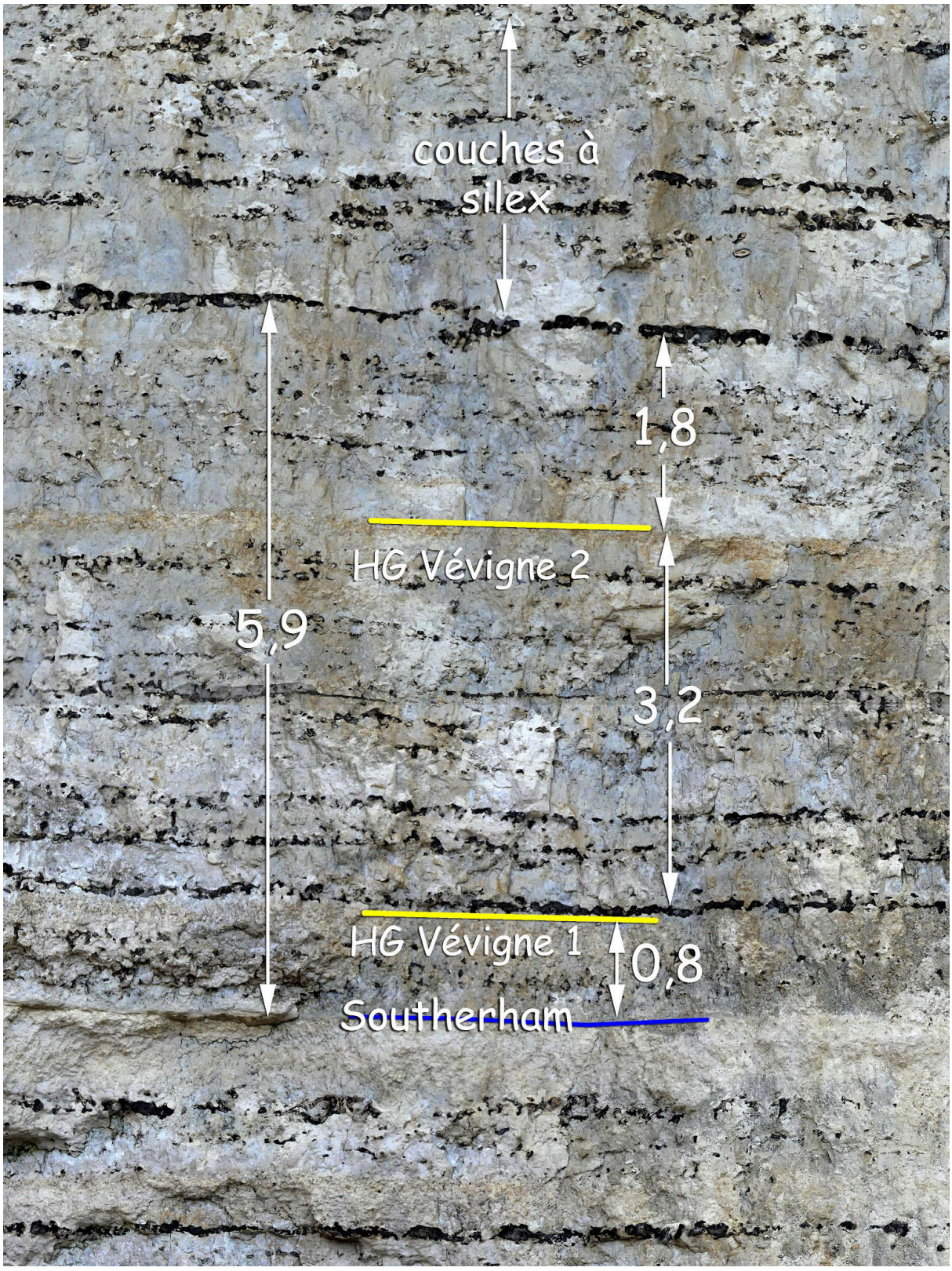


Fig. 274 - Les hardgrounds Vévigne - monticule de la Manneporte S



Fig. 275 - Un monticule à silex - valleuse de Jambourg

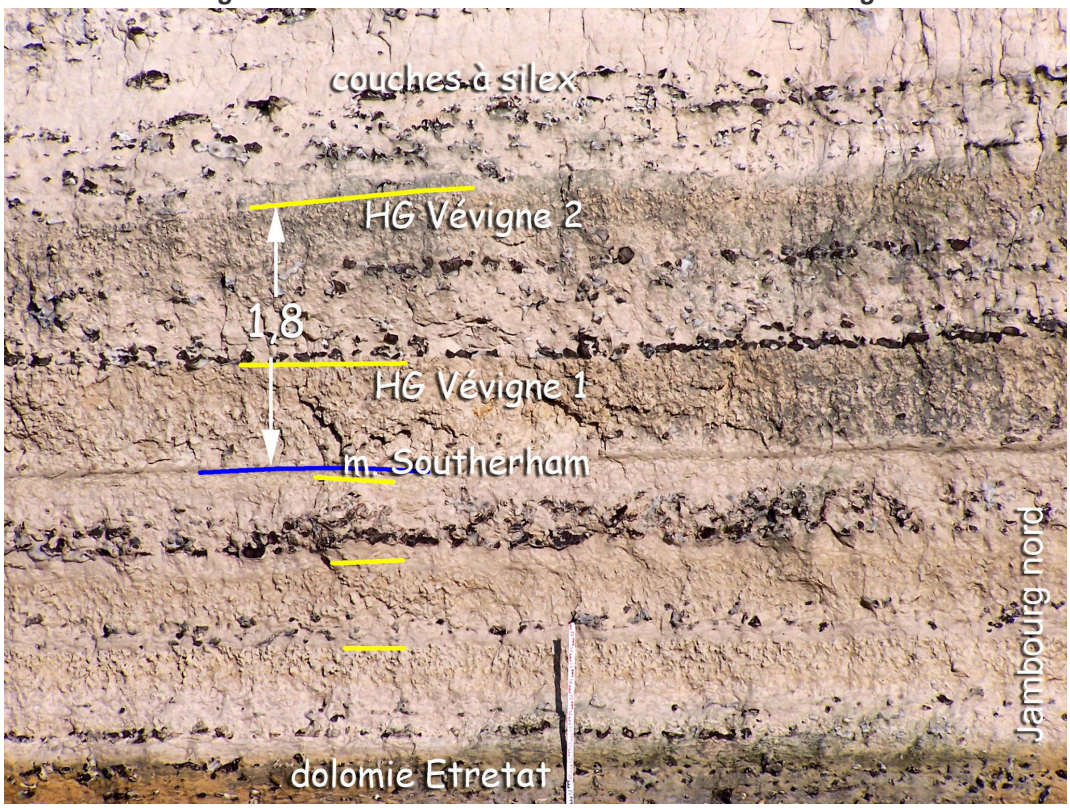


Fig. 276 - Les HGs Vévigne sur le bord d'un monticule - valleuse de Jambourg N

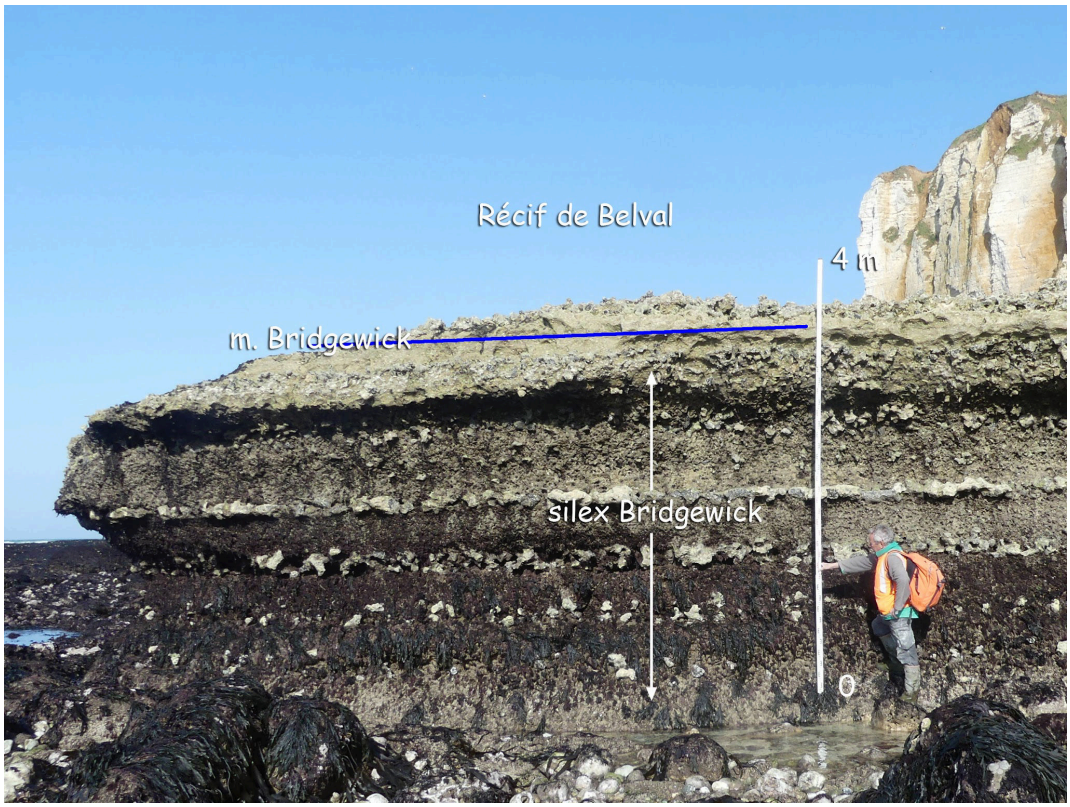


Fig. 277 - Partie supérieure de la série à silex Bridgewick - récif de la Pointe de Belval

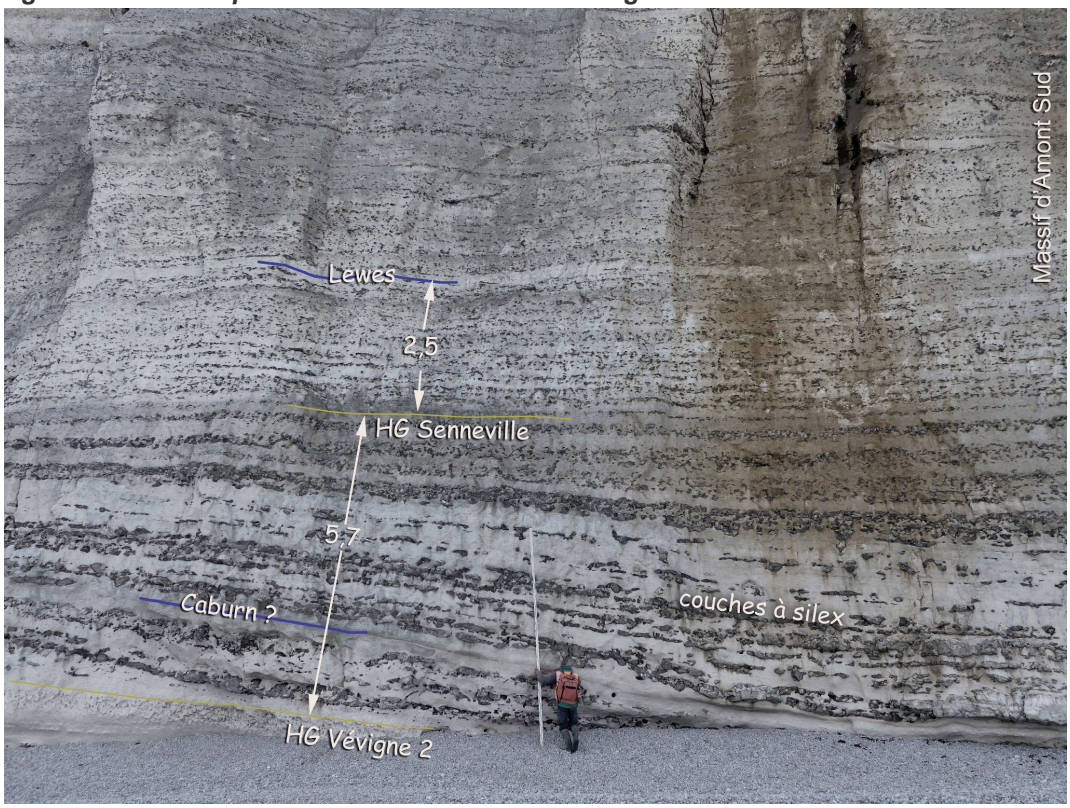


Fig. 278 - Série à silex, HG Senneville et marne Lewes - Falaise d'Amont Étretat

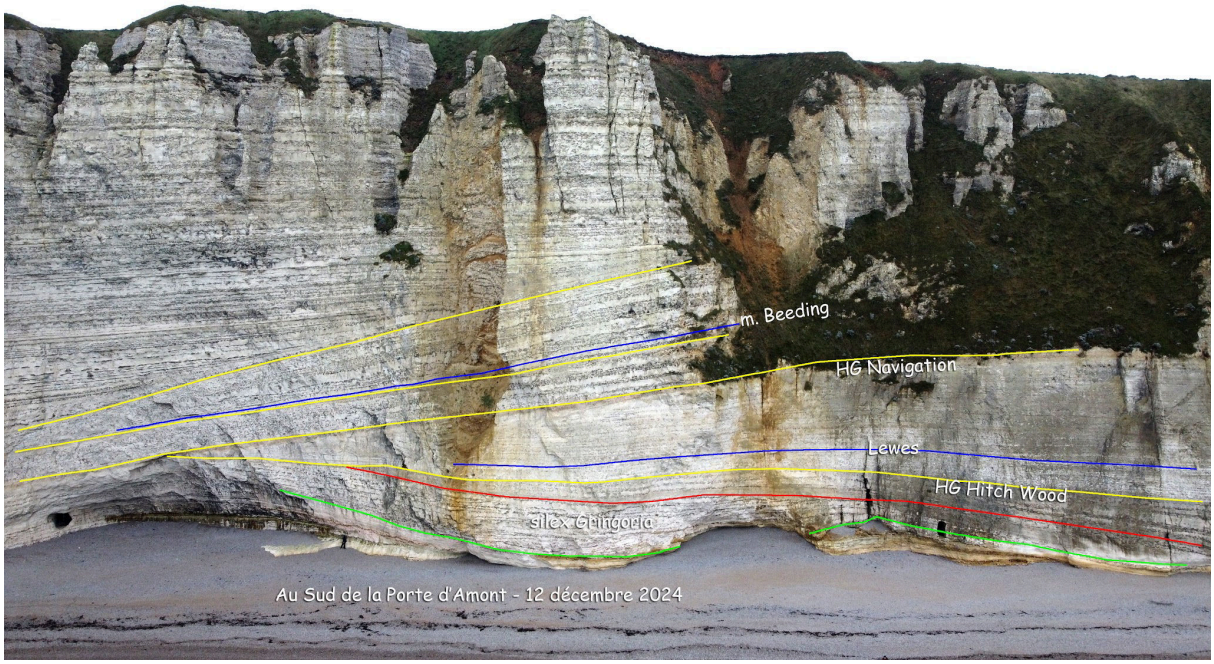


Fig. 279 - Série à silex en pied de falaise - Falaise d'Amont



Fig. 280 - Série à silex - Falaise d'Amont

Intervalle T7 : de la marne Bridgewick 1 à la marne Lewes

Cet intervalle d'une épaisseur de l'ordre de 5 mètres est divisé en trois membres :

● **Membre inférieur, riche en gros silex** puis en hardgrounds

Épaisseur : environ 2 à 3 m
Il comporte :
- la marne Bridgewick 1,
- un silex continu, à surface bosselée, épais d'une vingtaine de centimètres, assimilé au silex Bopeep 1,
- la marne Bridgewick 2,
- un premier hardground, désigné *HG Belval 1* (probable équivalent du HG Puys 1-2),
- un silex assez plat, épais d'une dizaine de centimètres, assimilé au silex Bopeep 2,
- une couche de craie à silex dispersés, peu épaisse,
- un second hardground, désigné *HG Belval 2*, plus épais que le HG Belval 1 (probable équivalent du HG Puys 3). A sa surface, des placages phosphatés locaux sont présents.
- un silex mince et plat, pouvant disparaître,
- une couche de craie à silex dispersés, d'épaisseur variable,
- un silex discontinu,
- un troisième hardground, désigné *HG Belval 3*.

● **Membre médian, à silex stratifiés**, plus ou moins continus

Ces silex sont désignés *silex Belval 1* à *silex Belval 4* (les silex Belval 1 et Belval 4 étant les mieux marqués).
2 hardgrounds mineurs, *HG Belval 4* et *HG Belval 5*, surmontent respectivement les silex Belval 1 et Belval 4.
Les silex Belval sont mis en équivalence avec les silex Lewes inférieurs. Le silex Breaky Bottom pourrait correspondre au silex Belval 4 et le HG Puys 4 au HG Belval 5.

L'ensemble constitué par ces deux membres est le mieux exposé au petit cap de Belval, mais il se reproduit dans plusieurs bombements du platier jusqu'à l'est d'Etigue, puis de Vaucottes.
À Belval, les hardgrounds fournissent la faune suivante : nombreux *Gibbithyris semiglobosa et G. subrotunda*, *Orbirhynchia reedensis*, *Micraster leskei* (dont la FAD est convenue entre les marnes Bridgewick 1 et 2), *Sternotaxis* sp., *Conulus subrotundus*. Elle correspond en partie à celle des HGs Senneville à Életot ou plus largement au HG Hitch Wood.
À la Fontaine aux Mousses, au-dessus du HG Belval 2 à surface verdie, a été récoltée une *Mesopuzosia mobergi.*
Au N du Massif d'Aval, des hardgrounds dans la même position ont fourni une faune similaire avec *Woodwardirhynchia cuneiformis* .

Les hardgrounds Belval offrent latéralement un aspect différent. S'ils sont en continuité de sédimentation avec la série à silex, ils sont alors peu marqués, contrastant simplement avec une teinte plus sombre. Mais ils peuvent être aussi la résultante d'un long épisode de non-dépôt ou d'érosion. En ce cas, ils sont compacts et perforés. Ainsi, dans la cuvette du Massif d'Aval, entre le perré d'Etretat et l'arche d'Aval (zone des grottes), le HG Belval à *M. leskei* repose directement sur les hardgrounds liés à la marne Southerham.

● **Membre supérieur, riche en petits silex** (environ 1,5 à 2 m d'épaisseur)

Les silex sont généralement creux et cariés. Ils semblent avoir été resédimentés horizontalement, sans rythmicité. Leur grosseur et leur densité diminuent vers le haut.
Une couche particulière d'une trentaine de centimètres, encadrée par deux silex minces mais constants, termine l'épisode à petits silex. Dans cette couche de craie claire sans silex s'intercalent des filets marneux. Il s'agirait d'une forme diluée de la *marne Lewes*.
Cette couche incluant la marne Lewes s'observe:
- en haut de falaise, sur 200 m environ, au Nord de la Roche Trouée du Tilleul,
- en haut de falaise, au Nord de la Manneporte,
- en milieu de falaise, sur une centaine de mètres, dans la falaise d'Amont au Nord d'Étretat,
- en bas de falaise, dans plusieurs bombements, entre la Porte d'Amont et Etigue-Est.
- en bas de falaise, à 200 m à l'W des récifs du Chicard.



Fig. 281 - Base de T7 - Pointe de Belval



Fig. 282 - Base de T7 - Pointe de Belval

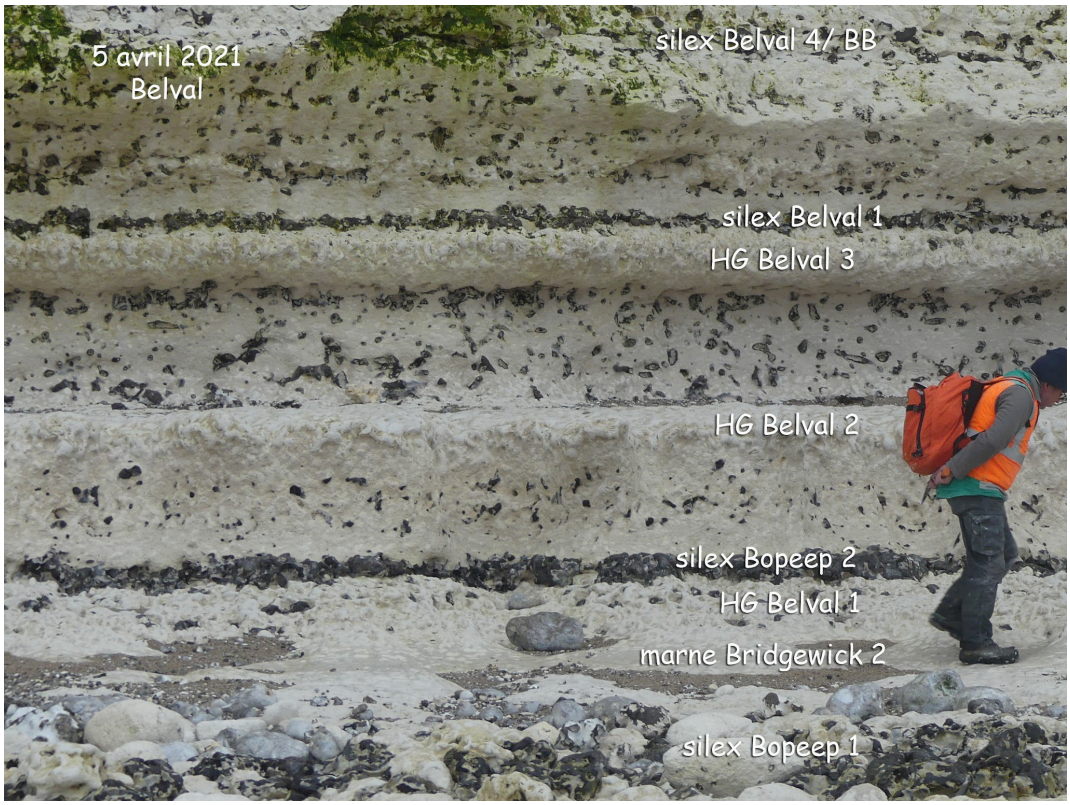


Fig. 283 - Les hardgrounds et silex Belval - Pointe de Belval



Fig. 284 - Couche à silex remaniés entre HG Belval 2 et HG Belval 3 - Pointe de Belval



Fig. 285 - Des HGs Belval à la marne Lewes - Pointe de Belval

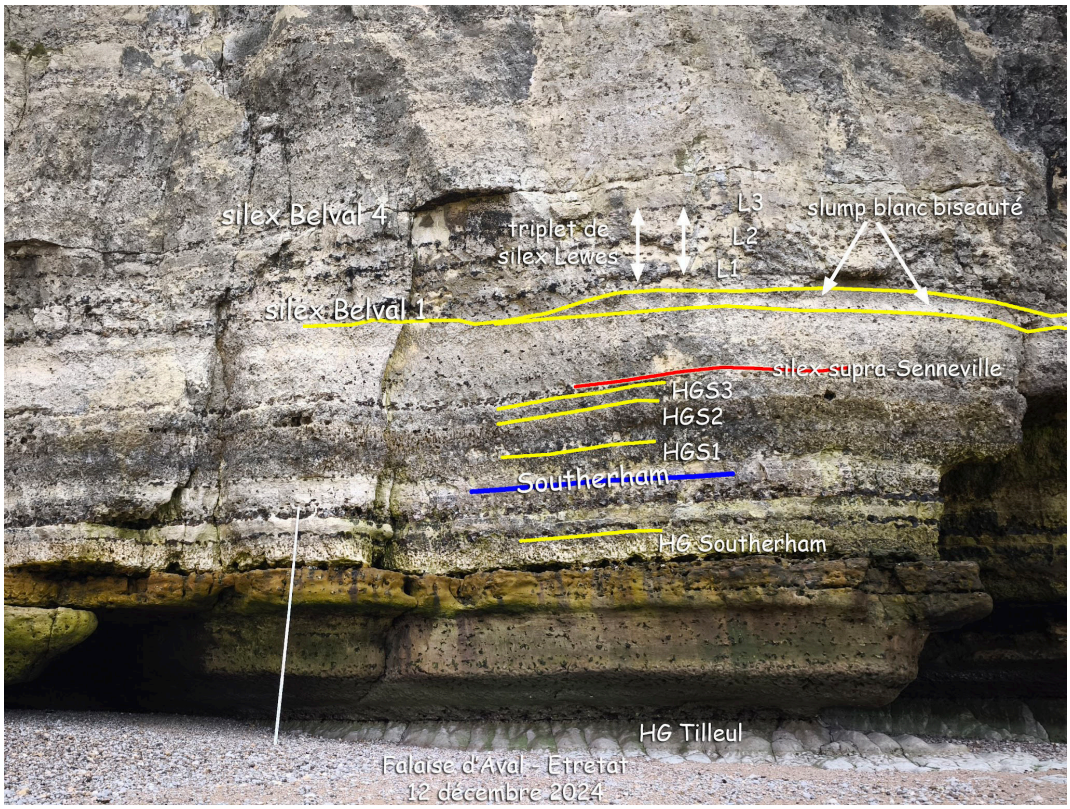


Fig. 286 - Cas de ravinement profond des HGs Belval/Senneville - N du massif d'Aval

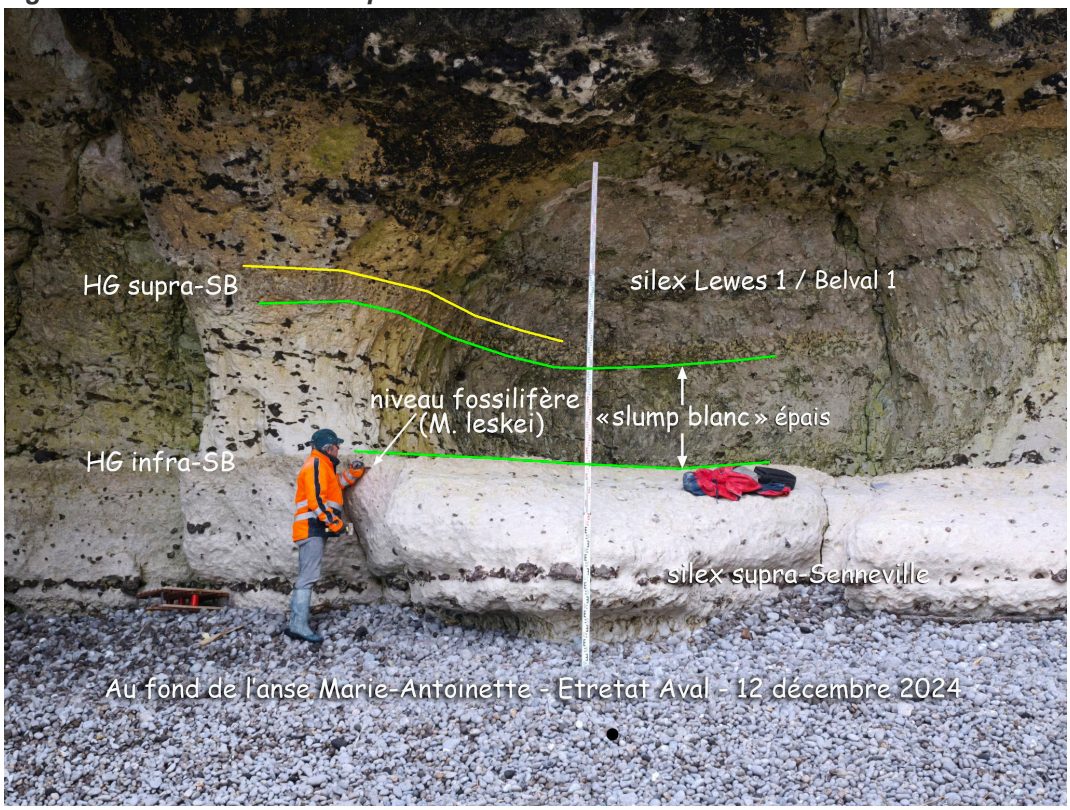


Fig. 287 - Partie sup. des HGs Belval avec slump blanc développé - N du Massif d'Aval

