

# Étude stratigraphique et paléontologique du Cénomaniien des Falaises des Vaches noires

M2 – Paléontologie Paléo-environnement Patrimoine

Années 2022-2023



Tuteur : Laurent Picot

Référent : Vincent Perrichot

## **Résumé :**

Les Falaises des Vaches noires (Normandie, France) sont un site particulièrement connu pour ses fossiles jurassiques. Cependant, le sommet des falaises est composé de craie crétacée et délivre une faune tout aussi importante. L'étude de deux affleurements situés au sommet et repérés par Stéphane Croutte du musée Paléospace il y a environ 2 ans, permet une reconstruction du paléoenvironnement des sites lors du Cénomaniens inférieur. Les sites présentant des hard-grounds, il a été possible de les corrélés avec un autre affleurement étudié par Juignet en 1974. Le prêt de la collection Bara et Gendry par Damien Gendry permet d'étoffer la faune qu'ont livré les affleurements étudiés et a permis de supposer la présence de plusieurs environnements différents. Cet inventaire a également permis de mettre en lumière la présence de fossiles datés du Cénomaniens moyen.

**Mots-clés :** Falaises des Vaches noires, Cénomaniens inférieur, Craie, Inventaire, Paléoenvironnement,

## **Remerciements :**

Je tiens à remercier particulièrement mon tuteur Laurent Picot pour tout le soutien et les conseils avisés qu'il a pu m'apporter lors de ce stage qui m'ont aiguillé tout au long de cette étude.

Je souhaite remercier Damien Gendry pour avoir prêté environ 350 fossiles issus de la collection Bara & Gendry, tous issus de la Craie cénomaniens des Falaises des Vaches noires permettant la réalisation d'une partie de ce stage, mais aussi de s'être déplacé pour venir sur le terrain et apporter des remarques avisées.

Je tiens également à remercier Jonas Le Mort pour tout le soutien qu'il m'a apporté ainsi que le temps qu'il a trouvé pour m'aider.

Je tiens à remercier Karine Boutiller et toute l'équipe du Paléospace pour leur accueil chaleureux, l'aide qu'ils m'ont apporté mais surtout pour leur joyeuseté à toute épreuve.

Je tiens aussi à remercier Bernard Hoyez d'avoir accepté d'échanger avec moi et ainsi apporter nombre de renseignements sur le Cénomaniens présent dans la région havraise.

Je tiens à remercier chaleureusement Julien Toussaint avec qui j'ai pu travailler en tandem sur nos affleurements respectifs et avec qui ce fut un réel plaisir.

Et enfin je tiens à remercier tout particulièrement tous mes camarades de Master PPP avec qui j'ai passé deux années merveilleuses.

## Table des matières

1. Introduction :.....	1
2. Contexte de l'étude :.....	2
2.1. Contexte historique :.....	2
2.2. Contexte géologique :.....	2
2.2.3. Les formations jurassiques :.....	2
2.2.4. Les formations crétacées :.....	3
3. Matériels et Méthode :.....	4
4. Résultats :.....	5
4.1. Réalisation d'une coupe stratigraphique :.....	5
4.3. Inventaire des groupes fossiles importants du Cénomaniens des Vaches noires :.....	10
5. Discussion :.....	13
5.1. Observations des variations :.....	13
5.2. Corrélations avec les études précédentes :.....	14
5.3. Datation des sites étudiés :.....	15
5.4. Interprétation paléoenvironnementale des sites étudiés :.....	16
5.5. Interprétation globale de l'inventaire :.....	18
6. Conclusion :.....	18
7. Bibliographie :.....	18





## 1. Introduction :

Les Falaises des Vaches noires sont célèbres à la fois par l'abondance de fossiles que l'on peut y trouver et l'impact que ces derniers ont eu sur la paléontologie et la géologie française (Buffetaut, 2013). S'étendant entre Villers-sur-Mer et Houlgate sur 4,5 km (**figure 1**), les falaises sont constituées principalement de marnes et de bancs calcaires jurassiques (Callovien - Oxfordien), surmontés par du sable et de la craie crétacés (Albien (113,0 – 100,5 Ma) et Cénomaniens (100,5-93,9 Ma)). Les falaises ont livré une faune très riche et diversifiée d'invertébrés (bivalves, brachiopodes, spongiaires, coraux, bélemnites, nautilus, ammonites) et de vertébrés (pliosaures, plésiosaures, ichthyosaures, crocodiles, dinosaures, poissons ostéichthyens, chondrichthyens) (Wenz 1968, 1970 ; Bardet *et al.*, 1993 ; Alméras *et al.*, 2013 ; Bardet 2013 ; Buffetaut, 2013 ; Courville, 2013 ; Vullo, 2013 ; Le Mort *et al.*, 2020 ; Cavin *et al.*, 2021 ; Monvoisin *et al.*, 2022). Le Jurassique des falaises est très bien connu alors que le Crétacé a été moins étudié, car seuls les blocs de craie sur la plage permettent un accès facile aux roches et fossiles crétacés. La base du Crétacé des falaises étant composée de sables glauconieux, cette dernière une fois gorgée d'eau va provoquer des coulées de boues entraînant le glissement des niveaux crétacés sus-jacents formant un replat nommé « Chaos » (Juignet, 1974 ; Roulland *et al.*, 2019).

L'objectif de ce travail est de réaliser une coupe stratigraphique d'une partie du Crétacé des Falaises des Vaches noires sur un nouvel affleurement, de comparer cette nouvelle coupe avec celles faites dans des études antérieures notamment celle de Juignet (1974) afin de la replacer dans la stratigraphie, puis d'analyser le contenu paléontologique et lithologique afin de dater et de comprendre le paléoenvironnement au moment du dépôt. La deuxième partie de ce travail a consisté à réaliser l'inventaire de la faune crétacée retrouvée dans la craie des Falaises des Vaches noires notamment grâce aux fossiles retrouvés sur les terrains d'études, mais également grâce aux fossiles prêtés par Damien Gendry de l'université de Rennes.

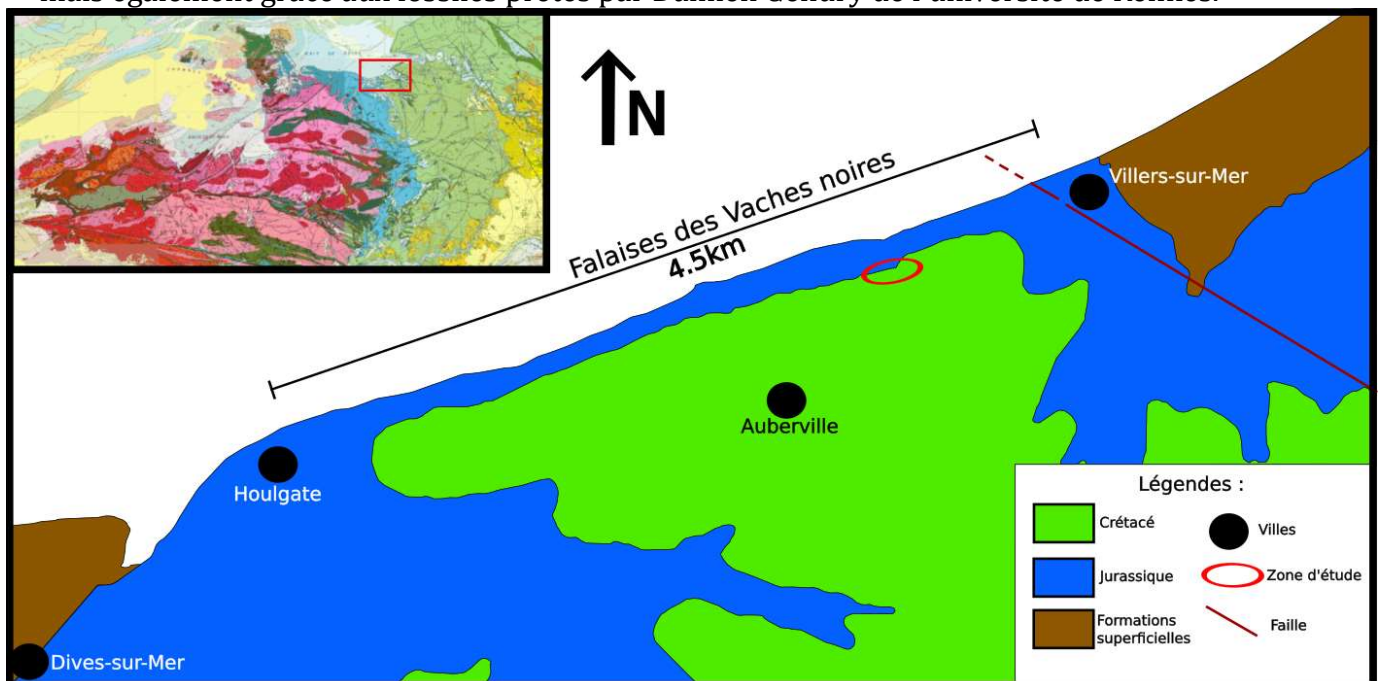


Figure 1 : Carte géologique simplifiée de la localisation des Falaises des Vaches noires (modifiée de Infoterre BRGM).

## **2. Contexte de l'étude :**

### **2.1. Contexte historique :**

Les Falaises des Vaches noires ont livré de nombreux fossiles depuis de nombreuses années, les premières traces écrites remontant à trois siècles environ (Brignon, 2020). De nombreux fossiles continuent d'être découverts de nos jours, de par l'abondance fossilifère des couches, mais également par la simplicité d'accès aux fossiles qui, avec l'érosion, se retrouvent sur la plage au pied des falaises. Cela a permis de mener de nombreuses études paléontologiques (e.g. Buffetaut, 2013 ; Courville *et al.*, 2013 ; Plasse & Buffetaut 2016 ; Monvoisin *et al.*, 2022 ; ...), mais également des études stratigraphiques (e.g. De la Beche, 1822 ; Caumont, 1828 ; Raspail, 1901 ; Douvillé, 1904 ; Juignet, 1974 ; Dugué *et al.*, 1998, Lebrun & Courville, 2013). Bien que les niveaux jurassiques des Falaises des Vaches-Noires soient particulièrement bien connus, les fossiles crétacés ont attiré l'attention des paléontologues dès le 19<sup>e</sup> siècle. En effet Beaugrand (1884 : 17) avait écrit que la « *Glauconie de Villers* [qui] contiennent et garde un assez grand nombre de fossiles » (Beaugrand cité par Lebrun & Courville, 2013). Des restes de grands vertébrés (ichthyosaures) ont été mentionnés également dès le 19<sup>e</sup> siècle par Montbrun (1837) et Morière (1877). La difficulté d'accès aux couches fait que la majorité des fossiles crétacés sont récoltés sur la plage. En effet des rochers et blocs éboulés décimétriques à plurimétriques se retrouvent sur l'estran à cause de l'érosion. Ce sont ces derniers qui donneront l'appellation Vaches noires aux falaises, ces blocs, une fois recouverts d'algues, ressemblaient à des vaches pour les marins qui naviguaient au large (Dugué *et al.*, 1998). Les travaux stratigraphiques ont permis de considérer la présence de quatre formations crétacées : les Sables verts (Aptien supérieur-Albien supérieur), la Glauconie de base (Albien supérieur-Cénomanién inférieur), la Craie glauconieuse et la Craie à Spongiaire qui parfois est intégrée dans la Craie glauconieuse (Cénomanién) (Juignet, 1974 ; Doré *et al.*, 1977 ; Rioult, 1978). Le Cénomanién des Vaches noires n'a été que « peu » étudié. De récents travaux menés par Hoyez *et al.*, (2020) ont permis de lever une coupe stratigraphique complète du Cénomanién havrais et de faire un inventaire de la faune retrouvée dans ces niveaux.

### **2.2. Contexte géologique :**

Les Falaises des Vaches noires sont composées principalement de couches jurassiques (Callovien supérieur jusqu'à l'Oxfordien moyen). Au-dessus des couches jurassiques, une lacune temporelle importante est présente (environ 50 millions d'années) et les sédiments que l'on retrouve au-dessus datent de l'Albien-Cénomanién avec des couches d'Aptien remaniées dans l'Albien-Cénomanién (Juignet, 1974 ; Breton *et al.*, 2005 ; Lebrun & Courville, 2013). Les différentes couches sont regroupées en unités plus ou moins épaisses, 7 formations jurassiques et 4 formations crétacées sont présentes entre Villers-sur-Mer et Houlgate (Juignet, 1974 ; Lebrun & Courville, 2013).

#### **2.2.3. Les formations jurassiques :**

Les différentes formations peuvent être regroupées en deux grands ensembles : les formations marneuses et les formations calcaires.

### 1 à 4 Les formations marneuses :

La majorité de la série jurassique des falaises est comprise dans les formations marneuses, comprenant le Callovien supérieur avec les Marnes de Dives (zone à Lamberti) ainsi que l'Oxfordien inférieur avec les Marnes de Villers (zone à Mariae), l'Oolithe ferrugineuse de Villers et les Argiles à *Lopha gregarea* (zone à Cordatum). La sédimentation principalement terrigène est importante lors du Callovien supérieur (Poisson, 1962) ainsi qu'au début de l'Oxfordien inférieur. Cependant, plusieurs arrêts de sédimentation sont enregistrés par les dépôts condensés de l'Oolithe ferrugineuses de Villers avant de reprendre avec les Argiles à *Lopha gregarea* (Lebrun & Courville, 2013). La succession de ces formations démontre une transgression marine (Lebrun & Courville, 2013).

### 5 à 7 Les formations calcaires :

Le reste de la série jurassique des falaises comprend les formations calcaires de l'Oxfordien moyen : le Calcaire d'Auberville, le Calcaire oolithique de Trouville (zone à *Densiplicatum*) et le Coral-Rag (zone à *Tenuiserratum*). Ces différentes formations montrent un changement de sédimentation avec la mise en place d'une plateforme carbonatée (Dugué *et al.*, 1998 ; Lebrun & Courville 2013). De nombreuses figures sédimentaires indiquent une baisse du niveau marin. Cette tendance régressive va continuer et s'amplifier jusqu'au Coral-Rag (Lebrun & Courville, 2013).

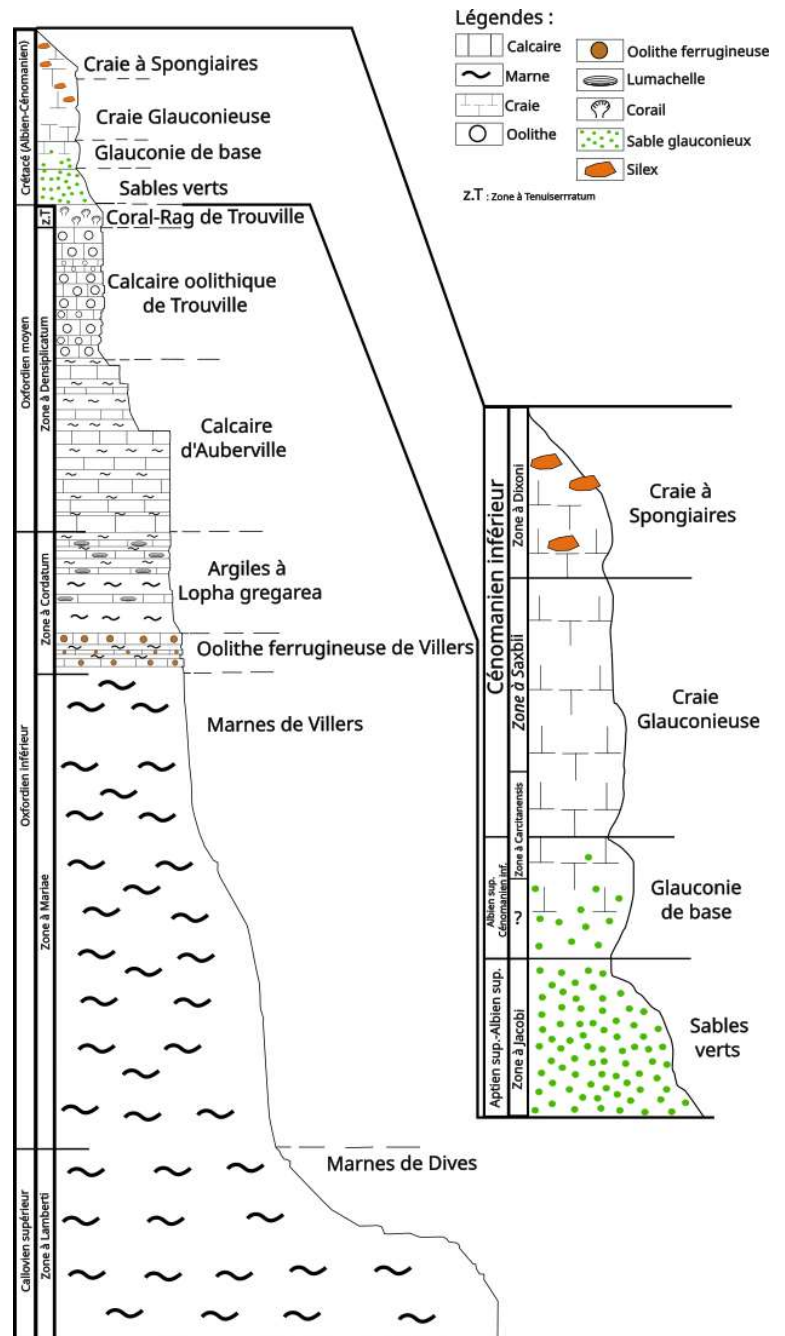


Figure 2 : Coupe synthétique des falaises des Vaches noires (modifiée de Lebrun & Courville 2013)

### 2.2.4. Les formations crétacées :

Suite au Coral-Rag, la série sédimentaire jurassique s'arrête avant de reprendre environ 50 millions d'années plus tard lors du Crétacé (Albien-Cénomannien). Ces niveaux crétacés présents dans les falaises peuvent être divisés en 4 formations : les Sables verts, la Glauconie de base, la Craie glauconieuse, et la Craie à Spongiaires (Juignet, 1974 ; Rioult, 1978 ; Doré *et al.*, 1977 ; Lebrun & Courville, 2013).

### **1. Les Sables verts :**

Les Sables verts ou Sables ferrugineux sont les dépôts crétacés les plus vieux, car ils correspondent à l'Aptien supérieur jusqu'à l'Albien supérieur. Cependant, il est très difficile de les observer autant en place que sur la plage. Des lentilles de sables ou des galets ferrugineux correspondant à ce niveau peuvent être observés dans les dépressions jurassiques (Lebrun & Courville, 2013). Des fossiles phosphatés ou ferrugineux ainsi que du bois silicifié peuvent être rattachés à cette formation. La présence d'ammonites caractéristiques de la limite Aptien – Albien à Houlgate et d'ammonites caractéristiques de l'Albien Supérieur à Viller-sur-Mer laisse penser que les lentilles de sables ont pu être remaniées dans la couche suivante : la Glauconie de base (Breton *et al.*, 2005 ; Lebrun & Courville, 2013).

