

**Nouvelles données sur le Callovien inférieur et moyen de la  
région de Caen (Bavent & Touffréville, Calvados, France) :  
étude des faunes d'ammonites et biostratigraphie**

**Julien Toussaint M2PPP**



Alternances marno-calcaires calloviennes de la carrière de Touffréville (Calvados).

**Rapport de stage sous la direction de Laurent Picot et Philippe Courville**

**Année universitaire 2022-2023**

## Abstract

The Callovian marks the beginning of major transgressive movements, thus leading to an important period of diversification of the Tethyan ammonite fauna. The Norman deposits of this period have provided many interesting specimens, allowing a new biostratigraphic study as well as the description and the representation of ammonites belonging to the great families of the Tethyan Callovian which are the Macrocephalitidae, the Kosmoceratidae, the Cardioceratidae, the Reineckeidae and the Perisphinctidae. The studies previously carried out on these deposits and these faunas are few in the region and often too old, in particular at the level of the biostratigraphic division. The sections made in the quarries of Bavent and Touffréville make it possible to better characterize these deposits and have been able to be correlated with the sections of Fresne d'Argences and Escoville in order to better understand the spatial evolution of the deposits. The specimens collected as well as those present in the collections of Paléospace allow an update of the biostratigraphic division, to bring new descriptions and figurations for species rarely mentioned in the north-west of France as well as the highlighting of movements ammonites faunas in the Tethys at this time. This work reveals however that new studies are necessary in order to better characterize these deposits and the faunas found there, whether at the biostratigraphy, systematic or even on certain particular elements such as cyclostratigraphy or septarian concretions.

## Résumé

Le Callovien marque le début de grands mouvements transgressifs, entraînant ainsi une période importante de diversification des faunes d'ammonites téthysiennes. Les dépôts normands de cette période ont fourni de nombreux spécimens intéressants, permettant une étude biostratigraphique nouvelle ainsi que la description et la figuration d'ammonites appartenant aux grandes familles du Callovien téthysien et boréal que sont les Macrocephalitidae, les Kosmoceratidae, les Cardioceratidae, les Reineckeidae, et les Perisphinctidae. Les études précédemment réalisées sur ces dépôts et ces faunes sont peu nombreuses dans la région et souvent trop anciennes, notamment au niveau du découpage biostratigraphique. Les coupes réalisées dans les carrières de Bavent et Touffréville permettent de mieux caractériser ces dépôts et ont pu être corrélées aux coupes du Fresne d'Argences et d'Escoville afin de mieux comprendre l'évolution spatiale du bassin. Les spécimens collectés ainsi que ceux présents dans les collections du Paléospace permettent une mise à jour du découpage biostratigraphique, l'apport de nouvelles descriptions et figurations pour des espèces rarement mentionnées dans le nord-ouest de la France ainsi que la mise en évidence des déplacements des faunes d'ammonites dans la Téthys à cette période. Ce travail révèle cependant que de nouvelles études sont nécessaires afin de mieux caractériser ces dépôts et les faunes s'y trouvant, que ce soit au niveau de la biostratigraphie, de la systématique ou bien sur certains éléments particuliers tels que la cyclostratigraphie ou les septarias.

## Remerciements

Je remercie Dominique Lance de l'entreprise Terreal ainsi que Christophe Millet de l'entreprise Calcia d'avoir permis l'accès à leurs carrières pour le bon déroulement de cette étude. Je remercie mes collègues du Paléospace ainsi que Damien Gendry pour leur aide sur le terrain et la collecte de spécimens. Je remercie Laurent Picot et l'équipe du Paléospace pour m'avoir aidé et soutenu tout au long de ce stage. Je remercie également Philippe Courville pour son aide à la détermination des spécimens ainsi que Sacha Devaud pour avoir pris de son temps pour scanner de la bibliographie et Mathilde Lewandowski pour l'aide à la relecture. Enfin, je remercie mes collègues du Master PPP avec qui j'ai passé deux années formidables.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1) CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....</b>	<b>2</b>
<b>2) MATÉRIELS ET MÉTHODES.....</b>	<b>3</b>
<b>3) RÉSULTATS.....</b>	<b>4</b>
3.1) COUPE DE BAVENT.....	4
3.2) COUPE DE TOUFFRÉVILLE.....	5
3.3) SYSTÉMATIQUE.....	6
3.4) BIOSTRATIGRAPHIE.....	13
<b>4) DISCUSSION.....</b>	<b>15</b>
4.1) ÉVOLUTION DU BASSIN.....	15
4.2) LES FAUNES D'AMMONITES.....	17
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>19</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>19</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>31</b>