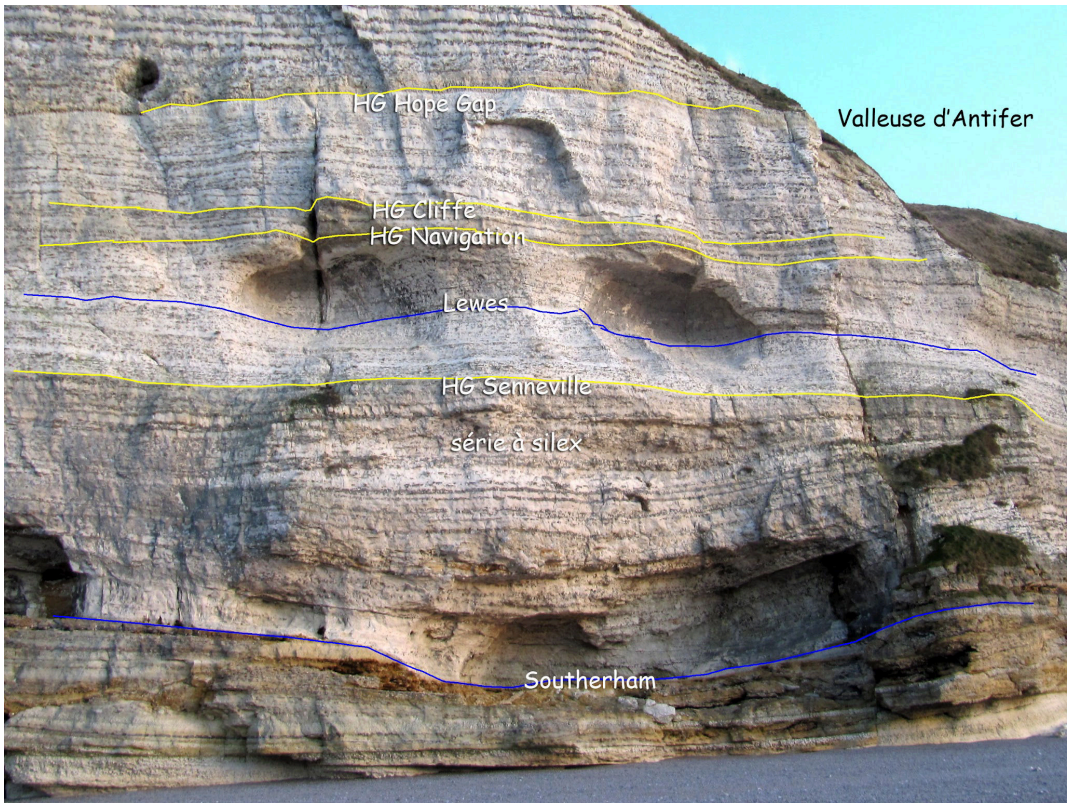


Fig. 288 - De la marne Southerham au HG Navigation - ex-Roche Trouée du Tilleul

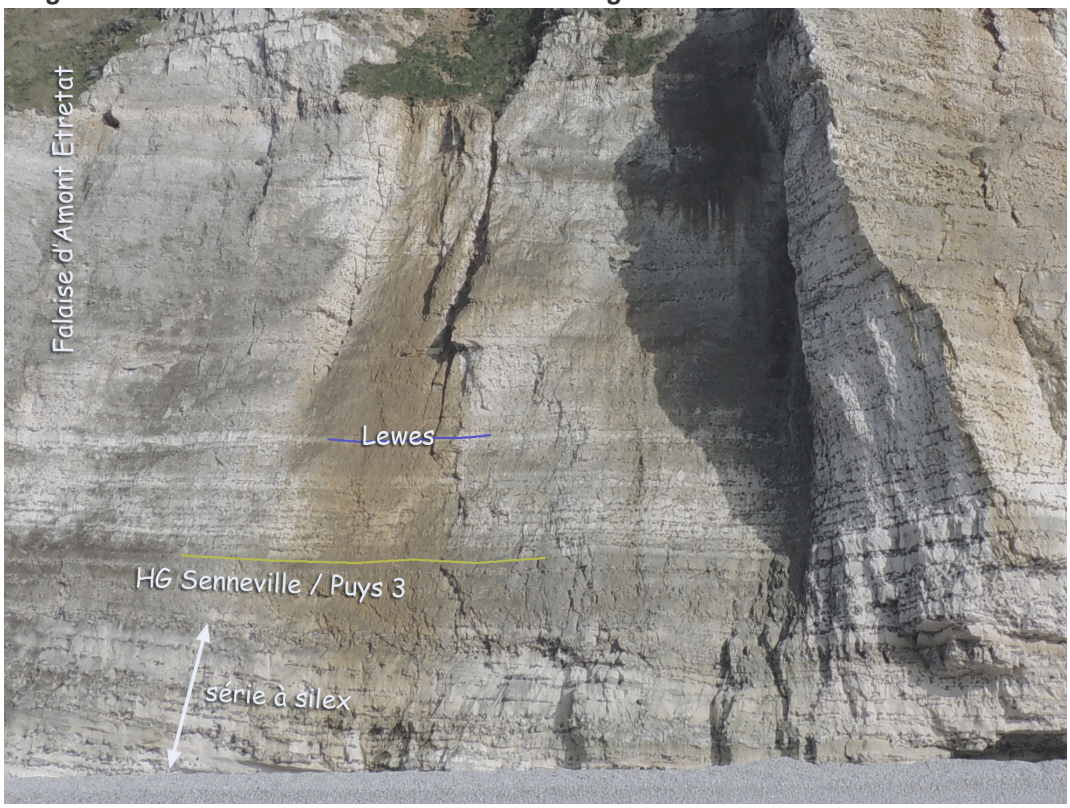


Fig. 289 - HG Belval/Senneville et marne Lewes - Falaise d'Amont Étretat

Intervalle T8 - de la marne Lewes au HG Navigation

Cet intervalle est lui aussi impliqué dans des structures en monticules et cuvettes. Alors que l'épisode régressif Belval / Hitch Wood avait modelé et stabilisé un fond sous-marin ondulé, la fin du Turonien est marquée par des apports sédimentaires qui tendent à effacer les contrastes altimétriques. Les cuvettes, en particulier, sont le siège d'un remplissage plus actif que les monticules. Les variations lithologiques latérales sont importantes.
Cette couverture sédimentaire renouvelée, à l'image d'une neige fraîche, est très instable. De nombreux exemples de *slumpings* sont observables à distance dans les falaises entre la valleuse d'Antifer et Etretat. L'épaisseur de la tranche décollée peut être forte, de l'ordre de 5 mètres, comme pour le slumping au Sud de la Pointe de la Courtine figuré par JUIGNET (1991) ou par MORTIMORE (2010). Mais le décollement peut se traduire par une coulée métrique, restée plus ou moins structurée, comme le slump blanc au pied du Massif d'Aval, décrit par BROMLEY & EKDALE (1987), avec de beaux plis couchés. A la Pointe de la Courtine et au Massif d'Aval, au moins deux slumpings sont superposés. La surpression instantanée sur la semelle du slumping est la cause de la remobilisation de silex et leur transformation en mégasilex contournés. A l'est de la Porte d'Amont, les slumpings sont moins spectaculaires car on n'en observe souvent que la partie supérieure.
L'action probable d'ébranlements sismiques a pu contribuer à déclencher ces mouvements en masse. Curieusement cependant, les sheet-flints sont rares ici, alors qu'ils sont fréquents dans d'autres secteurs.
L'épaisseur de l'intervalle est très variable et peut atteindre une quinzaine de mètres, voire plus, au cœur des cuvettes.
Les silex dans l'intervalle sont souvent petits et disséminés, sauf à certains niveaux.
L'intervalle est accessible à plusieurs reprises, sur le platier ou en bas de falaise, depuis le S du Roc Vaudieu jusqu'à l'W de Vaucottes à 200 m à l'W des récifs du Chicard.
Sous les HGs Navigation, le platier peut fournir de nombreux Échinides, formant comme une "prairie d'oursins". C'est le cas, par exemple, de la zone blanche du platier d'Etigue ou encore celles proches du Roc Vaudieu où les *Echinocorys* dominants côtoient les *Micraster leskei* dans les couches basses et *normanniae* dans les couches hautes.
La reconstitution d'une succession stratigraphique type de l'intervalle T8 est problématique, étant données les différences entre séries dilatées et les séries condensées. Néanmoins, voici une coupe synthétique inspirée de l'observation entre Vaudieu et Belval :

1) Une couche claire et mince, fréquemment encadrée de silex, contenant des filets marneux ondulés, rapportée à la *marne Lewes*.
Épaisseur : une trentaine de cm).
Elle se suit, de manière discontinue, entre la valleuse d'Antifer et La Vallette à l'W d'Yport..

2) Un ensemble de craies à petits silex nodulaires médiocrement stratifiés.
Épaisseur : environ 3 m.
Des hardgrounds peu marqués et peu épais (firmgrounds) s'y intercalent, excepté un hardground mieux marqué à environ 40 cm de la marne Lewes, déjà rencontré sur le secteur de Fécamp et où il avait été dénommé HG Bondeville.

3) Un doublet de silex assez épais, encadrant une couche de craie claire parcourue de filets marneux.
Épaisseur : 30 à 40 cm.
Ce motif est ici dénommé *doublet Piqueret.* Même s'il s'estompe parfois, il constitue un repère intéressant. Un rapprochement hypothétique peut être fait avec les silex South Street 1 ou 2 des carrières de Southerham (MORTIMORE *et al.*, 2001).

4) Des craies à silex mal stratifiés, avec 2 hardgrounds, un à la base et l'autre au sommet, dénommés ici *HG Vallette 1 & 2*.
Épaisseur : 1 m à 1,5 m environ.

5) Un silex bien marqué, rapproché hypothétiquement du silex South Street 3 de MORTIMORE *et al*.(2001).

6) Des craies à silex minces bien stratifiés.
Épaisseur : 1 m environ.

7) Plusieurs (jusqu'à 4) hardgrounds rapprochés et bien marqués. Une analogie est faite avec la *Craie Noduleuse Lewes* inférieure. Ils sont notés CNL inf. 1 à 4.
Épaisseur cumulée d'environ 1 m.
Une dolomitisation (ou une dédolomitisation ?) gagne parfois ces craies. Elle est plus ou moins intense selon les endroits et elle se marque par des bandes sombres dans la falaise. Deux bancs dolomitisés se distinguent généralement, mais ils peuvent être fusionnés. Ils sont désignés *dolomie Vaudieu 1 et 2*. Citons trois exemples :

- à 300 m à l'est du Roc Vaudieu,
- à la base des récifs au pied de la Roche aux Anglais (Vaucottes),
- à la base des falaises de l'anse de la Vallette (Yport ouest).

La position stratigraphique et la rareté des silex incitent à mettre en parallèle la CNL inférieure avec le Franc-Banc, un banc de pierre exploité en vallée de Seine (cf. volume 2).
Le sommet de la CNL peut être tapissé de "prairies" d'*Echinocorys* ou de petits *Micraster leskei.*

8) Un épisode siliceux au cours duquel la craie alterne avec des niveaux de silex épais et marqués. Cet épisode correspondrait aux silex *White Nothe* du Dorset ou Snowdrop du Sussex (MORTIMORE *et al*., 2001).
L'épaisseur de cet ensemble est très variable. Elle peut être réduite et se résumer à un ou deux niveaux de silex. Elle peut être de plusieurs mètres et s'accompagner du développement de monticules surbaissés. Ces derniers sont bien visibles, par exemple

- au NE du Roc Vaudieu, par exemple.
- à l'est du vallon d'Etigue.

C'est à la base du ou (des) silex White Nothe qu'apparaissent ou se concentrent les *sheet-flints* témoignant de cisaillements au sein de la boue crayeuse. L'éclatement de certains de ces sheet-flints montre qu'ils ont pu être remobilisés au cours d'épisodes mécaniques (sismiques ?) ultérieurs.

9) À leur partie supérieure les silex White Nothe sont fréquemment recouverts par une couche de craie marneuse sans silex, apparaissant comme une bande claire au sein des

craies à silex. Les *glissements gravitaires* sont nombreux à ce niveau. Leur traduction la plus spectaculaire est le slumping qu'on peut observer en falaise entre la valleuse d'Antifer et Etretat. Les silex soulignent de grands plis, parfois couchés ou les surfaces de glissement. Les récifs près du Trou-à-la-Mine offrent même une vue en 3D et accessible de ces structures. La surpression interstitielle instantanée exercée sur les couches sous-jacentes provoque des cheminées d'expulsion de fluide, plus tard transformées en paramoudras, ou encore les convolutions de mégasilex. La surface supérieure de nivellement et de cachetage des slumpings est clairement très proche du HG Navigation terminant le Turonien.
Une autre forme de glissement gravitaire s'exprime par des couches de craie remaniant les silex; ces derniers gardant plus ou moins leur stratification d'origine. Le cas ultime se rapproche d'un olistostrome, c'est-à-dire d'une couche où les silex sont dispersés anarchiquement dans la craie. Vers la base du Roc et de la falaise de Vaudieu, un banc à silex remaniés est clairement positionné à ce niveau. Un autre banc à la base du Massif d'Aval, déjà signalé par BROMLEY et EKDALE (1987, fig. 3) comme étant à "déformation plastique", appartient à cette catégorie. Sa position stratigraphique est cependant moins bien définie, la seule information paléontologique apportée est qu'il repose sur un hardground à *Micraster leskei.*

10) Une à deux couches de craie blanche, assez pure, renfermant des filets gris d'épaisseur millimétrique. Ces structures sont typiques de l'ichno-événement à *Zoophycos* Cuilfail (MORTIMORE, 1986; MORTIMORE *et al.,* 2001) et caractéristique du Turonien terminal. La trace *Zoophycos* est généralement décrite en plan dans la littérature ichnologique, alors que l'observation en coupe verticale correspond à celle dans la craie. Certains horizons en montrent une telle abondance exceptionnelle qu'on leur prête un nom spécifique. L'origine de la trace est hypothétique. L'une des hypothèses considère qu'elle serait laissée par un polychète détritivore balayant le biofilm superficiel à l'aide d'un organe en forme d'éventail. Originellement, la trace se présente en coupe comme une feuille de craie plus grise. Mais, en association coexistent des formes silicifiées, des silex plats étalés donc linéaires en coupe verticale sur une largeur d'un à deux décimètres.

11) Un ou deux hardgrounds soudés ou disjoints, plus ou moins nets et traversés de galeries de fouisseurs. Ils sont peu fossilifères et contiennent des *Micraster normanniae* accompagnant des *Echinocorys* dominants. Ce niveau est rapporté au *HG Navigation*.

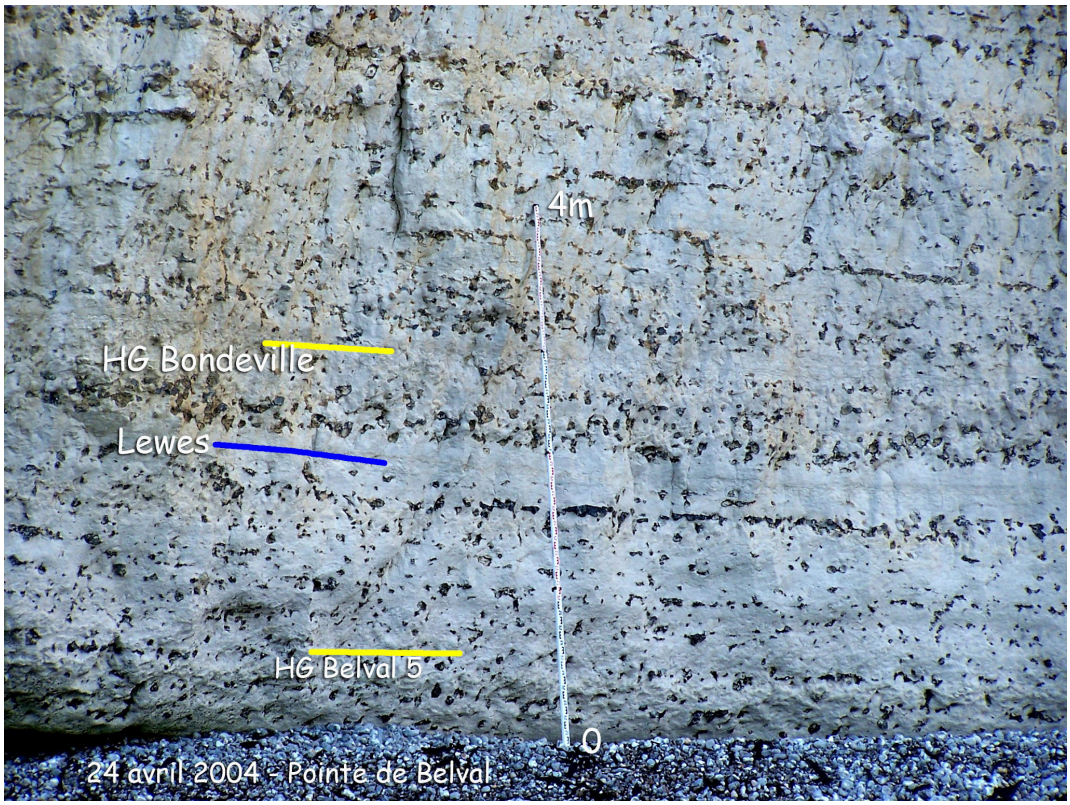


Fig. 290 - La marne Lewes et le HG Bondeville - Pointe de Belval

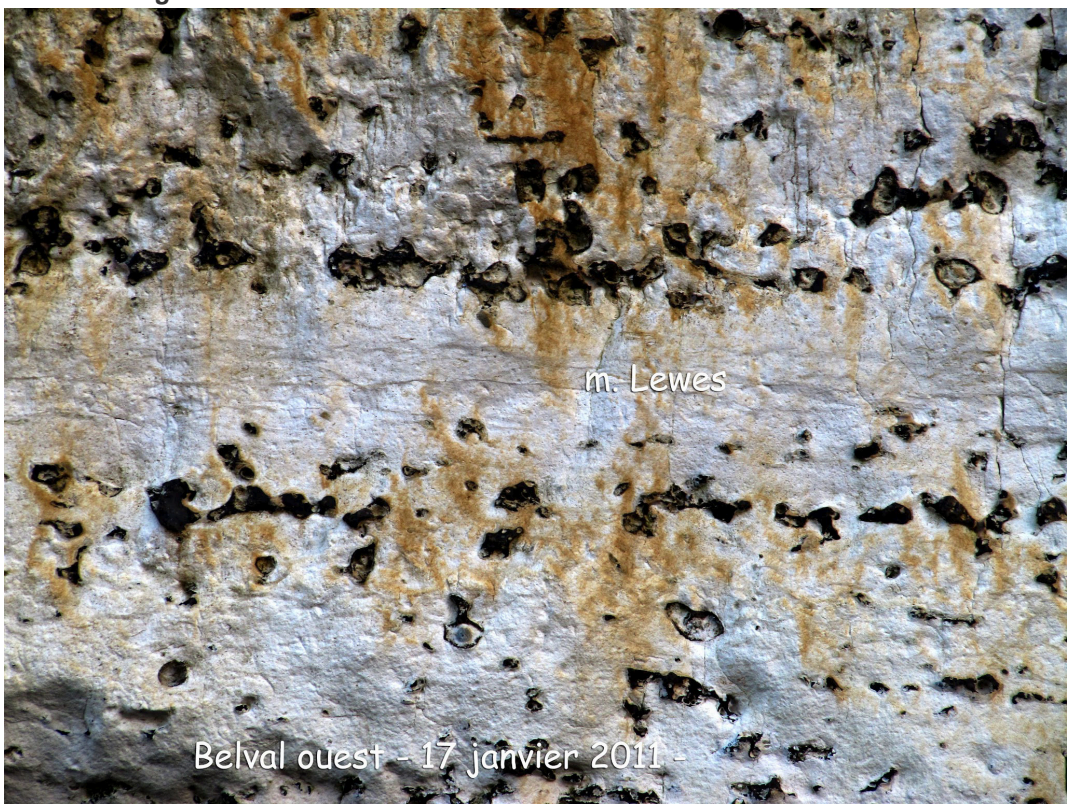


Fig. 291 - Plan rapproché sur la marne Lewes - Belval Ouest

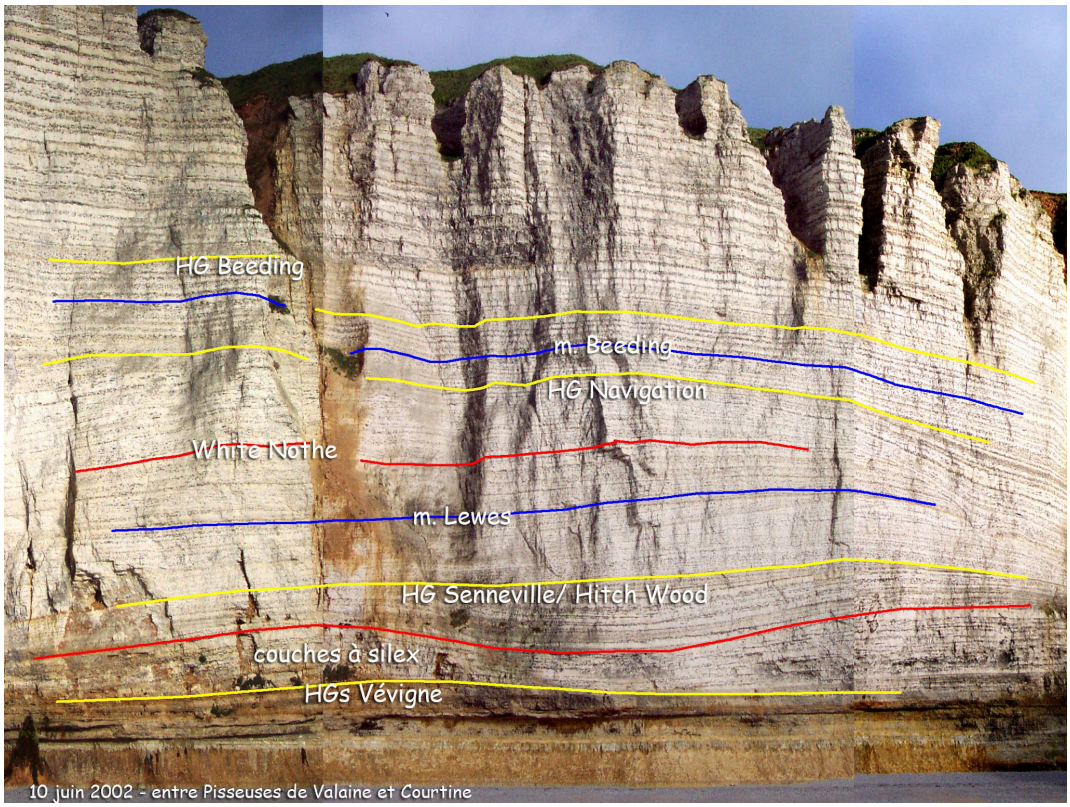


Fig. 292 - Intervalle T8 à mi-hauteur de falaise - N de la Pointe de la Courtine

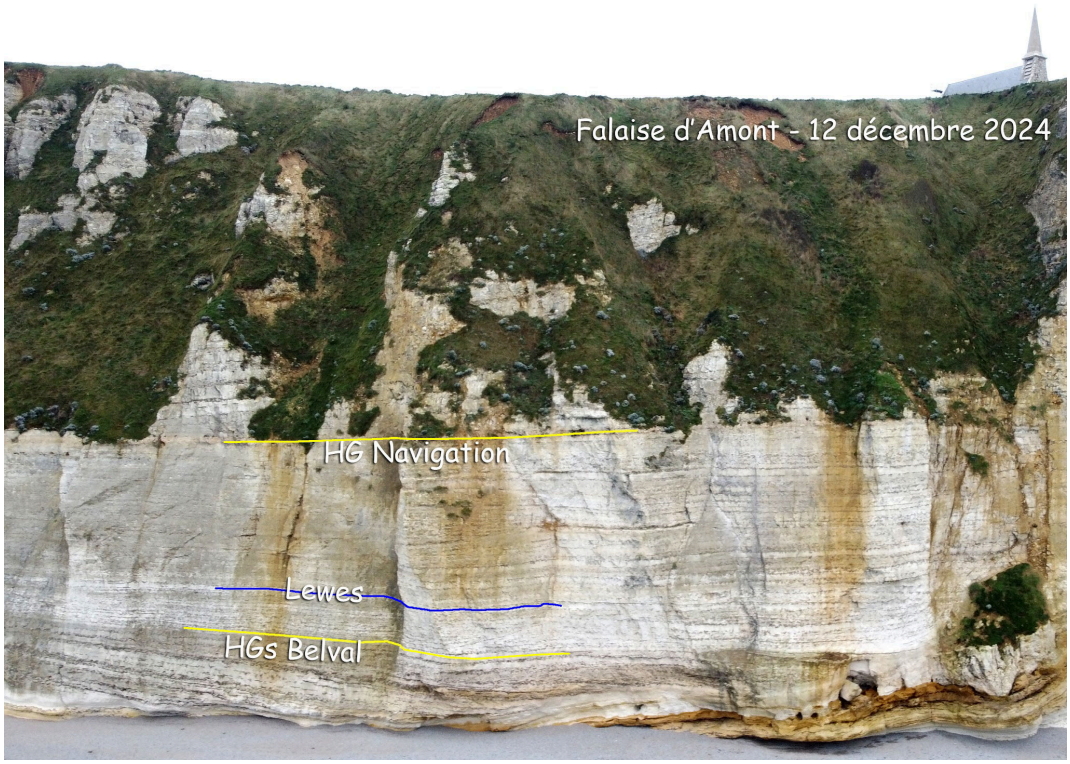


Fig. 293 - Intervalle T8 - Falaise d'Amont Etretat

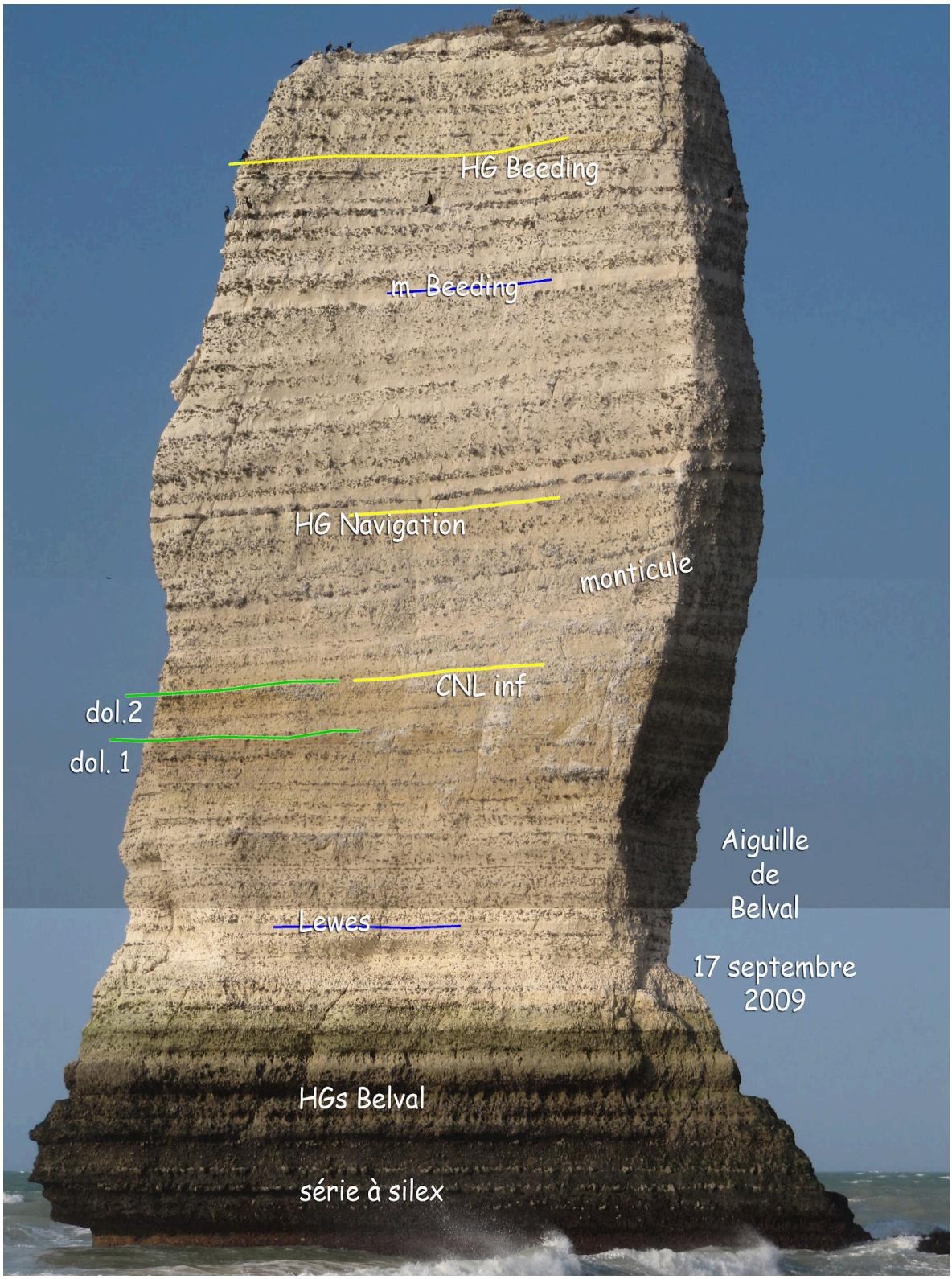


Fig. 294 - L'Aiguille de Belval (interprétation hypothétique en partie supérieure)