### **2. Glauconie de base :**

La Glauconie de base est rattachée à l'Albien supérieur. La base du Cénomani correspond à des dépôts riches en glauconie verte, remaniant des sables quartzeux, des graviers et contenant des nodules phosphatés ainsi que de nombreux fossiles souvent remaniés (Lebrun & Courville, 2013). La majorité des fossiles à test aragonitique ont disparu ne laissant que des moules internes et externes en craie. Cette unité représente avec les Sables verts la reprise d'une lente sédimentation dans un environnement néritique (Juignet, 1974). Cette unité passe progressivement à la Craie glauconieuse (Juignet, 1974).

### **3. Craie glauconieuse :**

La Craie glauconieuse correspond à de la craie blanche, jaune ou verdâtre glauconieuse avec une part d'apport détritique (Juignet, 1974). Une succession de trois hard-grounds nommés hard-grounds « Villers » (Juignet, 1974) est présente au milieu de cette unité sur 2 m et permettent de corréliser plusieurs affleurements. Cette formation présente une faune riche et variée composée de bivalves, de brachiopodes, d'échinodermes, d'ammonites, de nautilus, de spongiaires, de bryozoaires, de chondrichtyens, d'ostéichtyens et de très rares ichthyosaures (Blain *et al.*, 2003, Lebrun & Courville, 2013). Les nombreux fossiles sont bien conservés, mais comme dans la Glauconie de base, la majorité des coquilles des fossiles à test aragonique ont disparu (ammonites et nautilus) laissant des moules internes et externes en craie mal conservés, ou des fossiles phosphatés bien conservés mais fragiles et souvent disloqués (Juignet, 1974).

### **4. Craie à Spongiaire :**

Cette unité peut parfois être rattachée à l'unité précédente : la Craie glauconieuse (Juignet, 1974). La Craie à Spongiaire correspond au sommet de la série crétacée des Falaises des Vaches noires. Elle est composée de calcaires jaunâtres, plusieurs cordons de silex noduleux ainsi que de nombreux spongiaires sont contenus dans cette unité. Trois hard-grounds nommés « Crouttes » (Juignet, 1974) d'une épaisseur pouvant être métrique coupent la formation (Juignet, 1974 ; Lebrun & Courville, 2013). Cependant, cette formation n'est pas observable dans toutes les falaises.

## **3. Matériels et Méthode :**

En premier lieu, il fut nécessaire de trouver un affleurement crétacé présentant une épaisseur suffisamment importante ainsi qu'une certaine continuité pour la réalisation de la coupe stratigraphique. Un premier affleurement découvert après une journée de recherche à pied (**Annexe 2**) d'environ 10 mètres de haut, végétalisé et ne présentant aucun bloc éboulé fut envisagé. Cependant, un second affleurement (**Annexe 2 et 3**) qui fut repéré en parapente par Stéphane Croutte du Paléospace au moins deux ans auparavant a été retenu pour l'étude,



car plus accessible, bien moins végétalisé, plus grand et disposant de plusieurs blocs éboulés facilitant la récolte de fossiles. Cet affleurement, bien que repéré récemment, est visible sur les photos aériennes depuis 1947. Cependant, en regardant des photos comprises entre 1947 et aujourd'hui, il a pu être remarqué que l'affleurement fut caché par la végétation avant de réapparaître suite à des éboulements successifs des falaises au cours du temps (**Annexe 4**). De plus, un troisième affleurement (**Annexe 2, 5**) situé non-loin, corrélable au second par la présence des hard-grounds caractéristiques ainsi que de deux bancs siliceux bien continus permet de replacer les deux affleurements. Les deux affleurements retenus ont permis d'avoir environ 21,50 mètres de coupe : (le premier affleurement a fourni environ 12,5 mètres, alors que le second en a fourni environ 9 mètres). L'épaisseur totale de roches crétacées fut également estimée en se déplaçant du haut du premier affleurement jusqu'à la dernière couche jurassique (Coral-Rag) avec un altimètre disposant d'une précision métrique. Afin de faciliter la description des différentes couches, des sédiments furent prélevés, puis séchés pendant 3 jours afin de pouvoir décrire la couleur des sédiments sans que l'humidité ambiante sur le terrain ne puisse provoquer de changement de couleurs. L'observation a été réalisée à la loupe binoculaire PERFEX disposant d'un grossissement maximum de x 40 afin de pouvoir donner une description la plus objective possible. Une charte de nuances de couleurs de pédologie fut utilisée (**Annexe 6**), afin de permettre une description plus objective des différentes couches et facilitera la reconnaissance des dites couches pour des études ultérieures.

De nombreux fossiles ont été récoltés dans les différentes couches des deux affleurements étudiés ainsi que dans les blocs éboulés. Les fossiles récoltés présentant un certain intérêt pour l'étude ont par la suite été dégagés au Paléospace à l'aiguille ainsi qu'au micro-percuteur.

L'inventaire de la faune cénomanienne des Falaises Vaches noires a pu être réalisé à partir des fossiles prêtés par Damien Gendry de l'Université de Rennes (environ 350 fossiles).

## **4. Résultats :**

### **4.1. Réalisation d'une coupe stratigraphique :**

La réalisation de la coupe stratigraphique fut particulièrement longue et complexe, elle a débuté le 20 février pour finir le 17 avril 2023. La végétalisation du sommet des falaises a rendu l'accès et l'étude des affleurements difficiles. De plus, les couches constituant le replat du « Chaos » étant très glissantes, cela a rendu l'accès aux affleurements impossible les jours de pluie.

L'épaisseur totale du Crétacé (de la couche la plus haute observable jusqu'au Coral-Rag Jurassique) fut estimée à  $46 \pm 1$  mètres grâce à l'altimètre.

La figure 3 représente la coupe stratigraphique des deux affleurements qui ont été étudiés.

### **4.2. Description de la coupe stratigraphique levée :**

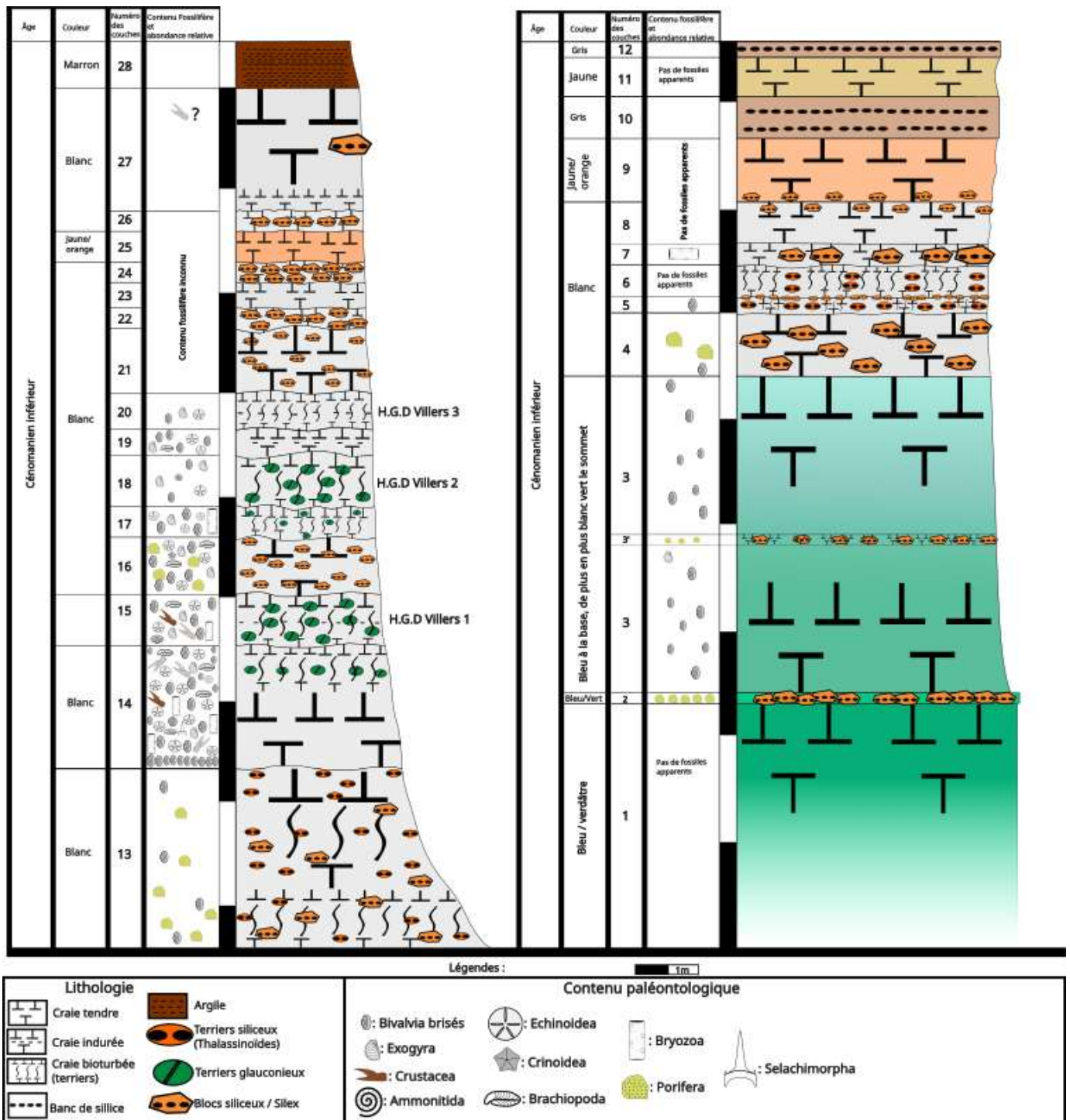


figure 3 : Coupe stratigraphique synthétique des affleurements étudiés du Cénomanien dans les Falaises des Vaches noires

**1** – (estimé à 6m) : Craie très glauconieuse, de couleur vert-bleu foncé plus prononcée à la base qu’au sommet et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Gley (ligne - colonne) 6-10Y ou 6-5GY une fois séchée. La majorité de la couche est cachée par un éboulis végétalisé. Il est donc supposé que le sommet et la base appartiennent à la même couche car présentant les mêmes propriétés, 10 cm au sommet sont observables. De rares débris coquilliers ont pu être observés à la loupe binoculaire.

Craie blanche composée de nombreux grains de glauconie noirs, de grains brillants en feuillets correspondant à de la muscovite de même taille que les grains de glauconie et de nombreux grains laitieux clairs, voire transparents aux bords assez anguleux correspondant à du quartz.

**2** – (10 cm) : Craie très glauconieuse avec des blocs siliceux composés de spongiaires pouvant former un banc discontinu.

Il n'a pas été possible de récolter des sédiments pour cette couche, car elle est trop siliceuse.

**3** – (3,30 m) : Craie glauconieuse tendre, vert-bleu foncé à la base et clair au sommet sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//2 une fois séchée. Les rares fossiles retrouvés dans cette couche sont des débris coquilliers et des *Amphidonte obliquatum* (Pulteney, 1813) [**Pl. 4 : 3-5**].

Craie blanche/jaunâtre composée de nombreux grains de glauconie noirs de petite taille, et de grains de muscovite plus petits que les grains de glauconie, ainsi que de très rares grains de quartz sub-anguleux.

**3'** – (10 cm) : Cordon de spongiaires situé à un 1 m 80 de la base de la couche 3.

**4** – (60 cm) : Craie peu glauconieuse, blanche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//3 une fois séchée. La couche comprend de rares fossiles (débris coquilliers) au contact avec la couche précédente et de quelques spongiaires.

Craie blanche/jaunâtre plus fine que les couches précédentes composée de grains de glauconie noirs de petite taille, de grains de muscovite plus petits que la glauconie et plus rares que dans les couches précédentes. Aucun grain de quartz n'a pu être observé.

**5** – (15 cm) : Craie, blanche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 7//3 ou 7//4 une fois séchée. De nombreux *Thalassinoides* (Ehrenberg, 1944) ont été observés ainsi que de très rares fossiles (seulement 2 débris coquilliers observés).

Il n'a pas été possible de récolter de sédiments pour cette couche car, elle est trop siliceuse.

**6** – (30 cm) : Craie, blanche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 7//3 ou 7//4 une fois séchée. De nombreux *Thalassinoides* ont été observés, mais aucun fossile n'a pu être vu.

Craie jaune/blanche composée de rares grains de glauconie noirs de très petite taille et de grains de muscovite de taille variable. Pas de grain de quartz visible.

**7** – (20 cm) : Craie, blanche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//3 ou 8//4 une fois séchée. Cette couche comprend de gros silex formant un banc discontinu. Un seul bryozoaire a pu être observé sur le terrain, mais il n'a pas pu être extrait.

Craie blanche/légèrement jaune, fine, composée de rares et petits grains de glauconie noirs, de rares grains de muscovite également de petite taille, et de rares grains marron/noir correspondant à de la biotite de même taille que la muscovite. Pas de grain de quartz visible.

**8** – (40 cm) : Craie, blanche sur terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//2 ou 3/ ou 4/ une fois séchée. Aucun fossile n'a pu être observé. Craie blanche fine comme celle observée dans la couche 7 composée de petits grains de glauconie, de grains de muscovite, et de rares grains de biotite. Pas de grain de quartz visible.

Une couche de silex se trouve à la jonction entre la couche 8 et la suivante.

**9** – (60 cm) : Craie, jaune/orangé sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 6//6 ou /8 une fois séchée. Aucun fossile n'a pu être observé.

Craie jaune composée comme les précédentes de petits grains de glauconie noirs, mais cette couche présente plus de muscovite que les couches précédentes. Pas de grain de quartz visible ou de grain de biotite.

**10** – (40 cm) : Banc siliceux gris continu.

Aucun sédiment n'a pu être récupéré pour cette couche, car elle est bien trop siliceuse.

**11** – (37 cm) : Craie meuble, jaune/orangé clair sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//6 ou /8 une fois séchée. Des débris coquilliers ont pu être observés à la loupe binoculaire.

Craie blanche/jaune fine, comme celle observée dans la couche 8, composée de très rares et petits grains de glauconie, de petits grains de muscovite et de très petits grains de quartz émoussés.

**12** – (15 cm) : Banc siliceux gris.

Aucun sédiment n'a pu être récupéré pour cette couche, car elle est bien trop siliceuse.

**13** – (1,75 m) : Craie blanche légèrement jaune par endroits sur terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//4 ou /6 une fois séchée (pour la base), et blanche sur le terrain et Munsell 10YR 8//3 ou /4 au sommet. De très nombreux *Thalassinoides* ont pu être observés ainsi que des débris coquilliers et des spongiaires indéterminés.

Craie blanche/jaune assez fine, composée de petits grains de glauconie, de petits grains de muscovite et de très petits grains de quartz sub-anguleux.

**14** – (1,20 m) : Craie glauconieuse, banche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//2 ou 7//2 une fois séchée. Des terriers glauconieux sont visibles au sommet de la couche. Cette dernière est très fossilifère avec une dominance des échinodermes : *Hemiaster bufo* (Brongniart, 1822) [**Pl. 9 : 3**], *Tetragramma variolare* (Brongniart, 1822) [**Pl. 8 : 1**], *Discoïdes subuculus* (Klein, 1734) [**Pl. 8 : 5**], des radioles s'apparentant à *Hirudocidaridaris vesiculosa* (Goldfuss, 1826) [**Pl. 7 : 6**] retrouvés en région havraise (Hoyez *et al.*, 2020), *Catopygus* indéterminé. Quelques brachiopodes ont pu être retrouvés dans cette couche : *Praelongithyris fecampi* (Gaspard, 1988) [**Pl. 2 : 5**], des Rhynchonnelida indéterminés [**Pl. 2 : 1**] rarement complets. De nombreux bivalves ont été retrouvés dans cette couche : *Merklinia aspera* (Lamarck, 1819) [**Pl. 3 : 7**], *Gryphaeostrea canaliculata* (Sowerby, 1813) [**Pl. 4 : 6, 7**], *Septifer* sp., *Neithea quinquecostata* (Sowerby, 1814) [**Pl. 3 : 5**], *Rastellum* sp. [**Pl. 4 : 2**], et des débris coquilliers. Des crustacés fragmentaires indéterminés ont également pu être récupérés. Des bryozoaires encroûtants et ramifiés. De très rares ammonites mal conservées qui ne permettent pas une bonne identification : Mantelliceratinae indéterminé [**Pl. 6 : 1**]. Enfin, de rares dents de requins ont pu être trouvées : *?Scapanorhynchus ? minimus* (Landemaine, 1991) [**Pl. 10 : 10**], *?Cretolamna appendiculata* (Agassiz, 1843) [**Pl. 10 : 4**], *Heterodontus* sp. [**Pl. 10 : 12**].

Craie blanche/légèrement, verdâtre, fine composée de très communs grains de glauconie de petite taille, de grains de muscovite légèrement plus petits que les grains de glauconie, de rares gros fragments de calcite. Pas de grain de quartz visible.

**15** – (50 cm) : Craie assez indurée, blanche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//2 une fois séchée. De nombreux terriers glauconieux et siliceux sont visibles en relief. De plus, la couche est riche en fossiles, notamment toujours en échinides : principalement *H. bufo* [**Pl. 9 : 3**] souvent fragmentaires et de rares réguliers entiers *Salenia* (*Salenia*) *petalifera* (Desmarest, 1825) [**Pl. 7 : 8**]. La faune est également composée de crinoïdes : *?Balanocrinus* sp. [**Pl. 7 : 2**], d'astérides dont les ossicules isolés [**Pl. 7 : 3**] ont pu être retrouvés, de bivalves : *N. quinquecostata* [**Pl. 3 : 5**], *Amphidonte* sp., *A. obliquatum* [**Pl. 4 : 3-5**], *G. canaliculata* [**Pl. 4 : 6, 7**], *Neithea aequicostata* (Lamarck, 1819) [**Pl. 3 : 4**], de brachiopodes univalves : *Rhynchonella* sp., *?Praelongithyris ? fecampi* [**Pl. 2 : 5**] et de fréquents débris coquilliers sont observables à la loupe binoculaire.

Craie blanche fine entre les parties indurées composée de fréquents grains de glauconie de petites tailles et fracturés, de rares grains de muscovites plus petits que les grains de glauconie. Pas de grains de quartz visibles.