## Introduction

Le début du Callovien est une période charnière dans l'évolution et la diversification des faunes marines européennes, notamment pour les ammonites. Cela est en partie dû au fait qu'une phase transgressive a lieu au cours du Callovien à la suite de la phase régressive s'achevant à la fin du Bathonien (Cariou *et al.*, 1985). Ainsi, ces dépôts et les faunes d'ammonites de cette période ont été beaucoup étudiés en Europe (Blake, 1905 ; Buckman, 1919-1921 ; Buckman, 1922-1923 ; Tintant, 1963 ; Mangold, 1970 ; Thierry, 1978 ; Cariou, 1984 ; Marchand, 1986 ; Callomon & Wright, 1989 ; Page, 1989 ; Courville *et al.*, 1998 ; Courville, 2011 ; Mitta, 2011 ; Mitta *et al.*, 2015 ; Gulyaev & Ippolitov, 2021).

Le nord-ouest de la France présente des dépôts de toute la série du Jurassique Moyen (ouest du Bassin anglo-parisien), dont des dépôts datant du Callovien inférieur et moyen (fig. 1). Néanmoins, ces derniers restent rares à l'affleurement et sont presque exclusivement visibles dans des carrières. De ce fait, ces niveaux ont été peu étudiés en détail dans le Calvados depuis les travaux de d'Orbigny (1852) et Eudes-Deslongchamps (1859). Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, certains chercheurs s'intéressent aux faunes d'ammonites de ces niveaux normands, mais sans s'attarder sur leur stratigraphie (Douvillé, 1909 ; Douvillé, 1915 ; Petitclerc, 1926). Il faudra alors attendre la fin du XX<sup>ème</sup> siècle pour que ces niveaux soient redécrits (Riout & Fily, 1975 ; Riout & Mourdon, 1982 ; Dugué, 1989 ; Riout *et al.*, 1989 ; Deroin *et al.*, 1999). Cependant, la biostratigraphie des dépôts n'avait pas été très détaillée et est aujourd'hui obsolète. De plus, les faunes s'y

trouvant n'ont ni été décrites, ni figurées depuis le début du siècle dernier, bien qu'elles aient été mentionnées dans les écrits plus récents (Riout *et al.*, 1989 ; Deroin *et al.*, 1999).

Dans le Calvados, plusieurs de ces dépôts marno-calcaires calloviens ont été exploités au fil des siècles pour la fabrication de ciment, de tuilerie ou de poterie, permettant ainsi un accès à ces différents niveaux (Riout *et al.*, 1989). Certaines de ces carrières sont encore en activité comme celles de Bavent et de Touffréville (fig. 1). Elles permettent la mise à nu de la grande majorité des dépôts du Callovien inférieur, habituellement inaccessibles, ainsi que le contact avec le Callovien moyen donnant une section presque aussi complète que celle observée dans l'ancienne carrière du Fresne d'Argences, aujourd'hui remblayée (Dugué, 1989). L'accès à ces carrières permet donc une étude biostratigraphique nouvelle ainsi qu'une étude plus approfondie des dépôts et des faunes fossiles de cette période dans le Calvados.

De plus, le Paléospace de Villers-sur-Mer a récemment reçu la collection Asquini provenant presque intégralement des dépôts du Callovien inférieur et moyen de Bavent. Celle-ci donne accès à un grand nombre de spécimens, notamment d'ammonites et de vertébrés, certains pouvant être replacés dans la stratigraphie. Cette collection, accumulée sur plusieurs dizaines d'années, ajoutée à celles déjà présentes dans les collections du musée, va donc permettre d'avoir une vision plus globale du patrimoine paléontologique de ces dépôts et donne accès à des spécimens rares.