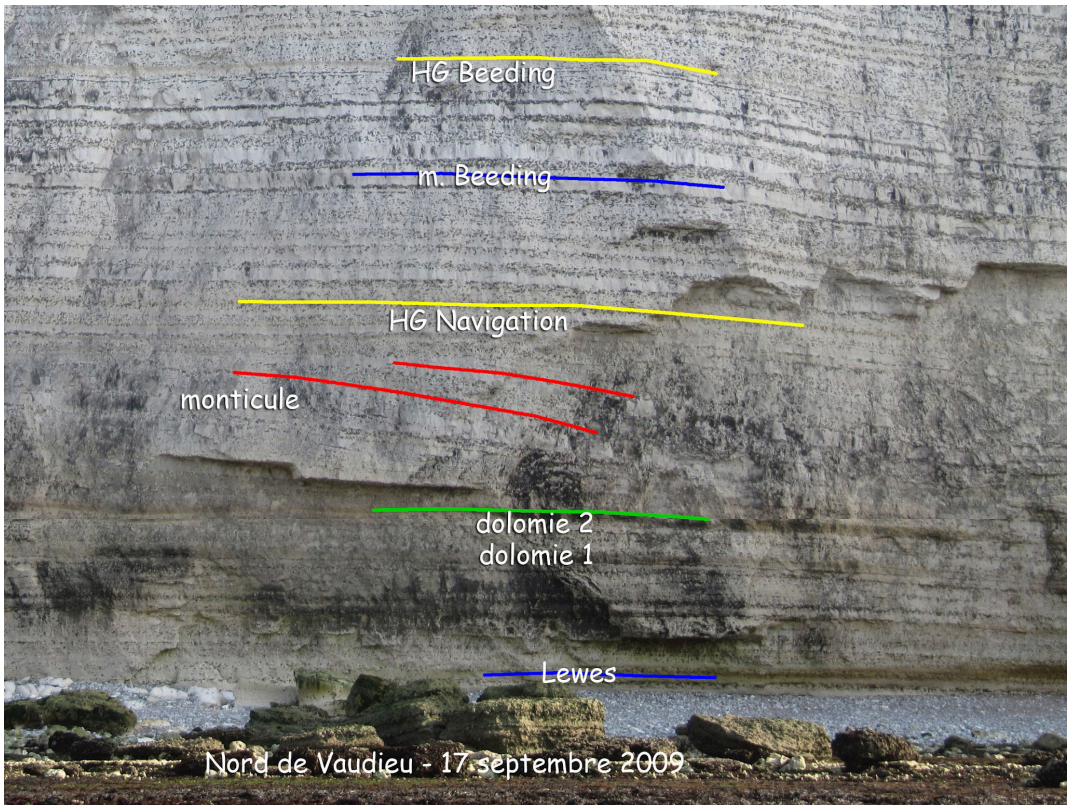


Fig. 295 - Niveaux dolomitisés et monticules de l'intervalle T8 - Nord Vaudieu

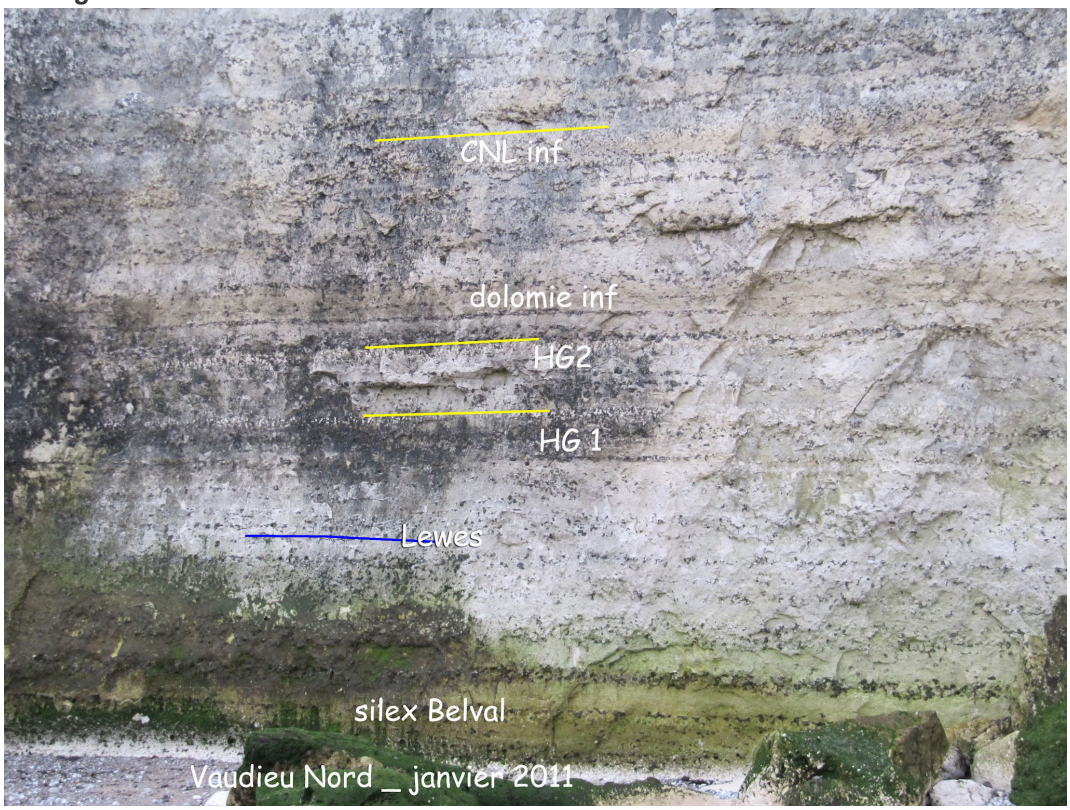


Fig. 296 - Partie inférieure de T8 - Vaudieu Nord

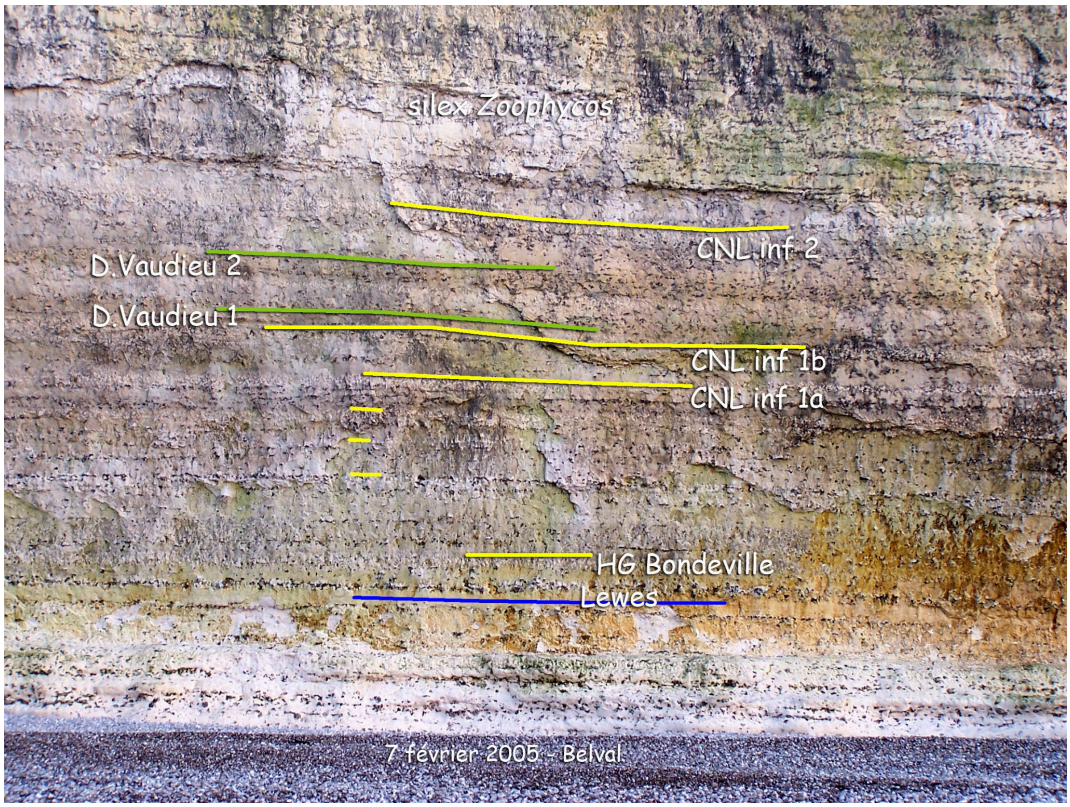


Fig. 297 - Partie basale de l'intervalle T8 - Entre Vaudieu et Belval

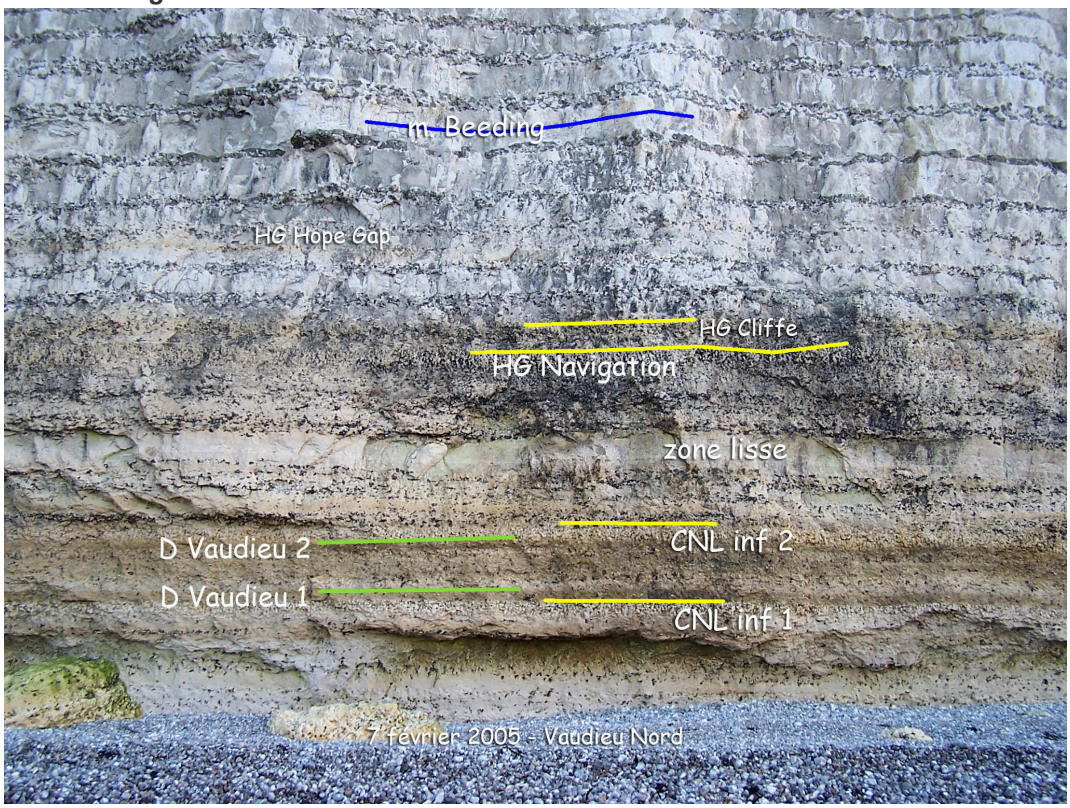


Fig. 298 - Partie supérieure condensée de l'intervalle T8 - Au Nord de Vaudieu

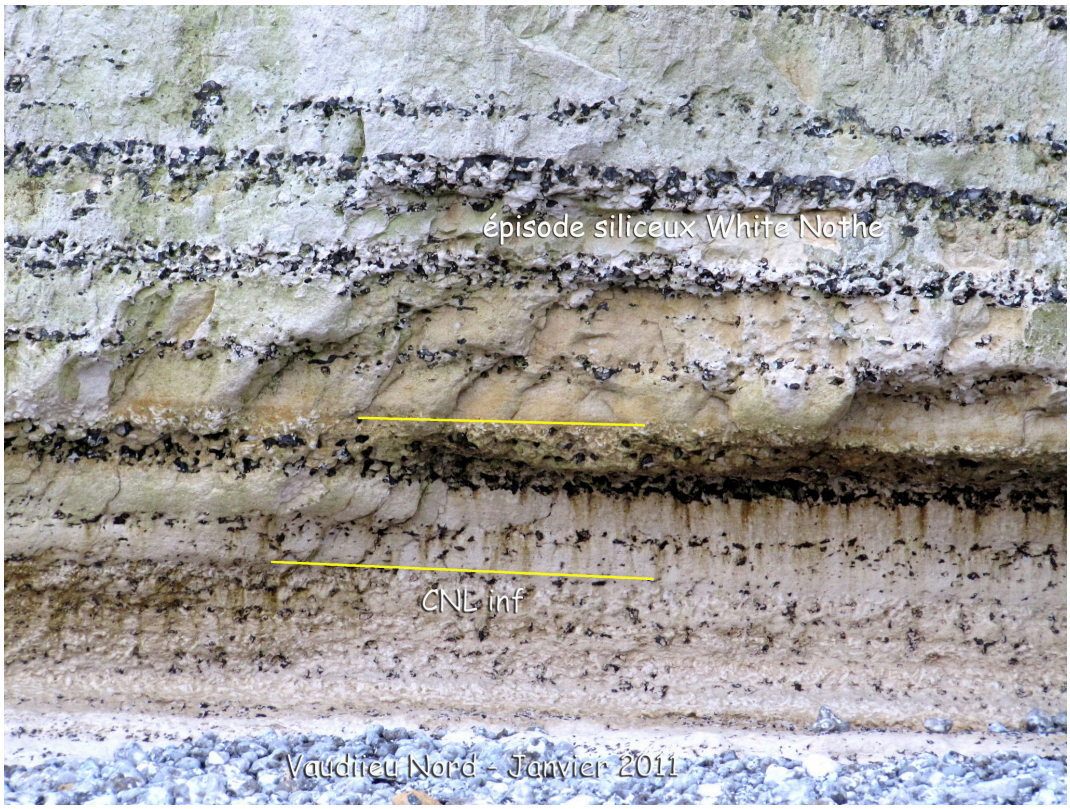


Fig. 299 - Partie médiane de l'intervalle T8 - Nord Vaudieu

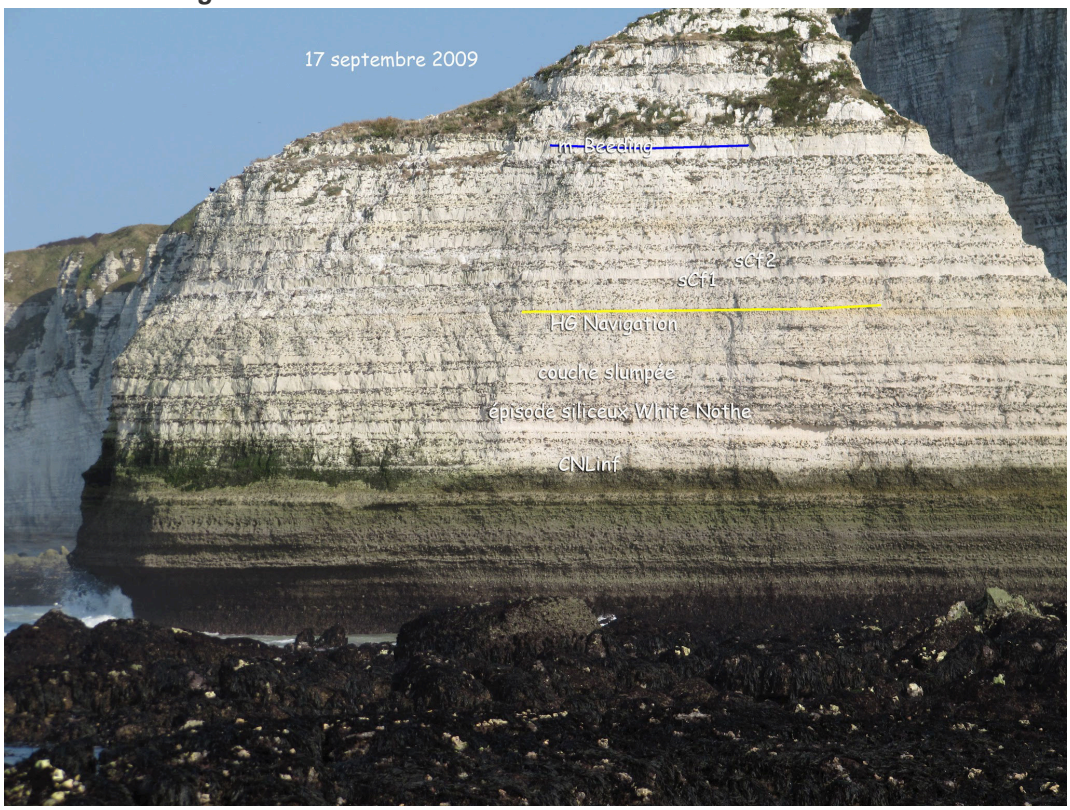


Fig. 300 - Partie supérieure de l'intervalle T8 - Roc Vaudieu

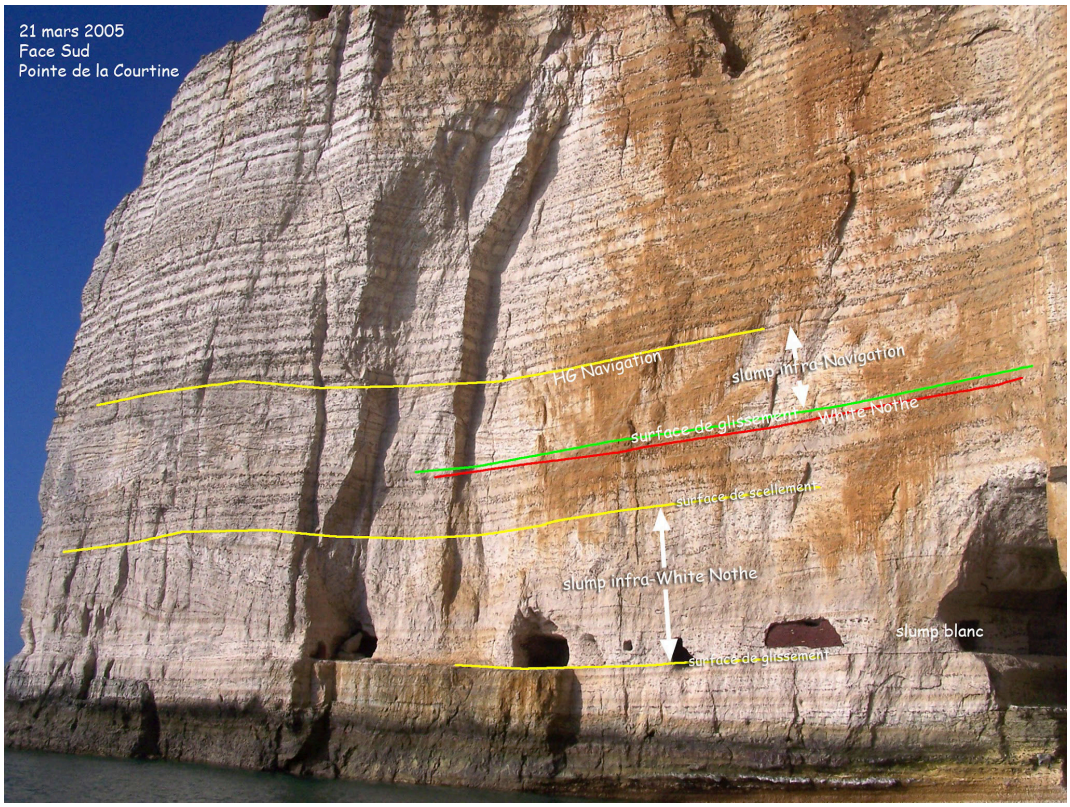


Fig. 301 - 2 épisodes de slumping - face Sud de la Pointe de la Courtine

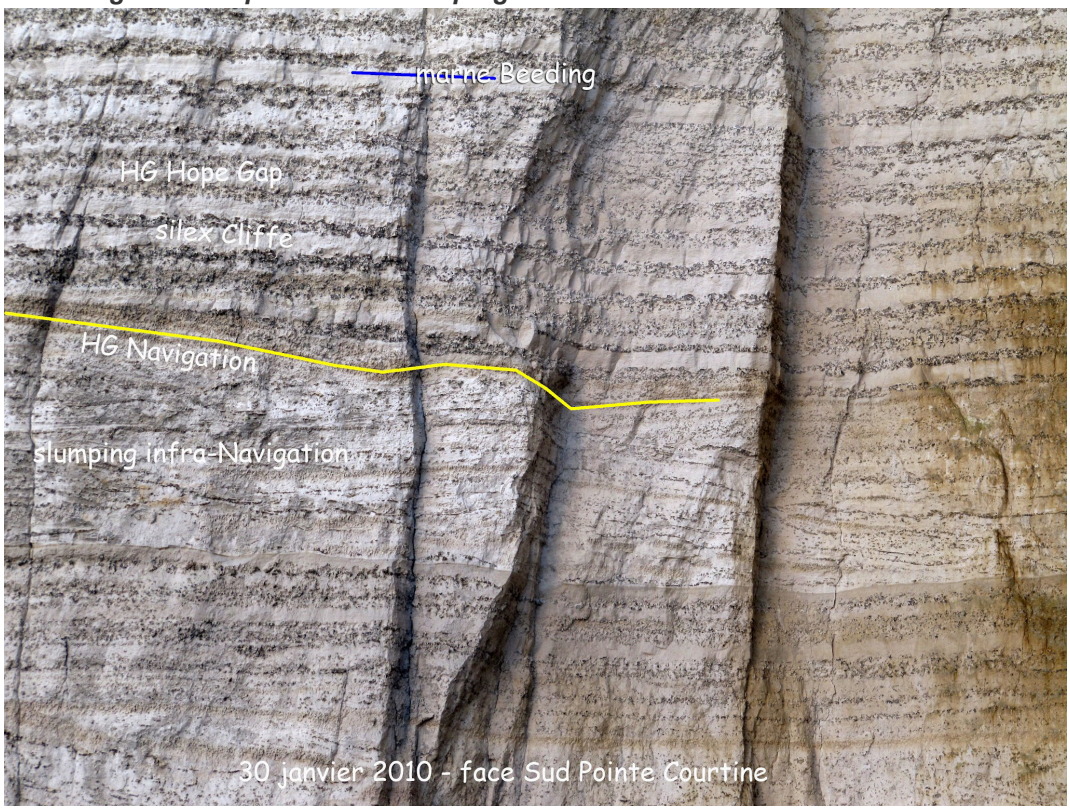


Fig. 302 - Slumping supérieur infra-Navigation - Face Sud de la Pointe de la Courtine

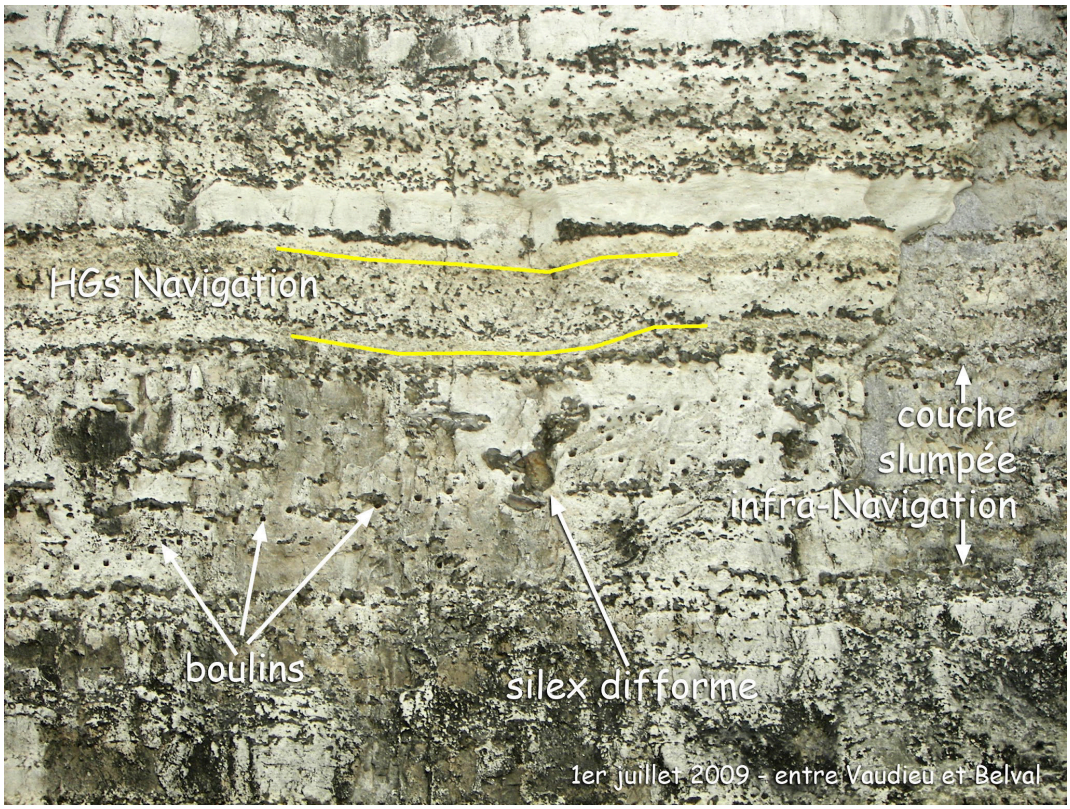


Fig. 303 - Silex difformes dans la couche slumpée supérieure - Entre Vaudieu et Belval



Fig. 304 - Slump avec pli couché infra-Navigation - Récifs du Banc à Cuves

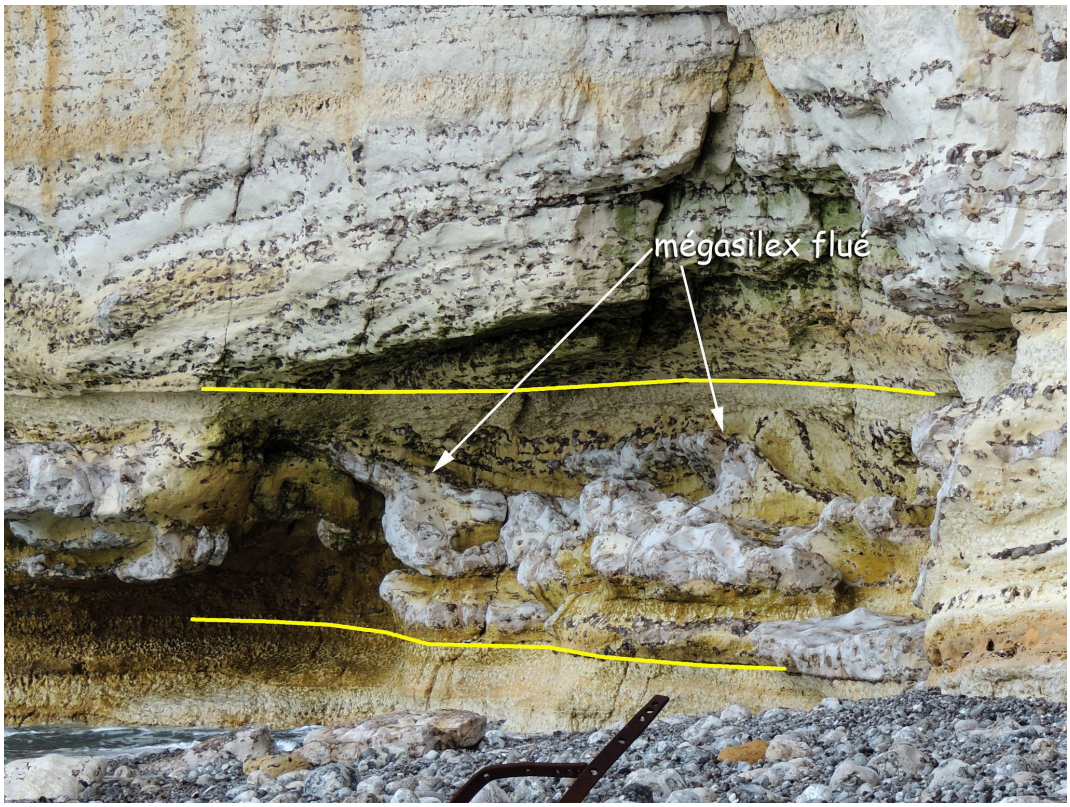


Fig. 305 - Mégasilex dans les couches à silex consécutifs aux slumpings - Courtine S