**16** – (56 cm) : Craie peu glauconieuse, blanche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//2 ou /3 une fois séchée. La couche présente de nombreux fossiles : de nombreux spongiaires. La couche est toujours riche en échinodermes : *T. variolare* [**Pl. 8 : 1**] fragmentaires, *H. bufo* [**Pl. 9 : 3**] fragmentaires, radioles de *H. vesiculosa* [**Pl. 7 : 6**]. De nombreux bivalves furent observés et récupérés : *Amphidonte* sp. brisés, *N. quinquecostata* [**Pl. 3 : 5**] et des débris coquilliers. Peu de brachiopodes : Terebratulida indéterminés. Des bryozoaires ramifiés [**Pl. 1 : 7**] indéterminés furent également observés.

Craie blanche assez fine composée de petits grains de glauconie, de rares grains de quartz.

**17** – (30 cm) : Craie peu glauconieuse, blanche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//2 une fois séchée. Des terriers glauconieux ont pu être observés de la base (isolée) jusqu'au sommet (fréquents). La couche est toujours riche en fossiles : quelques échinodermes furent récupérés : *H. bufo* [**Pl. 9 : 3**], ?*Balanocrinus* sp. [**Pl. 7 : 2**]. De grands *A. obliquatum* [**Pl. 4 : 3**], et des débris coquilliers ont été observés et récupérés. On peut également observer des bryozoaires ramifiés indéterminés.

Craie blanche un peu indurée composée de grains de glauconie de petite taille, de grains de muscovite plus petits que les grains de glauconie, et de grains de quartz de petite taille assez anguleux.

**18** – (50 cm) : Craie glauconieuse, blanche/verte sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//2 ou 7//2 une fois séchée. De nombreux terriers glauconieux et siliceux sont visibles en relief dans la couche, cette dernière est fossilifère et contient de rares crinoïdes : des Crinoidea indéterminés, et des Comatulida indéterminés [**Pl. 7 : 3**]. Des ossicules d'astérides [**Pl. 7 : 4**] ainsi que des bivalves furent également retrouvés dans cette couche comme *A. obliquatum* [**Pl. 4 : 4**] et des débris coquilliers.

Craie blanche/jaune fine composée d'assez fréquents grains de glauconie de petite taille, d'assez fréquents grains de muscovite plus petits que les grains de glauconie, et de petits grains laiteux de quartz assez fréquent, émoussés pour certains et anguleux pour d'autres.

L'altitude de cette couche rend l'accès et la recherche de fossiles difficile.

**19** – (25 cm) : Craie indurée, blanche sur le terrain et selon la charte de nuances de couleurs (**Annexe 6**) Munsell 10YR 8//2 une fois séchée. Des fossiles ont été observés, mais pas récupérés car trop compliqués d'accès, tel que des bivalves et débris coquilliers, ainsi que des oursins et des brachiopodes.

Craie blanche/jaune indurée composée de fréquents grains de glauconie de petite taille, de rares grains de muscovite plus petits que la glauconie, et de fréquents grains laiteux ou brillants de quartz plus grands que les autres grains.

A partir de la couche 20, il n'est plus possible de récupérer des sédiments ou des fossiles, car l'accès aux couches devient complexe et dangereux. Il est cependant possible d'observer des fossiles à la surface de la couche 20. A partir de la couche 21 à 28, il n'a plus été possible d'avoir accès aux couches, car l'accès était trop dangereux, alors seules les informations lithologiques observables sur le terrain ont pu être obtenues.

**20** – (40 cm) : Craie indurée, blanche sur le terrain ; des fossiles ont été observés, mais elle se situe trop haut ce qui empêche de connaître avec précision le contenu fossilifère : bivalves, dont débris coquilliers, oursins.

**21** – (70 cm) : Craie blanche contenant de nombreux blocs siliceux éparses.

**22** – (20 cm) : Niveau à blocs siliceux discontinus avec de la craie blanche entre les blocs.

**23** – (25 cm) : Craie glauconieuse blanche.

**24** – (15-20 cm) : Niveau à blocs siliceux plus continus que le niveau 22 avec de la craie blanche entre les blocs.

**25** – (30 cm) : Craie jaune/orangé tendre.

**26** – (20 cm) : Niveau à blocs siliceux plus continus que le niveau 22 avec de la craie blanche entre les blocs.

**27** – (1,20 m) : Craie blanche contenant un gros silex isolé, un crustacé dans un terrier provient potentiellement de ces niveaux (fossile récupéré par Damien Gendry).

**28** – (estimé à 1,50 m) : Argiles de décalcification marron.

De nombreux fossiles ont été récupérés dans les éboulis ou dans de petits blocs éboulés impossible à replacer dans la stratigraphie. Un fragment de Turrilitidae indéterminé [Pl. 6 : 3] phosphaté pouvant être rapproché des genres *Turrilites* (Lamarck, 1801) ou *Mariella* (Nowack, 1916) a été retrouvé. L'identification s'est basée sur la présence d'un replat qui se serait formé par l'enroulement des tours supérieurs. Un fragment phosphaté d'*Hyphoplites* sp. [Pl. 6 : 4] à également pu être trouvé et est reconnaissable par les côtes distinctives. Un fragment phosphaté de *Schloenbachia varians* (J. Sowerby, 1817) [Pl. 6 : 5] a également été retrouvé. Plusieurs fossiles de bivalves ont été récupérés, identifiés comme des *Inoceramus crippei* (Mantell, 1822) [Pl. 3 : 1], caractérisés par des stries de croissances régulières et un axe de croissance oblique donnant à la coquille une apparence sub-rectangulaire (Cleevely & Morris, 2002). Un échinide, *Catopygus colombarius* (Lambert, 1905) [Pl. 8 : 6] complet fut également retrouvé, ainsi qu'un brachiopode *Cyclothyris difformis* (Valenciennes, 1819) [Pl. 2 : 3].

### **4.3. Inventaire des groupes fossiles importants du Cénomaniens des Vaches noires :**

Identifier, inventorier, et présenter en détail l'entière de la faune fossile découverte dans la craie Cénomaniens des Falaises des Vaches noires est une tâche titanesque pouvant être le sujet de nombreuses études. Pour la réalisation de cet inventaire, il fut utilisé les fossiles prêtés par Damien Gendry (collection Bara & Gendry) et qui n'ont pas été trouvés sur les affleurements étudiés. Ainsi, tous les fossiles de cet inventaire proviennent des blocs de craies qui ont chuté jusqu'à la plage.

#### **A. Embranchement des Porifera (Grant, 1836) :**

Les spongiaires sont des animaux très particuliers, secrétant dans leurs corps un squelette minéral généralement en forme de spicules pouvant être isolés ou fusionnés en un squelette composé, ou encore imbriqués dans un squelette non-spiculaire (Wood, 2002). Les dernières études sur ce groupe en Normandie ont été entreprise par Termier & Termier (1985) et Termier (1990). Dans le Cénomaniens des Falaises des Vaches noires, les éponges sont extrêmement communes et on peut les retrouver facilement sur la plage. Les genres suivants ont pu être identifiés : *Siphonia* sp. et *Siphonia decipiens* (Decipens, 1861), *Ventriculites* sp., *Tremacystia dorbignyi*, *Plocoscyphia* sp., *Chendonopora* sp. [Pl. 1 : 1-5].

#### **B. Embranchement des Anthozoa (Ahrenberg, 1834) :**

Très peu d'anthozoaires ont été retrouvés dans le Cénomaniens des Vaches noires, trois sont conservés aux réserves du musée du Paléospace, et quelques anthozoaires provenant de la collection Bara & Gendry peuvent être notés.

#### **C. Serpules**

Les serpules sont les restes de tubes secrétés par des annélides polychètes généralement visibles sur les coquilles de brachiopodes ou bivalves (Gendry, 2013). Les serpules du Cénomaniens sont assez courantes, mais il est difficile de bien les identifier. Les

serpules présentes dans les collections Bara & Gendry sont des tubes de carbonate à l'extérieur lisse avec une section bien ronde laissant penser au genre ?*Cycloserpula* ou ? *Cementula*.

#### **D. Embranchement des Bryozoa (Ehrenberg, 1831) :**

Les bryozoaires sont des organismes coloniaux très diversifiés et dont les formes sont multiples. Leur identification est particulièrement complexe entre autres, à cause, de descriptions originelles non adéquates et à des concepts de genres incertains (Taylor, 2002). Dans le Cénomaniens des Falaises des Vaches noires, de nombreux bryozoaires ont pu être récoltés et stockés, la collection Bara & Gendry en comporte un grand nombre. Les bryozoaires présentent des formes encroûtantes, ramifiées, en « bouton » [PI. 1 : 6-8].

#### **E. Embranchement des Brachiopoda (Duméril, 1806) :**

Les brachiopodes sont des animaux à coquille composée de deux valves, ancrés au sol par un pédoncule. La distribution des différents brachiopodes dépend de l'environnement, notamment de la bathymétrie, de la turbidité, de l'intensité des courants, et de la nature du substrat (Gaspard, 2014). Dans le Cénomaniens des Falaises des Vaches noires, les brachiopodes ne sont pas particulièrement rares. Les brachiopodes retrouvés disposent de leurs deux valves mais, certains sont désarticulés. Les différents brachiopodes retrouvés sont : *Praelongithyris fecampi* [PI. 2 : 5, 6] qui présente des variations nettes de largeurs de coquilles, *Cyclothyris* sp., *Cyclothyris difformis* (Valenciennes in Lamarck, 1919) [PI. 2 : 3, 4] présente également des variations intra-spécifiques, particulièrement importantes (Gaspard 1991 cité par Hoyez *et al.*, 2020), *Grasirhynchia grasiana* (d'Orbigny, 1849) [PI. 2 : 2].

#### **F. Classe des Bivalvia (Linnaeus, 1758) :**

Les identifications des bivalves jusqu'à la famille sont relativement aisées, mais jusqu'au genre complexes. Les identifications à l'espèce peuvent être particulièrement compliquées selon les spécimens (principalement dans le sous-ordre, des Ostreina ou les huîtres fossiles). Dans la craie cénomaniens, les bivalves sont très communs et de nombreux genres peuvent être identifiés : notamment des Pectinoidea (Wilkes, 1810) avec des *Spondylidae* indéterminés, de grosses *M. aspera* [PI. 3 : 6], des ?*Chlamys subacuta* (Lamarck, 1819) [PI. 3 : 8], et des *Neithea avatus* (Roemer, 1839) [PI. 3 : 6]. Des Limidae (Rafinesque, 1815) avec *Acesta clypeiformis* (d'Orbigny, 1847) [PI. 4 : 1]. Des Mytilidae (Rafinesque, 1815) avec des Mytilidae indéterminés [PI. 4 : 10], des *Septifer* indéterminés, et des *Septifer lineatus* (Sowerby, 1836) [PI. 4 : 9]. Des Inoceramidae (Giebel, 1852) particulièrement intéressantes avec *Inoceramus virgatus scalprum* (Böhm, 1914) [PI. 3 : 2], et *Inoceramus pictus* (Sowerby, 1829) [PI. 3 : 3], enfin des Ostreoidea (Rafinesque, 1815) avec *Rastellum carinatum* (Lamarck, 1806) [PI. 4 : 2].

#### **G. Classe des Gastropoda (Cuvier, 1797) :**

Les gastéropodes venant du Cénomaniens des Falaises des Vaches noires sont mal conservés. Les coquilles ne sont presque jamais présentes et seul reste un moule interne. Ceci rend leur identification particulièrement ardue. Les rares gastéropodes montrés dans cet inventaire correspondent à des Gastropoda indéterminés [PI. 5 : 2], ou à ?*Pleurotomaria mailleana* (d'Orbigny, 1843) [PI. 5 : 1].

#### **H. Classe des Cephalopoda (Cuvier, 1797) :**

Dans le Cénomaniens des Falaises des Vaches noires, les céphalopodes sont représentés par 2 ordres caractérisés par leurs coquilles aragonitiques : les Ammonitida (Hyatt, 1889) et

les Nautilida (Agassiz, 1847). Dans le Cénomaniens des Falaises des Vaches noires, les ammonites et les nautilus sont particulièrement mal conservés, leurs coquilles d'aragonite ayant disparu pour quasiment tous les fossiles ne laissant que des moules en craie peu satisfaisants, ou des fossiles phosphatés fragiles et souvent disloqués, mais mieux conservés. Pour les ammonites, on peut identifier des *Mantelliceras* sp. [Pl. 6 : 2] genre très important lors du Cénomaniens ainsi que des *Schloenbachia varians* (Sowerby, 1817) [Pl. 6 : 5]. Pour les nautilus, on peut identifier des *Pseudonoceras* sp. [Pl. 6 : 6].

#### **I. Embranchement des Arthropoda (Gravenhorst, 1843) :**

Les Crustacea (Brünnich, 1772) sont les seuls arthropodes retrouvés dans le Cénomaniens des Falaises des Vaches noires, et leur présence dans la craie est connue depuis longtemps (Gendry, 2020). Cependant, les crustacés n'ont été retrouvés qu'en restes fragmentaires de petite taille [Pl. 5 : 3-5] ce qui n'a pas permis une identification satisfaisante.

#### **J. Embranchement des Echinodermata (Bruguière, 1791) :**

Dans le Cénomaniens des Falaises des Vaches noires, les échinodermes sont représentés par trois classes : les Crinoidea (Miller, 1821) qui sont peu courants, les Asteroidea (Blainville, 1830) qui sont plus courants mais toujours disloqués, et enfin les Echinoidea (Leske, 1778) qui sont les plus communs. Les crinoïdes sont représentés majoritairement par le genre *?Balanocrinus* (Agassiz, 1847) [Pl. 7 : 1, 2] dont on retrouve les entroques assez rarement. Pour les astérides, on retrouve de rares ossicules isolés [Pl. 7 : 4]. Les échinides sont représentés à la fois par les radioles, mais majoritairement par les tests dont l'état de conservation est très variable. Étant l'un des groupes les plus communs dans le Cénomaniens des Vaches noires, on retrouve une grande diversité d'échinides réguliers qui sont plutôt rares : des Cidaroida (Smith 1984) avec *Hirudocidaris ?vesiculosa* (Goldfuss, 1826) [Pl. 7 : 6, 7], des Saleniidae (Agassiz 1838) avec *?Hyposalenia clathrata* (Woodward, 1856) [Pl. 7 : 9] dont l'identification est incertaine à cause de la craie encroûtant le fossile, des Echinacea (Claus, 1876) avec *Cottaldia benettiae* (Koenig, 1820) [Pl. 7 : 10], des Zeuglopleuridae (Lewis, 1986) avec *Echinocyphus rotatus* (Cotteau, 1865) [Pl. 7 : 11], des Emiratiidae (Ali, 1990) avec *Tiaromma michelini* (Agassiz & Desor, 1846) [Pl. 8 : 2] et *Polydiadema bonei* (Woodward, 1856) [Pl. 8 : 3], des Orthopsidae (Duncan, 1889) avec *?Orthopsis miliaris* (d'Archiac, 1835) [Pl. 8 : 4]. On retrouve également de très nombreux échinides irréguliers : des Spatangoida (Agassiz, 1840) avec *?Pliotoxaster* sp. [Pl. 9 : 2], des Holasteridae (Pictet, 1857) avec *Holaster gregori* (Lambert in Valette, 1913) [Pl. 9 : 1] mais également des Holasteridae non identifiables, enfin les *Hemiaster* (Agassiz & Desor, 1847) sont particulièrement communs avec *H. bufo* [Pl. 9 : 3] particulièrement abondant.

#### **K. Classe des Chondrichthyes (Huxley, 1880) :**

Les chondrichthyens rassemblent les Selachimorpha (Nelson, 1984) ou requins, les Rajomorphii (Compagno, 1973) ou raies et les Holocephali (Bonaparte, 1832) ou chimères. Dotés d'un squelette cartilagineux, on ne retrouve aux Falaises des Vaches noires que les dents qui se fossilisent bien. Bien que les dents soient les restes privilégiés pour l'identification des différentes espèces, elles peuvent pour une même espèce être différentes selon leur position dans la mâchoire. Cette différence peut être minime (des dents plus petites/écrasées) ou bien très importante (forme complètement différente), ce qui peut rendre leur identification assez complexe. Les Rajomorphii sont particulièrement rares, on retrouve le genre *Turoniabatis* (Landemaine, 1991) [Pl. 11 : 2], ainsi que des boucles (épines dorsales hypertrophiés) de Rajomorphii indéterminés [Pl. 11 : 3]. Les Holocephali sont également particulièrement rares. Seul le genre *Edaphodon* (Buckland, 1838) [Pl. 11 : 1] a été repéré. Les Selachimorpha sont bien plus courants dans la craie cénomaniens, de nombreuses familles



de Lamniformes (Berg, 1958) ont été trouvées dans les blocs de craies comme des *Cretoxyrhinidae* (Glickman, 1958) avec *Cretoxyrhina mantelli* (Agassiz, 1843) [Pl. 10 : 1], *Creodus semiplicatus* (Agassiz, 1843) [Pl. 10 : 2], *Protolamna ?compressidens* (Herman, 1977) [Pl. 10 : 3] et *Cretoamna appendiculata* (Agassiz, 1843) [Pl. 10 : 4, 5]. Des Anacoracidae (Casier 1947) avec *Squalicorax* sp. [Pl. 10 : 6, 7]. Des genres un peu douteux sont également présents comme *Dwardius woodwardi* (Hermann, 1977) [Pl. 10 : 8] et *Scyliorhinus* sp. [Pl. 10 : 9]. L'ordre des Lamniformes n'est pas le seul présent, on retrouve des requins de l'ordre des Hybodontiformes (Patterson, 1966) avec les genre *Hybodus* (Agassiz, 1837) [Pl. 10 : 13], et *Heterodontus* (Blainville, 1816) [Pl. 10 : 11, 12].

#### **L. Classe des Osteichthytes ? (Huxley, 1880) :**

Les ostéichthyens, ou poissons osseux sont rares dans le Cénomaniens des Falaises des Vaches noires. Les restes fossiles sont désarticulés et isolés, et sont principalement des dents, des écailles, ou des fragments osseux comme des vertèbres dont l'identification est particulièrement complexe et incertaine. Dans la craie cénomaniens, on retrouve des dents de *?Stephanodus* (Zittel, 1883) [Pl. 11 : 4], des dents d'*Enchodus* (Agassiz, 1835) [Pl. 11 : 5], des dents de Pycnodontiformes (Berg, 1937) [Pl. 11 : 6] et des vertèbres indéterminées [Pl. 11 : 7].

#### **M. Classe des Sauropsida (Huxley, 1864) :**

Très peu de fossiles de sauropsides ont été retrouvés dans le Cénomaniens des Vaches noires. Quelques restes d'Ichtyosaures (un fragment de rostre et un pariétal gauche) ont été découverts et attribués au genre *Platypterygius* (Von Huene, 1922) (Blain *et al.*, 2003). La collection Bara & Gendry délivre un apex de dent de *Crocodylomorpha* indéterminés [Pl. 11 : 8], ainsi qu'un os indéterminé [Pl. 11 : 9].