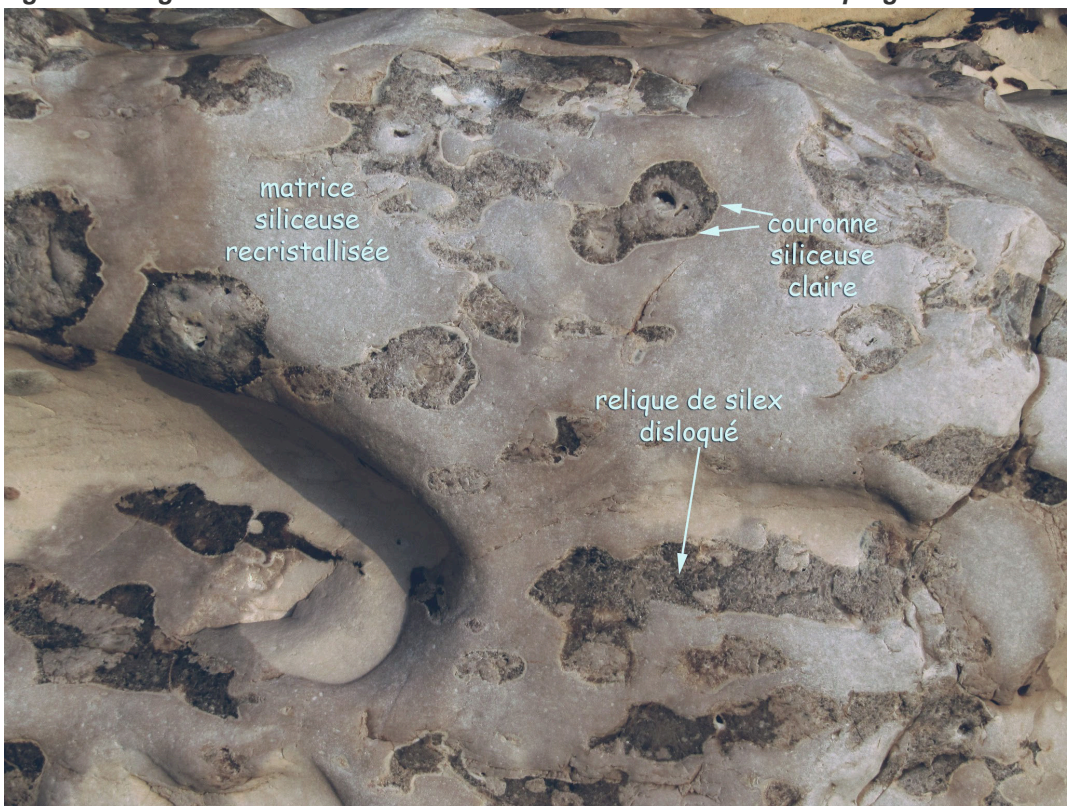


Fig. 306 - Plan rapproché sur les mégasilex - Courtine S

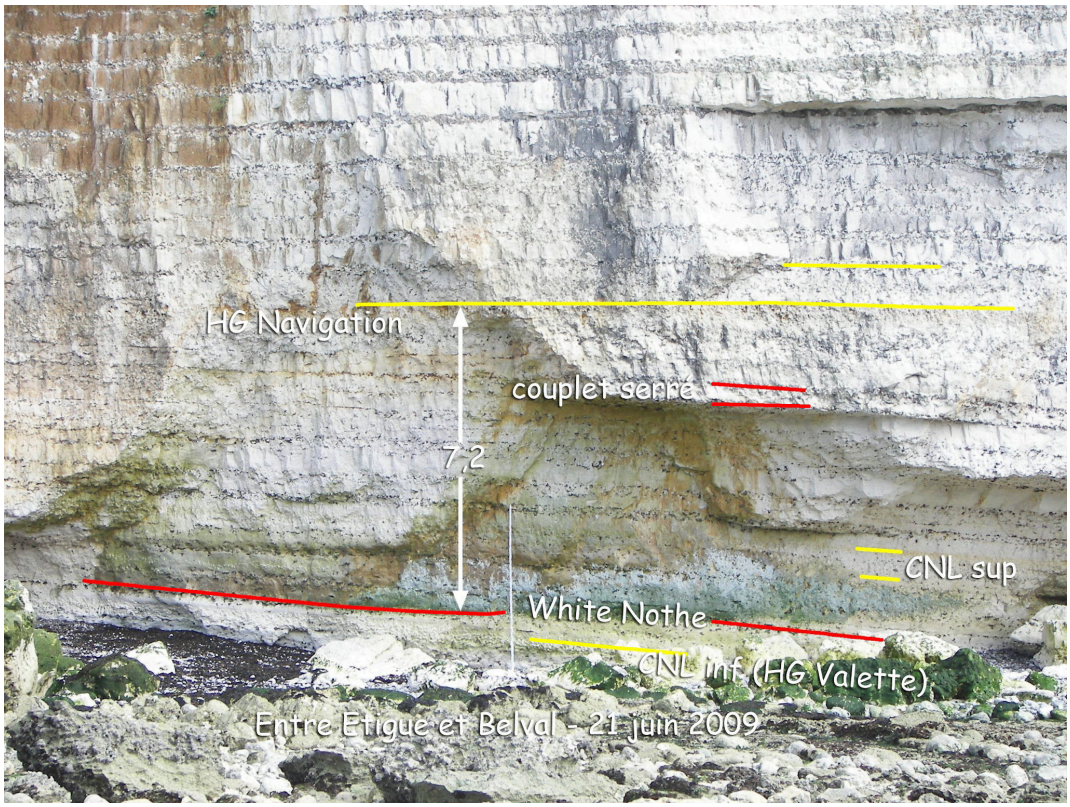


Fig. 307 - Partie supérieure de T8 - Bénouville

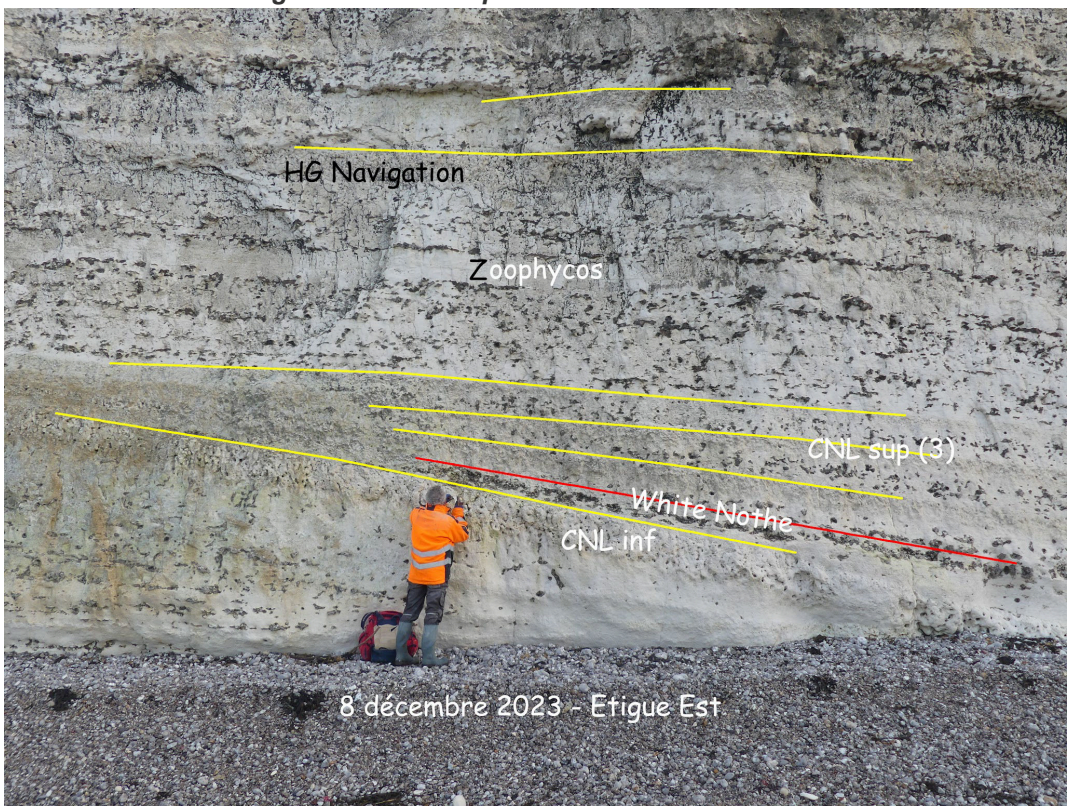


Fig. 308 - Partie supérieure de l'intervalle T8 - Etigue Est

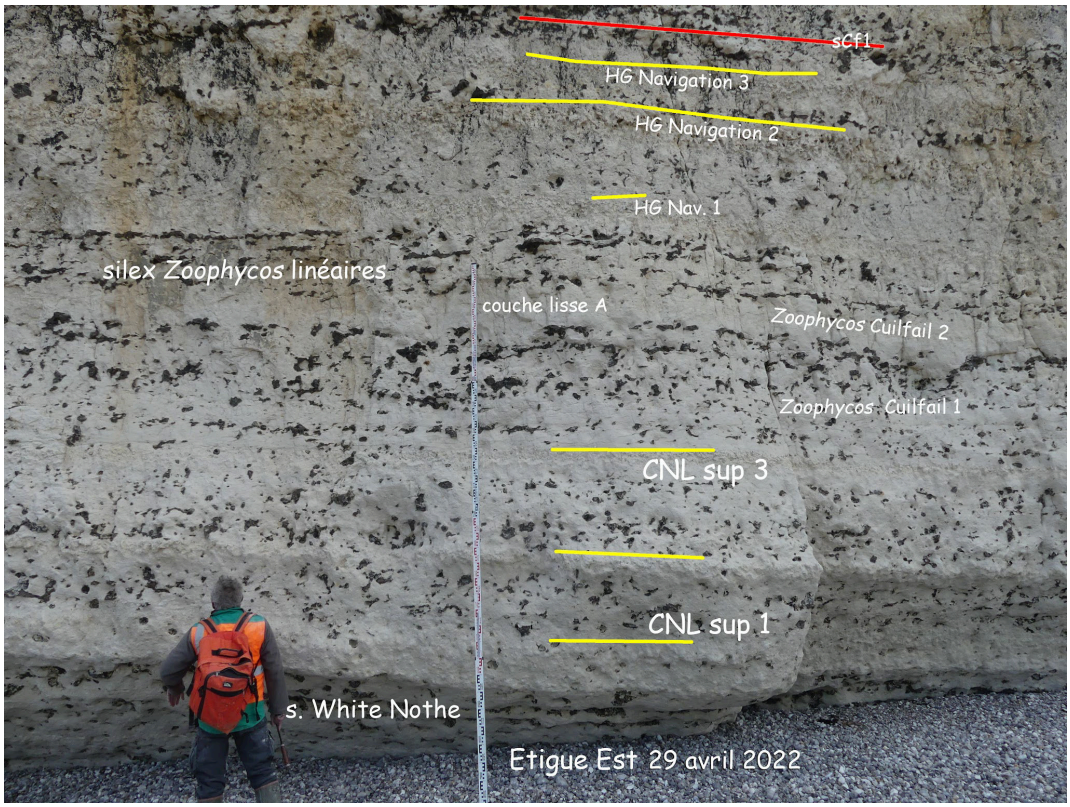


Fig. 309 - Partie supérieure de l'intervalle T8 - Etigue Est

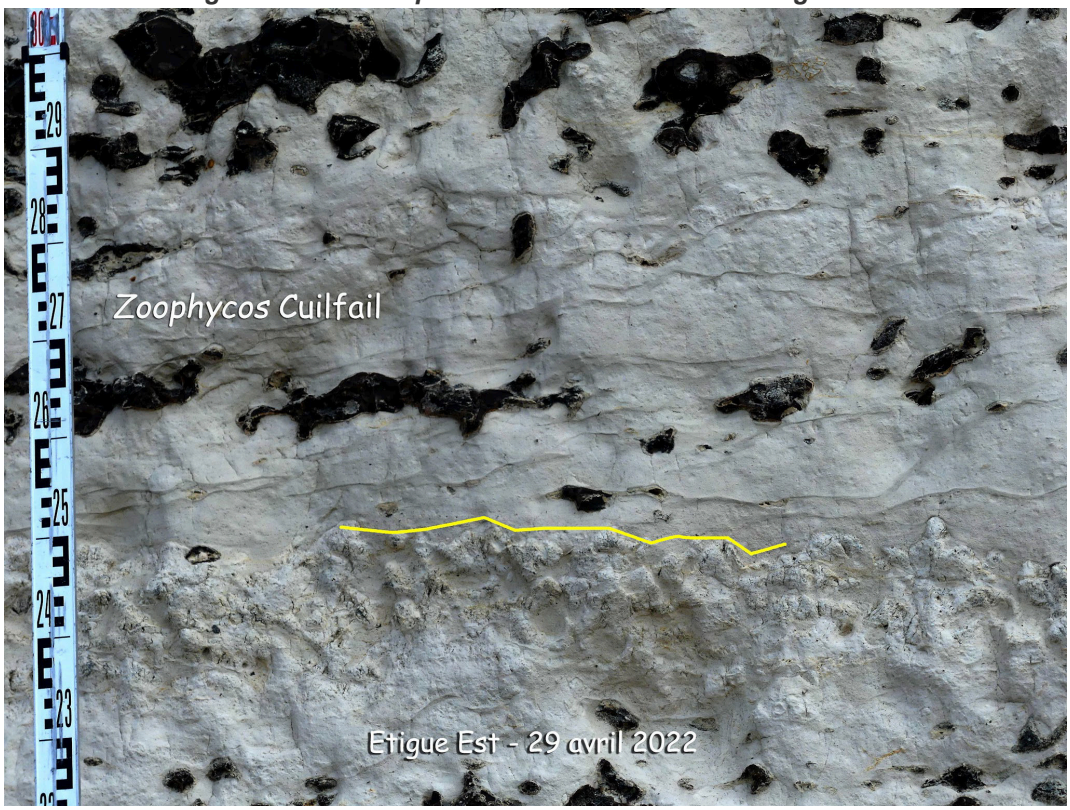


Fig. 310 - Zoophycos Cuilfail et silex plats - Etigue Est

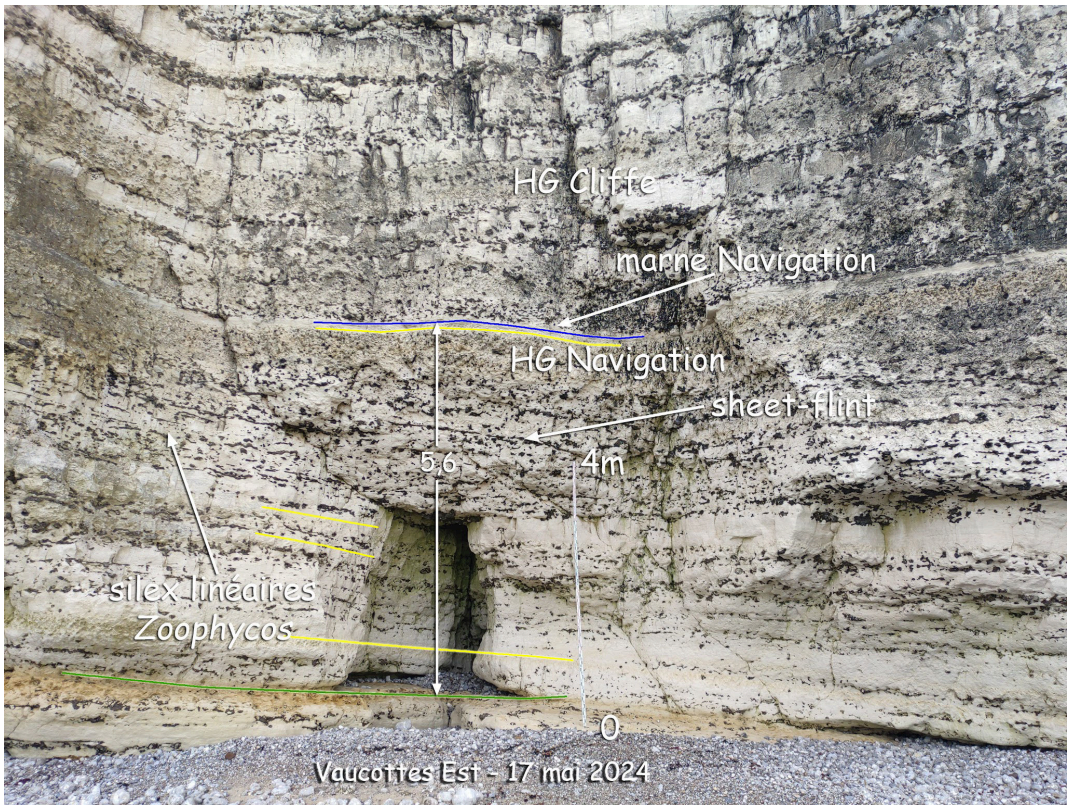


Fig. 311 - Silex linéaires Zoophycos et sheet-flint - Vaucottes Est

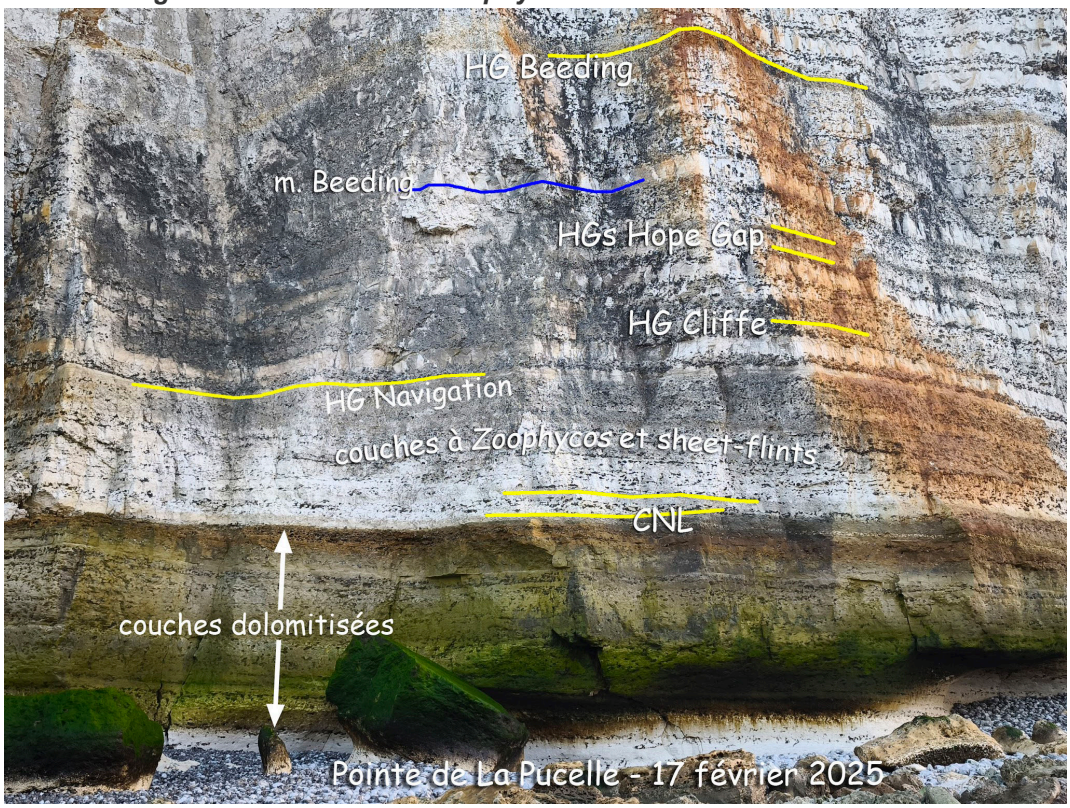


Fig. 312 - Couches dolomitisées, Turonien terminal et Coniacien basal - Pointe de la Pucelle

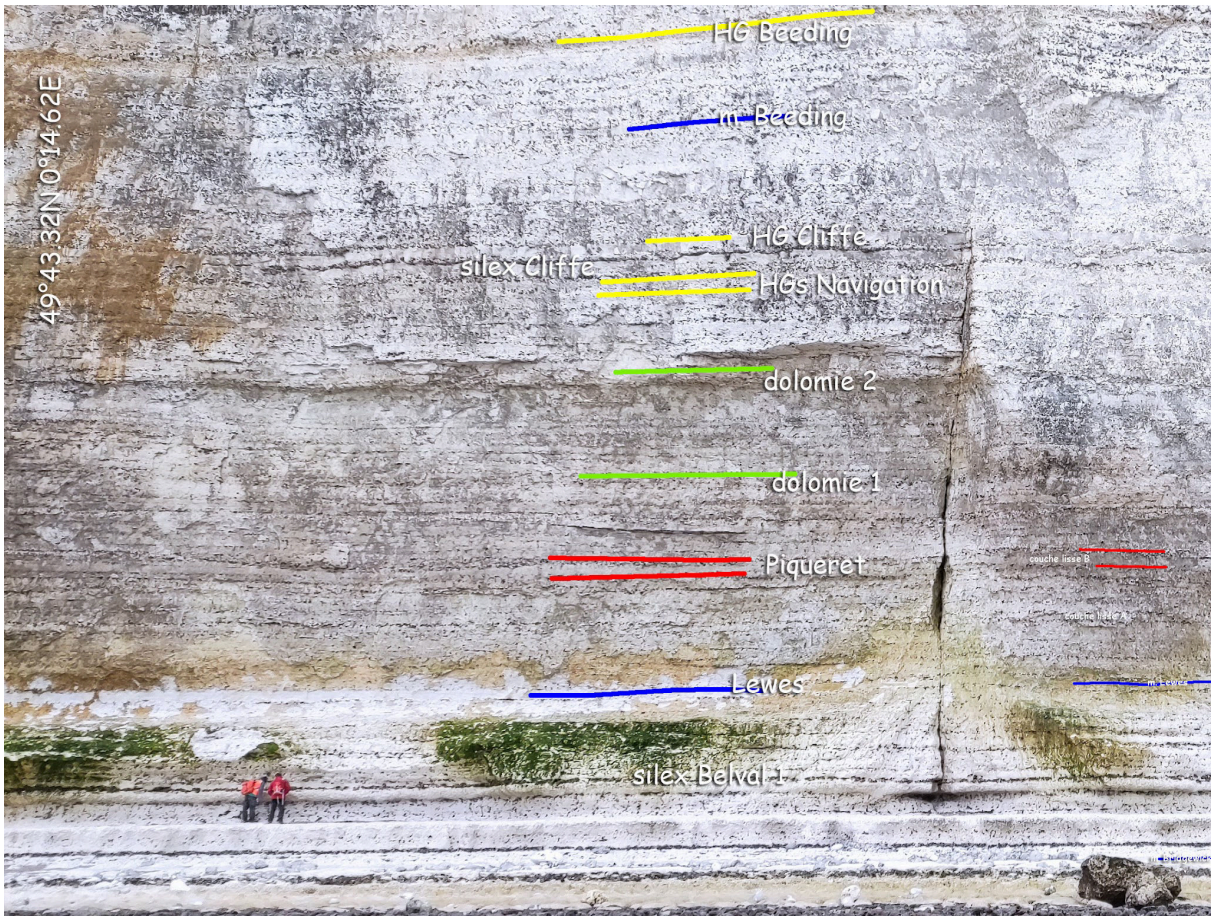


Fig. 313 - Des HGs Belval au HG Beeding - à 100 m à l'W de l'Aiguille de Belval

Coniacien inférieur entre le HG Navigation et la marne Beeding

Le HG Navigation correspond à une phase de reprise d'action de courants sous-marins. Il s'observe en partie haute dans les falaises emblématiques d'Étretat, entre Le Tilleul et la Porte d'Amont. Les flancs des monticules turoniens étant affectés par de fréquents slumpings, le HG Navigation arase parfois obliquement les couches turoniennes. Ce phénomène est particulièrement spectaculaire au S de la Pointe de la Courtine ou au S du Massif d'Aval. La sédimentation de type "monticules et cuvettes" se poursuit au cours du Coniacien. Mais les ondulations ne sont pas en continuité avec les ondulations précédentes, parfois même elles sont en opposition de phase. Leur longueur d'onde est souvent plus forte et leur crête se déplace latéralement, entraînant une dissymétrie des flancs, avec un engraissement d'un côté et une érosion de l'autre (côté ouest généralement).
Au-dessus du HG Navigation, 3 niveaux repères sont distingués : le HG Cliffe, les HGs Hope Gap et la marne Beeding. La marne Beeding est le repère le mieux identifiable bien qu'elle puisse parfois être absente. L'intervalle Navigation-Beeding est bien accessible entre l'échelle du Petit Val au N de la Porte d'Amont et Vaucottes. Son épaisseur est variable, du simple au double, et peut atteindre une dizaine de mètres.

1) ***Du HG Navigation au HG Cliffe***

Épaisseur variable de 0 à 1,5 m.
À Etigue par exemple, sur le flanc d'un monticule, cet ensemble est condensé, alors qu'au S de Vaudieu, dans une cuvette, il est plus développé.
Le HG Cliffe est peu épais (20 à 30 cm) et il est coloré. Une dolomitisation l'accompagne fréquemment, ce qui accentue son épaisseur apparente.
Un ou deux bancs de silex stratifiés, ou silex Cliffe notés sCf1 et sCf2, font suite au HGs Navigation. Ils sont mieux formés dans les cuvettes. Lorsque les deux bancs sont bien individualisés, ils encadrent une couche de craie lisse et claire, sans silex.
Alors que la macrofaune est rare dans les HGs Navigation, elle devient abondante au-dessus. Des accumulations d'*Echinocorys* se produisent dans les cuvettes simulant des prairies à *Echinocorys*. Il est difficile d'affirmer que ces prairies à *Echinocorys* représentent un seul ou plusieurs niveaux stratigraphiques, mais elles ont été constatées en plusieurs endroits.
Le HG Cliffe fournit lui-même de nombreux *Echinocorys*, *Conulus albogalerus*, *Micraster normanniae*, de nombreuses radioles de *Tylocidaris*, des brachiopodes (*Gibbithyris* et *Cretirhynchia*) et des bivalves (*Spondylus*).
Au-dessous du HG Cliffe se place une couche à petits silex, dispersés et remaniés.

2) ***Du HG Cliffe à la marne Beeding***

Épaisseur de 4 à 6 m environ.
Cette partie se caractérise par 8 séquences élémentaires craie/silex relativement bien stratifiées. Les silex, tabulaires ou expansés, gardent latéralement une même physionomie. Ils sont numérotés antéchronologiquement s_{-1} à s_{-8} à partir de la marne Beeding car leur identification est plus facile en ce sens.
La marne Beeding est un mince lit médian dans une couche de craie encadrée par

deux silex épais. Elle est surtout préservée lorsque la sédimentation est soutenue et les silex épais. C'est un excellent niveau repère que l'on peut suivre depuis la haute falaise de la Pointe de La Courtine jusqu'à l'estran de Vaucottes. Elle est caractéristique et accessible dans la tranchée d'Etigue.

Le silex s_{-1}, très franc et épais, peut prendre une forme en coussins juxtaposés qui permet de le repérer aisément à distance. Ce silex est parfois scindé en parallélépipèdes, légèrement basculés. Cette disposition incite à penser qu'ils ont subi un ébranlement paléosismique. En suivant cette hypothèse, la marne Beeding serait la résultante de la phase de décantation de la boue diluée lors de la secousse. Cette hypothèse est accentuée par la présence d'une couche à silex remaniés, slumpés, sous la marne Beeding, visible en haute falaise entre le Massif d'Aval et La Courtine.

Au-dessous du silex s_{-2}, deux bandes plus sombres aux contours flous sont régulièrement présentes. De près et sur les parements altérés, la stratification y est soulignée par une fine lamination ondulée, d'où le terme qui leur est appliqué ici de "couche à frisures". Des débris de tests plats renforcent cette lamination.. Sur les monticules à sédimentation plus condensée, ces deux bandes peuvent présenter un aspect de hardground, mais généralement ce n'est pas le cas. Elles sont considérées comme équivalentes des HGs Hope Gap.

Les silex s-4, s-5 et s-6 forment un triplet stable sur de longues distances, entre les hardgrounds Cliffe et Hope Gap.