## **5. Discussion :**

### **5.1. Observations des variations :**

Les affleurements étudiés livrent de nombreuses couches de craies montrant des variations de couleurs, mais également des variations paléontologiques et lithologiques. Les couches les plus basales sont de couleurs vert/bleu sombre et s'éclaircissent vers le sommet de la couche 3. Par la suite, les couches sont uniquement blanches à l'exception de trois : les couches 9, 11 et 25 étant de couleur orangé et jaune. La variation de couleurs d'un vert/bleu sombre vers le blanc peut être mis en corrélation avec l'appauvrissement progressif mais rapide en glauconie des différentes couches du site, alors que les couleurs orangé et jaunes seraient elles peut-être dues à de l'altération. Peu de couches sont fossilifères et seules les couches 14 à 20 contiennent une bonne quantité de fossiles alors que les couches inférieures ne présentent que des *Thalassinoides*, des débris coquilliers, des spongiaires et de rares bryozoaires. Cette différence de contenu fossilifère bien que nettement visible sur le terrain, est accentuée par un biais de collecte. En effet, plusieurs blocs éboulés au niveau du premier site étudié ont permis une collecte simplifiée et plus rapide. Ces blocs sont corrélables aux couches 14 à 18 de l'affleurement grâce à la présence de plusieurs niveaux repères à *Thalassinoides* visibles en relief également observables sur le pan de falaise (couches 15 et 18). Les variations lithologiques se traduisent non pas par des changements de nature de la roche, mais par une variation des éléments « annexes » tels que la glauconie qui devient de plus en plus rare dans les couches, la muscovite qui est présente dans toutes les couches (sauf la couche 16) en quantité variable. On observe également l'apparition et la disparition du

quartz, qui, selon les couches, peut être anguleux, sub-anguleux voire émoussé, traduisant le temps de transport de façon qualitative (très peu de transports, peu de transports, transport plus important). Enfin, aucune figure sédimentaire n'a pu être observée. Cependant certains niveaux (couches 15, 18 et 20) présentent une bioturbation importante composée de réseaux de terriers et galeries remplis de craie glauconieuse et siliceuse, plus résistantes à l'érosion. Ces couches seraient des hard-grounds.

## 5.2. Corrélations avec les études précédentes :

Les hard-grounds sont particulièrement utiles, car leur occurrence permet de corréler les différents sites. En effet, c'est grâce aux trois hard-grounds qu'il a été possible de replacer précisément le deuxième affleurement étudié. Ces trois hard-grounds ont pu être suivis sur divers affleurements (dont le deuxième affleurement étudié) sur 600 mètres vers l'ouest. Cependant, une végétalisation trop importante n'a pas permis d'arriver jusqu'à l'affleurement à l'origine de la coupe de Juignet en 1974 qui se situe à 800 mètres à l'ouest des sites étudiés dans cette étude (**Annexe 2**). Présentant un affleurement de calcaires et de craies beiges, Juignet (1974) identifie six hard-grounds différents, répartis en deux faisceaux : les hard-grounds « Villers » et les hard-grounds « Crouttes » (**Annexe 7**). Les hard-grounds « Villers » sont très rapprochés, compacts (environ 50 cm) et constitués de calcaires noduleux coquilliers et bioturbés avec un réseau de terriers et de galeries remplis de craie glauconieuse, de quelques spongiaires silicifiés, ainsi que d'une surface d'érosion plane au sommet. Les hard-grounds « Crouttes » sont situés plusieurs mètres au-dessus des hard-grounds « Villers », ils sont bien plus espacés entre eux et de taille plus importantes, presque métriques (environ 80 cm). Ces hard-grounds correspondent à des calcaires noduleux traversés par un réseau de terriers et de galeries remplis de craie glauconieuse et disposant d'une surface d'érosion plane au sommet. Les hard-grounds visibles sur les sites étudiés sont très rapprochés, d'épaisseurs pluri-décimétriques (environ 50 cm) et comportant également un réseau de terriers et galeries remplis de craie glauconieuse. Malgré le manque d'une surface d'érosion plane qui n'a pas pu être observée sur le terrain à cause de la qualité des affleurements et des blocs éboulés qui n'étaient pas suffisante. Il est possible de rattacher les hard-grounds des affleurements étudiés aux hard-grounds « Villers » par leurs taille, proximité et position (bien en dessous des hard-grounds « Crouttes »).

Ainsi, il est possible de corréler les deux coupes stratigraphiques. Le sommet de notre coupe (hors argiles de décalcification) correspondrait alors à la base du niveau 15 de la coupe de Juignet (Craie beige glauconieuse, avec structures noduleuses éparses) (**Annexe 7**). Alors que la base de notre coupe (sommet de la couche 1) correspondrait à la partie inférieure du niveau 4 de la coupe de Juignet (Craie glauconieuse, jaune ou gris clair, pulvérulente, avec silex gris, épars, et quelques nodules calcaires) (**Annexe 7**). On peut observer plusieurs différences entre les coupes, notamment la présence dans notre coupe de deux niveaux silicifiés particulièrement grands (40 et 15 cm) qui ne sont pas présents sur la coupe de Juignet, mais également des similitudes avec les couches les plus fossilifères aux alentours des hard-grounds « Villers ». Ainsi, on peut supposer l'existence des variations latérales de faciès entre les deux coupes éloignés de 800 mètres.

Dans la région du Havre, les falaises sont composées presque entièrement de craie, il est alors particulièrement intéressant d'essayer de corréler notre coupe stratigraphique à celles d'Hoyez *et al.* (2020) afin de mettre en relation deux régions éloignées d'environ 20 km. Cependant, la région havraise montre d'importantes variations latérales de faciès avec notamment l'apparition, l'épaississement, l'amincissement, et la disparition de plusieurs hard-grounds rendant impossible une corrélation basée sur les hard-grounds (Hoyez *et al.*, 2020).

Afin de pouvoir corréler les coupes du Havre et de Villers, il faut donc se baser sur un

événement ou une structure visible sur de nombreux affleurements. Un niveau intéressant pour cette corrélation est un niveau de glauconitite supérieur riche en débris d'inocérames et plus particulièrement d'*I. crippsi* (**Annexe 8**). Ce niveau correspond au « *Inoceramus crippsi* Event » qui est un des nombreux paléoenvironnements particulièrement intéressants permettant des corrélations dans et entre les bassins sédimentaires crétacés (Kauffman & Hart, 1995). Le « *crippsi* Event » est visible sous la forme de niveaux d'accumulation d'*I. crippsi* pouvant être métriques ou pluri-métriques et correspondant à des booms de populations ou à des accumulations de coquilles par les tempêtes (Wilmsen, 2012 ; Wilmsen *et al.*, 2020). Malgré la présence d'*I. crippsi* dans les sites étudiés, il n'a pas été possible de repérer un tel niveau dans la coupe de Villers, ce qui rend les corrélations complexes, mais cela laisse penser que les affleurements étudiés correspondent à la partie basale de la coupe havraise et plus précisément la séquence Ce1 et probablement la base de la séquence Ce2 (**Annexe 8**).

### 5.3. Datation des sites étudiés :

Avant de pouvoir reconstruire le paléoenvironnement des Falaises des Vaches noires, il nous faut replacer les affleurements étudiés dans le temps. Le fait d'avoir réussi à corréler les sites étudiés avec la coupe de Juignet (1974) permet de replacer les sites dans le Cénomanién inférieur. Ainsi, selon l'échelle biostratigraphique résultant des travaux de Guiller (1886), de Grossouvre (1901), Hancock (1960), Juignet (1974, 1977, 1978), Juignet *et al.* (1973, 1978, 1984), Kennedy & Juignet (1973, 1977, 1983, 1984, 1993), Kennedy *et al.* (1986) et Robaszynski *et al.* (1998), les marqueurs biostratigraphiques présents devraient être :

*M. mantelli*, *Hypoturrillites carcitanensis* (Matheron, 1842), *M. saxbii* ou encore *M. dixonii*. De tels marqueurs ont été retrouvés sur la plage des falaises. Cependant, les ammonites retrouvées sur les sites ne sont pas suffisamment bien préservées pour permettre une identification fiable permettant de replacer les affleurements dans le temps. Cependant, les ammonites ne sont pas les seuls outils biostratigraphiques utilisables. En effet, la famille des Inoceramidae et plus particulièrement le genre *Inoceramus* grâce à leur distribution biogéographique et les variations notables de leurs coquilles, ferait un outil biostratigraphique remarquable permettant la réalisation d'une échelle biostratigraphique complémentaire à celle des ammonites (**figure 4**) (Dhondt cité dans Cleavelly & Morris, 2002 ; Wilmsen, 2012). Dans les blocs éboulés, des affleurement ont pu être récupérés des *I. crippsi* dont la biozone correspond à celle des *M. mantelli* du Cénomanién inférieur.

Ma	stage	Substage	Biostratigraphie (Macrofossiles)	
			Zonations à ammonites	Zonation régional à <i>Inoceramus</i>
94-99	Supérieur		<i>Neocardiocears juddii</i>	<i>Inoceramus pictus bohemicus</i>
			<i>Metoicoceras geslinianum</i>	
			<i>Calycoceras (Proeucalyco-ceras) guerangeni</i>	<i>Inoceramus pictus pictus</i>
	Moyen		<i>Acanthoceras jukesbrowni</i>	" <i>Inoceramus</i> " <i>atlanticus</i>
		<i>Acanthoceras rhotomagense</i>	<i>Turril. acutus</i>	<i>Inoceramus schoendorfi</i>
			<i>Turrillites costatus</i>	
			<i>Cunningtoniceras inerme</i>	
	Inférieur	<i>Mantelliceras dixonii</i>	<i>Mesoturrillites boerssumensis</i>	<i>Inoceramus virgatus</i>
			<i>Mantelliceras dixonii</i> et <i>Mantelliceras saxbii</i>	
		<i>Mantelliceras mantelli</i>	<i>Mantelliceras saxbii</i>	<i>"Inoceramus" crippsi</i>
<i>Sharpeiceras schlueteri</i>				
<i>Neostlingoceras carcitanense</i>				
100	Albien		<i>Stoliczka dispar</i>	<i>Inoceramus ex gr. anglicus</i>

Figure 4 : Echelle biostratigraphique des ammonites et des inocérames du Cénomaniens du nord-ouest de l'Europe (modifiée de Wilmsen 2012).

#### **5.4. Interprétation paléoenvironnementale des sites étudiés :**

Le travail de reconstruction paléoenvironnemental du Cénomaniens inférieur des Falaises des Vaches noires peut se diviser en trois grandes parties : une première sédimentaire portant sur la lithologie des couches. Une deuxième paléontologique portant sur les fossiles et ichnofossiles découverts sur les sites. Sera donnée ensuite une reconstruction globale du paléoenvironnement pour ces sites.

La craie qui compose les affleurements étudiés comporte plusieurs éléments lithologiques intéressants : les minéraux « annexes », les silex et les hard-grounds. Les minéraux annexes comprennent la glauconie, le quartz, la muscovite et la biotite dans des quantités variables. La glauconie est un minéral sombre/vert sombre constitué de fer et de potassium d'origine diagénétique (Lopez-Quiros *et al.*, 2019). Ce minéral se forme dans les milieux réducteurs et est caractéristique d'une diagenèse précoce (Lasseur, 2007) lorsqu'elle est authigène (formée dans le sédiment). La glauconie présente dans la craie des affleurements étudiés ne semble pas présenter de signe de transport (pas de lissage) ni de granuloclassement évident ce qui laisse penser que la glauconie s'est formée dans le sédiment. Ainsi, l'appauvrissement progressif en glauconie de la craie serait dû à un appauvrissement progressif des sédiments en fer et/ou potassium. La muscovite et la biotite sont des minéraux argileux caractéristiques d'apports détritiques terrigènes résultant entre autres de l'érosion des roches continentales. Ainsi, la variation dans leur abondance relative peut indiquer une hausse du niveau de la mer ce qui rendrait les apports terrigènes moindres et plus diffus. La dissolution de la muscovite et de la biotite dans l'eau en milieu réducteur va faciliter la formation de la glauconie (Lopez-Quiros *et al.*, 2019). Le quartz est aussi un élément principal des apports terrigène, sa présence va indiquer la présence d'hydrodynamisme pouvant déplacer des grains de granulométrie très fine, et leurs formes va également permettre de déterminer qualitativement le temps de transport du quartz. En effet, les quartz ne se dissolvent pas dans l'eau, ils vont s'entre-choquer avec d'autres particules/grains/éléments présents dans l'eau et vont s'arrondir avec le transport. Ainsi, un quartz anguleux traduit un temps de transport minimal alors qu'un grain de quartz émoussé indique un temps de transport relativement important.



Dans la craie, les silex occupent une place importante et sont formés dans les sédiments partiellement anoxiques contenant des bactéries sulfato-réductrices qui, en dégradant la matière organique vont produire des sulfures dissous qui, une fois à la frontière Redox (interface entre la boue anoxique et la boue oxygénée) vont entraîner des réactions chimiques remplaçant la calcite par de la silice pour former des silex (Aliyu, 2016).

Aucune figure sédimentaire n'a pu être observée sur les deux sites étudiés. Cependant trois hard-grounds ont pu être observés. Ces indicateurs d'arrêts de sédimentation sont souvent associés à des domaines distaux recevant très peu d'apports terrigène durant des phases transgressives (Lasseur, 2007). Cependant, cette interprétation entre en contradiction avec la formation de craie résultant de la sécrétion de coccolithes. Une seconde interprétation est possible : une augmentation de l'hydrodynamisme du milieu suite à une régression du niveau marin entraînant la mobilisation des coccolithes en décantation et provoquant ainsi un arrêt de la sédimentation (Lasseur 2007). Cependant, une telle augmentation de l'hydrodynamisme permettrait la mise en place de couche plus sableuse non-présentes sur le terrain. Les hard-grounds seraient alors juste des témoins d'arrêt de sédimentation.

Les fossiles livrés par les affleurements sont dans des états variables, les bivalves ne sont retrouvés qu'avec une seule valve, parfois brisée parfois complète. Les brachiopodes sont retrouvés en majorité avec les deux valves. Les échinides sont représentés majoritairement par leurs tests souvent brisés, les radioles sont rares. La couronne des dents de requins est en plutôt bon état alors que la racine est souvent brisée ou détruite. Tout cela fait penser à la présence d'un hydrodynamisme relativement conséquent. Les fossiles retrouvés sur les sites nous apportent de nombreuses informations paléoenvironnementales. La présence de bivalves aplatis tels que *I. crippei*, *M. aspera*, ou encore *N. quinquecostata* qui disposent d'une valve plate, laisse penser que le fond marin devait être plutôt mou (Sälgeback, 2006). Cette hypothèse est renforcée par la relative abondance de l'échinide *H. bufo* ainsi que la présence de *T. variolare*, tous deux caractéristiques de vasières carbonatées (Néraudeau & Moreau, 1989). Les brachiopodes présents sont lisses comme *P. fecampi* ou finement costulés pour les Rhynchonnelida indéterminés, cette faible costulation est indicatrice d'environnements calmes et profonds (Gaspard, 2014). La présence d'un grand nombre d'organismes épibenthiques (*I. crippei*, *M. aspera*, *N. quinquecostata*,...) et endobenthiques (*H. bufo*) (Néraudeau & Moreau, 1989) ainsi que de nombreux bryozoaires indique une eau de fond bien oxygénée (Taylor, 2002). Enfin *H. bufo* indique également un climat tempéré (Néraudeau & Moreau, 1989).

Ainsi, lors du Cénomaniens inférieur, la craie s'est déposée en contexte d'abord très proximal, avec de forts apports détritiques dont la source devait être relativement proche (quartz anguleux), ces forts apports facilitant la formation de la glauconie (Lopez-Quiros *et al.*, 2019). Au fil du temps, le niveau de la mer a monté résultant en une baisse des apports détritiques et un appauvrissement en glauconie (couche 1 à 3). Ensuite, se met en place une vasière peu profonde relativement calme avec peu d'apports détritiques terrigènes. Il est cependant compliqué de reconstruire le paléoenvironnement de cette période (couches 4 à 9 et 11) à cause de l'absence de fossiles potentiellement causée par le remplacement de la calcite par la silice. Cette hypothèse est appuyée par la présence de *Thalassinoides* siliceux (couches 5 et 6) et de silex (couche 7, interface couche 8 et 9). Ensuite, deux couches (10 et 12) particulières sont complexes à interpréter en termes de paléoenvironnement, car les couches sont complètement silicifiées. L'environnement était alors particulièrement propice à la formation et au développement des silex. Ensuite, une vasière identique à celle présente lors du dépôt des couches 5 et 6 avec une forte productivité et un fort taux de remplacement de la calcite par la silice se remet en place cela est appuyé par la présence de *Thalassinoides* et de spongiaires silicifiés. Par la suite, l'environnement reste une vasière peu profonde, calme, en climat tempéré, avec des eaux de fonds particulièrement bien oxygénées ce qui a dû

repousser la frontière Redox vers le bas empêchant la formation de silex et permettant la conservation de fossiles. La tendance transgressive qui était jusqu'alors continue (avec probablement des périodes moins transgressives) s'arrête et enregistre trois tendances régressives sous la forme des trois hard-grounds « Villers ». Il n'est cependant pas possible de reconstruire précisément le paléoenvironnement des couches 21 à 27. La tendance transgressive se remet en place et on retrouve plusieurs périodes à forte productivité (couches 22, 24, et 26).

Plusieurs éléments observés sur le terrain restent incompris, notamment la couleur orangé et jaune des couches 9,11 et 25, ainsi que la silification globale des couches 10 et 12.

### **5.5. Interprétation globale de l'inventaire :**

L'inventaire réalisé grâce aux fossiles de la collection Bara & Gendry a permis de mettre en lumière une richesse faunique qui n'est pas visible sur les affleurements étudiés. En effet, de nombreux échinides réguliers ont été retrouvés, dont certains indicateurs d'un tout autre environnement que celui indiqué par la faune des affleurements étudiés, notamment *Polydiadema bonei* caractéristique de boues carbonatées périrécifales (Néraudeau & Moreau, 1989) et du genre *Tiaromma* plus présent dans les environnement périrécifaux (Néraudeau & Moreau, 1989). La présence de brachiopodes à costulations plus importante tels que *C. difformis*, indique également des milieux plus proximaux et plus énergétiques. Ainsi, cet inventaire montre la présence d'une multitude d'environnements d'un même âge, ce qui se traduit sur le terrain par des variations latérales de faciès particulièrement importantes. De plus, l'inventaire montre la présence de fossiles ne provenant pas du Cénomaniens inférieur avec *I. pictus*, un inocérame typique du Cénomaniens moyen à supérieur, indiquant la présence de craie plus récente que la formation de la Craie glauconieuse.