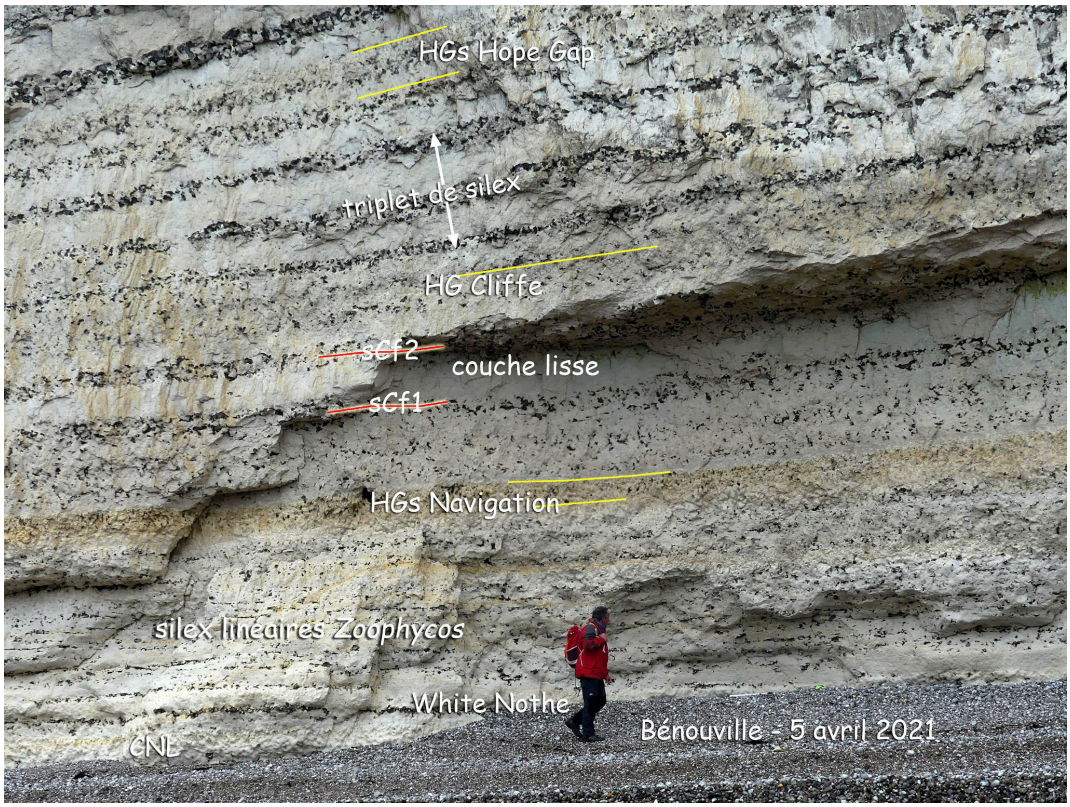


Fig. 314 - Base du Coniacien - Bénouville

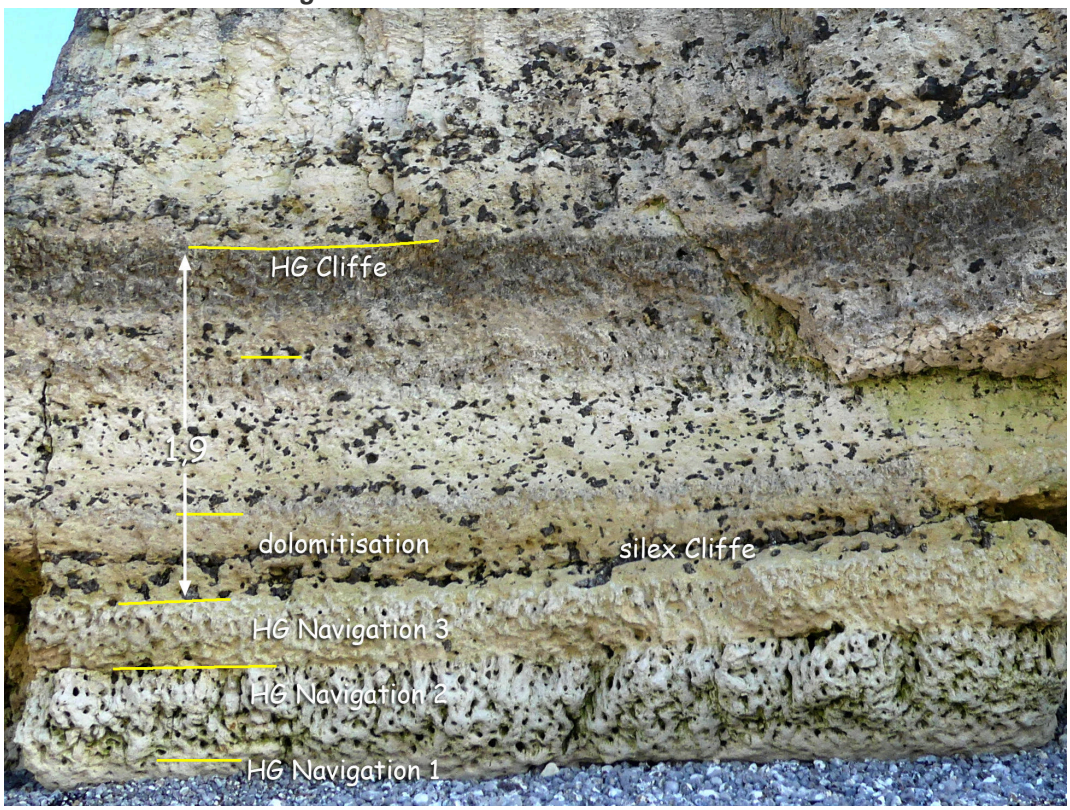


Fig. 315 - Des HGs Navigation au HG Cliffe (condensation) - Etigue W

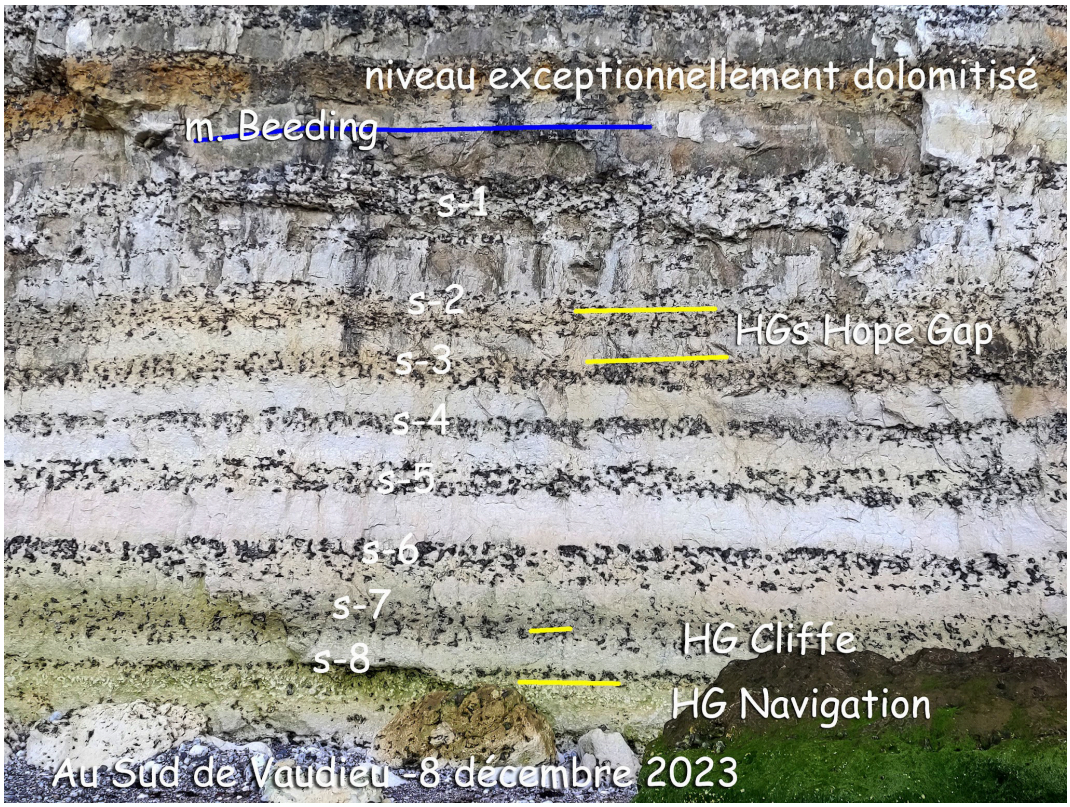


Fig. 316 - Entre le HG Navigation et la marne Beeding - Au Sud de Vaudieu

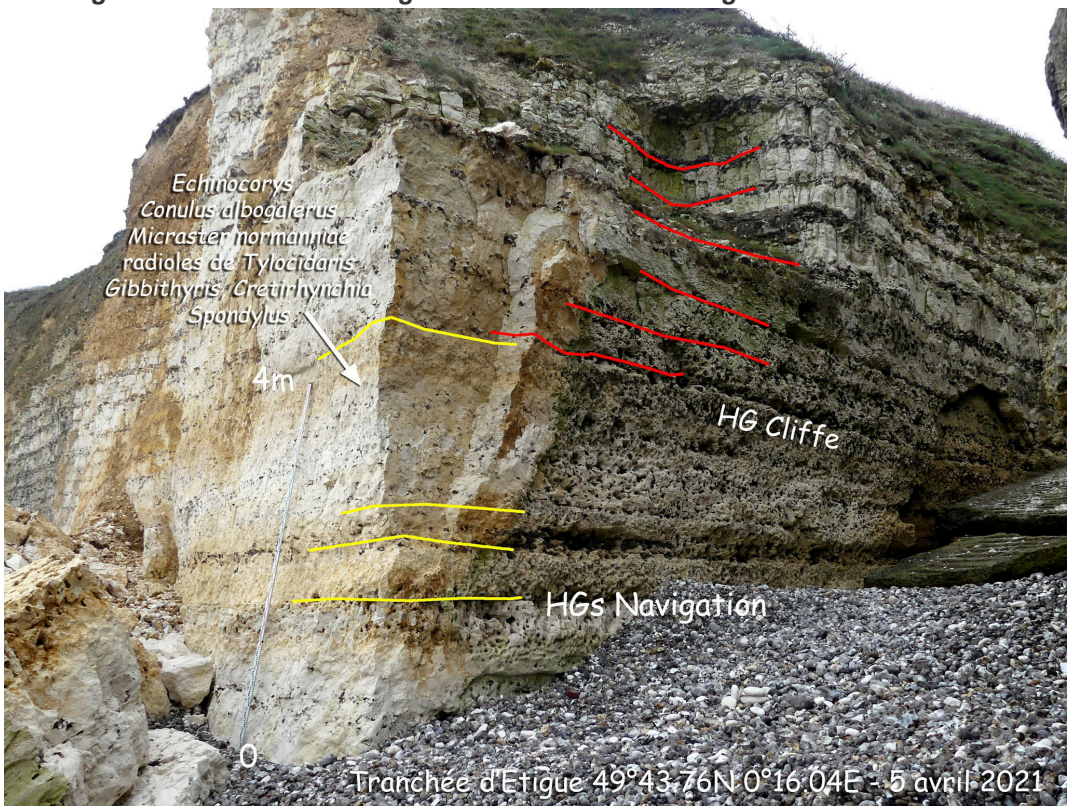


Fig. 317 - Base du Coniacien - Tranchée d'Etigue

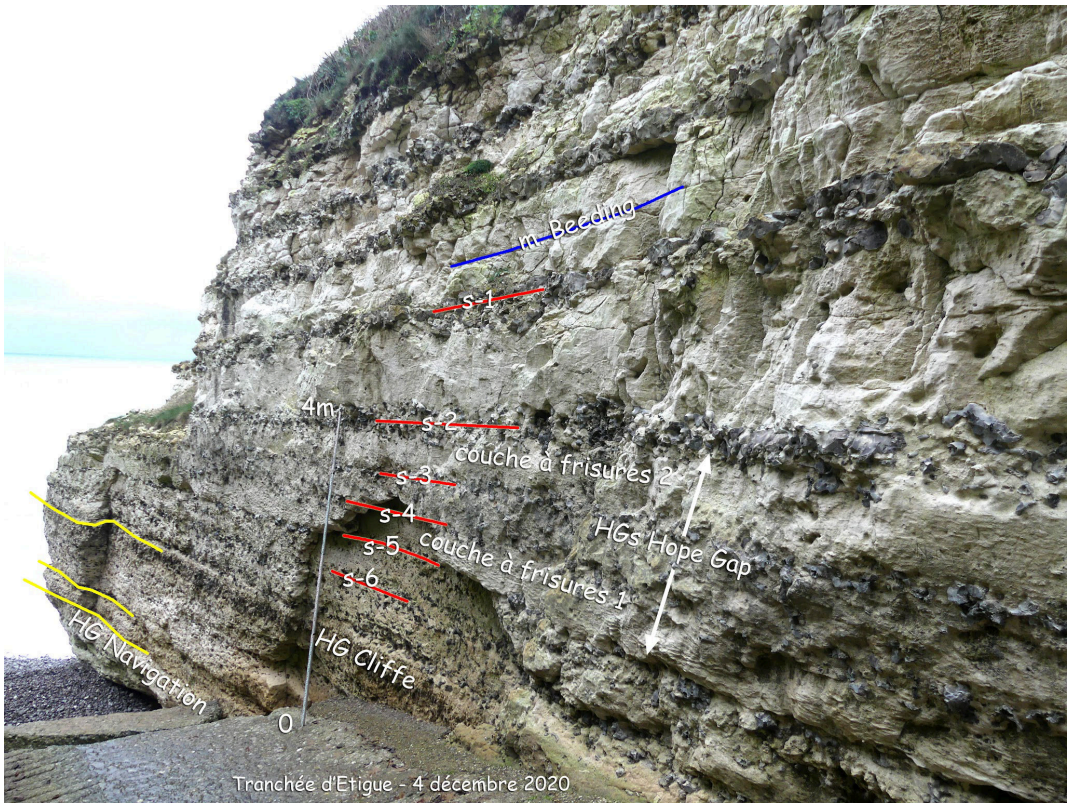


Fig. 318 - Du HG Navigation à la marne Beeding - Tranchée d'Etigue

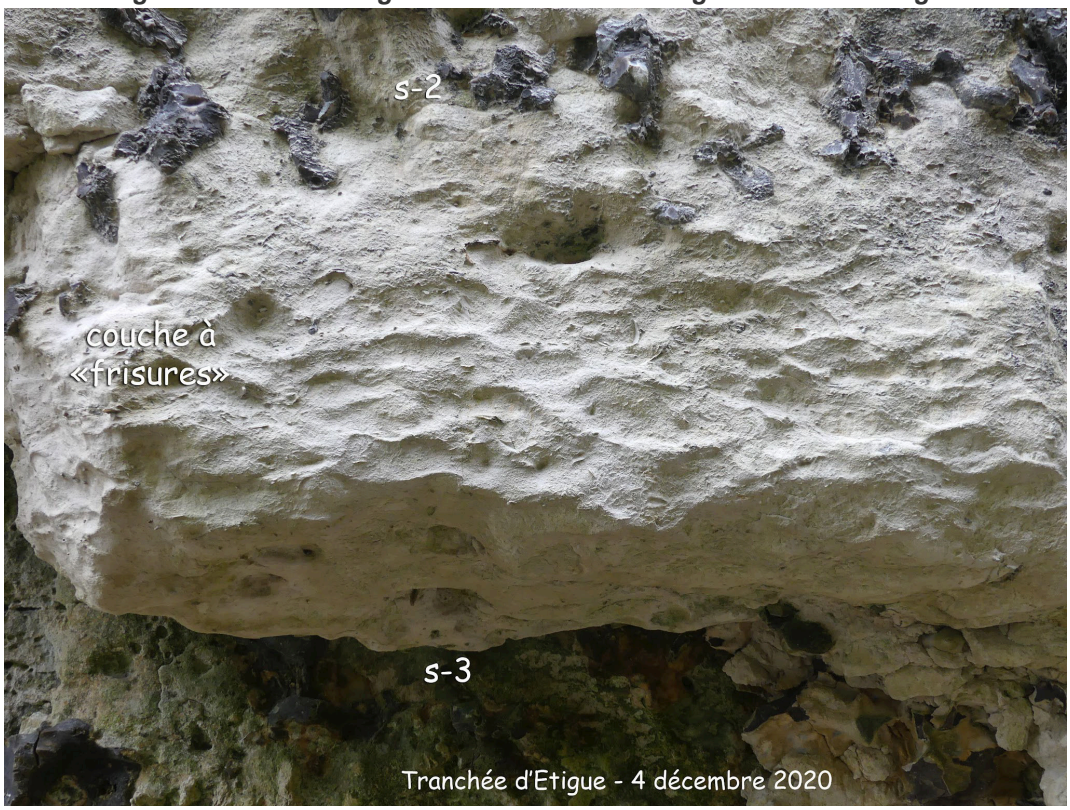


Fig. 319 - Niveau à "frisures" associé aux HGs Hope Gap - Tranchée d'Etigue

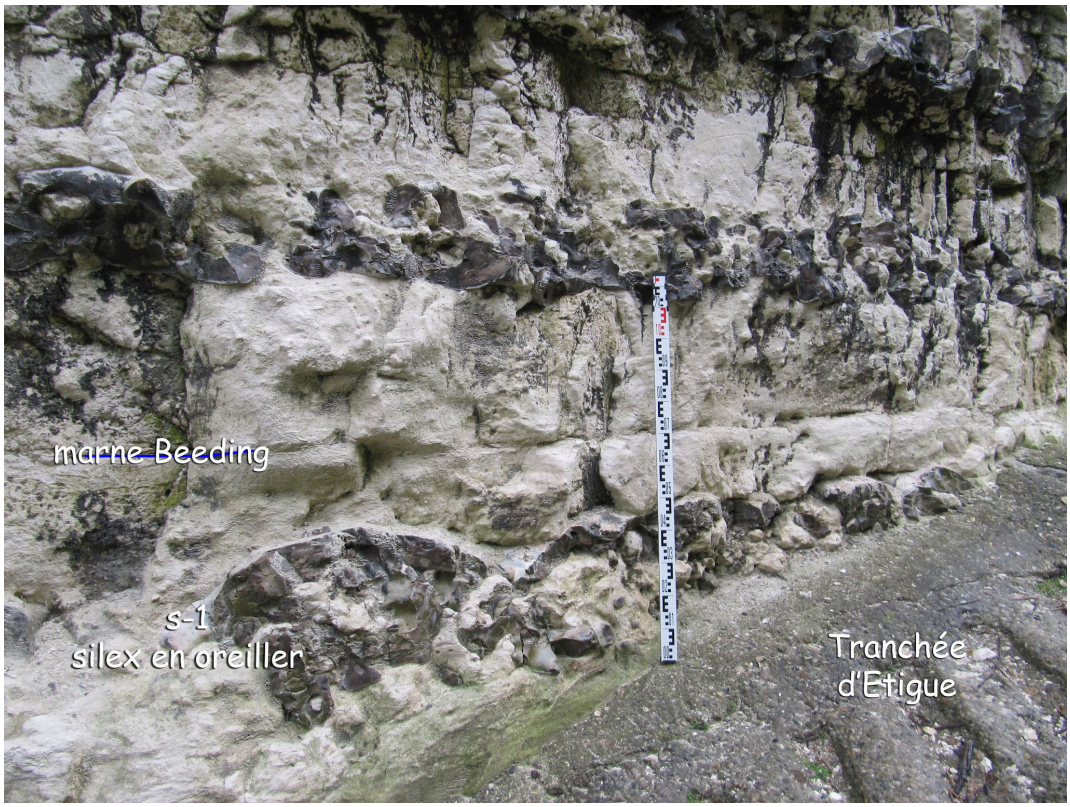


Fig. 320 - Marne Beeding et silex épais en oreillers associés - Tranchée d'Etigue

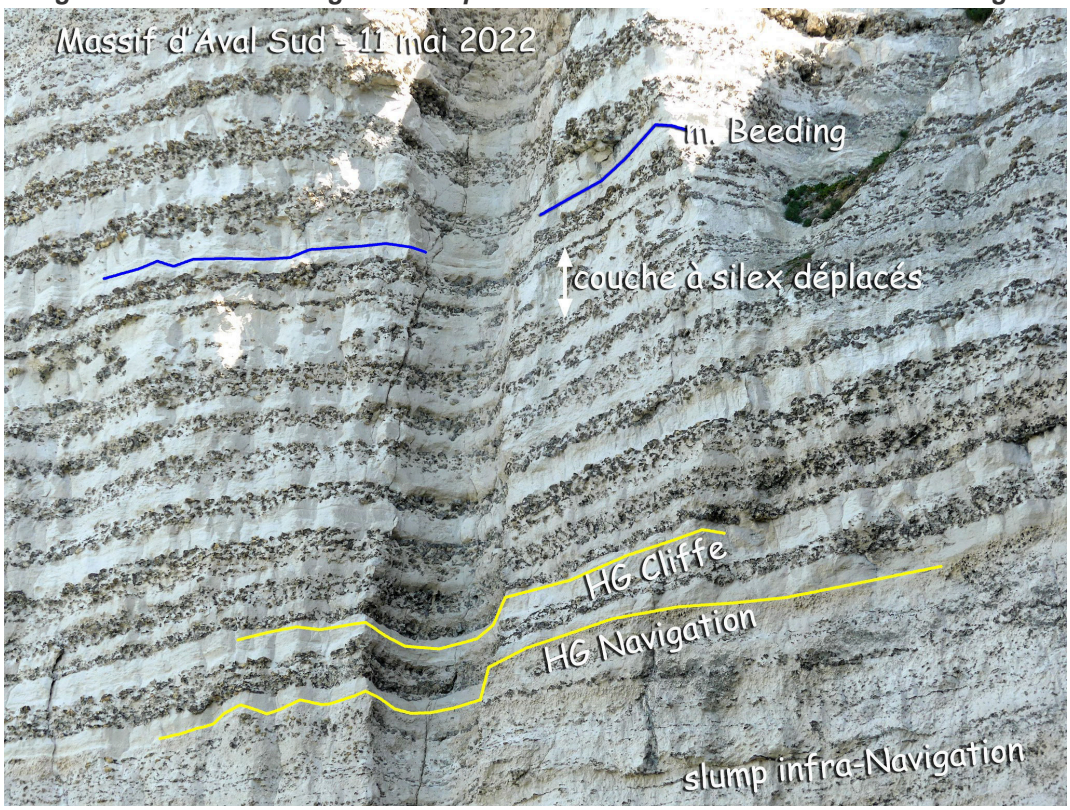


Fig. 321 - Base du Coniacien - Face S du Massif d'Aval Étretat

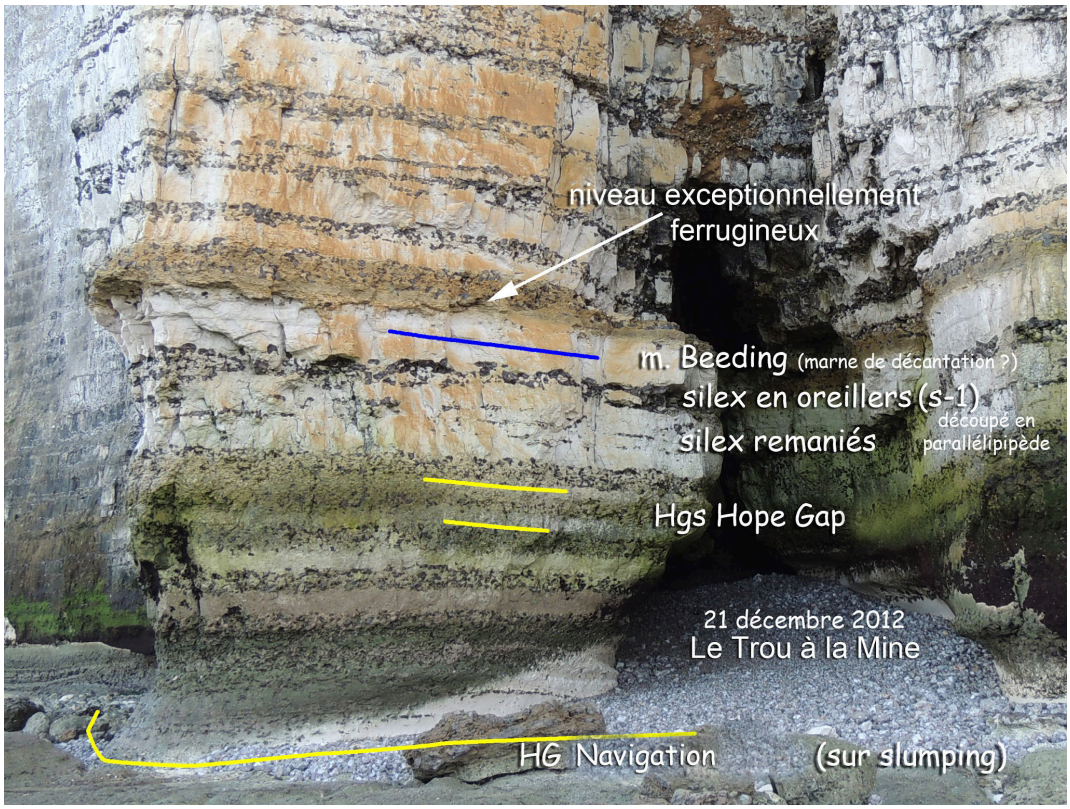


Fig. 322 - Découpage du silex infra-Beeding et silex déplacés - Le Trou à la Mine



Fig. 323 - Plan rapproché sur la marne Beeding, entre le Banc à Cuves et le Roc Vaudieu

Coniacien inférieur, entre la marne Beeding et la marne Gerville

La sédimentation complexe en monticules et cuvettes rend difficile l'étude du Turonien à Étretat et dans ses environs. Le Coniacien inférieur, en revanche, notamment au-dessus de la marne Beeding, présente une situation différente. Entre la Porte d'Amont et le Roc Vaudieu, une épaisse série s'est développée avec peu d'influence des courants, offrant une référence grâce à sa bonne exposition. Cette série "tranquille" se transpose clairement à la Porte d'Aval et à la Pointe de La Courtine. Elle contraste avec les zones plus au nord-est où les hardgrounds et autres perturbations sédimentaires redeviennent la règle.
La marne Beeding est bien apparente et elle est recouverte localement par un niveau ferrugineux, entre le Trou-à-la-Mine et Belval.
Des séquences élémentaires craie/silex, bien marquées, d'épaisseur hémimétrique, font suite à cette marne. Ces séquences bien stratifiées constituent un repère dans les falaises d'Étretat.
Un autre repère marneux, lui aussi discret, apparaît à environ 18 mètres au-dessus de la marne Beeding lorsque les épaisseurs sont soutenues, au Sud du Roc Vaudieu. Il est souvent surmonté d'un niveau de silex marqué. Il s'agit de la *marne Gerville* et du *silex Gerville*, ici dénommés. Dans l'intervalle marne Beeding - marne Gerville, on dénombre 18 niveaux de silex (sb1 à sb18) lorsque la rythmicité est préservée, c'est-à-dire au creux des larges cuvettes sédimentaires.
Dans la partie médiane de l'intervalle, les séquences s'amincissent et les niveaux de silex deviennent plus indistincts. Cette cyclicité peut s'effacer et il peut apparaître un ou plusieurs hardgrounds. Il s'agit du *HG Beeding*, seul ou avec des répliques. Ce hardground dessine régulièrement des monticules et des cuvettes. A l'Est d'Etigue, il est franc et coloré.



Fig. 324 - De la marne Beeding au silex Gerville - Entre Porte d'Amont et Vaudieu

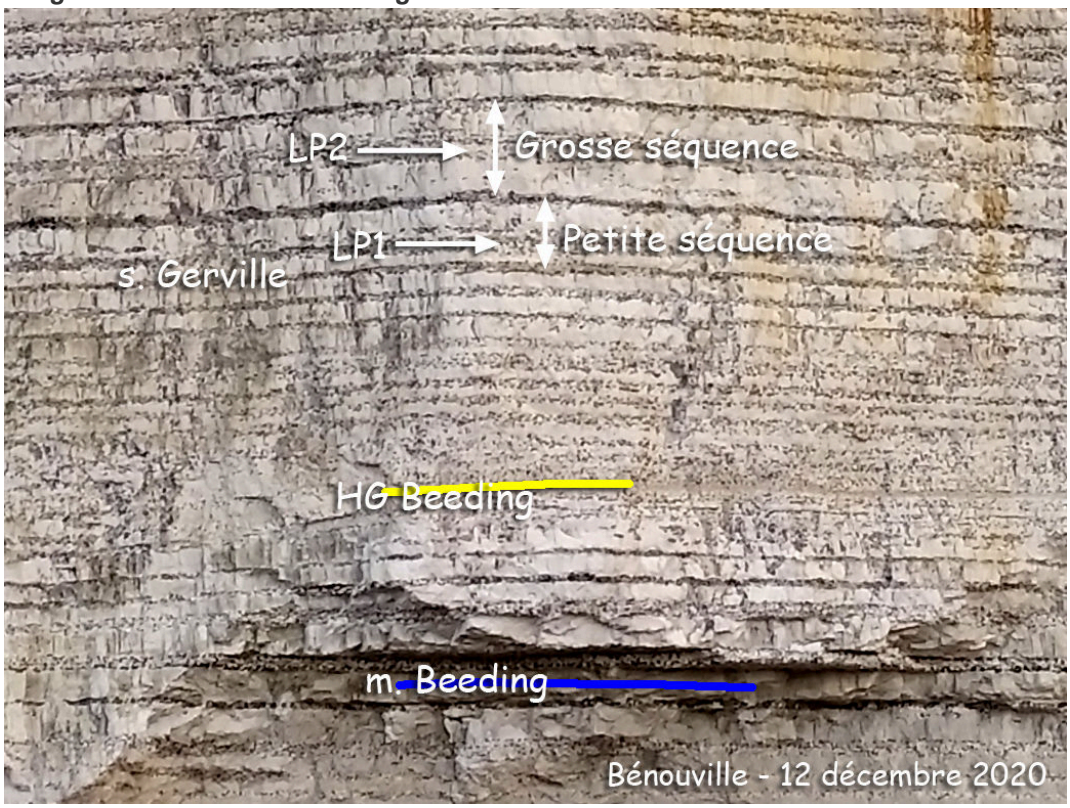


Fig. 325 - Présence du HG Beeding - Bénouville



Fig. 326 - Un hardground Beeding dédoublé - entre Etigue et Roche aux Anglais

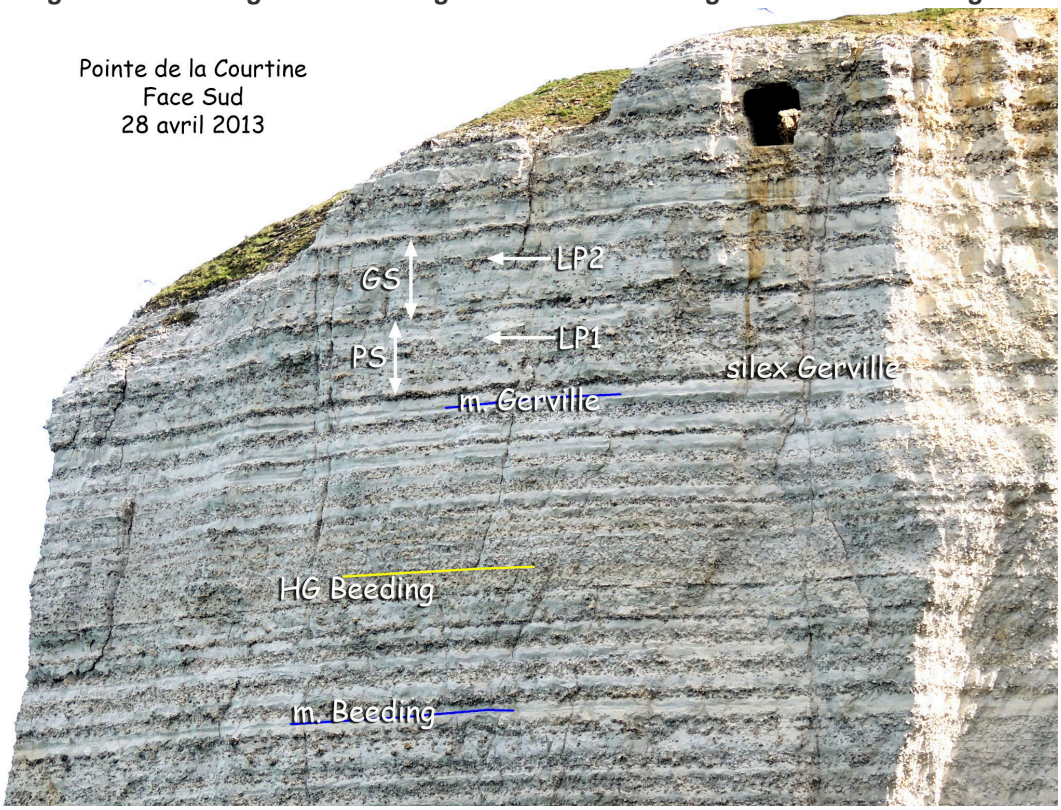


Fig. 327 - HG Beeding - Face Sud de la Pointe de la Courtine

Coniacien inférieur, entre la marne Gerville et la marne Shoreham

Au-dessus de la marne Gerville, on dénombre à Étretat 14 séquences craie/silex (notées sg1 à sg14) assez régulièrement espacées, jusqu'à la marne Shoreham.

- Les silex sg2 et sg4 sont visiblement dispersés, remaniés probablement par des courants. Hypothétiquement, ces deux niveaux correspondraient au hardground double Light Point. Ils sont figurés LP1 et LP2 sur les clichés.
- Les 4 silex sg6 à sg9 se regroupent en une double paire.
- Entre les silex sg10 et sg11, il existe un niveau de remaniement. Ce remaniement peut être discret, quasi imperceptible, ou donner lieu à un hardground, intitulé ici *HG Etigue*. Ce hardground devient très net à Vaucottes. Il creuse parfois de profondes cuvettes. Ainsi, il est plausible que la grande cuvette sédimentaire s'enfonçant sous la Porte d'Amont, de plus de 50 mètres d'amplitude, soit marquée par le HG Etigue.
- Le silex ultime sous la marne Shoreham est affecté de gros paramoudras en champignon. Des tubulures silicifiées horizontales, d'une dizaine de mètres de longueur, sont connectées aux paramoudras verticaux (BRETON, 2006). L'hypothèse organique, celle de terriers de *Bathicnus paramoudrae*, est privilégiée dans ce cas. Mais une interférence avec des processus mécaniques n'est pas à écarter.

La *marne Shoreham 2* (ROWE, 1908), encore appelée *marne Eastcliff 2* (GALE & SMITH, 1982) est une bentonite (WRAY, 1999) largement reconnue dans tout le Bassin Anglo-Parisien. Dans les falaises du Pays de Caux, on peut la suivre nettement d'Étretat à Saint-Martin-aux-Buneaux. A l'Est de Dieppe, sa présence est moins évidente mais très probable. Ce repère isochrone marque conventionnellement la limite entre Coniacien moyen et supérieur.
La marne Shoreham apparaît, au SW, au sommet du Massif d'Aval à la grotte des Demoiselles. D'ondulation en ondulation, épaisse ou réduite par l'érosion, elle s'enfonce et disparaît sous le platier de Grainval, à une douzaine de kilomètres au NE. La faille de Fécamp la fait réapparaître vers le sommet du Cap Fagnet, décalée de près d'une centaine de mètres. La marne est traversée de terriers et elle renferme des éponges (*Porosphaera*) et des *Micraster*.

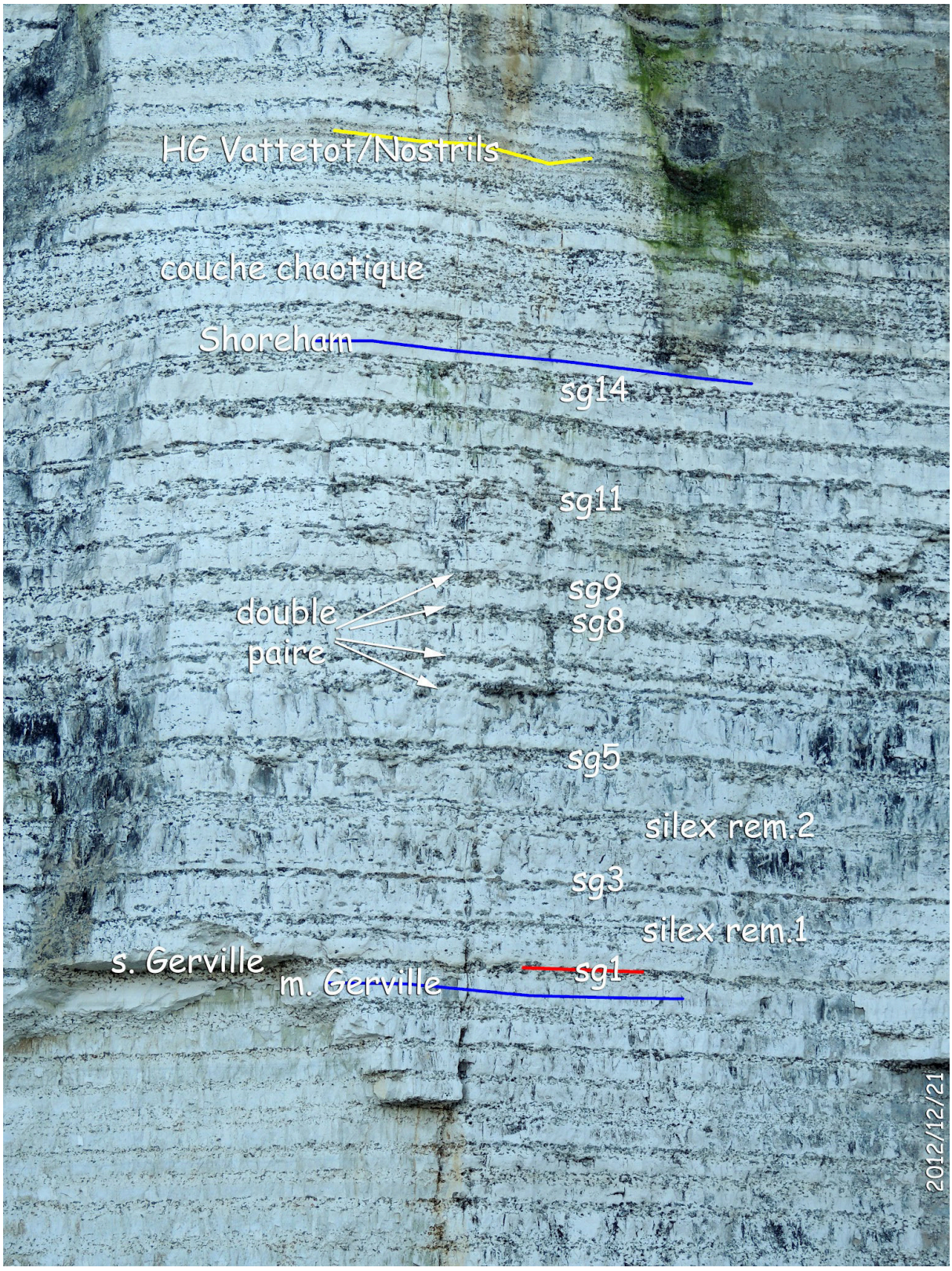


Fig. 328 - De la marne Gerville au HG Vattetot - Entre Porte d'Amont et Vaudieu

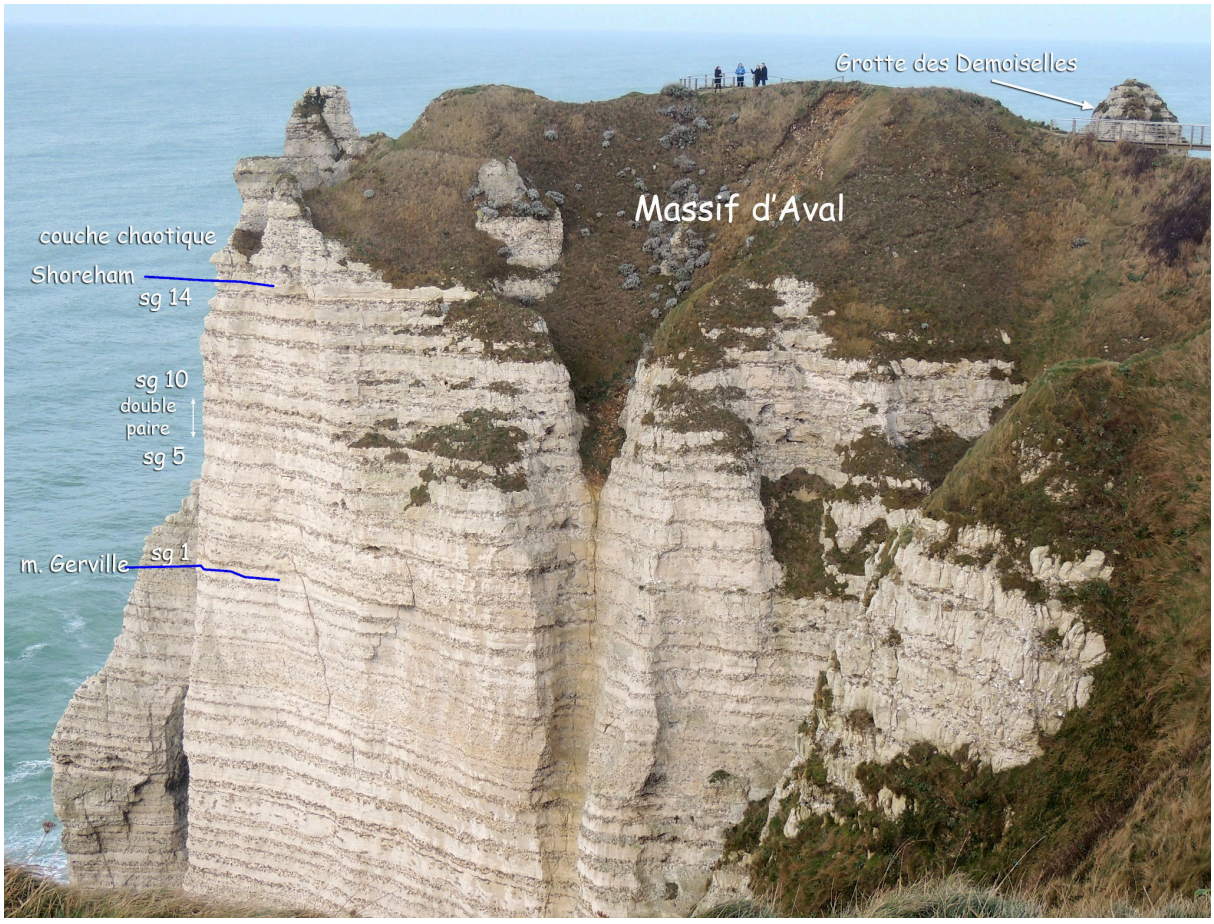


Fig. 329 - Sommet du Coniacien inférieur - Massif d'Aval à Etretat

Coniacien moyen entre la marne Shoreham et la marne Belle Tout 2

Les couches au-dessus de la marne Shoreham ne sont accessibles qu'au cœur de la grande cuvette sédimentaire de Grainval, sur moins de 5 mètres. Les couches supérieures stratigraphiquement ne peuvent être observées qu'à distance. On y distingue :

- Un silex recouvrant systématiquement la marne Shoreham.
- Un complexe sédimentaire impliquant une ou plusieurs séquences craie-silex (jusqu'à quatre). Dans cet ensemble, la craie et les silex sont désorganisés. Le phénomène est plus ou moins intense. Au minimum, les silex sont disséminés de manière homogène dans une couche métrique. Dans un stade plus avancé, des monticules assez trapus déforment le fond sous-marin (ex : entre Yport et la Cavée Rouge). Dans un stade ultime, ces monticules se recoupent obliquement, sous l'effet de courants ou de slumping (Vaucottes, Bénouville). C'est surtout grâce à la présence de silex que ces structures de déformation et de sédimentation peuvent être rendues visiblest. Globalement, nous désignons la tranche sédimentaire affectée sous le nom de "*couche de Bénouville*".
  L'interprétation de cette couche est hypothétique. Le phénomène est supposé d'une certaine violence (séismes, tsunamis). De nombreux paramoudras verticaux, recoupant les structures sédimentaires, semblent témoigner d'anciennes cheminées d'évacuation de fluide. Au sommet, une mince lamine marneuse pourrait représenter la décantation de particules fines dans la phase de quiescence.
- 3 séquences craie-silex bien marquées (triplet noir à Grainval).
- Un hardground, désigné *HG Vattetot 1,* pouvant être l'équivalent du *HG Nostrils* (Culver Cliff, île de Wight). Ce hardground est imperceptible dans les cuvettes, comme à Grainval.
- 3 à 6 séquences craie-silex (sn1 à sn6).
- Un niveau marneux, assimilé à la *marne Belle Tout 2* du Sussex (MORTIMORE *et al.*, 2001), encadré de deux silex marqués. Une grande ammonite *Parapuzosia sp*. a été extraite sur l'estran à ce niveau .