### **6. Conclusion :**

La série sédimentaire crétacée qui compose le sommet des Falaises des Vaches noires est moins connue que la série sédimentaire jurassique, bien qu'elle livre une faune impressionnante. Cette même faune nous permet de reconstruire plusieurs environnements différents : vasière peu profonde et calme, vasière périrécifale plus agité, et même de supposer la présence de Cénomaniens moyen. Cela montre qu'il reste encore à apprendre sur cette partie chaotique qu'est le sommet des Falaises des Vaches noires. Les éléments lithologiques comme la glauconie et les silex de la craie cénomaniens restent encore méconnus, autant leur formation, que l'origine de la silice qui les compose. De futures études portant sur les microfossiles pourraient apporter des informations paléoenvironnementales supplémentaires et plus précises. Un travail d'inventaire reste encore nécessaire.

### **7. Bibliographie :**

- Aliyu, M.M. 2016. The Origin and Properties of Flints in the Upper Cretaceous Chalk. PhD thesis, University of Leeds, 267pp.
- Alméras, Y., Cougnon, M., Gendry, D. 2013. Les brachiopodes. Fossiles Revue Française de Paléontologie, Hors-série(4), 71-73.
- Bardet, N., Pannetier, G., Pannetier, E., Queromain, J. 1993. Présence du pliosaure *Liopleurodon ferox* sauvage dans le Callovien de Villers-sur-Mer (Normandie). Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des amis du Muséum du Havre, 80 (3-4), 11-14.
- Bardet, N. 2013. Les ichthyosaures et les pliosaures du Jurassique et du Crétacé des falaises des Vaches-Noires (Normandie, France). Fossiles Revue Française de Paléontologie, Hors-série (4), 98-104.
- Beaugrand, C. 1884. Le Cénomaniens de Villers-sur-Mer. Bulletin de la Société géologique de Normandie 9, 16-18.

- Blain, H-A., Pannetier, G., Pannetier, E. 2003. Présence du genre *Platypterygius* (Ichthyosauria, Reptilia) dans le Cénomaniens inférieur de Villers-sur-Mer (Normandie, France). *L'Echo des falaises* 7, 35-49.
- Breton, G., Maréchal, M., Clasby, P. 2005. Une ammonite d'âge aptien terminal-albien basal recueillie à Houlgate (Calvados, France). *Bulletin de la Société géologique de Normandie et des amis du Muséum du Havre* 91 (2), 75-76
- Brignon, A. 2020. Les premières découvertes de vertébrés jurassiques aux Vaches noires (Calvados, France). *Bulletin de l'Association paléontologique de Villers-sur-Mer* 2020, 7-40.
- Buffetaut, E. 2013. Deux siècles et demi de recherche scientifique aux Vaches Noires. *Fossiles Revue Française de Paléontologie, Hors-série* (4), 5-12.
- Caumont, A. 1828. Essai sur la topographie géognostique du département du Calvados. *Communiqué de la Société Linnéenne de Normandie*, 325pp.
- Cavin, L., Piuz, A., Ferrante, C., Guinot, G. 2021. Giant Mesozoic coelacanths (Osteichthyes, Actinistia reveal high body size disparity decoupled from taxic diversity. *Scientific Reports* 11 (11812), 13pp.
- Cleevely, R.J., Morris, N.J. 2002. *Introductions to molluscs and bivalves. Fossils of the Chalks* Second edition, revised and enlarged, 99-160.
- Courville, P. 2013. Huîtres, moules, escargots et autres mollusques. *Fossiles Revue Française de Paléontologie, Hors-série*(4), 69-71.
- Courville, P., Bonnot, A., Raynaud, D. 2013. Les Ammonites, princesses de Villers-sur-Mer. *Fossiles Revue Française de Paléontologie, Hors-série* (4), 34-66.
- De la Beche, H. 1822. On the geology of the coast of France, and of the inland country adjoining: from Fécamp, Département de la Seine-Inférieure, to St. Vaast, Département de la Manche. *Transactions of the Geological Society* (1), 73-89.
- Doré, F., Juignet, P., Larsonneur, C., Pareyn, C., Rioult, M. 1977. *Guides géologiques régionaux: Normandie*. Masson et cie, 1-190.
- Douvillé, R. 1904. Sur la coupe du Jurassique moyen de la plage de Villers-sur-Mer (Calvados). *Bulletin de la Société géologique de France* 4, 106-112.
- Dugué, O., Fily, G., Rioult, M. 1998. Le Jurassique des côtes du Calvados. *Bulletin trimestriel de la Société géologique de Normandie et des amis du Muséum du Havre* 85 (2), 3-132.
- Gaspard, D. 1991. Les cas de non-symétrie chez les rhynchonelles. Quelles(s) signification(s)? *Geobios*, 24 (1), 33-44.
- Gaspard, D. 2014. Noteworthy brachiopods of the Cenomanian stratotype: A synthesis of the biochronological, palaeoenvironmental and palaeoecological implications. *Geobios* 47 (6), 347-370.
- Gendry, D. 2020. Les crustacés fossiles : découvertes d'hier et d'aujourd'hui. *Bulletin de l'Association paléontologique de Villers-sur-Mer*, 2020, 73-86.
- Grossouvre, de A. 1901. Recherches sur la craie supérieur, part I, no.2, *Stratigraphie générale. Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France*, 561-1013.
- Guiller, A. 1886. *Géologie du département de la Sarthe*. Monnoyer, Le Mans. 430 pp.
- Hancock, J.M. 1960. Les ammonites du Cenomanien de la Sarthe. *Comptes Rendus du Congrès des Sociétés Savantes de Paris et des Départements*, 249-252.
- Hoyez, B., Girard, J., Cottard, N. 2020. Le Cénomaniens du littoral normand. *Carnets Geol.*, 225 pp.
- Juignet, P. 1974. La transgression crétacée sur la bordure orientale du Massif armoricain. Aptien, Albien, Cénomaniens de Normandie et du Maine. Le stratotype du Cénomaniens. Thèse doctorat, Université de Caen (1), 806 pp.
- Juignet, P. 1977. Ammonite faunas from the Cenomanian around Le Mans (Sarthe, France). *Special Paper of the Palaeontological Society of Japan* 21, 143-150.
- Juignet, P. 1978. Présentation du Crétacé Moyen dans l'ouest de la France. Remarques sur les stratotypes du Cénomaniens et du Turonien. *Annales du Muséum d'Histoire Naturelle de Nice* 4, 1-12.
- Juignet, P., Kennedy, W.J., Wright, C.W. 1973. La limite Cénomaniens-Turonien dans la région du Mans (Sarthe): stratigraphie et paléontologie. *Annales de Paléontologie (Invertébrés)* 59, 209-242.
- Juignet, P., Kennedy, W.J., Lebert, A. 1978. Le Cénomaniens du Maine : formations sédimentaires et faunes d'ammonites du stratotype. *Géologie Méditerranéenne*, 5, 87-100.
- Juignet, P., Damotte, R., Fauconnier, D., Kennedy, W.J., Magniez-Jannine, F., Monciardini, C., Odin, G.S. 1984. Étude de trois sondages dans la Sarthe (France). *Géologie de France* 3, 193-234.
- Kauffman, E.G., Hart, M.B. 1995. Cretaceous bi-events. *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*, 285-312.
- Kennedy, W.J., Juignet, P. 1973. Observations on the lithostratigraphy and ammonite succession across the Cenomanian - Turonian boundary in the environs of Le Mans (Sarthe, N.W. France). *News letter on Stratigraphy* 2, 189-202.
- Kennedy, W.J., Juignet, P. 1977. Ammonites diartianus d'Orbigny, 1850, Vascoceratidae du Cénomaniens Supérieur de Saint-Calais (Sarthe). *Geobios* 10, 583-588.
- Kennedy, W.J., Juignet, P. 1983. A revision of the ammonite faunas of the type Cenomanian, 1. Introduction, Ancyloceratina. *Cretaceous Research* 4, 3- 83.
- Kennedy, W.J., Juignet, P. 1984. A revision of the ammonite faunas of the type Cenomanian, 2. The families Binneyitidae, Desmoceratidae, Engonoceratidae, Placenticeratidae, Hoplitidae, Schloenba chiidae, Lyelliceratidae and Forbesiceratidae. *Cretaceous Research* 5, 93-161.

- Kennedy, W.J., Juignet, P. 1993. A revision of the ammonite faunas of the type Cenomanian, 4. Acanthoceratinaei Acompsoceras, Acanthoceras, Protacanthoceras, Cunningtoniceras and Thomelites). *Cretaceous Research* 14, 145-190.
- Kennedy, W.J., Wright, C.W., Juignet, P. 1986. A revision of the ammonite faunas of the type Cenomanian, 3. Mantelliceratinae. *Cretaceous Research* 7, 19-62.
- Lasseur, E. 2007. La Craie du Bassin de Paris (Cénomanien-Campanien, Crétacé supérieur). *Sédimentologie de faciès, stratigraphie séquentielle et géométrie 3D*. PhD Thesis, Université de Rennes 1, 409pp.
- Lebrun, P., Courville, P. 2013. Le Jurassique des falaises des Vaches-Noires. *Fossiles Revue Française de Paléontologie, Hors-série* (4), 16-28.
- Le Mort, J., Martin, J.E., Picot, L., Hua, S. 2020. First description of the most complete *Metriorhynchus* aff. *superciliosus* (Thalattosuchia) specimen from the Callovian of the Vaches-Noires cliffs (Normandy, France) and limitations in the classification of Metriorhynchidae. *Annales de Paléontologie* 108 (102539), 21pp.
- Lopez-Quiros, A., Carlota, E., Sánchez-Navas, A., Nieto, F., Garcia-Casco, A., Martin-Algarra, A., Evangelinos, D., Salabarnada, A. 2019. Glaucony authigenesis, maturity and alteration in the Weddell Sea: An indicator of paleoenvironmental conditions before the onset of Antarctic glaciation. *Scientific Reports* 9 (13580), 12pp.
- Montbrun, M. 1837. Sur des ossements d'Ichthyosaure trouvés dans la craie des Vaches Noires. *Séance publique de la Société linnéenne de Normandie*, 43.
- Monvoisin, E., Allain, R., Buffetaut, E., Picot, L. 2022. New data on the theropod diversity from the Middle to Late Jurassic of the Vaches Noires cliffs (Normandy, France). *Geodiversitas* 44 (12), 385-415.
- Morière, J. 1877. Découverte d'une tête incomplète de Saurien dans un bloc de craie tombé de la partie supérieure de la falaise située entre Auberville et Villers-sur-Mer. *Bulletin de la Société linnéenne de Normandie* 3 (1), 129.
- Néraudeau, D., Moreau, P. 1989. Paléoécologie et paléobiogéographie des faunes d'échinides du Cénomanien nord-aquitain (Charente-Maritime, France). *Geobios* 22 (3), 293-324.
- Plasse, M., Buffetaut, E. 2016. Une vertèbre dorsale de dinosaure théropode dans le Jurassique supérieur des Vaches Noires (Calvados, Normandie, France) et le problème des restes de dinosaures en milieu marin. *Bulletin Sciences et Géologie Normandes* 8, 5-13.
- Poisson, A. 1962. Contribution à la connaissance sédimentologique du Callovo-Oxfordien de Normandie et du Haut-Maine. *Bulletin de la Société géologique de France*, 4 (3), 405-412.
- Raspail, J. 1901. Contribution à l'étude de la falaise jurassique de Villers-sur-Mer. *Feuille Jeunes Naturalistes* (31), 125-126, 145-149, 169-172, 193-198.
- Rioult, M. 1978. Villers-sur-Mer, son site, ses falaises, sa plage, son musée. Éditeur Syndicat d'initiative de Villers-sur-Mer, imp. F. Le Rachinel, Saint-Lô, 32pp.
- Robaszynski, F., Gale, A.S., Juignet, P., Amedro, F., Hardenbol, J. 1998. Sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous series of the Anglo-Paris Basin: exemplified by the Cenomanian stage. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication* 60, 363-386.
- Roulland, T., Maquaire, O., Costa, S., Compain, V., Davidson, T., Medjkane, M. 2019. Dynamique des falaises des Vaches Noires : analyse diachronique historique et récente à l'aide de documents multi-sources (Normandie, France). *Géomorphologie* 25 (1), 37-55.
- Sälgeback, J. 2006. Functional Morphology of gastropods and bivalves. *Acta Universitatis Upsaliensis Uppsala*, 31pp.
- Taylor, P.D. 2002. *Bryozoans. Fossils of the Chalks* Second edition, revised and enlarged, 53-75.
- Termier, H., Termier, G. 1985. Les Spongiaires du Crétacé normand. *Bulletin de la Société Géologique de Normandie et des amis du Muséum du Havre* 72 (3), 7-89.
- Termier, G. 1990. Les spongiaires lithistides crétacés de Normandie et de Touraine. *Bulletin trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des amis du Muséum du Havre* 77 (2), 5-37.
- Vullo, R. 2013. Les poissons du Jurassique des Vaches-Noires. *Fossiles Revue Française de Paléontologie, Hors-série* (4), 85-89.
- Wenz, S. 1968. Contribution à l'étude du genre *Metriorhynchus* crâne et moulage endocranien de *Metriorhynchus superciliosus*. *Annales de Paléontologie (Vertébrés)* 54, 149-183.
- Wenz, S. 1970. Sur un *Metriorhynchus* à museau court du Callovien des Vaches Noires (Calvados). *Bulletin de la Société Géologique de France* (7) (2), 390-397.
- Wilmsen, M. 2012. Origin and significance of Late Cretaceous bioevents: Examples from the Cenomanian. *Acta Palaeontologica Polonica* 57 (4), 759-771.
- Wilmsen, M., Nagm, E. 2019. Palaeobiology and evolutionary context of *Angulithes mermeti*, a streamlined early Late Cretaceous shallow-water nautiloid. *Acta Palaeontologica* 64 (4), 831-849.
- Wilmsen, M., Schumacher, D., Niebuhr, B. 2020. The early Cenomanian *crippsi* Event at Lüneburg (Germany): palaeontological and stratigraphical significance of a widespread Late Cretaceous bioevent. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* 101, 927-946.
- Wood, R. 2002. *Sponges. Fossils of the Chalks* Second edition, revised and enlarged, 27-41.

## Annexe :

### Annexe 1 : Planches

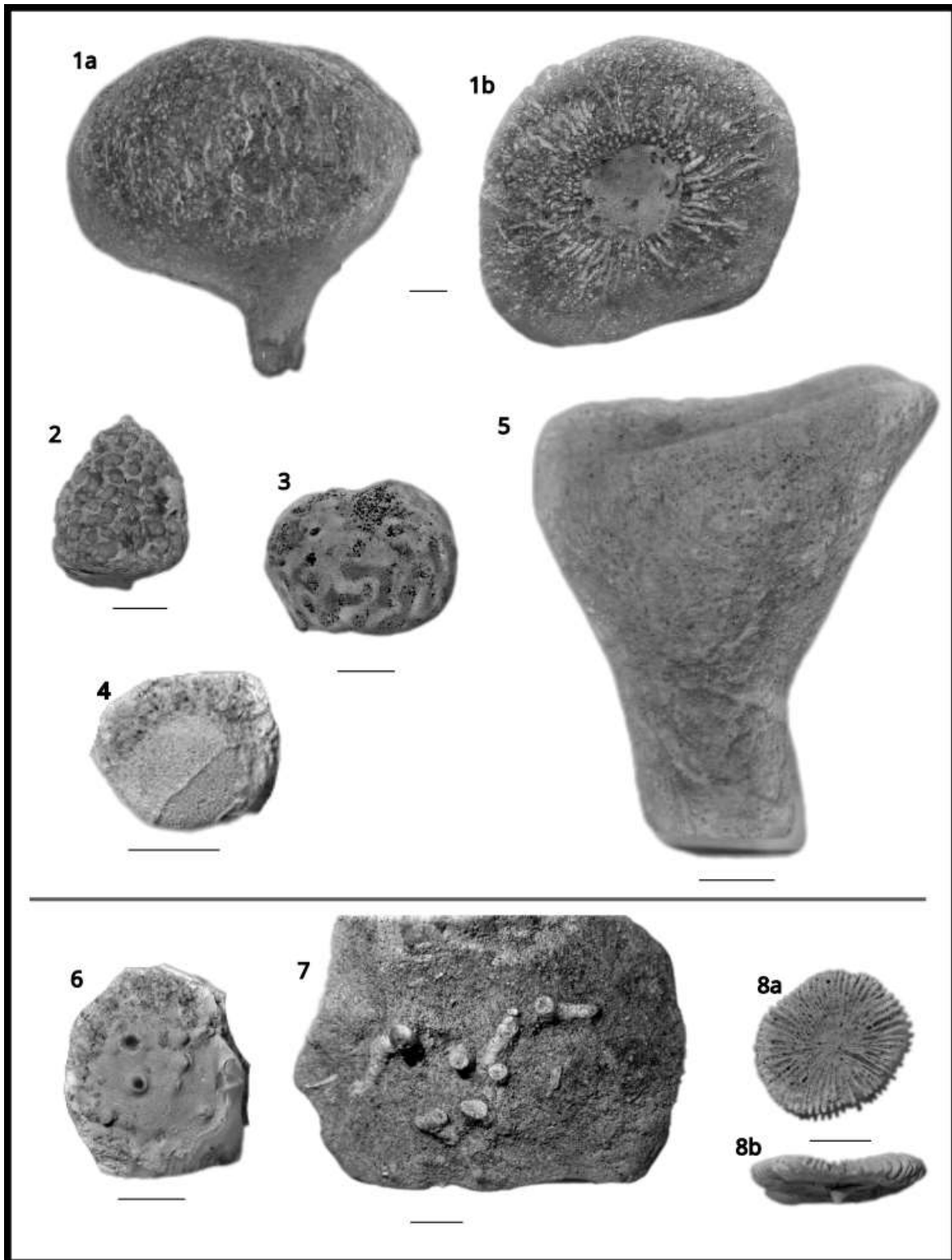


Planche 1 – Sauf indications contraires : spongiaires et bryozoaires provenant de la collection Bara et Gendry; barre d'échelle: 1cm. 1: *Siphonia decipiens* (Decipens 1861). 2: *Ventriculites* sp. 3: *Plocoscyphia* sp. 4: *Tremacystia dorbigny*. 5: *Chenendopora* sp. 6: bryzoaire encroûtant. 7: bryzoaire ramifié provenant des terrains étudiés. 8: ?bryzoaire en forme de « bouton ».