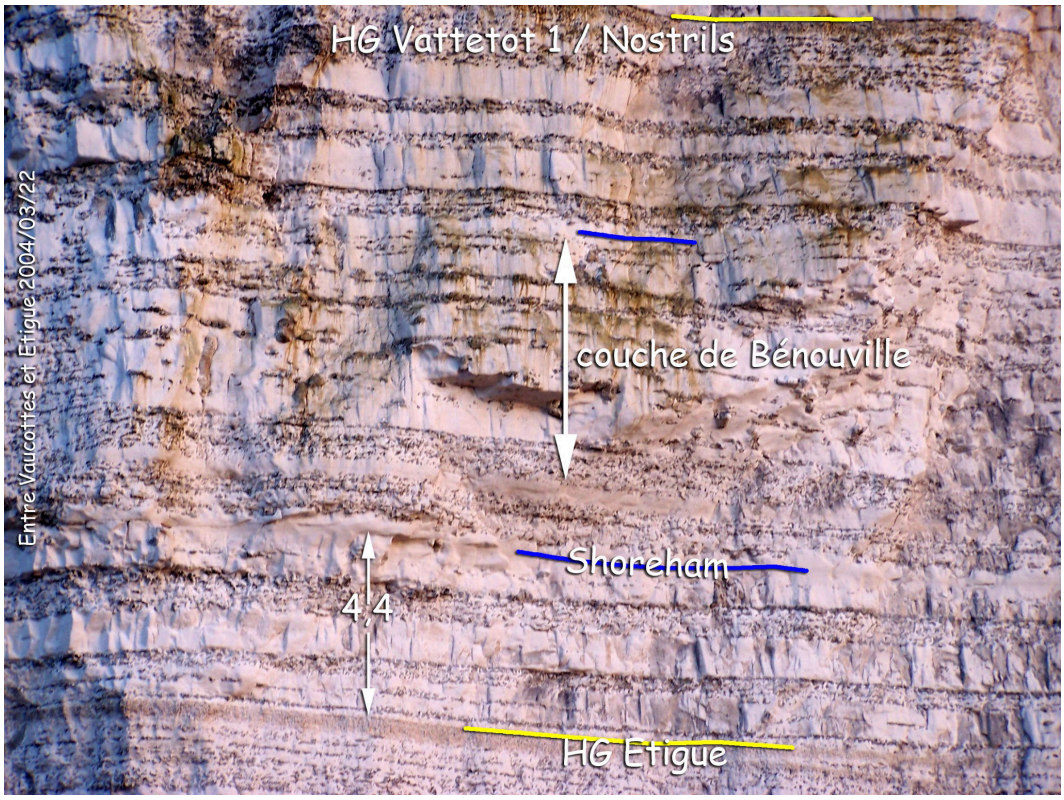


Fig. 330 - La marne Shoreham et la couche Bénouville - Entre Etigue et Vaucottes



Fig. 331 - Silex à paramoudras sous la marne Shoreham - Entre Grainval et Fécamp

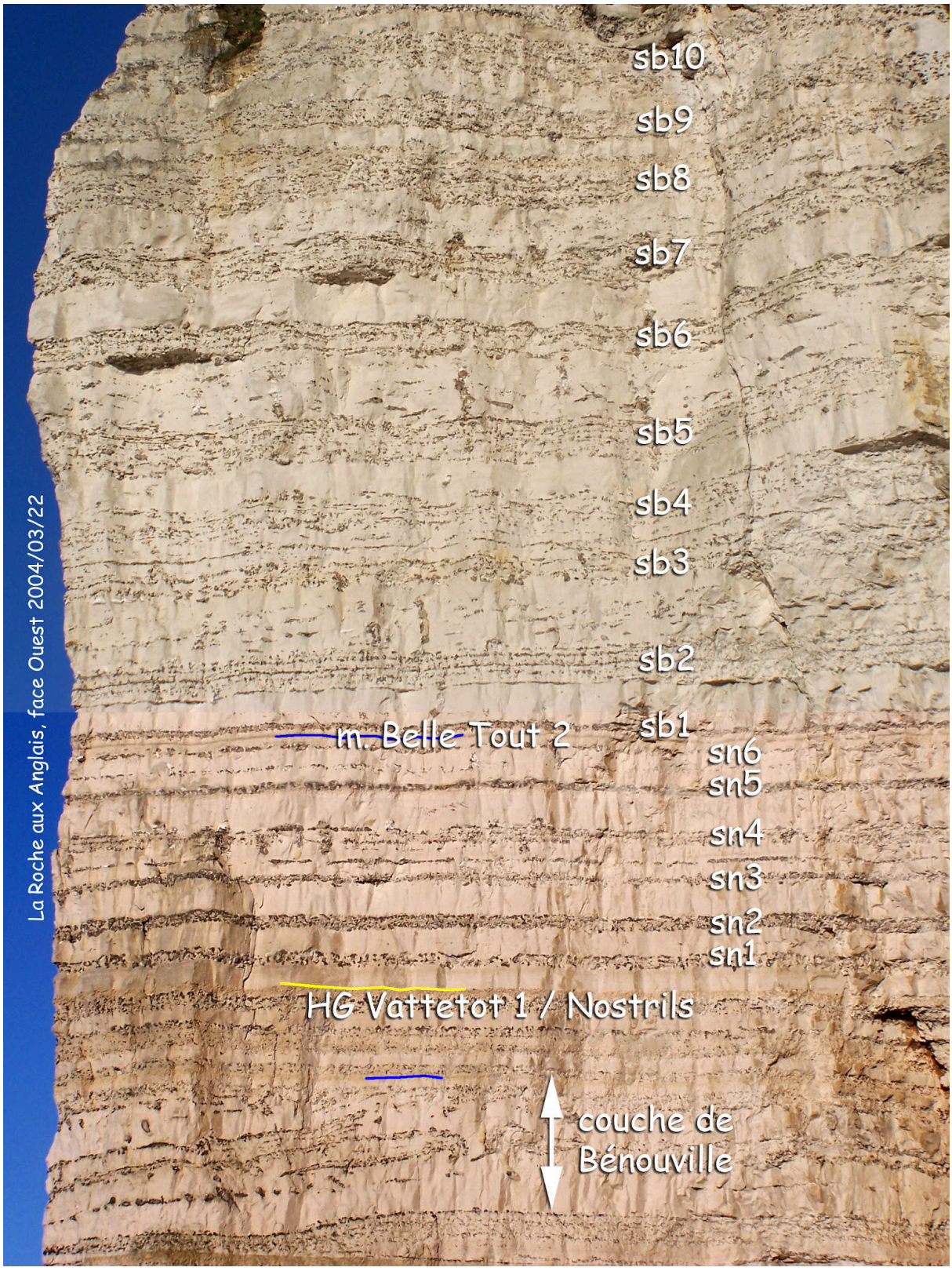


Fig. 332 - Coniacien moyen au-dessus de la couche Bénouville - Roche aux Anglais

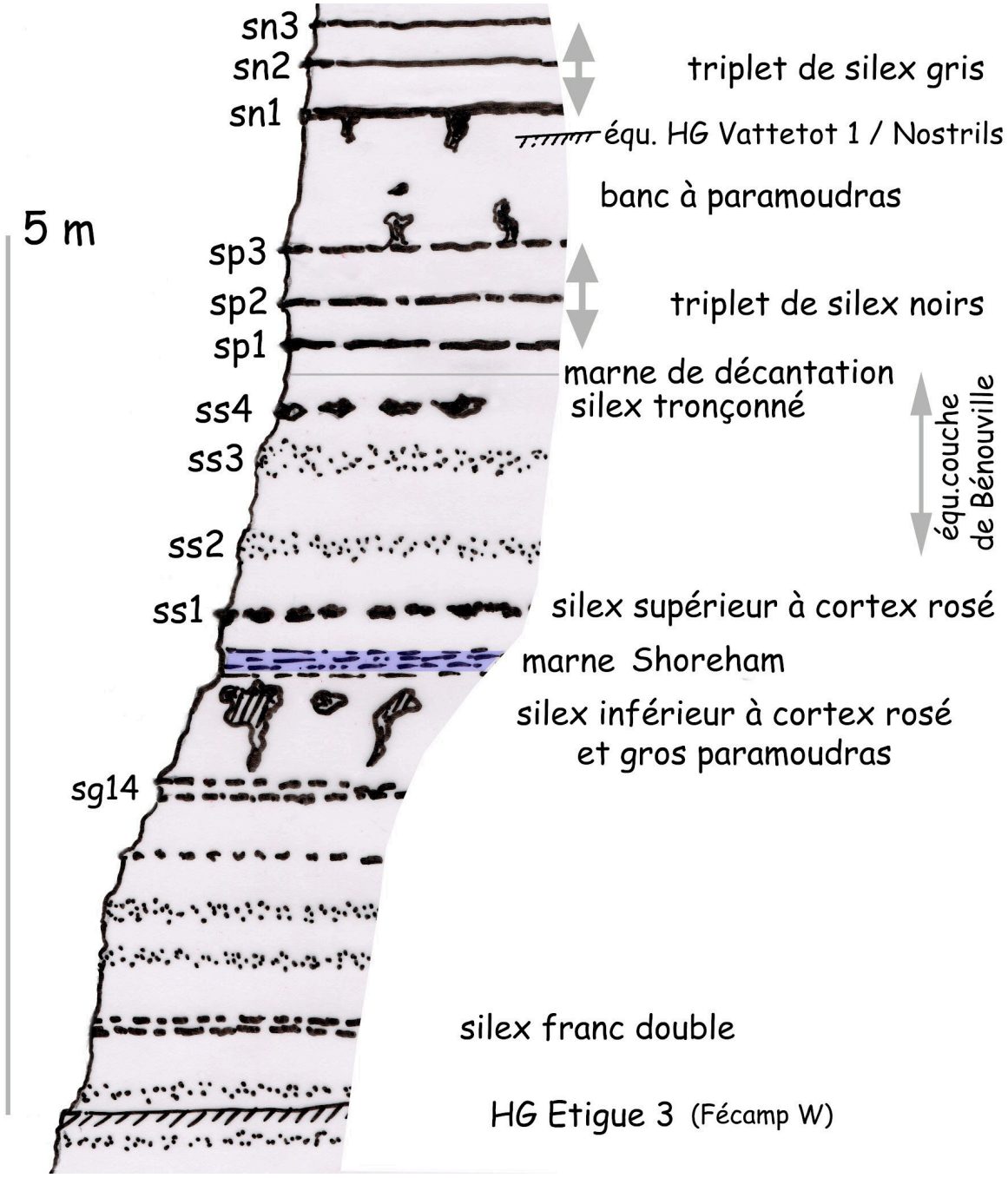


Fig. 333 - Coupe du passage Coniacien inférieur/moyen - Grainval

Coniacien moyen entre la marne Belle Tout 2 et le silex Seven Sisters

Cette partie haute du Coniacien moyen n'apparaît qu'au sommet des falaises à l'Est du Roc Vaudieu. C'est dans la grande cuvette sédimentaire de Criquebeuf-en-Caux qu'elle se trouve la mieux exposée.
L'intervalle peut être divisé en deux parties, sensiblement de même épaisseur, par un banc de silex très épais, dénommé ici *silex Froberville*. La constance de ce silex repère aurait pu le mettre en équivalence avec le silex Seven Sisters (= East Cliff) du Sussex (MORTIMORE, 1986). Néanmoins, il n'est pas tabulaire. Le silex Seven Sisters a été placé une dizaine de mètres plus haut, sur un silex franchement tabulaire, formant une ligne nette continue.

- Entre la marne Belle Tout 2 et le silex Froberville, la stratigraphie est variable en épaisseur et en répartition des silex. Dans le creux des cuvettes, la sédimentation est soutenue et les séquences craie/silex sont particulièrement épaisses. Elles peuvent atteindre 3 mètres et, dans ce cas, la partie silex est une superposition métrique de petits lits élémentaires de silex. Ces séquences obèses sont régulièrement traversées par des colonnes silicifiées, rattachables à des paramoudras, dépassant parfois 5 mètres de hauteur.
- Le silex Froberville est le premier d'environ 4 à 5 niveaux de silex d'épaisseur décroissante, formant un faisceau de couches qui tranche avec l'encaissant.

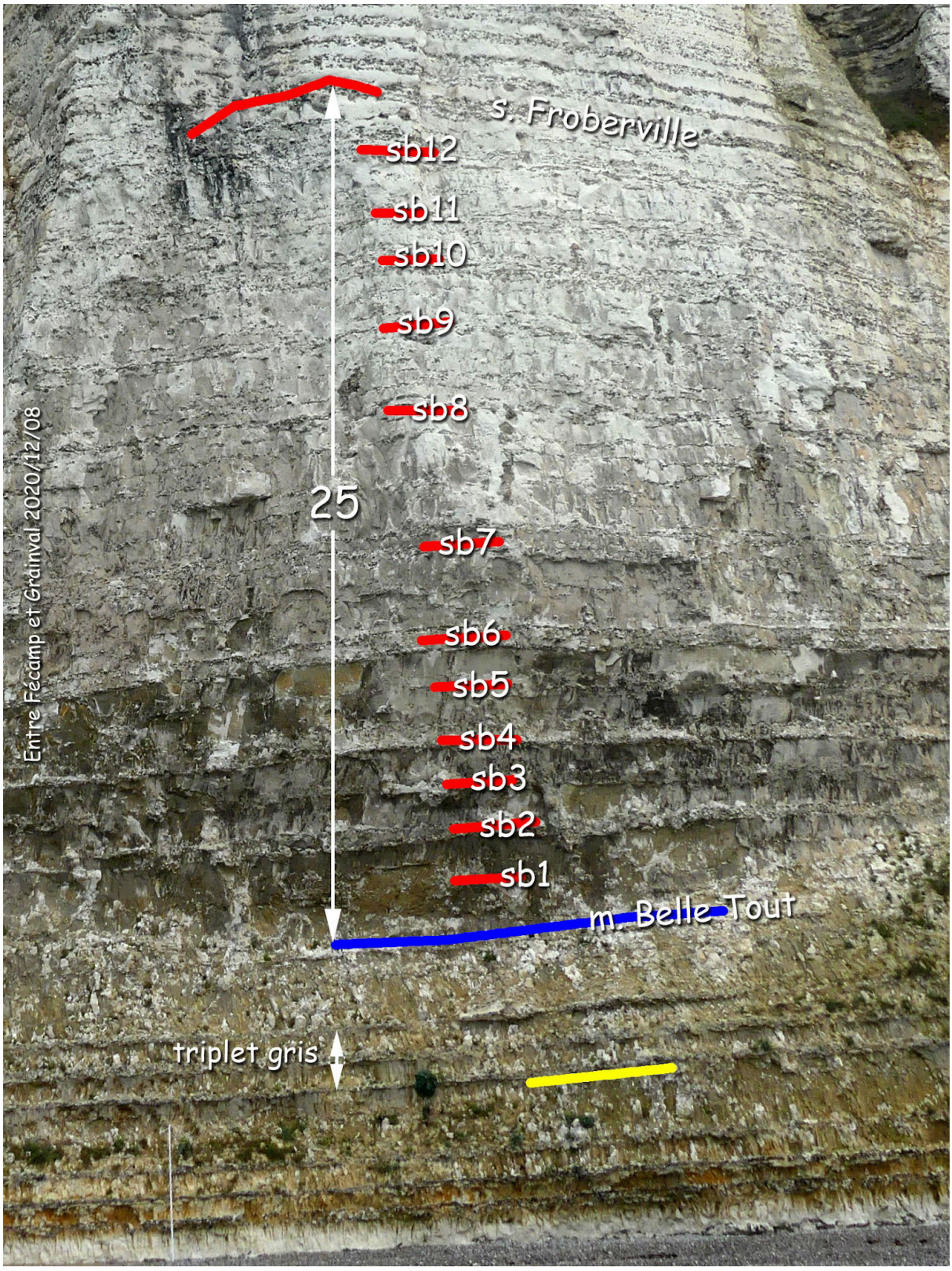


Fig. 334 - Coniacien moyen, partie inférieure - Grainval

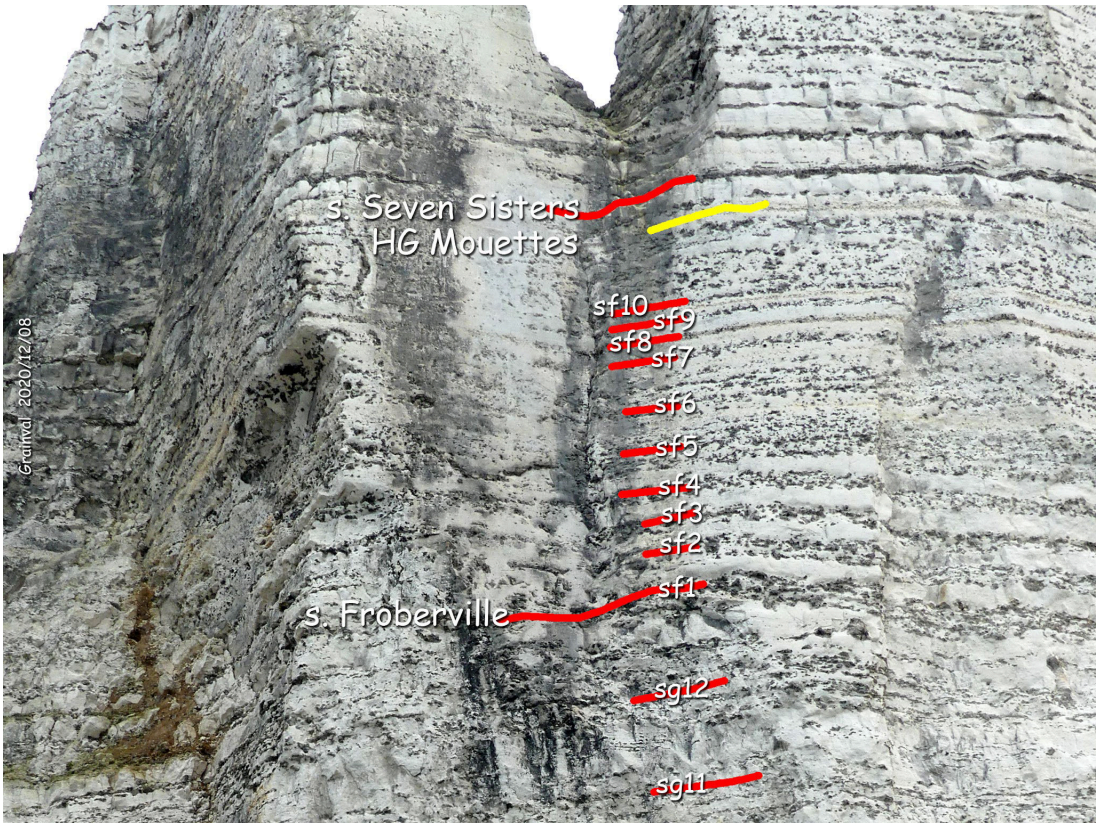


Fig. 335 - Coniacien moyen, partie supérieure - Grainval



Fig. 336 - Colonnes silicifiées (Grainval)



Fig. 337 - HG Mouettes et silex Seven Sisters

Synthèse stratigraphique du Turonien littoral

Le Turonien affleure le long des falaises littorales entre les estuaires de la Seine et de la Somme. Grâce à la tectonique post-crétacée, par le jeu de failles et d'ondulations, cet étage est accessible et s'expose sur six secteurs principaux, répartis d'est en ouest :

- d'Ault à Mers-les-Bains (secteur 2-2)
- du Tréport à Criel (secteur 2-1)
- de Criel à Penly (secteur 1-2)
- de Penly à Dieppe (secteur 1-1)
- des Petites Dalles au Cap Fagnet (secteur 3)
- de Vaucottes à la Pointe du Fourquet (secteur 4).

Ce transect d'une centaine de kilomètres révèle des variations latérales significatives dans l'épaisseur et la lithologie des dépôts, témoignant de la diversité des paléoenvironnements de la Mer de la Craie. Pour analyser ces variations, la série a été subdivisée en intervalles chronologiques définis par des marqueurs événementiels (essentiellement des niveaux marneux). Ces intervalles principaux correspondent à ceux définis par AMÉDRO & ROBASZYNSKI (2000). Notons que leurs limites ne sont pas toujours parfaitement conservées ou identifiables. À ces huit intervalles peuvent être intégrées les subdivisions de GALE (2019a), ce qui porte le nombre à onze.

● Intervalle T1a : de la marne Meads 4 aux marnes Holywell,
● Intervalle T1b : des marnes Holywell aux marnes Gun Gardens,
● Intervalle T1c : des marnes Gun Gardens à la marne Lulworth,
● Intervalle T2a : de la marne Lulworth à la marne Round Down,
● Intervalle T2b : de la marne Round Down à la marne New Pit 1,
● Intervalle T3 : de la marne New Pit 1 à la marne Glynde 1,
● Intervalle T4 : de la marne Glynde 1 à la marne Southerham 1,
● Intervalle T5 : de la marne Southerham 1 à la marne Caburn,
● Intervalle T6 : de la marne Caburn à la marne Bridgewick 1,
● Intervalle T7 : de la marne Bridgewick 1 à la marne Lewes,
● Intervalle T8 : de la marne Lewes au hardground (HG) Navigation.

La durée de ces intervalles peut être estimée en postulant une certaine régularité sédimentaire. Sur la base des cycles astronomiques de Milankovitch, l'ordre de grandeur le plus cohérent pour ces intervalles semble correspondre au cycle d'excentricité de 405 ka.

Intervalle T1 (Meads 4 - Lulworth)

● Dans le **Sud de l'Angleterre** (Sussex, Dorset, Kent), cet intervalle est clairement défini et correspond à la formation de la **Holywell Nodular Chalk**.
La *marne Meads 4* constitue la limite inférieure de cet intervalle. Elle appartient à un faisceau de fins niveaux marneux (les *Meads marls*) qui surmontent les marnes à *Plenus* supérieures. Dans la coupe de référence d'Eastbourne, ce niveau est reconnu comme la base officielle de l'étage Turonien (PAUL *et al*., 1999; GALE *et al*., 2005). La *marne Lulworth* (GALE, 1996) est synonyme de la marne Gun Gardens principale (MORTIMORE & POMEROL, 1996). C'est un niveau marqué entre les couches à *Mytiloides* et une couche à Rovéacrinidés. Dans cet

intervalle se développent d'autres marnes appelées marnes Holywell et marnes Gun Gardens.

Sur le littoral normand :

● L'intervalle T1 n'est représenté totalement que de chaque côté de la centrale nucléaire de Penly. Les toutes premières couches du Turonien (entre la marne Meads 4 et la première marne Gun Gardens, en passant par les marnes Holywell, soit T1a + T1b) ont été relevées par GALE (2019b) sur le platier de Biville et elles atteignent 10 m d'épaisseur. Entre la marne Gun Gardens 1 et la marne Lulworth, l'épaisseur est de l'ordre de 13 à 14 m.
● Sur le platier à l'W du Tréport, l'intervalle T1 affleure partiellement, mais généralement sous de mauvaises conditions d'observation.
● Au cap Fagnet ainsi qu'à la plage du Tilleul, la base du Turonien existe sous une forme très condensée. Elle s'exprime sur environ 6 m d'épaisseur par plusieurs séquences de type craie noduleuse ou firmground et marne flaser. Les ammonites témoignent des zones à *Fagesia catinus* et *Mammites nodosoides*, comme dans les coupes expansées de référence, sous la marne Lulworth. Le HG Fagnet, ferrugineux et premier hardground marqué du Turonien, est considéré (JUIGNET & BRETON, 1994; GALE, 2019a) comme la limite avec la zone à *Collignoniceras woollgari* et avec le Turonien moyen. Le joint marneux qui précède immédiatement ce hardground est ici mis en équivalence avec la marne Lulworth. Le HG Fagnet peut être rapproché des craies nodulaires ferrugineuses que l'on trouve à Penly, au-dessous et au-dessus de la marne Lulworth.

Intervalle T2 (Lulworth - New Pit 1)

● En Angleterre, cet intervalle constitue la base du **Membre de New Pit**. Il marque une rupture lithologique majeure avec l'intervalle précédent.
Dans la partie la *plus profonde, la plus subsidente* du bassin, dans le Sussex, il mesure une trentaine de mètres d'épaisseur.
Lithologie : La craie devient plus pure, plus blanche et plus fine que celle de l'intervalle T1.
Cyclicité : Des faisceaux de fines marnes ondulées (texture *flaser*) découpent la craie en bancs réguliers de 0,5 à 1 m. Cette organisation cyclique est très marquée (MORTIMORE, 2014, fig.2.32).
Dynamique : On observe localement de petits chenaux dont la base concentre des débris intraclastiques.
Au sein de cet intervalle, des marnes sont plus marquées et ont donné lieu à différentes appellations. Ainsi, MORTIMORE (2014) définit les marnes Malling Street, Lighthouse et Iford. De son côté, GALE (1996a) reprend le terme marne Round Down utilisé par ROBINSON (1986).
Dans la partie *moins profonde*, en bordure de bassin, dans le Devon SE (MORTIMORE *et al.*, 2001; MORTIMORE, 2010), un premier hardground réapparaît (HG Glyndebourne 1), suivi par des silex (Glyndebourne Flints) puis d'autres hardgrounds (HGs Glyndebourne 2 &3).
En résumé, l'intervalle T2 manifeste :
- le passage d'un faciès grossier (gritty, en anglais, dû à l'abondance des débris d'inocérames proliférant dans des eaux dysoxiques) à un faciès fin.
- l'entrée des silex.

Deux phénomènes sont associés : chimique d'une part, avec une réoxygénation des eaux et eustatique d'autre part, avec une transgression.

Sur le littoral normand :

● Dans la zone comprise entre Saint-Martin-Plage et Berneval, l'**in**tervalle T2 présente une puissance d'environ 30 m. Il se caractérise par des séquences élémentaires de craies tendres et de marnes flaser, au sein desquelles s'intercalent plusieurs niveaux de craie bréchique ferrugineuse (dénommés "niveaux Fileux"). Une subdivision en deux sous-unités, T2a et T2b, peut être établie en corrélation avec les séries anglaises grâce à l'identification de la marne Round Down. Un niveau unique de petits silex (silex Biville) apparaît systématiquement un mètre sous cette marne. Au sein de la sous-unité T2b, d'autres horizons marneux sont identifiables : la marne Round Down 2 (équivalent probable de la marne *Malling Street 2* de MORTIMORE) et la marne Val du Prêtre.
Le remaniement des craies dans la partie supérieure de l'intervalle peut résulter de différentes causes : de l'accélération des courants sous-marins, d'une inversion tectonique, ou d'un changement climatique. JONES *et al.* (2018) constatent la simultanéité de hiatus sédimentaires dans l'Atlantique Nord tropical et dans le Bassin Intérieur nord-américain, synchrones du Hardground Ogbourne de la craie anglaise du Turonien moyen (GALE, 2023) ou du HG Strahan du Sussex (STRAHAN, 1896).
● Au Tréport, l'intervalle T2 est réduit à une dizaine de mètres.
● Dans les deux secteurs de Fécamp-Senneville et de Fourquet-Étretat, l'intervalle T2 existe mais ses limites inférieure et supérieure sont mal définies par la lithologie et la paléontologie. Les quelques niveaux marneux discrets qu'on y observe n'ont qu'une correspondance hypothétique avec celle de leurs homologues de la région dieppoise. Ainsi, la marne ici dénommée Ebran 2, juste au-dessus du HG Tilleul 0, peut être comparée à la marne New Pit 1. GALE (2019a) considère les HGs Tilleul comme homologues du HG Ogbourne pouvant raviner les zones TuR8 (contenant la marne New Pit 1) et TuR7 (contenant la marne Round Down). L'épaisseur probable de T2 serait ainsi d'environ 8 à 9 m.
Les séries méridionales se distinguent notamment par une abondance marquée de silex, souvent bien formés — en particulier les silex de type Saint-Nicolas. En revanche, les séries septentrionales en sont presque dépourvues. Cette particularité se retrouve également dans le Sussex, avec les silex de type Glyndebourne.

Intervalle T3 (New Pit 1 - Glynde 1)

● En Angleterre, cet intervalle montre d'importantes variations lithologiques. Il est bien développé dans les parties plus profondes du bassin (la fosse du Wessex-Sussex de MORTIMORE et POMEROL,1987, avec Beachy Head et les carrières de Southerham). Il se condense rapidement vers l'Ouest, avec l'apparition de hardgrounds de plus en plus serrés et qui tendent à se fondre pour former le Chalk Rock. GALE (2019a) analyse clairement ce phénomène, en dénombrant 5 hardgrounds successifs (Ogbourne, Pewsey, Fognam Farm, Blounts Farm et Hitch Wood). Ce sont les deux premiers: Ogbourne (plus probablement) et Pewsey qui interviennent dans l'intervalle T3.

● À Belleville-sur-Mer, il mesure environ 13 m d'épaisseur. Globalement, il se compose de craies homogènes sans silex, interrompues par les 3 marnes New Pit. La marne New Pit 2 est la plus franche. Il n'existe qu'un seul hardground ferrugineux peu marqué.
● À l'W du Tréport, l'épaisseur se réduit à 10 m, sans changement de faciès évident.
● Du côté E de Mers, l'épaisseur est à peu près la même (9 m).
● Dans les secteurs de Senneville-sur-Fécamp et d'Étretat, on constate la présence marquée de hardgrounds et de niveaux à silex . Elle contraste nettement avec l'homogénéité des craies observée à l'est de Dieppe. Les plus élevés des hardgrounds Tilleul sont fortement cimentés et condensés. GALE (2019a, puis 2026) en étudiant les différents hardgrounds composant les premières manifestations du "Chalk Rock" anglais (TuR7 et TuR8) a proposé que leur existence résulterait d'une élévation de la zone. Cette élévation serait le signe d'une courte phase d'inversion précoce générée par la collision de l'Afrique du Nord et de l'Europe. Le linéament varisque Bray-Wight réactivé pourrait marquer la frontière entre une zone de haut-fond à hargrounds type Tilleul et une zone de bassin type Puys-Penly avec des craies remaniées, bréchoïdes, voire turbiditiques.
Les silex suivent à peu près la même logique que les hardgrounds. Ils sont fréquents vers Etretat-Fécamp et quasiment absents à Puys et plus à l'Est.

Intervalle T4 (Glynde 1 - Southerham)

Globalement, les marnes Glynde représentent une brusque augmentation de la profondeur d'eau (surface d'inondation maximale FS5 de LASSEUR, 2008).

● En Angleterre, cet intervalle marque la transition vers la **Formation de la Craie Noduleuse Lewes**. Sa base se distingue par une succession de six niveaux marneux équidistants (~50 cm), dont le premier (Glynde 1) correspond à une **bentonite d'origine volcanique**. Ce motif caractéristique constitue un véritable « code-barres » lithologique sur le terrain, bien que certaines marnes soient plus ou moins nettes. Des marnes supplémentaires peuvent encore exister au-dessus, mais elles sont plus discrètes. La craie devient plus dure ou granuleuse et les hardgrounds sont courants et ferrugineux. Les silex font généralement leur entrée au-dessus des marnes Glynde. Vers le sommet, des silex volumineux (Southerham Flints) peuvent épigéniser des réseaux de terriers, mais ce n'est pas la règle générale. Selon MORTIMORE (1986), le sommet de cet intervalle coïncide avec l'apparition des premiers *Micraster corbovis* du type zone à *Lata* et *Sternotaxis planus*.

● Dans le secteur de Puys, cet intervalle atteint sa puissance maximale (environ 11 m). Sa base est marquée par la succession des six marnes Glynde, au-dessus desquelles s'opère une transition lithologique.
D'une part, les craies deviennent progressivement nodulaires, avec un gradient vertical croissant.
D'autre part, environ 2 m au-dessus de la dernière marne Glynde, apparaît le niveau des silex du Camp de César. Ces petits silex ferrugineux constituent la deuxième incursion siliceuse du Turonien. La partie terminale est caractérisée par l'étroite association d'une craie noduleuse — identifiée comme le *Spurious Chalk Rock* (MORTIMORE & POMEROL, 1987) ou le *HG Fognam Farm* (GALE, 2019a) — et d'un niveau de silex massifs (silex Southerham).
La nodularité des craies et les silex accompagnent un refroidissement contemporain de l'excursion isotopique Pewsey (BORNEMANN *et al*., 2008).

L'intervalle T4 présente une réduction de puissance et la disparition de certains marqueurs à mesure que l'on s'éloigne du secteur de Puys.
● Sur le flanc Est de l'anticlinal de Penly, l'épaisseur se réduit à une dizaine de mètres. Si les silex du Camp de César subsistent, le silex Southerham disparaît et le hardground sommital s'estompe.
● De Mesnil-Val au Tréport**, l**a réduction s'accentue avec une puissance d'environ 6 m. Le silex Southerham reste absent et les hardgrounds sont peu marqués.
● À l'Est de Mers-les-Bains**,** l'épaisseur reste stable, mais la marne Southerham devient difficilement discernable sur le terrain.
● Dans le secteur Sud, à l'Est de Fécamp, l'intervalle T4 a un développement assez complet et il mesure environ 10 m d'épaisseur. Les niveaux de craie noduleuse ou les hardgrounds sont bien marqués. La distinction majeure avec les coupes situées à l'Est de Dieppe réside dans la présence de niveaux de silex bien individualisés. Deux niveaux clés se distinguent : le silex Lydden Spout (GALE, 1996) et le silex Southerham.
● Dans le secteur d'Étretat, l'intervalle T4 exprime ses variations les plus spectaculaires, tant sur le plan géométrique que diagénétique. C'est l'émergence d'un style en "monticules et cuvettes". Au-dessus des hardgrounds (HG) Tilleul, l'intervalle T4 s'organise selon une morphologie complexe de monticules sédimentaires pouvant atteindre une dizaine de mètres de hauteur, séparés par des zones de hiatus (cuvettes). Dans le cœur des monticules, certaines marnes Glynde sont conservées. L'ensemble de l'intervalle est affecté par la silicification : petits silex *Zoophycos* à la base et silex tabulaires au sommet. Les hardgrounds sont fréquents. La partie supérieure de l'intervalle subit des transformations diagénétiques importantes : un phénomène de dolomitisation, altérant l'ensemble des roches conduit localement à la formation de brèches de dissolution.
L'apparition précoce, dès T4, d'un style sédimentaire en "monticules et cuvettes" est une signature propre au bloc tectonique situé au sud-ouest de la faille de Fécamp. Ce mode de sédimentation ne se généralise à l'ensemble du Pays de Caux qu'à la fin du Turonien.

Intervalle T5 (Southerham - Caburn)

● En Angleterre, cet intervalle est clairement identifié dans le Sussex (Lewes, Southerham) et dans le Kent (Langdon Stairs). Son épaisseur est modérée, de 4 à 10 m. Plus à l'Ouest, la marne Caburn est souvent absorbée dans les hardgrounds du Chalk Rock. Quand les deux marnes limites sont présentes, au sein des craies noduleuses au moins un hardground est reconnu dans la partie supérieure, c'est le Caburn Sponge Bed (MORTIMORE & POMEROL, 1987). Ce hardground pourrait correspondre, à l'Est, au HG Blounts Farm dans les Chiltern Hills (BROMLEY & GALE, 1982; GALE, 2019). Les silex sont généralement petits, cariés et rosés. Un silex semble assez constant sous la marne Caburn. MORTIMORE (1986a) cite la récolte de *Romaniceras deverianum* au sommet de T5.
● Sur les deux flancs de l'anticlinal de Penly, l'intervalle T5 est bien individualisé (surtout le flanc ouest). Son épaisseur maximale est de l'ordre de 6 m. La marne Caburn, assez discrète et incluse dans des niveaux condensés, peut ne pas être visible. La nodularité de la craie est très prononcée vers le sommet de l'intervalle. La condensation de l'intervalle s'accentue en direction de l'Est, où son épaisseur diminue jusqu'à atteindre 2 mètres. Un véritable hardground se forme, attribué au Caburn Sponge Bed (MORTIMORE, 1986).
● À Mers, le HG Mers inférieur est probablement le Caburn Sponge Bed.
● À Senneville-sur-Fécamp, vers l'Ouest, l'intervalle T5 existe, mais l'identification de sa limite supérieure, la marne Caburn, est incertaine. Sous les HGs Senneville, il existe une

marne, définie ici comme marne Senneville, attribuée soit à la marne Bridgewick (MORTIMORE & POMEROL, 1987) soit à la marne Caburn (KENNEDY & GALE, 2015a). Hypothétiquement, c'est la seconde option qui est retenue, donnant une épaisseur de l'ordre de 5,6 m à l'intervalle.
● À Étretat, la marne Caburn n'a pas été reconnue. Les hardgrounds Vévigne équivaudraient peut-être au Caburn Sponge Bed.

Intervalle T6 (Caburn-Bridgewick)

● En Angleterre, cet intervalle correspond exactement aux couches de Ringmer (MORTIMORE, 1986a). Les deux marnes bentonitiques qui l'encadrent sont considérées comme d'origine volcanique, au moins partiellement. La source devait être lointaine et un proto-point chaud islandais est parfois évoqué. La marne Caburn est généralement solitaire, alors que la marne Bridgewick s'accompagne d'une ou de deux répliques. La marne Caburn a tendance à s'effacer alors que la marne Bridgewick est mieux fossilisée.
L'intervalle a une épaisseur moyenne qui oscille entre 5 et 10 mètres. Les craies sont noduleuses avec deux niveaux qui le sont fortement. MORTIMORE les qualifie de Bridgewick Nodular Chalks (BNC) distinguant donc un niveau inférieur et un niveau supérieur.
Les silex sont abondants et tout particulièrement au sommet de l'intervalle. Ces silex de la partie supérieure représentent le Maximum à Silex (Flint Maximum de MORTIMORE & WOOD, 1986; MORTIMORE, 2020). Dans le domaine de la craie méridional, ils prennent le nom de *Bridgewick Flints* et dans le domaine septentrional le nom de *Triple Tabular Flints* (HILDRETH, 2018; WOOD & SMITH, 1978). Ils sont riches en *Gibbithyris*, inocérames à test épais et *Sternotaxis planus*.
● Dans le secteur de Puys, l'intervalle atteint son épaisseur maximale (10 m). Il s'y caractérise :

- par le développement des silex, surtout dans la moitié supérieure, avec un triplet caractéristique (sC3, sC4, sC5/6). Cette recrudescence de silex correspond en Angleterre aux *Bridgewick flints et aux Triple Tabular* de MORTIMORE & WOOD (1986), ou encore au début de la zone à *Sternotaxis planus*.
- par des niveaux de hardground qui ont été désignés *HGs Gringoria* dont les plus marqués apparaissent après le triplet de silex (HGs Gringoria 3 & 4).

● Sur le flanc Est de l'anticlinal de Penly, l'épaisseur de l'intervalle se réduit de moitié et les hardgrounds tendent à fusionner formant 2 niveaux (HG Gringoria 1-2 et HG Gringoria 3-4). Du triplet de silex, il ne subsiste que 2 ou 1 silex, avec surtout 1 silex très franc.
● À l'Est de Mesnil-Val, la marne Caburn s'amenuise et l'intervalle T6 se réduit encore à 2-3 m. Seul un gros silex Bridgewick persiste, compris entre les HGs Gringoria très nets.
● À l'Est de Mers, sur la retombée Est de l'anticlinal de la Bresle, la réduction d'épaisseur se confirme et le silex Bridgewick unique a disparu.
● En se dirigeant vers le Bois de Cise, l'intervalle T6 s'observe uniquement sur le platier. On y constate que les silex Bridgewick réapparaissent nettement, laissant supposer que la condensation est liée à un haut-fond de la Bresle.
● À l'Est de Fécamp, l'intervalle T6 semble avoir été complètement absorbé par l'érosion des HGs Senneville.
● Dans le secteur d'Étretat, entre la valleuse d'Antifer et Etigue, la non-reconnaissance de la marne Caburn ne permet pas d'estimer l'épaisseur de l'intervalle T6. Par contre, les silex

Bridgewick semblent participer à l'édification des monticules à silex. Le socle de l'Aiguille de Belval et les récifs environnants constituent un endroit privilégié pour les observer.

Intervalle T7 (Bridgewick - Lewes)

● En Angleterre, cet intervalle correspond exactement aux couches de Kingston (MORTIMORE, 1986a). Comme pour la marne basale, la marne sommitale est une bentonite volcanogénique. Dans les successions dilatées et les plus complètes du Sussex, l'épaisseur est d'environ 10 mètres. Elle se réduit à environ 5 mètres, voire moins, en direction de l'Ouest ou dans les North Downs.
Les craies sont noduleuses, avec 3 niveaux plus intensément durcis (MORTIMORE, 1986). Le plus bas d'entre eux contient deux brachiopodes caractéristiques du Chalk Rock, *Cretirhynchia minor* et *Orbirhynchia reedensis*. Des ammonites mal conservées peuvent occasionnellement être récoltées. C'est au sein de cet intervalle que se situe un événement à caractère global, chimique et paléontologique, l'événement Hitch Wood/ *reussianum* (JARVIS *et al*., 2006; BROMLEY & GALE, 1982, KENNEDY & GALE, 2015, MORTIMORE, 1986). Sa caractérisation est un repère fondamental.
Les silex sont abondants et certains niveaux ont des caractéristiques suffisamment constantes pour les considérer comme des marqueurs :
- le *silex Bopeep 1* (MORTIMORE 1986, MORTIMORE & WOOD, 1986), une bande de gros silex quasi-continue située entre les marnes Bridgewick 1 & 2.
- le silex Bopeep 2, au-dessus de la marne Bridgewick 2 est moins épais que le silex Bopeep 1.
- les silex Lewes, une série de niveaux de silex à coeur noir, branchus et interconnectés de type Thalassinoides. Le plus élevé de ces silex, dénommé *silex Breaky Bottom* (MORTIMORE, 1986) est massif et peut présenter des formes atypiques (paramoudras, anneaux).
- les *silex tubiformes Lewes inférieurs* (Lower Lewes tubular flints), silex dispersés cylindriques, avec un manchon farineux. C'est leur position au-dessous de la marne Lewes qui les qualifie d'inférieurs.

● À Puys (flanc ouest de l'anticlinal de Penly), ainsi qu'à Criel Ouest (flanc Est) l'intervalle T7 est pleinement représenté. À la différence des intervalles inférieurs, c'est du côté Est que l'épaisseur est la plus forte et où elle mesure jusqu'à une quinzaine de mètres. Cette amplification locale résulte vraisemblablement d'une sédimentation *en monticules et cuvettes*, bien illustrée par les ondulations prononcées de la marne Lewes. Ce type de sédimentation s'accompagne localement de slumping, de chevauchement de la marne Lewes sur elle-même ou de longs paramoudras d'origine probablement mécanique.
● De part et d'autre de la valleuse de Puys, une attention particulière s'est portée sur les hardgrounds. L'intervalle T7 y est bien développé et accessible. Il est traversé de nombreux hardgrounds dénommés :
● Puys 1 sous la marne Bridgewick 3,
● Puys 2 au-dessus de la marne Bridgewick 3,
● Puys 3 au-dessous du silex Breaky Bottom,
● Puys 4 au-dessus du silex Breaky Bottom.

Le HG Puys 3, composite et minéralisé, est le plus marqué et il fournit la faune à *reussianum*.

Rappelons que cette faune est celle du *HG Hitch Wood* dans le Hertfordshire (BROMLEY & GALE, 1982; MORTIMORE *et al*., 2001), le plus élevé de la suite de hardgrounds formant le *Chalk Rock*. Le HG Hitch Wood enregistre à la fois un événement biologique et un événement isotopique. L'événement biologique est l'*événement Hyphantoceras* (ou niveau de la *faune à reussianum)* connu en Europe occidentale. Cette faune comporte des taxa hétéromorphes : *Hyphantoceras*, *Bostrychoceras*, *Allocrioceras*, *Scaphites*, *Sciponoceras,* mais également des ammonites à enroulement normal : *Subprionocyclus, Lewesiceras.* L'assemblage comporte également de nombreux macroinvertébrés dont des Brachiopodes : *Woodwardirhynchia cuneiformis*, *Gibbithyris subrotunda* et des Bivalves : *Inoceramus perplexus*, *Mytiloides costellatus* et *M. incertus.*
L'événement isotopique Hitch Wood est une excursion positive (2,1‰) du $\delta^{13}C$; cette excursion est la plus marquée de tout le Turonien. Il est associé, du point de vue climatique, à une phase de refroidissement, une baisse du niveau marin, une régression et à une migration vers le Sud des espèces (VOIGT & WIESE, 2000; JARVIS *et al*., 2015). Dans le Kent, le HG Lighthouse Down de ROBINSON (1986) correspond au HG Hitch Wood. Plus au Nord encore, en East Anglia, le HG Hitch Wood se poursuit (WOODS & CHACKSFIELD, 2012). Dans le Nord de la France (craies condensées de Lézennes), le Gros Tun est mis en correspondance avec le HG Lighthouse Down. C'est le nom de référence adopté par AMÉDRO *et al.* (2023). En République tchèque, des études isotopiques très serrées de ce niveau attestent d'un abaissement de température de 2°C (WALLISER *et al*., 2020). Dans le bassin crétacé de Bohême, les accumulations d'intraclastes phosphatés (VODRÁŽKA *et al.*, 2009) peuvent également en être l'expression.

● Sur le flanc Est de l'anticlinal de Penly, le long d'une coupe située à 300 mètres de chaque côté du Val Pollet, l'intervalle T7 se retrouve presque identique, avec le HG Puys 3 et sa faune particulière.
● À l'Est de l'épi artificiel de Mesnil-Val, sur le flanc Ouest de l'anticlinal de la Bresle, T7 avec le HG Puys 3 et sa faune à *reussianum* est encore bien exposé.
● Sur la retombée Est de l'anticlinal de la Bresle, à 900 m du grand épi de Mers, l'intervalle T7 est de nouveau accessible. C'est le dernier endroit où il est encore visible en falaise, avant le Cap Blanc-Nez à 90 km plus au Nord. Il est affecté localement par une condensation sédimentaire (haut-fond de la Bresle ?) qui, d'une part, réduit les deux marnes Bridgewick et Lewes à de simples joints et, d'autre part, réduit son épaisseur à environ 7 mètres. Ce n'est qu'au Bois de Cise, plus au NE, que les deux marnes réapparaîtront, l'une sur le platier, l'autre en bas de falaise. Les hardgrounds Puys s'expriment dans les HGs Mers médian *p.p.* et Mers supérieur. Le HG Puys 3 fournit la faune à *reussianum.*
Entre Dieppe et le Bois de Cise, l'intervalle T7 est donc bien caractérisé par l'événement Hitch Wood/*reussianum*. Mais, il l'est aussi par deux maxima d'abondance de silex.

● Le premier est compris entre les marnes Bridgewick 1 et 3, ce sont les *silex Bopeep* (MORTIMORE & WOOD, 1986),

● le second est compris entre le HG Puys 3 et la bentonite Lewes, ce sont les *silex Lewes*. On regroupe ici, sous le nom de silex Lewes, deux couches à silex superposées dénommées dans le S de l'Angleterre (MORTIMORE,1986) silex Breaky Bottom/ Annis' Knob et silex tubiformes Lewes (Lower Lewes tubular flints).
Les silex Bopeep restent identifiables entre Puys et Mesnil-Val, en s'amenuisant progressivement dans ce sens. Ils réapparaissent probablement sur le platier du Bois de Cise.

Les silex semi-continus Breaky Bottom sont plus ou moins développés. Au nombre de un à Puys, ils passent à deux ou trois à Criel et à Mesnil-Val. Dans ces dernières plages, de beaux exemples de silex paramoudras ou toriques sont exposés. Entre Mers et le Bois de Cise, un seul silex souvent à l'état de relique est conservé. En revanche, le triplet de silex tabulaires à paramoudras d'Életot pourrait représenter une évolution dilatée et préservée des silex Breaky Bottom.
Les silex tubiformes infra-Lewes sont caractéristiques, de Puys à l'Est de Mers. La couche qui les contient a une épaisseur variable entre 1,5 et 3 m. Bien qu'on arrive parfois à distinguer deux horizons de silex, plus généralement ces silex sont dispersés dans toute l'épaisseur de la couche. Il semble qu'une vibration les ait fait flotter dans la boue crayeuse qui les renferme. Un ébranlement paléosismique contemporain de la marne Lewes pourrait en être la cause.

● À l'E de Fécamp, l'intervalle T7 offre un aspect différent. Le *HG Senneville* représente l'événement Hitch Wood/*reussianum.* Il est associé à un fort courant qui supprime ou condense fortement la base de T7 et le sommet de T6, effaçant la marne Bridgewick. Par contre, le sommet de T7 au-dessus du HG Senneville est bien développé. Les silex Lewes forment ici un triptyque : silex cornus, silex tabulaires, silex tubiformes. Les silex tabulaires, au nombre de trois, avec des paramoudras sont comparables aux silex Breaky Bottom.

● Dans le secteur d'Étretat, la sédimentation particulière en monticules et cuvettes conduit à de fortes variations latérales. Les marnes Bridgewick, à la base de l'intervalle T7, ne sont préservées qu'à de rares endroits. En ce cas, elles sont associées aux silex Bopeep bien marqués. Au-dessus, les *hardgrounds Belval*, particulièrement le HG Belval 2, offrent une faune comparable à celle du HG Hitch Wood, bien que les ammonites spécifiques n'aient pas été récoltées. Le silex au-dessus du HG Belval 3 peut évoquer un silex tabulaire, mais les petits silex cariés supérieurs ne présentent pas de caractère tubiforme. La marne Lewes est peu marquée, étalée en structure flaser, et est encadrée par deux niveaux de silex. L'ensemble T7 atteint environ 5 mètres d'épaisseur.

Intervalle T8 (Lewes - Navigation)

● En Angleterre, dans le Sussex, cet intervalle correspond aux couches de South Street et de Navigation (MORTIMORE, 1986). Elles y atteignent une quinzaine de mètres d'épaisseur. La limite entre ces deux ensembles est un silex qui, selon les lieux semble-t-il, prend le nom de *silex Snowdrop 1* ou de *silex White Nothe* (MORTIMORE *et al.*, 2001). Le second terme est privilégié dans ce volume.
La partie inférieure est formée de craies devenant de plus en plus noduleuses vers le haut, qualifiées alors de *Craies Noduleuses Lewes*. Au-dessus de la marne Lewes, des silex tubiformes continuent d'être présents, couplés avec des formes en haltères (silex tubiformes supra-Lewes).
La partie supérieure est d'abord formée de craies noduleuses qui passent à des craies tendres caractérisées par des traces millimétriques, parfois silicifiées, résumées sous le terme de *Zoophycos* Cuilfail.
Le sommet est occupé par les hardgrounds Navigation, glauconieux et phosphatés, souvent au nombre de deux ou trois. Ils clôturent l'étage Turonien. En Angleterre, ils sont également désignés Hardgrounds South Foreland (ROBINSON, 1986) ou Top Rock (MORTIMORE *et al*., 2001). Dans la région lilloise, c'est le deuxième tun *pro parte* (AMÉDRO *et al*., 2023).

La partie basale

● Vers Criel et Mesnil-Val, cette partie basale est bien représentée par trois horizons qui se succèdent en moins d'un mètre : la marne Lewes, le silex Mesnil-Val et le HG Bondeville. Le silex Mesnil-Val (alias *Semitabular Criel Flint Band* de MORTIMORE, 2010), très apparent, est une suite quasi-continue de galeries silicifiées de type *Thalassinoides*. Il est rapidement recouvert par le hardground Bondeville. Ce silex n'a pas d'homologue identifié côté anglais. La craie entre la marne Lewes et le silex Mesnil-Val est dépourvue de silex.

● En se rapprochant de Dieppe, ce motif se dégrade. Le silex Mesnil-Val s'estompe ou, plus précisément, il se transforme en un sheet-flint. Sous ce sheet-flint, la craie est parsemée de petits silex, tubiformes ou non. C'est l'expression des *Upper Lewes Tubular Flints* de MORTIMORE (2010). Parfois, un réseau de filonnets de calcite s'y propage (Puys, Bois de Cise). Ces silex flottants dans la craie et ces filonnets pourraient être la résultante d'un ébranlement sismique.

● Du côté E de la faille de Fécamp, à Életot, lorsque la marne Lewes est préservée, le même motif triple est encore bien présent.

● Du côté W, entre Etigue et Antifer, par contre, la supposée marne Lewes et le silex marqué qui la recouvre n'offrent qu'une ressemblance lointaine avec leur apparence habituelle.

La partie médiane

Elle est marquée par un silex *Thalassinoides* plus ou moins apparent, rapporté au silex White Nothe. Celui-ci est encadré par deux niveaux de Craie Noduleuse (CNL inférieure, équivalente probable du Franc-Banc de l'arrière-pays et CNL supérieure). Ils correspondent aux Lewes Nodular Chalks de MORTIMORE (1986).

● À Puys, à Criel et au Bois de Cise, ce motif est présent. Il est souvent perturbé par des joints courbes, silicifiés ou non en sheet-flints.

● À l'ouest de Saint-Pierre-en-Port, il se retrouve également. La CNL inférieure est ici plus épaisse que la CNL supérieure.

● Vers Étretat, à l'E d'Etigue ou à Belval, un niveau de silex épais pourrait correspondre au silex White Nothe.

Fortement présents dans ce niveau, les sheet-flints sont considérés ici comme la trace de joints de cisaillement paléosismiques dans la tranche sédimentaire de surface. Leur recrudescence et leur nombre à ce niveau seraient la traduction d'un changement brusque de l'activité tectonique, peut-être lié au début de la phase d'inversion Ilsede. Cette phase, d'âge Turonien supérieur à Coniacien inférieur, est bien repérée en Allemagne ou dans les craies des bassins de la Mer du Nord, mais elle est plus rarement invoquée dans le bassin anglo-parisien.

La partie supérieure

Elle montre un ou plusieurs niveaux de craie tendre parcourus par des disques marneux d'épaisseur millimétrique, identiques à ceux qualifiés par MORTIMORE (1986) de *Zoophycos* Cuilfail. Cet ichnofossile s'observe bien entre Mesnil-Val et Criel, à l'W de St.-Pierre-en-Port et à l'E du vallon d'Etigue.

Entre Puys et Criel, au-dessus du *Zoophycos* Cuilfail, apparaissent deux niveaux mineurs de silex pouvant être l'équivalent du Navigation Flint dans le Sussex (MORTIMORE *et al.*, 2001).

Dans les falaises littorales de la Seine maritime, les Hardgrounds Navigation sont systématiquement identifiables.

● À Puys, les HGs Navigation se condensent en une masse unique marquée, alors qu'ils se dédoublent vers Criel.
● Dans la Somme (Bois de Cise, Ault), le contraste lithologique est moins affirmé.
● À Saint-Pierre-en-Port et aux Petites Dalles, l'ensemble est épais et composite (2 ou 3 niveaux de hardground).
● Entre Étretat et Étigue, l'épaisseur et l'intensité des Hardgrounds Navigation sont très variables. Ils sont toujours impliqués au sein de monticules et cuvettes, cohabitant avec d'autres hardgrounds inférieurs et supérieurs dont il est difficile de les séparer et de les identifier. Seule l'observation occasionnelle des couches à *Zoophycos* inférieures est un critère d'authentification.
Singulièrement, les marnes Navigation, un couple de marnes très rapprochées, communes dans le Sussex et le Kent (MORTIMORE *et al*., 2001) et censées former la limite Turonien/ Coniacien au-dessus des HGs Navigation, n'ont pas été franchement observées, sauf dans les coupes de l'arrière-pays.

Bibliographie

ALDISS D.T., BLOOMFIELD J.R., BUCKLEY D.K., DORAN S.K., EVANS D.J., HOPSON P.M., ROYSE K.R. & WOODS M.A. (2004).- A geological model of the Chalk of East Kent. vol. 1 of 2: Report.- *British Geological Survey Commissioned Report*, CR/04/092, 97 p.

AMÉDRO F., COLLETÉ C., PIETRESSON de SAINT-AUBIN J. & ROBASYNSKI F. (1982).- Le Turonien supérieur à *Romaniceras (Romaniceras) deverianum* de l'Aube (France).- *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris*, vol. 19, p. 19-37.

AMÉDRO F., GRAVELEAU F., HOFMANN A., TRENTESAUX A. & TRIBOVILLARD N. (2023).- The glauconitic chalk of Lezennes and its hardgrounds in the Villeneuve d'Ascq Cité Scientifique borehole (Northern France).- *Annales de la Société Géologique du Nord*, t. 30 (2e série), p. 49-78.

AMÉDRO F., GUÉVEL B., MATRION B., ROBASZYNSKI F. & CHÂTELIER H. (2023).- Quelques ammonites rares du Turonien Type, dont *Romaniceras* et *Subprionocylus* près de Langeais et Azay-le-Rideau (Indre-et-Loire).- *Annales de la Société Géologique du Nord*, t. 30 (2e série), p. 17-40.

AMÉDRO F., MATRION B. & ROBASZYNSKI F. (2018).- Stratotype Turonien. Patrimoine géologique.- Éd. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris; Biotope, 416 p.

AMÉDRO F. & ROBASZYNSKI F. (2000).- 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*, n° 4, p. 39-56.

AMÉDRO F. & ROBASZYNSKI F. (2001).- Les craies turoniennes du Boulonnais (France) au regard de la stratigraphie événementielle. Comparaison avec le Kent (UK) et la Normandie.- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, t. 87, p. 31-49.

AMÉDRO F. & ROBASZYNSKI F. (2001).- Événements sédimentaires et bio-écologiques dans les craies du Boulonnais : Des repères pour des corrélations précises intra et inter bassins.- *Annales de la Société Géologique du Nord*, t. 8, p. 159-171.

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*, vol. 13, p. 1123-1125.

ARCHIAC A. d' (1851).- Histoire des progrès de la géologie de 1834 à 1850.- t. 4 : Formation crétacée (1re partie), Paris, Société géologique de France, 600 p.

BARROIS C. (1876).- Recherches sur le terrain Crétacé supérieur de l'Angleterre et de l'Irlande.- *Mémoire de la Société Géologique du Nord*, 1, 323 p.

BARROSO-BARCENILLA F., GOY A. & SEGURA M. (2009).- *Newsletters on Stratigraphy*, vol. 43, n° 2, p. 139-164.

BATENBURG S.J., DE VLEESCHOUWER D., SPROVIERI M., HILGEN F.J., GALE A.S., SINGER B.S., KOEBERL C., COCCIONI R., CLAEYS P. & MONTANARI A. (2016).- Orbital control on the timing of oceanic anoxia in the Late Cretaceous.- *Climate of the Past*, vol. 12, p. 1995-2009.

BIOCHET G. (1873).- Rapport de présentation de la Société Géologique de Normandie.- *Bulletin de la Société géologique de Normandie*, t. 1, fasc. 1, p. 1-30.

BRETON G. (1981).- Excursions géologiques sur le littoral entre le Havre et Étretat (Normandie, France).- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, t. 68, p. 5-54.

BRETON G. (1998).- Excursions géologiques sur le littoral entre le Havre et Étretat (Normandie, France).- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, t. 85, 40 p.

BRETON G. & BAVENT M. (1985).- *Baculites undulatus* d'ORBIGNY, 1850 du Turonien d'Életot près Fécamp (Seine Maritime).- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, t. 72, p. 101-102.

BROMLEY R.G. (1967).- Some observations on burrows of thalassinidean Crustacea in chalk hardgrounds.- *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, vol. 123, n° 1-4, p. 157-177.

BROMLEY R.G. & EKDALE A.A. (1987).- Mass transport in European Cretaceous chalk; fabric criteria for its recognition.- *Sedimentology*, vol. 34, n° 6, p. 1079-1086.

BROMLEY R.G. & GALE A.S. (1982).- The lithostratigraphy of the English Chalk Rock. *Cretaceous Research*, 3, p. 273-306.

BUCAILLE E. (1872).- Échinides fossiles du Département de la Seine-Inférieure.- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, t. 1, p. 1-136.

BUCAILLE E. (1883a).- Sur la répartition des Échinides dans le système crétacé du département de la Seine-inférieure. *In*: Congrès de Rouen (séance du 17 août).- *Association Française pour l'Avancement des Sciences,* Paris, p. 1-6.

BUCAILLE E. (1883b).- Étude sur des Échinides fossiles du Département de la Seine Inférieure.- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, t. 8, p. 16-39.

BURNETT J.A., with contributions from GALLAGHER L.T. & HAMPTON M.J. (1998).- Upper Cretaceous. *In*: BOWN P.R. (Ed.), Calcareous nannofossil biostratigraphy.- *British Micropalaeontological Society Series*, p. 132-199.

CAVELIER C. & MEDIONI R. (1980).- Carte géologique de Rouen à 1:250000.- Notice explicative.- BRGM, Orléans, 45 p.