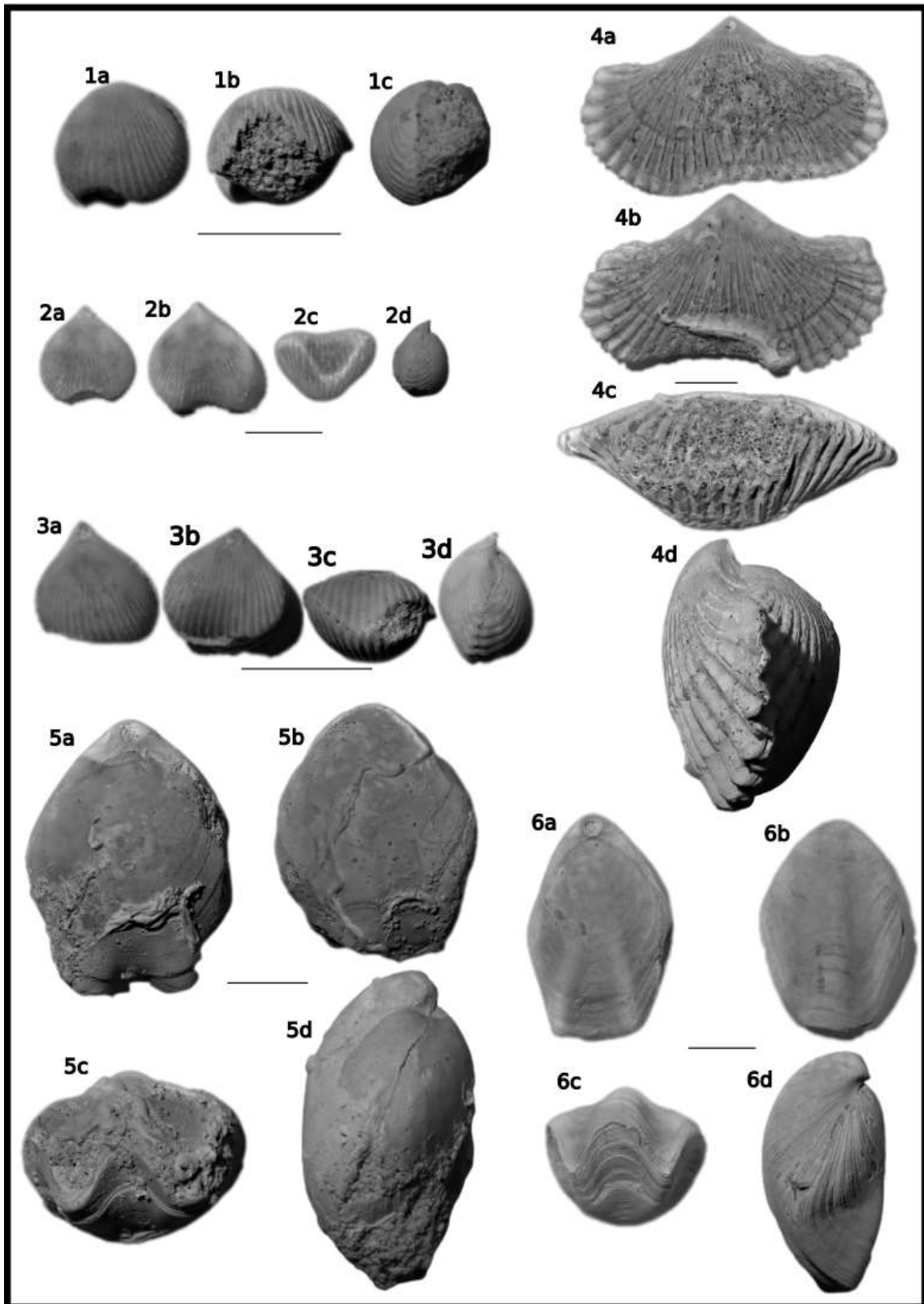


Planche 2 – brachiopodes ; barre d'échelle : 1cm. **1** : *Rhynchonnelida* *indet.* provenant des terrains étudiés. **2** : *Grasirhynchia* *grasiana* (d'Orbigny 1849), provenant des terrains étudiés et des collections Bara & Gendry. **3, 4** : *Cyclothyris* *difformis* (Valenciennes in Lamark 1849), provenant respectivement des terrains étudiés et des collections Bara & Gendry. **5, 6** : *Praelongithyris* *fecampi* (Gaspard 1988), provenant respectivement des terrains étudiés et des collections Bara & Gendry.



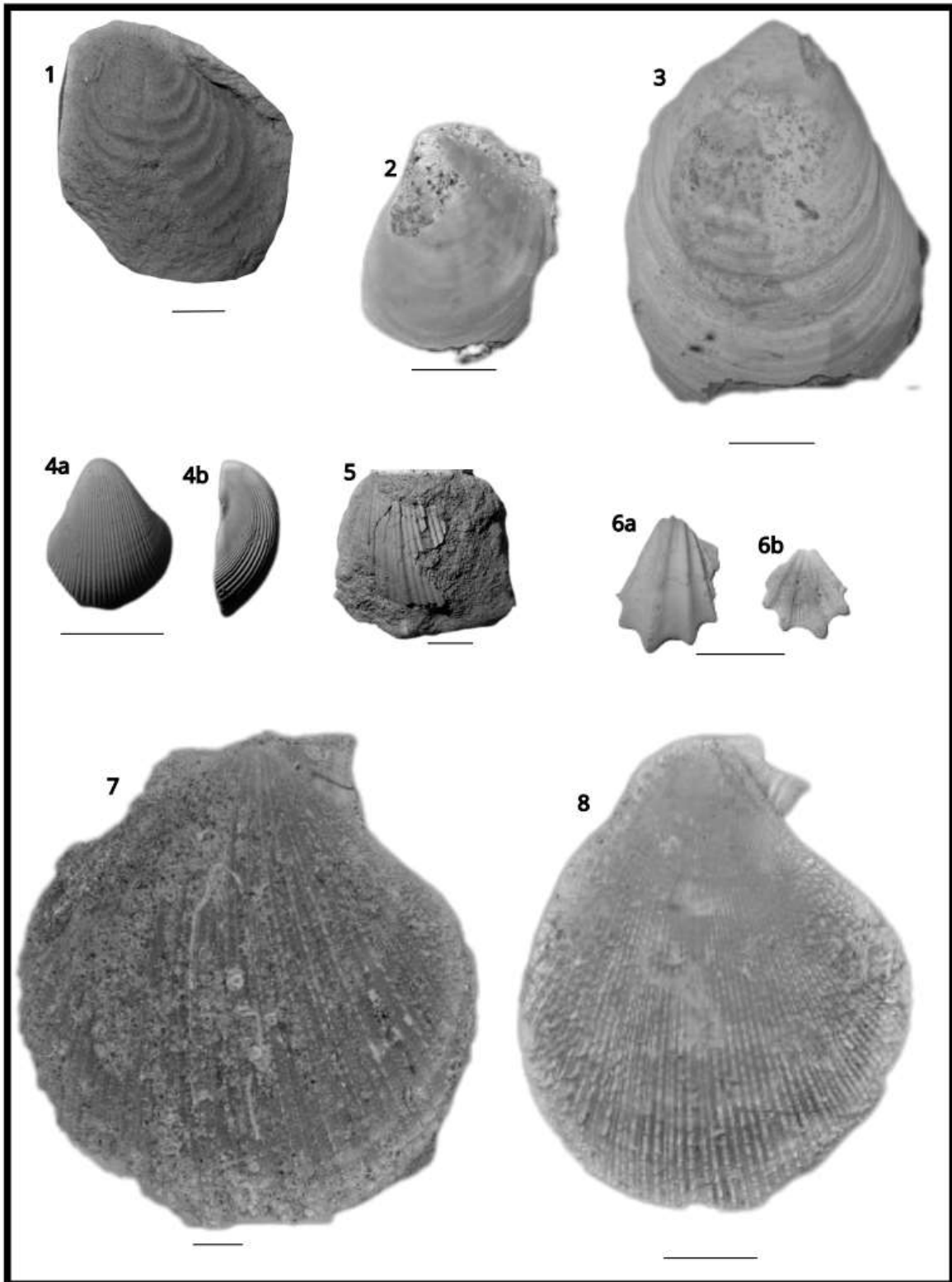


Planche 3 – bivalves ; barre d'échelle : 1cm. **1** : *Inoceramus crippei* (Mantell 1821), provenant des terrains étudiés. **2** : *Inoceramus virgatus scalprum* (Böhm 1914), provenant des collections Bara & Gendry. **3** : *Inoceramus pictus* (Sowerby 1829), provenant des collections Bara & Gendry. **4** : *Neithea aequicostata* (Lamarck 1819), provenant des terrains étudiés. **5** : *Neithea quinquecostata* (Sowerby 1814), provenant des terrains étudiés. **6** : *Neithea atavus* (Roemer 1839), provenant des terrains étudiés. **7** : *Merklinia aspera* (Lamarck 1819), provenant des collections Bara & Gendry. **8** : *?Chlamys subacata* (Lamarck 1819) provenant des collections Bara & Gendry.

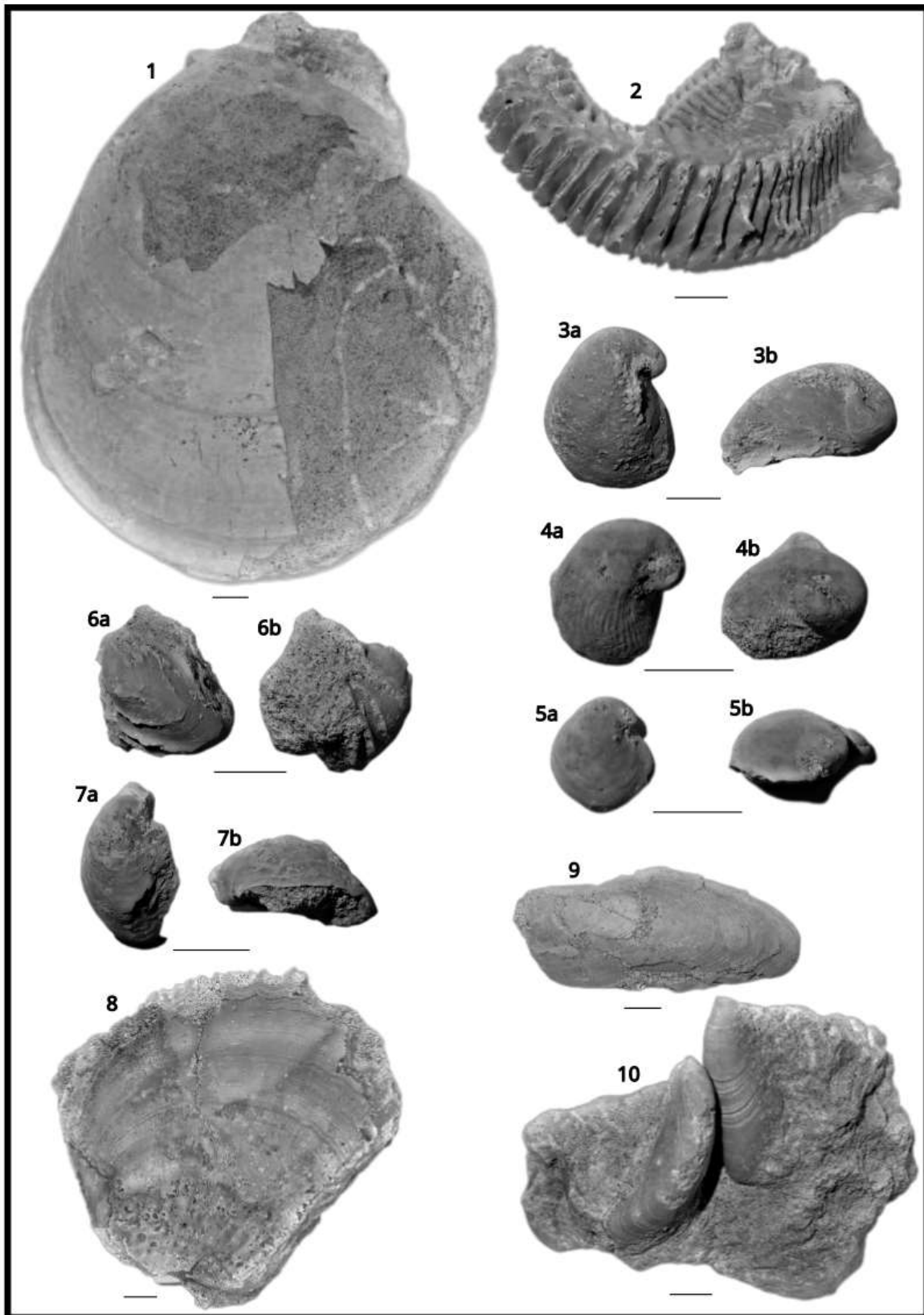


Planche 4 – bivalves ; barre d'échelle : 1cm. **1** : *Acesta clypeiformis* (d'Orbigny 1847), provenant des collections Bara & Gendry. **2** : *Rastellum carinatum* (Lamarck 1806), provenant des collections Bara & Gendry. **3 à 5** : *Amphidonte obliquatum* (Pulteney 1813), provenant des terrains étudiés. **6, 7** : *Gryphaeostrea canaliculata* (Sowerby 1813), provenant des terrains étudiés. **8** : *Spondylidae* indet. provenant des collections Bara & Gendry. **9** : *Septifer lineatus* (Sowerby 1836), provenant des collections Bara & Gendry. **10** : *Mytilidae?Septifer*, provenant des collections Bara & Gendry.

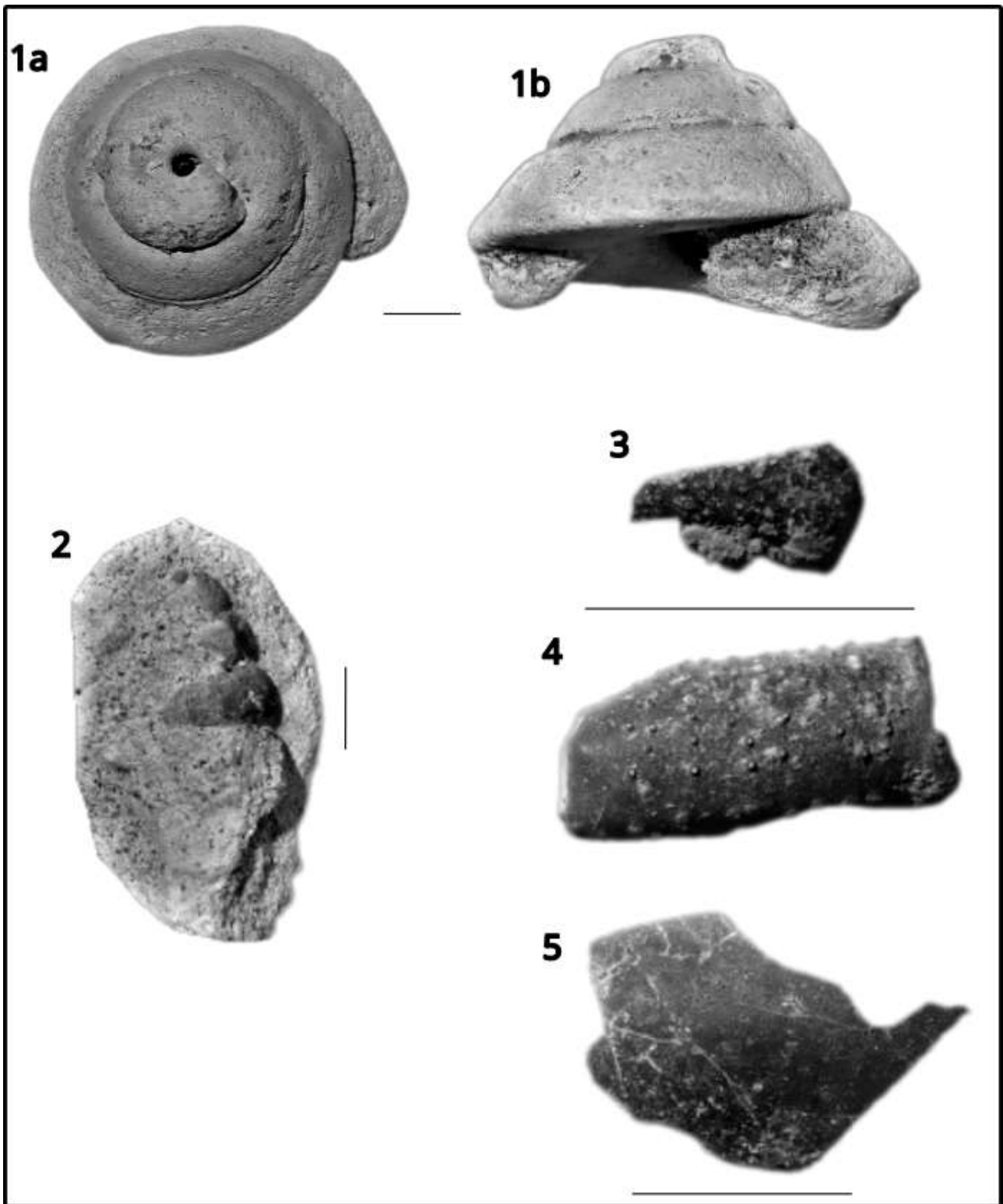


Planche 5 – gastéropodes et crustacés ; barre d'échelle : 1cm. **1** : *?Bathromaria sp.* (d'Orbigny 1843), provenant des collections Barat & Gendry. **2** : **Gastropoda indet.** provenant des collections Bara & Gendry. **3, 4** : **Crustacea indet.** provenant des terrains étudiés. **5** : *?Crustacea indet.* provenant des terrains étudiés.

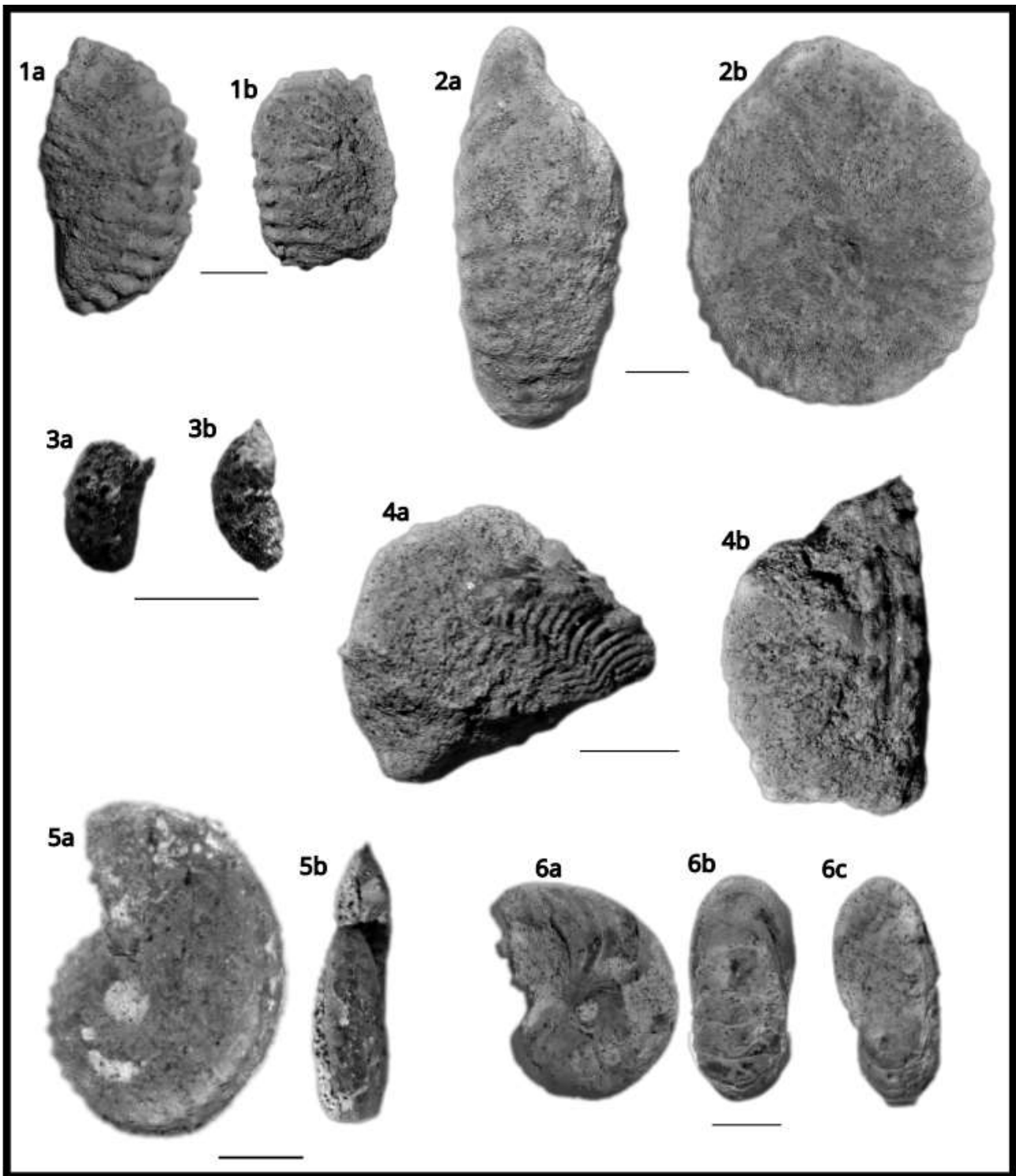


Planche 6 – ammonites et nautilus; barre d'échelle : 1cm. **1, 2** : *Mantelliceras* sp. (Hyatt 1903), provenant respectivement des terrains étudiés et des collections Bara & Gendry. **3** : *Turrilitidae* indet. provenant des terrains étudiés. **4** : *Hyphoplites* sp. provenant des terrains étudiés. **5** : *Schloenbachia varians* (J.Sowerby 1817), provenant des collections Bara & Gendry. **6** : *Pseudonoceras* sp. provenant des collections Bara & Gendry.

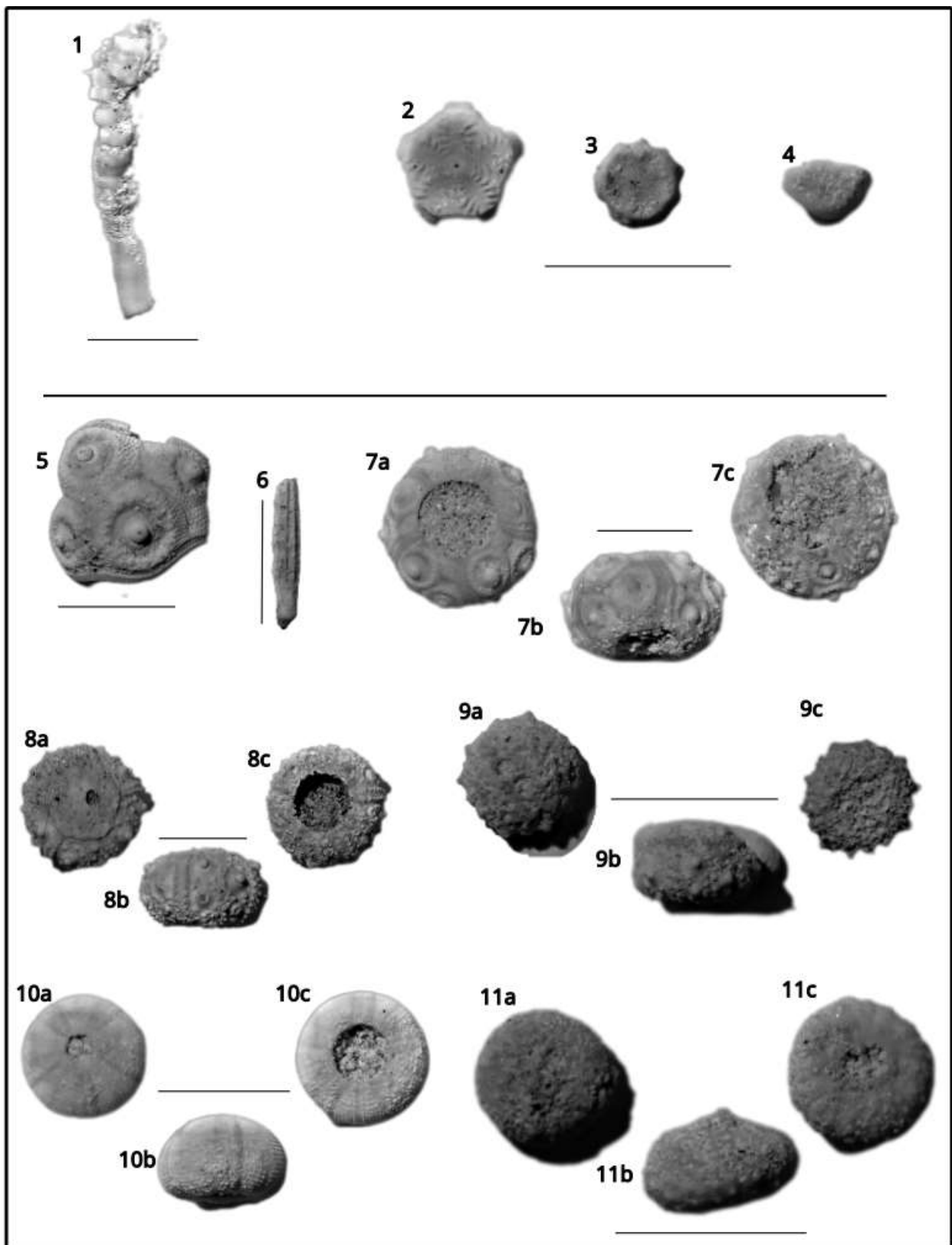


Planche 7 – Echinodermes ; barre d'échelle : 1cm. 1, 2 : ?*Balanocrinus* sp. Provenant respectivement des collections Bara & Gendry et des terrains étudiés. 3 : *Comatulida* indet. provenant des terrains étudiés. 4 : ossicule d'astéride, provenant des terrains étudiés. 5 : plaque de *Cidaroidea* (Smith 1984), provenant des terrains étudiés. 6 : radiole de *Hirudocidaris vesiculosa* (Goldfuss 1826), provenant des terrains étudiés. 7 : *H. vesiculosa*, provenant des collections Bara & Gendry. 8 : *Salenia (Salenia) petalifera* (Desmarest 1825), provenant des terrains étudiés. 9 : ?*Hyposalenia clathrata* (Woodward 1856), provenant des collections Bara & Gendry. 10 : *Cottaldia benettiae* (Koenig 1820), provenant des collections Bara & Gendry. 11 : *Echinocyphus rotatus* (Cotteau 1865), provenant des collections Bara & Gendry.

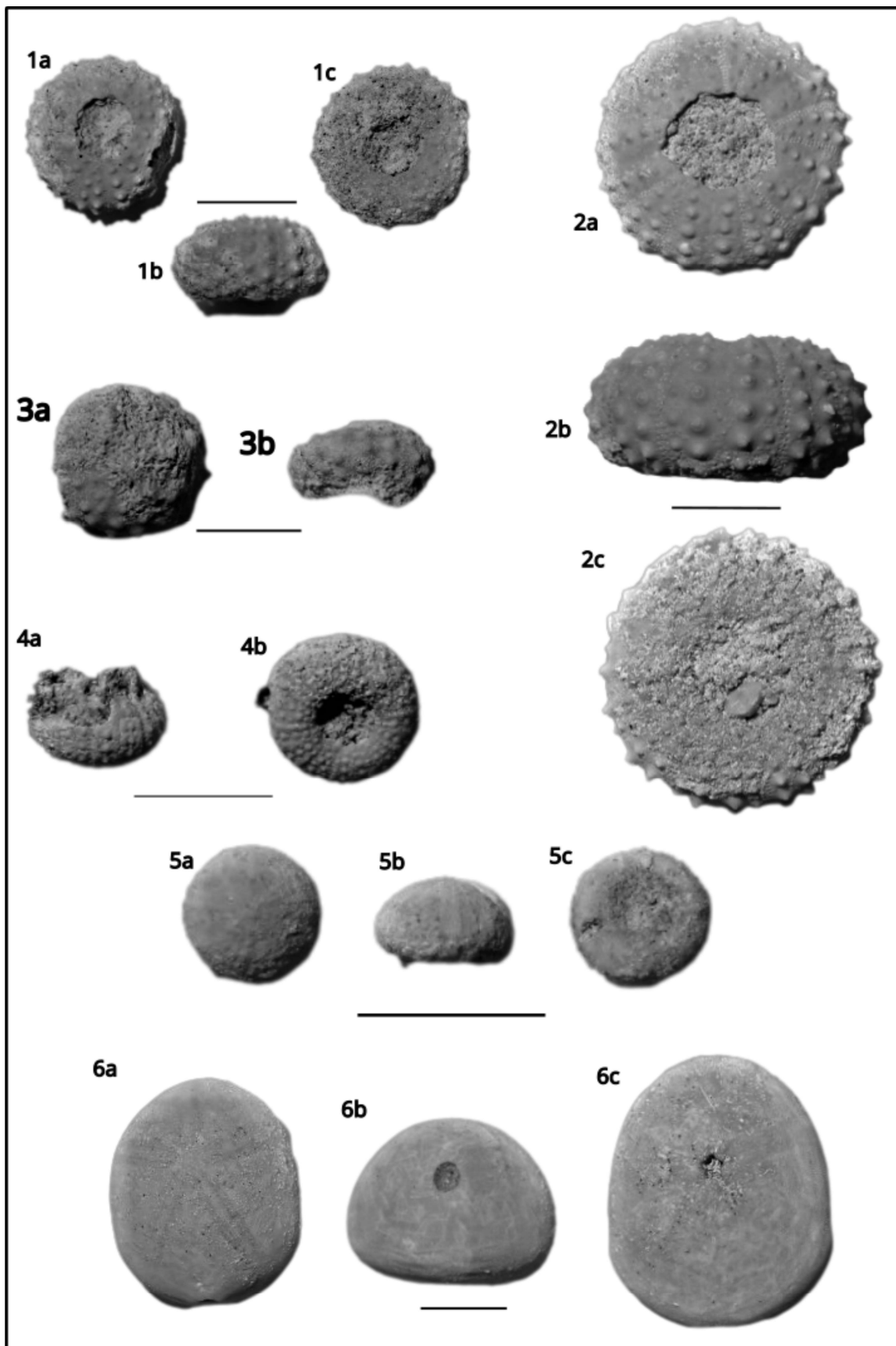


Planche 8 – échinides provenant des collections Bara & Gendry sauf indications contraire ; barre d'échelle : 1cm.  
**1** : *Tetragramma variolare* (Brongniart 1822), provenant des terrains étudiés. **2** : *Tiaromma michelini* (Aassiz & Desor 1846). **3** : *Polydiadema bonei* (Woodward 1856). **4** : ?*Orthopsis miliaris* (d'Archiac 1835). **5** : *Discoides subuculus* (Klein 1734), provenant des terrains étudiés. **6** : *Catopygus colombarius* (Lambert 1905).



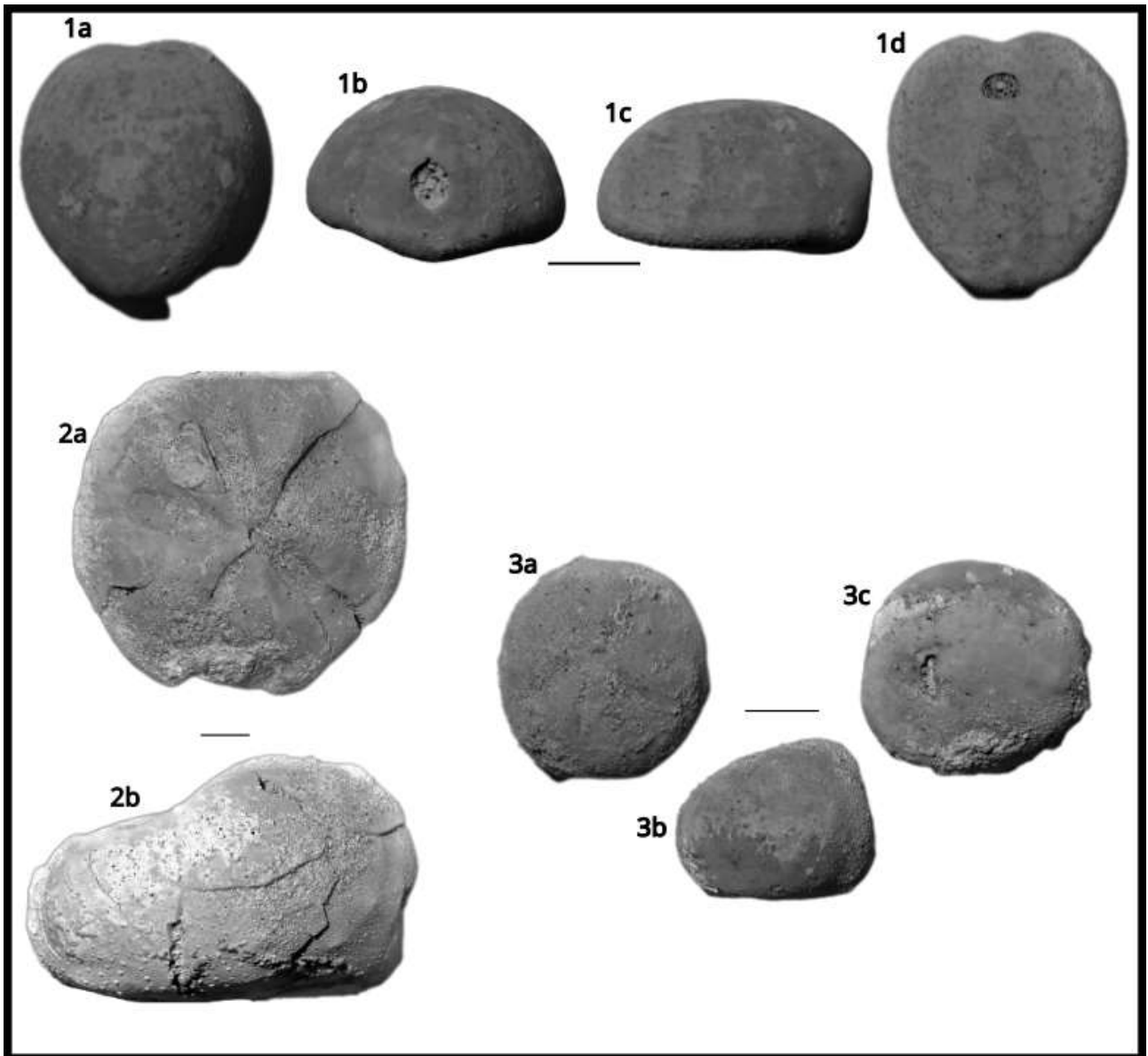


Planche 9 – échinides ; barre d'échelle : 1cm. **1** : *Holaster subglobosus* (Lambert in Valette 1913), provenant des collections Bara & Gendry. **2** : *?Holaster sp.* provenant des collections Bara & Gendry. **3** : *Hemiaster bufo* (Brongniart 1822), provenant des terrains étudiés.

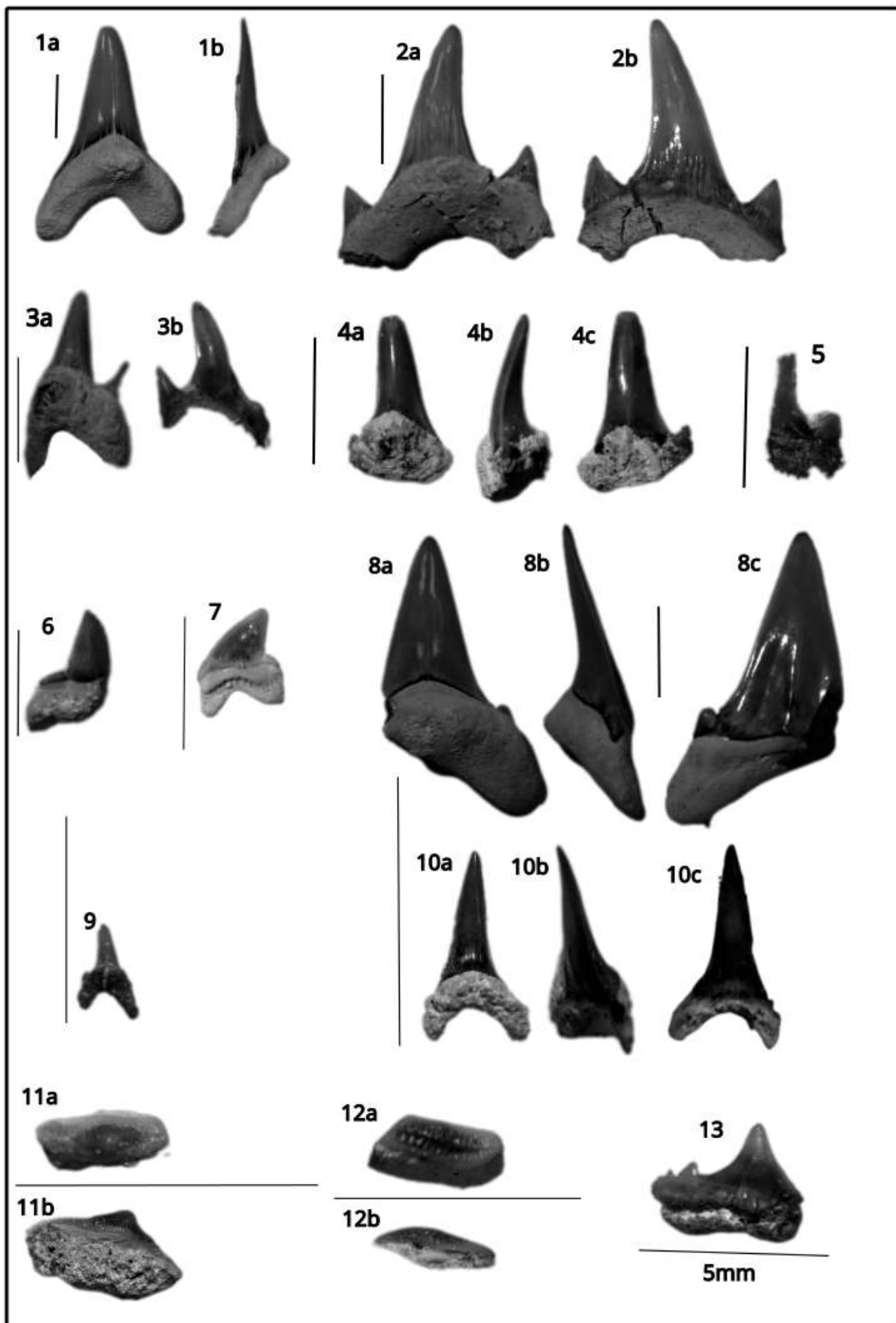


Planche 10 – dent de requins provenant des collections Bara & Gendry sauf indications contraire ; barre d'échelle : 1cm. 1 : *Cretoxyrhina mantelli* (Agassiz 1843). 2 : *Cretodus semiplicatus* (Agassiz 1843). 3 : ? *Protolamna ?compressidens* (Herman 1977). 4, 5 : *Cretolamna appendiculata* (Agassiz 1843), provenant respectivement des terrains étudiés et des collections Bara & Gendry. 6, 7 : *Squalicorax* sp. 8 : *Dwardius woodwardi* (Hermann 1977). 9 : *Scyliorhinus* sp. provenant des terrains étudiés. 10 : ?*Scapanorhynchus ? minimus* (Landemaine 1991), provenant des terrains étudiés. 11, 12 : *Heterodontus* sp. provenant respectivement des collections Bara & Gendry et des terrains étudiés. 13 : *Hybodontiforme indet.* (Agassiz 1837).