COTTARD N. & BRETON G. (1999).- Tubes de Clavagellidae ? (Mollusca, Bivalvia) dans la craie de Normandie (France).- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, t. 86, p. 25-30.

CHRISTENSEN W.K, JUIGNET P., BRETON G. & COTTARD N. (1993).- Bélemnites du Crétacé supérieur de Normandie (France).- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, t. 80, p. 29-44.

CLAYTON C.J. (1984, unpublished).- The geochemistry of chert formation in Upper Cretaceous chalks.- PhD thesis, University of London, 394 p.

CLAYTON C.J. (1986).- The chemical environment of flint formation in Upper Cretaceous chalks. *In*: SIEVEKING G.D.G. & HART M.B. (Eds.), The scientific study of flint and chert.- Cambridge University Press, p. 43-54.

CUVIER G. & BRONGNIART A. (1822).- Description géologique des environs de Paris. Nouvelle édition. *In*: Les recherches sur les ossements fossiles (t. 2, 2e partie).- G. Dufour et E. d'Ocagne, Paris, 428 p.

DECONINCK J.F., AMÉDRO F., BAUDIN F., GODET A., PELLENARD P., ROBASZYNSKI F. & ZIMMERLIN I. (2005).- Late Cretaceous palaeoenvironments expressed by the clay mineralogy of Cenomanian - Campanian chalks from the east of the Paris Basin.- *Cretaceous Research*, vol. 26, p. 171-179.

DECONNINCK J.F. & CHAMLEY H. (1995).- Diversity of smectite origin in Late Cretaceous sediments: Example of chalks of Northern France.- *Clay Minerals*, vol. 30, p. 365-379.

DERCOURT J. (1959).- L'Accident de Seine.- *Bulletin de la Société. Géologique de France*, 7e série, t. 1, no 1, p. 89-94.

DERCOURT J., GAETANI M., VRIELYNCK B., BARRIER E., BIJU-DUVAL B., BRUNET M.F., CADET J.P., CRASQUIN S. & SANDULESCU M. (Eds., 2000).- Atlas Peri-Tethys, Palaeogeographical Maps. 24 Maps and Explanatory Notes: 1-XX.- CCGM/ CGMW, Paris, 269 p.

DOLLFUS G.-F. & FORTIN R. (1911).- Le Crétacé de la région de Rouen.- Imprimerie L. Gy, 20 p.

DUPERRET A., VANDYCKE S., MORTIMORE R.N. & GENTER A. (2012).- How plate tectonics is recorded in chalk deposits along the eastern English Channel in Normandy (France) and Sussex (UK).- *Tectonophysics*, vol. 581, p. 163-181.

ERNST G., SCHMID F. & SEIBERTZ E. (1983).- Event-Stratigraphie im Cenoman und Turon von NW-Deutschland.- *Zitteliana*, München, vol. 10, p. 531-554.

ESMERODE E.V. & SURLYK F. (2009).- Origin of channel systems in the Upper Cretaceous Chalk Group of the Paris Basin.- *Marine and Petroleum Geology*, vol. 26, p. 1338-1349.

FARLEY K.A., MONTANARI A. & COCCIONI R. (2012).- A record of the extraterrestrial ^{3}He flux through the Late Cretaceous.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 84, p. 314-328.

FERRÉ B. (1995).- Incidences des événements anoxiques océaniques sur les microfaunes cénomano-turoniennes du bassin anglo-parisien.- Thèse, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 242 p.

GALE A.S. (1989).- Field meeting at the Folkestone Warren, 29th November, 1987.- *Proceedings of the Geologists' Association*, London, vol. 100, no 1, p. 73-82.

GALE A.S. (1995).- Cyclostratigraphy and correlation of the Cenomanian Stage in Western Europe.- *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 85, p. 177-197.

GALE A.S. (1996).- Turonian correlation and sequence stratigraphy of the Chalk in southern England.- *Geological Society of London, Special Publication*, vol. 103, p. 171-195.

GALE A.S. (2019a).- Correlation, age and significance of Turonian Chalk hardgrounds in southern England and northern France: The roles of tectonics, eustasy, erosion and condensation.- *Cretaceous Research*, vol. 103, p. 1-24.

GALE A.S. (2019b).- Microcrinoids (Echinodermata, Articulata, Roveacrinida) from the Cenomanian-Santonian chalk of the Anglo-Paris Basin: Taxonomy and biostratigraphy.- *Revue de Paléobiologie*, vol. 38, no 2, p. 397-533.

GALE A.S. (2023).- Biostratigraphy v. geophysics; correlation of Middle Turonian chalks in the Anglo-Paris Basin.- *Journal of the Geological Society*, vol.180, no 4, article jgs2023-010, 18 p.

GALE A.S. (2026).- Correlation of the lower and middle Turonian chalks of south-west England and north-west France - condensation towards the Cornubian and Armorican massifs.- *Proceedings of the Geologists' Association,* London, vol. 137, 14 p.

GALE A.S., HANCOCK J.M., BRISTOW R., MORTIMORE R. & WOOD C. (1997).- Lithostratigraphy for mapping the Chalk of southern England by BRISTOW *et al*. (1997): Discussion.- *Proceedings of the Geologists' Association*, London, vol. 110, p. 65-72.

GASPARD D. (1997).- Distribution and recognition of phases in Aptian-Turonian (Cretaceous) brachiopod development in NW Europe.- *Geologica Carpathica,* Bratislava, vol. 48, n° 3, p. 145-161.

HANCOCK J.M. (1984).- Some possible boundary-stratotypes for the base of the Cenomanian and Turonian Stages.- *Bulletin of the Geological Society of Denmark,* vol. 33, p. 123-128.

HART M. (2008).- Cretaceous foraminifera from the Turonian succession at Beer, southeastern Devon, England.- *Cretaceous Research*, vol. 29, p. 1035-1046.

HÉBERT E. (1872a).- Ondulations de la craie dans le bassin de Paris.- *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 2, part. 1, t. 29, p. 446-472. .

HÉBERT E. (1872b).- Ondulations de la craie dans le bassin de Paris.- *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 2, part. 2, t. 29, p. 583-594.

HÉBERT E. (1875).- Ondulations de la craie dans le bassin de Paris.- *Bulletin de la Société géologique de France*, part. 3, t. 3, p. 512-546.

HÉBERT E. (1874).- Comparaison de la craie des côtes d'Angleterre avec celle de la France. *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 3, p. 416-428 .

HÉBERT E. (1879).- *in* Résumés, études et mémoires sur la géologie normande. Exposition géologique et paléontologique du Havre en 1877.- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre,* part. 2, p. 420.

HINNOV L.A. & HILGEN F.J. (2012).- Cyclostratigraphy and astrochronology. *In*: GRADSTEIN F.M., OGG J.G., SCHMITZ M.D. & OGG G.M. (Eds.), A Geologic Time Scale.- Cambridge University Press, p. 63-84.

HÖFLINGER J. (2015).- Kreidebrachiopoden - Bestimmungstipps für Sammler.- Self-publish., Rothenbach a.d. P., 352 p. .

HOPSON P.M., ALDISS D.T. & SMITH A. (1996).- Geology of the country around Hitchin.- *Memoir of the British Geological Survey*, Sheet 221 (England and Wales). 153 p.

HOYEZ B. (2008).- Falaises du pays de Caux - Lithostratigraphie des craies turono-campaniennes.- *Presses universitaires de Rouen et du Havre,* 348 p.

HOYEZ B., GIRARD J. & COTTARD N. (2020).- Le Cénomanien du littoral normand entre la Valleuse d'Antifer et le Cap de La Hève.- Carnets de Géologie, Madrid, ISBN13: 978-2-916733-19-7, Book 2020/01 (CG2020_B01), 225 p. DOI: 10.2110/carnets.2020.0001

HUANG C. (2018).- Astronomical time scale for the Mesozoic. *In*: MONTENARI M. (Ed.), Cyclostratigraphy and astrochronology.- *Stratigraphy & Timescales*, vol. 3, p. 81-150.

JARVIS I., GALE A.S., JENKINS H. & PEARCE M.A. (2006).- Secular variation in Late Cretaceous carbon isotopes: A new $\delta^{13}C$ carbonate reference curve for the Cenomanian-Campanian (99.6-70.6 Ma).- *Geological Magazine*, vol. 143, n° 5, p. 561-608.

JARVIS I. & TOCHER B.A. (1987).- Field Meeting: The Cretaceous of SE Devon, 14-16th March, 1986.- *Proceedings of the Geologists' Association*, vol. 98, n° 1, p. 51-66.

JARVIS I., TRABUCHO-ALEXANDRE J., GROCKE D.R., ULICNY D. & LAURIN J. (2015).- Intercontinental correlation of organic carbon and carbonate stable isotope records: Evidence of climate and sea-level change during the Turonian (Cretaceous).- *Earth and Planetary Science Letters*, 425, p. 288-301.

JEANS C.V. (1968).- The origin of the montmorillonite of the European Chalk with special reference to the Lower Chalk of England.- *Clay Minerals*, vol. 7, p. 311-329.

JEANS C.V. (2006).- Clay mineralogy of the Cretaceous strata of the British Isles.- *Clay Minerals*, vol. 41, p. 47-150.

JEFFERIES R.P.S. (1963).- The stratigraphy of the *Actinocamax plenus* Subzone (Turonian) in the Anglo-Paris Basin.- *Proceedings of the Geologists' Association*, vol. 74, p. 1-33.

JENKYNS H.C., FORSTER A., SCHOUTEN S. & SINNINGHE DAMSTE J.S. (2004).- High temperatures in the Late Cretaceous Arctic Ocean.- *Nature*, vol. 432, p. 888-892.

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*, vol. 131, n° 1, p. 1-34.

JONES M.M., SAGEMAN B.B. & MEYERS S.R. (2018).- Turonian sea level and paleoclimatic events in astronomically tuned records from the tropical North Atlantic and Western Interior Seaway.- *Paleoceanography and Paleoclimatology*, vol. 33, p. 470-492.

JUIGNET P. (1974).- La transgression crétacée sur la bordure orientale du Massif armoricain. Aptien, Albien et Cénomanien.- Thèse de doctorat de l'État, Université de Caen*, Archives C.N.R.S.,* n° A096443, 806 p.

JUIGNET P. (1980).- Transgressions-régressions, variations eustatiques et influences tectoniques de l'Aptien au Maastrichtien dans le Bassin de Paris occidental et sur la bordure du massif armoricain.- *Cretaceous Research*, vol. 1, n° 4, p. 341-357.

JUIGNET P. (1991).- Les craies du littoral du Pays de Caux. Structures sédimentaires et tectoniques.- *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris*, vol. 28, n° 1, p. 46-58.

JUIGNET P. (1997).- La craie : Sédimentation et enregistrements stratigraphiques. Apport des méthodes d'études classiques et d'approches nouvelles.- *Annales de la Société Géologique du Nord*, t. 5, fasc. 3, p. 145-158.

JUIGNET P. & BRETON G. (1992).- Mid-cretaceous sequence stratigraphy and sedimentary cyclicity in the western Paris Basin.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 91, p. 197-218.

JUIGNET P. & BRETON G. (1994).- Stratigraphie, rythmes sédimentaires et eustatisme dans les craies turoniennes de la région de Fécamp (Seine-Maritime), France.- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre,* t. 81, p. 55-81.

JUIGNET P., LE MOSQUET Y., POMEROL B. & MONCIARDINI C. (1980).- Le Crétacé des falaises du Pays de Caux ; sédimentologie de la craie. *In*: POMEROL C. & LORENZ J. (Éds.), France ; Bassin de Paris ; Excursions B.- *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris*, hors-série, p. 901-911.

KENNEDY W.J. & GALE A.S. (2015).- Late Turonian ammonites from Haute-Normandie, France.- *Acta Geologica Polonica*, vol. 65, n° 4, p. 507-524.

KENNEDY W.J. & GARRISON R.E. (1975).- Morphology and genesis of nodular chalks and hardgrounds in the Upper Cretaceous of southern England.- *Sedimentology*, vol. 22, p. 311-386.

KENNEDY W.J. & JUIGNET P. (1974).- Carbonate banks and slump beds in the Upper Cretaceous (Upper Turonian-Santonian) of Haute-Normandie, France.- *Sedimentology*, vol. 21, p. 1-42.

KENNEDY W.J., WALASZCYK I. & COBBAN W.A. (2005).- The Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Turonian Stage of the Cretaceous: Pueblo, Colorado, U.S.A.- *Episodes,* vol. 28, n° 2, p. 93-104.

KRÍŽOVÁ B., CONSORTI L., CARDELLI S., SCHMITT K.E., BROMBIN V., FRANCESCHI M., TUNIS G., BONINI L. & FRIJIA G. (2024).- Late Cretaceous (Cenomanian-Turonian) temperature evolution and biotic response in the Adriatic Carbonate Platform region of Friuli, northeast Italy.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 637, article 111995, 18 p.

LAKE R.D., YOUNG B. WOOD C.J. & MORTIMORE R.N. (1987).- Geology of the country around Lewes.- *Memoir of the British Geological Survey,* Sheet 319 (England and Wales)*,* 121 p.

LASKAR J. (2020).- Astrochronology. *In*: GRADSTEIN F.M., OGG J.G., SCHMITZ M.D. & OGG G.M. (Eds.), A Geologic Time Scale.- Cambridge University Press, p. 139-158.

LASKAR J., FIENGA A., GASTINEAU M. & MANCHE H. (2011).- La2010: A new orbital solution for the long-term motion of the Earth.- *Astronomy and Astrophysics*, vol. 532, A89, p. 1-15.

LASKAR J., ROBUTEL P., JOUTEL F., GASTINEAU M., CORREIA A.C.M. & LEVRARD B. (2004).- A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth.- *Astronomy & Astrophysics*, vol. 428, n° 1, p. 264-285.

LASSEUR E. (2007).- La Craie du Bassin de Paris (Cénomanien-Campanien, Crétacé supérieur). Sédimentologie de faciès, stratigraphie séquentielle et géométrie 3D.- Thèse, Rennes, 436 p.

LENNIER G. (1870).- Études géologiques et paléontologiques sur l'embouchure de la Seine et les falaises de la Haute-Normandie.- Imprimerie E. Costey, Le Havre, 227 p.

LENNIER G. (1881).- Étude géologique de Villequier.- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre,* t. 8, p. 71-86.

LINDGREEN H. & JAKOBSEN F. (2012).- Marine sedimentation of nano-quartz forming flint in North Sea Danian chalk.- *Marine and Petroleum Geology*, vol. 38, n° 1, p. 73-82.

MADZIA D. (2016).- A reappraisal of *Polyptychodon* (Plesiosauria) from the Cretaceous of England.- *PeerJ*, article 10:4:e1998, 38 p.

MATSUMOTO H., ISHIKAWA A., COCCIONI R., FRONTALINI F. & SUZUKI K. (2023).- Fine-grained interplanetary dust input during the Turonian (Late Cretaceous): Evidence from osmium isotope and Platinum group elements.- *Scientific Reports*, vol. 13, art. n° 22051, 11 p.

MCARTHUR J.M. & HOWARTH R.J. (2025).- Strontium isotope stratigraphy of the Cretaceous.- *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 544, p. 343-366.

MEIRE B., DAVID P.-Y., JACOB T., PORTAL A., PAQUET F., BITRI A., PENNEQUIN D., IDEE E. & HAUCHARD E. (2018).- Détail d'une structure régionale majeure par méthodes géophysiques combinées - cas de la faille de Fécamp-Lillebonne (Seine-Maritime, France).- *22èmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues.* « Hydrogéologie de la craie », Le Havre, mai 2018, 8 p.

MERCEY N. de (1865).- Note sur la disposition de la Craie entre La Béthune et la Bresle.- *Bulletin de la Société géologique de France*, sér. 2, t. 23, p. 765-768.

MONCIARDINI C. (1978).- Biozones de foraminifères et faciès du Turonien dans le nord du Bassin de Paris.- *Bulletin du B.R.G.M.*, vol. 1, p. 207-223.

MOREL L. (1998).- Stratigraphie à haute résolution du passage Cénomanien-Turonien.- Thèse*,* Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 236 p.

MORTIMORE R.N. (1979, unpublished).- The relationship of stratigraphy and tectonofacies to the physical properties of the White Chalk of Sussex.- PhD thesis, Brighton Polytech., 403 p.

MORTIMORE R.N. (1986).- Stratigraphy of the Upper Cretaceous White Chalk of Sussex.- *Proc. Geol. Ass.*, vol. 97, n° 2, p. 97-139.

MORTIMORE R.N. (1997).- The Chalk of Sussex and Kent.- *Geologists' Association Field Guide,* Geologists' Association, London, n° 57, 193 p.

MORTIMORE R.N. (2010).- A chalk revolution: What have we done to the Chalk of England ?.- *Proceedings of the Geologists' Association,* vol. 122, n° 2, p. 232-297.

MORTIMORE R.N. (2014).- Logging the chalk.- Dunbeath, Whittles Publishing, 352 p.

MORTIMORE R.N. (2018).- Late Cretaceous tectono-sedimentary events in NW Europe.- *Proceedings of the Geologists' Association,* vol. 129, n° 3, p. 392-420.

MORTIMORE R.N. (2019).- Late Cretaceous to Miocene and Quaternary deformation history of the Chalk: Channels, slumps, faults, folds and glacitectonics.- *Proceedings of the Geologists' Association*, vol.130, n° 1, p. 27-65.

MORTIMORE R.N. & POMEROL C. (1987).- Correlation of the Upper Cretaceous White Chalk (Turonian to Campanian) of the Anglo-Paris Basin.- *Proceedings of the Geologists' Association*, vol. 98, n° 2, p. 97-143.

MORTIMORE R.N. & POMEROL B. (1991).- Stratigraphy and Eustatic implications of trace fossil events in the Upper Cretaceous Chalk of northern Europe.- *Palaios*, Lawrence, vol. 6, p. 216-231.

MORTIMORE R.N. & WOOD C.J. (1986).- The distribution of Flint in the English Chalk, with particular reference to the 'Brandon Flint Series' and the high Turonian flint maximum. *In*: SIEVEKING G. & HART M.B. (Eds.), The scientific study of flint and chert.- Cambridge University Press, p. 7-20.

MORTIMORE R.N., WOOD C.J. & GALLOIS R.W. (2001).- British Upper Cretaceous stratigraphy.- *Geological Conservation Review Series,* Peterborough, n° 23, 558 p.

NÉRAUDEAU D. & VILLIER L. (1997).- Enregistrement des fluctuations environnementales par les échinides irréguliers de la craie campanienne de Charente Maritime (SO France).- *Annales de la Société Géologique du Nord* (2e série), t. 5, p. 175-179.

NOE-NYGAARD N. & SURLYK R. (1985).- Mound bedding in a sponge-rich Coniacian chalk, Bornholm, Denmark.- *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, vol. 34, p. 237-249.

NYGAARD E., LIEBERKIND K. & FRYKMAN P. (1983).- Sedimentology and Reservoir Parameters of the Chalk Group in the Danish Central Graben.- *Geologie en Mijnbouw*, vol. 62, p. 177-190.

O'CONNOR L.K., JENKYNS H.C., ROBINSON S.A., REMMELZWAAL S.R.C., BATENBURG S.J., PARKINSON I.J. & GALE A.S. (2020).- A re-evaluation of the Plenus cold event, and the links between CO_2, temperature, and seawater chemistry during OAE 2.- *Paleoceanography and Paleoclimatology*, vol. 35, 23 p.

OLDE K., JARVIS I., PEARCE M., ULICNNY D, TOCHER B., TRABUCHO-ALEXANDRE J. & GRÖCKE D. (2015).- A revised northern European Turonian (Upper Cretaceous) dinoflagellate cyst biostratigraphy: Integrating palynology and carbon isotope events.- *Review of Palaeobotany and Palynology,* vol. 213, p. 1-16.

ORBIGNY A. d' (1840-1860).- Paléontologie française. Description zoologique et géologique de tous les animaux mollusques et rayonnés fossiles de France.- Paris, Arthus-Bertrand, 9 t., ~4000 p., 1440 pls. lith.

PASSY A.F. (1832).- Description géologique du département de la Seine Inférieure.- Imp. Nicetas et Perriau, Rouen, 371 p.

POGGE von STRANDMANN P.A.E., JENKYNS H.C. & WOODFINE R.C. (2013).- Lithium isotope evidence for enhanced weathering during Oceanic Anoxic Event 2.- *Nature Geoscience*, vol. 6, p. 668-671.

QUINE M. (unpublished, 1988).- Sedimentology of the chalk of coastal Haute-Normandie, France.- PhD Thesis, University of London, 375 p.

QUINE M. & BOSENCE D. (1991).- Stratal geometries, facies and sea-floor erosion in Upper Cretaceous Chalk, Normandy, France.- *Sedimentology*, vol. 38, p. 1113-1152.

RAGOT J. (1988).- La sédimentation crétacée aux abords de l'accident Fécamp-Lillebonne-Villequier (Seine-Maritime, France). Biostratigraphie et contrôle structural.- Mémoire de Diplôme d'Études Doctorales, Université de Rouen, 141 p.

RAGOT J. & MEIRE B. (2022).- La faille de Fécamp-Bolbec-Lillebonne-Villequier (Seine Maritime, Normandie, France) : Chronostratigraphie et apports de la géophysique pour la compréhension de cet accident majeur complexe.- *Bulletin Sciences et Géologie Normandes*, t. 10, p. 5-110.

RIOULT M. (1961).- Problèmes de géologie havraise.- *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre,* t. 51, p. 32-48.

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*, vol. 97, n° 2, p. 171-208.

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*, t. 21 (2e série), p. 7-23.

ROBASZYNSKI F., GALE A.S., JUIGNET P., AMÉDRO F. & HARDENBOL J. (1998).- Sequence stratigraphy in the upper cretaceous series of the Anglo-Paris Basin: Exemplified by the

Cenomanian stage. *In*: GRACIANSKY P-C., HARDENBOL J., JACQUIN T. & VAIL P.R. (Eds), Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European Basins.- *SEPM Special Publications*, vol. 60, p. 363-386.

ROBINSON N.D. (1986).- Lithostratigraphy of the Chalk Group of the North Downs, southeast England.- *Proceedings of the Geologists' Association*, vol. 97, n° 2, p. 141-170.

ROWE A.W. (1908).- The Zones of the White Chalk of the English coast V. Isle of Wight.- *Proceedings of the Geologists' Association*, vol. 20, n° 4, p. 209-352.

SCHOUTEN J.-P., MCELGUNN C., WAAIJER R., ZWIJNENBURG D., DIEPVENS F. & PALS G. (2002).- Relative quantification of 40 nucleic acid sequences by multiplex ligation-dependent probe amplification.- *Nucleic Acids Research*, vol. 30, n° 12, 13 p.

SCOTESE C.R. (2013).- Map Folio 21, Mid Cretaceous (Turonian, 91.1 Ma), PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS, vol. 2, Cretaceous Paleogeographic, Paleoclimatic and Plate Tectonic Reconstructions, PALEOMAP Project, Evanston, IL.

SISSINGH W. (1977).- Biostratigraphy of Cretaceous Calcareous Nannoplankton.- *Geologie en Mijnbouw*, vol. 56, n° 1, p. 37-65.

SKLENÁŘ J. & SIMON E. (2009).- Brachiopod *Gyrosoria* COOPER, 1973 - a comparative palaeoecological, stratigraphical and taxonomical study.- *Bulletin of Geosciences*, vol. 84, n° 3, p. 437-464.

SLATER S.M., BOWN P., TWITCHETT R.J., DANISE S. & VAJDA V. (2022).- Global record of "ghost" nannofossils reveals plankton resilience to high CO_2 and warming.- *Science*, vol. 376, p. 853-856.

SMITH A.B. & BATTEN D.J. (Eds., 2002).- Fossils of the Chalk, 2nd ed., revised and enlarged.- *Field Guides to Fossils Series,* n° 2, The Palaeontological Association*,* London, 374 p.

STRAHAN A. (1896).- On a phosphatic chalk with *Holaster planus* at Lewes: With an appendix on the Foraminifera and Ostracoda.- *Quarterly Journal of the Geological Society*, vol. 52, p. 463-473.

VADET A. & NICOLLEAU P. (2017).- Les "*Phymosoma*" de la "Craie" des provinces Anglo-Parisienne et Sarthe-Aquitaine.- *Annales de la Société Histoire Naturelle du Boulonnais,* t. 16, fasc. 1, p. 1-88.

VANDERAVEROET P., AMÉDRO F., COLLETÉ C., DECONINCK J.-F., RÉCOURT P. & ROBASZYNSKI F. (2000).- Caractérisation et extension de niveaux repères de bentonites dans le Turonien supérieur du Bassin de Paris (Boulonnais, Aube).- *Geodiversitas*, vol. 22, n° 3, p. 457-469.

VODRAZKA R., SKLENAR J., CECH S., LAURIN J. & HRADECKA L. (2009).- Phosphatic intraclasts in shallow-water hemipelagic strata: A source of palaeoecological, taphonomic and biostratigraphic data (Upper Turonian, Bohemian Cretaceous Basin).- *Cretaceous Research,* vol. 30, p. 204-222.

VOIGT S., WAGREICH M., SURLYK F., WALASZCZYK I., ULIČNÝ D., ČECH S., VOIGT T., WIESE F., WILMSEN M., NIEBUHR B., REICH M., FUNK H., MICHALÍK J., JAGT J.W.M., FELDER P.J. & SCHULP A.S. (2008).- Cretaceous. *In*: MCCANN T. (Ed.), The geology of Central Europe, vol. 2: Mesozoic and Cenozoic.- Geological Society, London, p. 921-997.

VOIGT S. & WIESE F. (2000).- Evidence for Late Cretaceous (Late Turonian) climate cooling from oxygen-isotope variations and palaeobiogeographic changes in Western and Central Europe.- *Journal of the Geological Society*, London, vol. 157, p. 737-743.

WALASZCZYK I. & COBBAN W.A. (2000).- Inoceramid faunas and biostratigraphy of the Upper Turonian - Lower Coniacian of the Western Interior of the United States.- *Special Papers in Palaeontology*, vol. 64, p. 1-118.

WALASZCZYK I. & PERYT D. (1998).- Inoceramid-foraminiferal biostratigraphy of the Turonian through Santonian deposits of the Middle Vistula Section, Central Poland.- *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie,* Teil I, Heft 11/12, p. 1501-1513.

WALLISER E.O., VODRÁŽKA R., HÖCHE N., VOIGT S. & SCHÖNE B.R. (2020).- Late Turonian climate variability in the Bohemian Cretaceous Basin - A sclerochronological study of *Inoceramus hercules* shells from the Úpohlavy quarry (Czech Republic).- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 560, 13 p.

WENDLER I., WENDLER J., GRAEFE K.U., LEHMANN J. & WILLEMS H. (2009).- Turonian to Santonian carbon isotope data from the Tethys Himalaya, southern Tibet.- *Cretaceous Research*, vol. 30, n° 4, p. 961-979.

WIESE F., ČECH S., EKRT B., KOŠTÁK M., MAZUCH M. & VOIGT S. (2004).- The Upper Turonian of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic) exemplified by the Úpohlavy working quarry: Integrated stratigraphy and palaeoceanography of a gateway to the Tethys.- *Cretaceous Research*, vol. 25, n° 3, p. 329-352.

WIESE F. & KAPLAN U. (2001).- The potential of the Lengerich section (Münster Basin, northern Germany) as a possible candidate Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Middle/Upper Turonian boundary.- *Cretaceous Research*, vol. 22, n° 5, p. 549-563.

WIESE F. & KROGER B. (1998).- Evidence for a shallowing event in the Upper Turonian (Cretaceous) *Mytiloides scupini* Zone of northern Germany.- *Acta Geologica Polonica*, vol. 48, n° 3, p. 265-284.

WIESE F. & VOIGT S. (2002).- Late Turonian (Cretaceous) climate cooling in Europe: Faunal response and possible causes.- *Geobios*, vol. 35, p. 65-77.

WILKINSON I.P. (2011).- Foraminiferal biozones and their relationship to the lithostratigraphy of the Chalk Group of southern England.- *Proceedings of the Geologists' Association,* vol. 122, n° 5, p. 842-849.

WILMSEN M., DÖLLING B., HISS M. & NIEBUHR B. (2019).- The lower Upper Cretaceous of the south-eastern Münsterland Cretaceous Basin, Germany: Facies, integrated stratigraphy and inter-basinal correlation.- *Facies*, vol. 65, p. 12-29.

WOOD C.J. & SMITH E.G. (1978).- Lithostratigraphical classification of the chalk in North Yorkshire, Humberside and Lincolnshire.- *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, vol. 42, n° 2, p. 263-287.

WOODS M.A. & CHACKSFIELD B.C. (2012).- Revealing deep structural influences on the Upper Cretaceous Chalk of East Anglia (UK) through inter-regional geophysical log correlations.- *Proceedings of the Geologists' Association,* vol.123, n° 3, p. 486-499.

WOODS M.A., FARRANT A.R., NEWELL A.J. & LEE K.A. (2023).- The lithostratigraphical context of the English Chalk Rock (Turonian).- *Cretaceous Research*, vol. 143, 9 p.

WRAY D. (1990).- The petrology of clay rich beds in the Turonian (Upper Cretaceous) of the anglo-Paris Basin.- Thesis, City of London Polytechnic, 334 p.

WRAY D. (1999).- Identification and long-range correlation of bentonites in Turonian - Coniacian (Upper Cretaceous) chalks of northwest Europe.- *Geological Magazine*, vol. 136, p. 361-371.

WRAY D.S. & GALE A.S. (1993).- Geochemical correlation of marl bands in Turonian chalks of the Anglo-Paris Basin.- *Geological Society Special Publication*, n° 70, p. 211-226.

WRAY D.S. & JEANS C.V. (2014).- Chemostratigraphy and provenance of clays and other non-carbonate minerals in chalks of Campanian age (Upper Cretaceous) from Sussex, southern England.- *Clay Minerals*, vol. 49, n° 2, p. 327-340.

WRAY D.S., WOOD C., ERNST G. & KAPLAN U. (1996).- Geochemical subdivision and correlation of clay-rich beds in Turonian sediments of northern Germany.- *Terra Nova*, vol. 8, p. 603-610.

WRAY D.S. & WOOD C.J. (1998).- Distinction between detrital and volcanogenic clay-rich beds in Turonian Coniacian Chalks of eastern England.- *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, vol. 52, p. 95-105.

ZIEGLER P.A. (1975).- The geological evolution of the North Sea area in the tectonic framework of North-Western Europe.- *Norges geologiske undersøkelse,* vol. 316, p. 1-27.

Sitographie

RANDEL R. & BALMBRA C. (2020).- British Chalk Fossils.- URL: http://www.chalk.discoveringfossils.co.uk/

VANDENBOS G. (2020).- Brachiopoda, Forum Français sur les brachiopodes fossiles et actuels.- URL: http://brachiopoda.xooit.fr/

CHÂTELIER H. (2020).- Ammonites et autres spirales.- URL: http://www.ammonites.fr/

HOYEZ B. (2020).- Falaises de craie. Promenades géologiques dans les falaises blanches de Normandie.- URL: https://craies.crihan.fr/

SMITH A.B. (2020).- The Natural History Museum, London.- URL: https://www.nhm.ac.uk/

CAR-NETS Geol.

ISBN13: 978-2-916733-20-3

9 782916 733203

Manuscrit en ligne depuis le 15 août 2026

https://carnetsgeol.net/cg/BOOKS/CG2026_B01/

Dépôt légal à parution

SGN AMH

Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre

S.E.S.N.E

Société d'Études des Sciences Naturelles d'Elbeuf