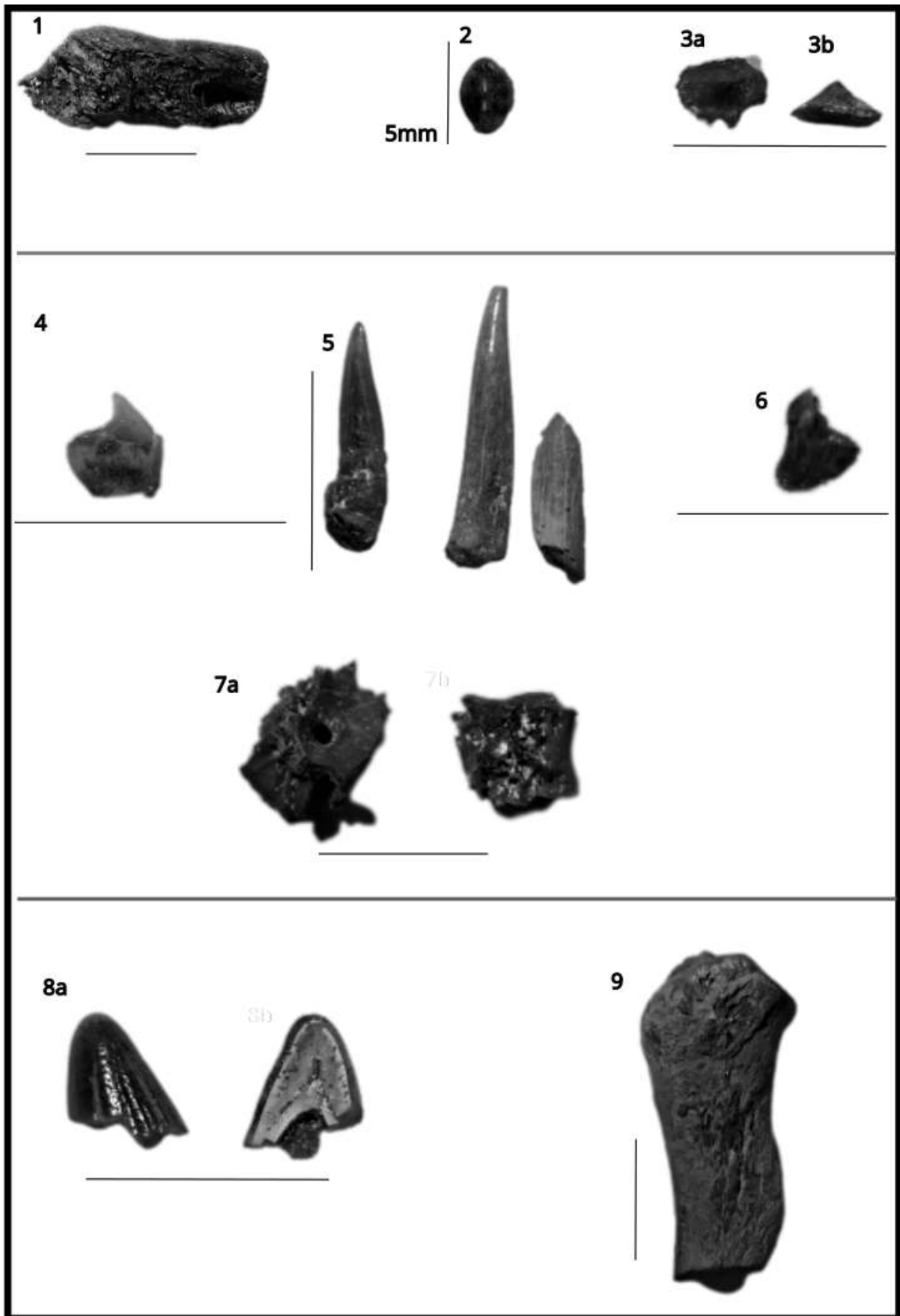


Planche 11 – vertébrés provenant des collections Bara & Gendry sauf indications contraire ; barre d'échelle : 1cm. 1 : *Edaphodon* sp. (Buckland 1838). 2 : *Turoniabatis* sp. 3 : boucles de *Rajomorphii* indet. 4 : ? *Stephanodus* sp. 5 : *Enchodus* sp. 6 : dent de Pycnodontiformes (Berg 1937). 7 : vertèbres d'ostéichtyens indet. 8 : dent de *Crocodyloforma* indet. 9 : Os indet.





**Annexe 2 : Photos satellites replaçant les deux affleurements étudiés, le premier affleurement envisagé et l’affleurement étudié par Juignet en 1974. Google Earth**



**Annexe 3 : Photo du premier affleurement étudié. Echelle: Julien Toussaint (1m90)**



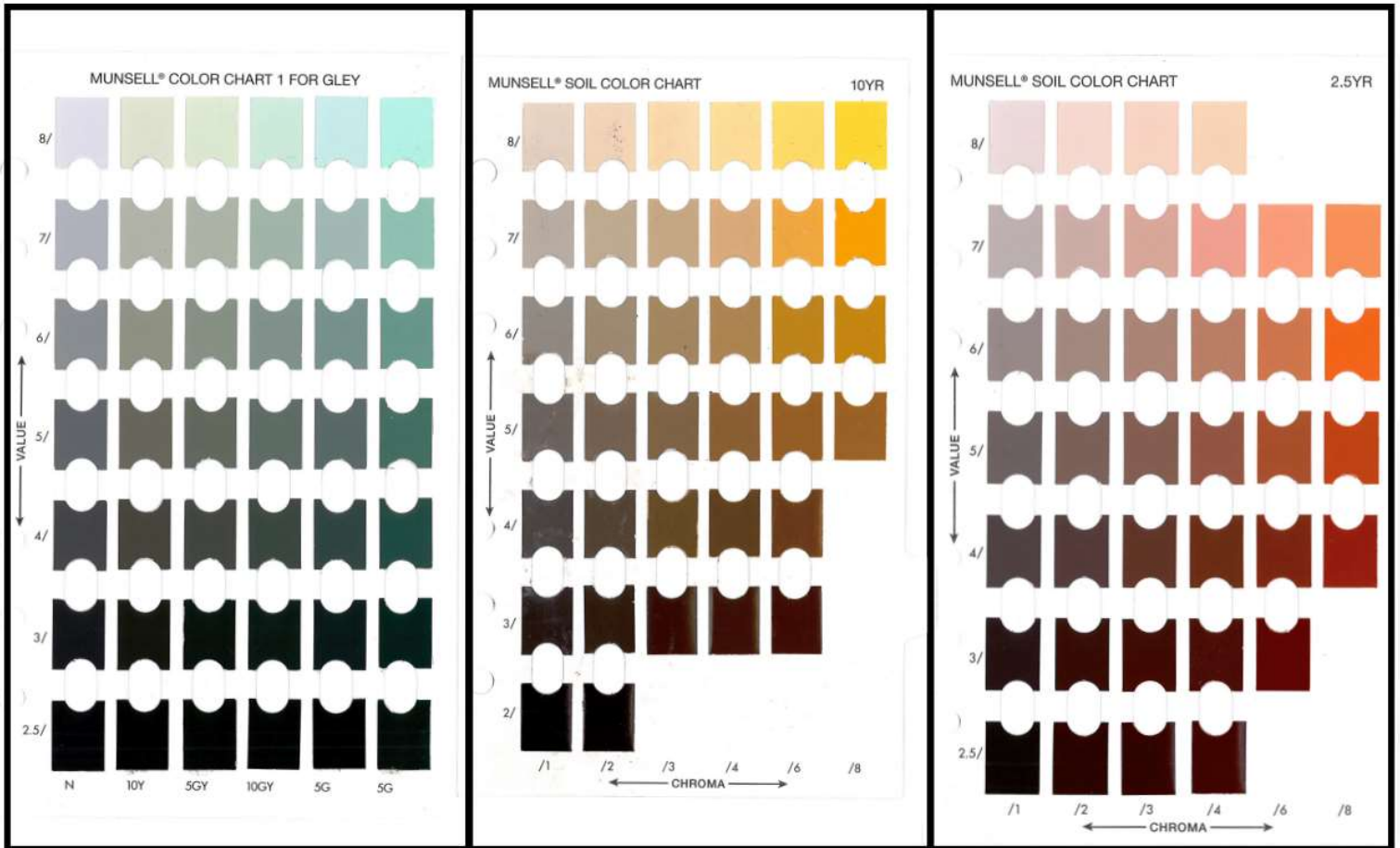


**Annexe 4 : Photo en prise aérienne des affleurements étudiés en 1947. Géoportail**



**Annexe 5 : Photo du second affleurement étudié. Echelle : Julien Toussaint (1m90)**





**Annexe 6 :** Charte de nuances de couleurs tiré de la Munsell soil color chart



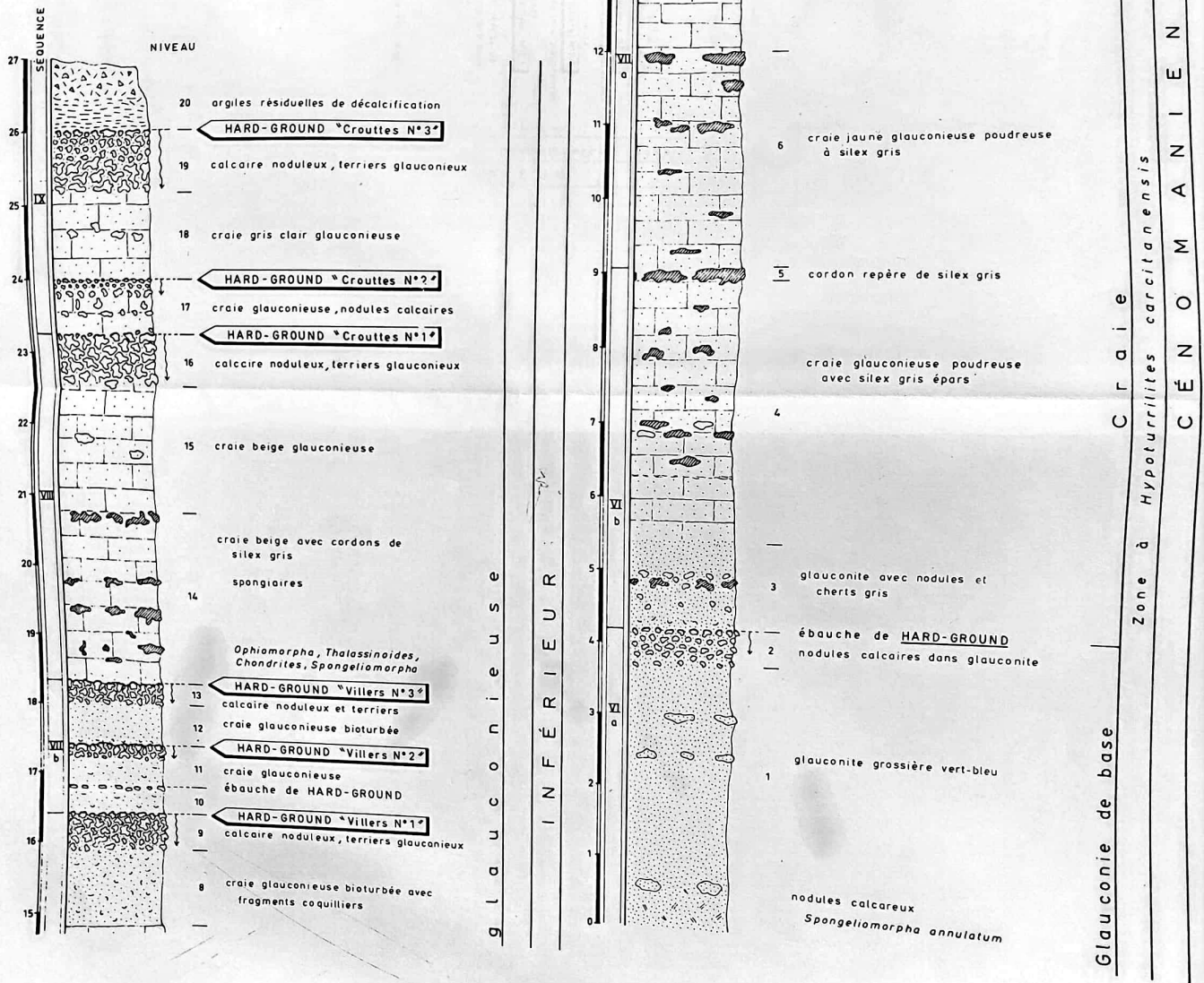
Fig. : 72

COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE  
du CÉNOMANIEN INFÉRIEUR

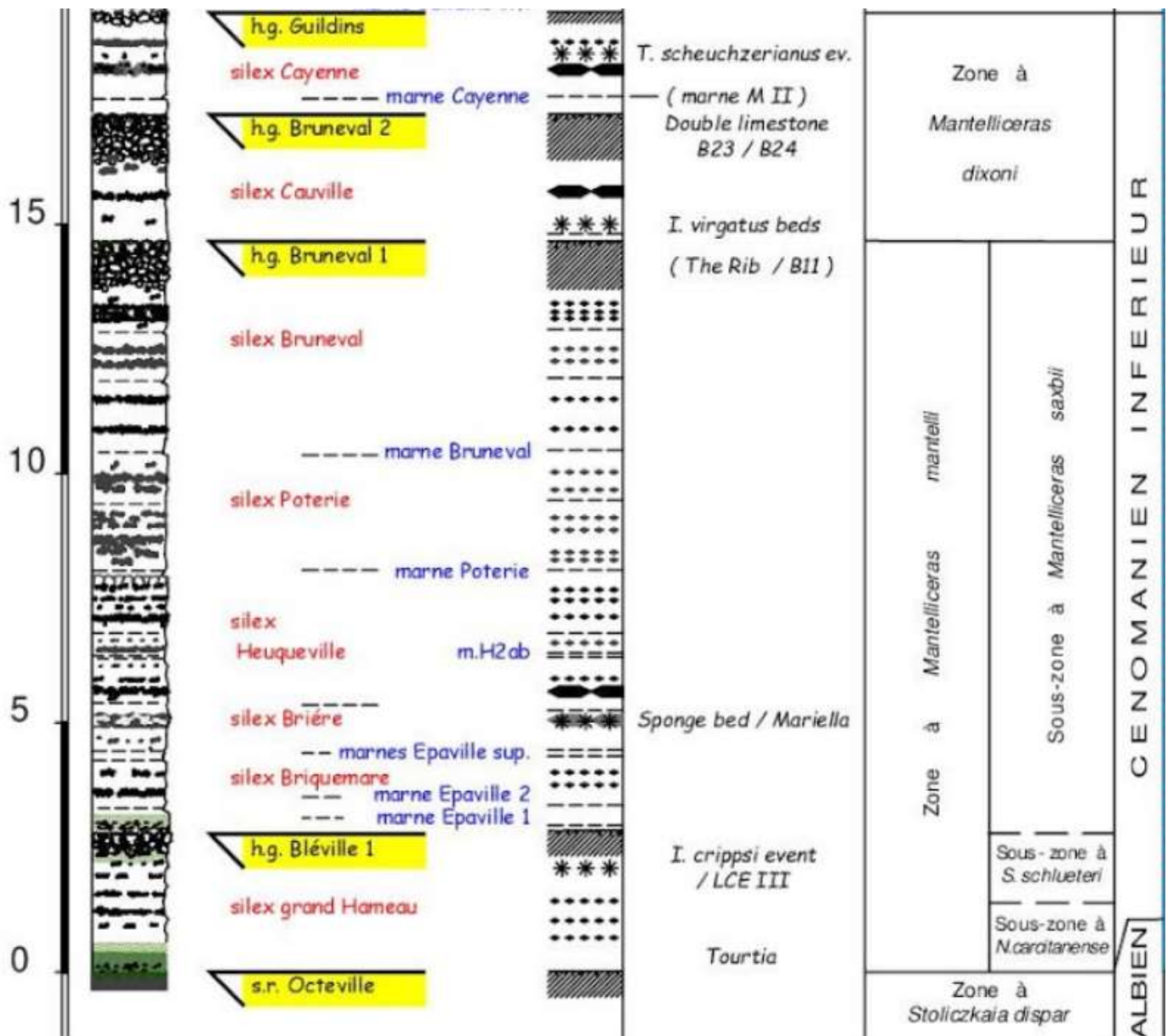
Arrière falaise du chaos

14 - AUBERVILLE

COORDONNÉES X = 427,70  
Y = 182,00



Annexe 7 : Coupe stratigraphique de l'arrière falaise du chaos d'Auberville par Juignet (1974)



Annexe 8 : Log stratigraphique synthétique simplifié du Cénomaniens du littoral normand par Hoyez *et al.* (2020), zoom sur le Cénomaniens inférieur.