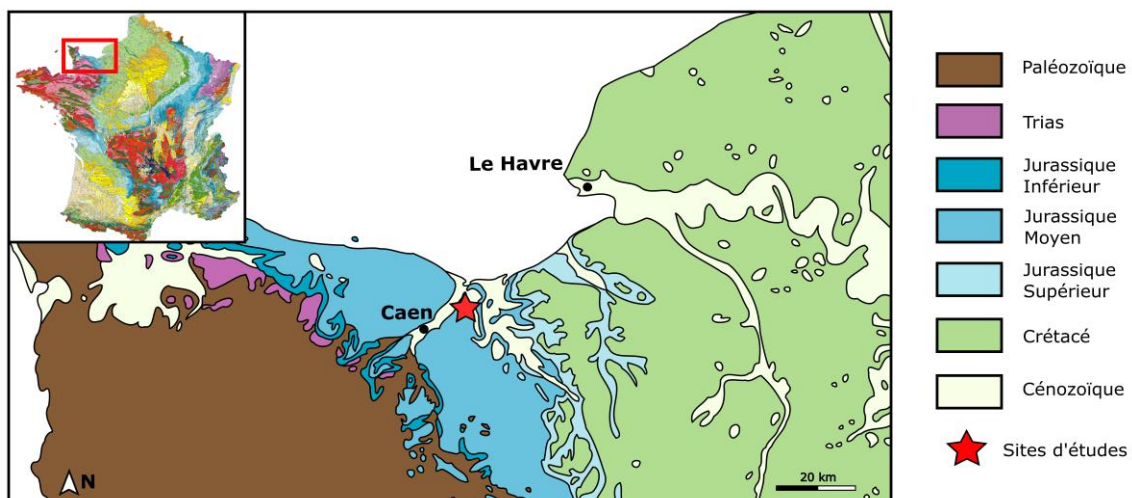


Figure 1 : Localisation des carrières de Bavent et Touffréville sur une carte géologique simplifiée.

Ainsi, l'intérêt d'étudier ces dépôts est multiple : (1) établir une coupe stratigraphique détaillée inédite de la quasi-totalité du Callovien inférieur et du début du Callovien moyen dans les carrières de Bavent et de Touffréville ; (2) préciser et mettre à jour le découpage biostratigraphique de ces niveaux ; (3) apporter de nouvelles descriptions et figurations pour les ammonites normandes de cette période ; (4)

mettre en évidence la diversification et les échanges de populations d'ammonites à cette période dans la province subboréale suite aux mouvements transgressifs calloviens ; (5) faire un inventaire des faunes de vertébrés retrouvés dans les dépôts du Callovien inférieur et moyen de Normandie. Ce dernier point fera l'objet d'une étude ultérieure.

## 1) Contexte géologique

En Europe au Bathonien (168.2 ±1.2 Ma - 165.3 ±1.1 Ma), la dynamique marine est bien différente de celle du Callovien (165.3 ±1.1 - 161.5 ±1.0). En effet, le Bathonien correspond à une période globalement régressive ce qui a pour conséquence de limiter les échanges fauniques avec la Téthys, notamment avec la fermeture du détroit nord-européen (**fig. 2**) ([Cariou et al., 1985](#)). Ce faible niveau marin et cette limitation des échanges vont donc conduire à un isolement régional des faunes d'ammonites entraînant un fort provincialisme à cette période. Cependant, dès le Callovien inférieur, la tendance s'inverse et des mouvements eustatiques transgressifs débutent, développant ainsi des milieux marins plus profonds et provoquant l'ennoiement des plateformes bathoniennes jusqu'au début de l'Oxfordien où la transgression sera maximale ([Cariou & Hantzpergue 1997](#) ; [Pellenard et al., 1999](#)). Cette transgression va également avoir pour conséquence la réouverture de grandes voies maritimes comme le détroit nord-européen (**fig. 2**), apportant des eaux plus froides et permettant de nouveaux échanges fauniques, notamment entre les provinces boréale et subboréale au nord de l'Europe. Ainsi, la diversification des ammonites de la Téthys au Callovien va être beaucoup plus importante que celle du Bathonien.

La Normandie se situe à l'époque sous les mers épicontinentales de la province subboréale européenne, bordée à l'ouest par le Massif armoricain et au nord par le Massif du Brabant, tous deux émergés (**fig. 2**). Les changements paléogéographiques provoqués par la transgression callovienne vont engendrer des dépôts silto-argileux, se déposant sur les plateformes carbonatées bathoniennes, influencés par les apports terrigènes des terres émergées à proximité ([Pellenard et al., 1999](#)). Des changements hydrodynamiques et climatiques vont également modifier la

sédimentation et entraîner le mouvement des faunes d'ammonites boréales comme les Kosmoceratidae Linné 1758 et les Cardioceratidae Siemiradzki 1891 vers le sud, indiquant un certain refroidissement et/ou des changements de courants à cette période ([Cariou et al., 1985](#)). C'est également à ce moment-là qu'apparaissent les premiers Proplanulitinae Buckman 1921, tandis que des groupes, supposés extra-téthysiens, tels que les Reineckeidae Hyatt 1900 et les Macrocephalitidae Buckmann 1922 migrent vers la Téthys ([Cariou et al., 1985](#)).

C'est donc dans ce contexte transgressif, avec une diversification importante des faunes d'ammonites téthysiennes, que vont se déposer les sédiments du Callovien inférieur et moyen en Normandie. Ces derniers vont se superposer aux dépôts carbonatés bathoniens de plateforme proximale que l'on retrouve entre autres à Lion-sur-Mer dans la région ([Riout et al., 1989](#)). Ces niveaux bathoniens se terminent par la "Surface de Lion", une discontinuité érosive qui marque la fin des dépôts carbonatés du Bathonien ([Dugué et al., 2016](#)). Les dépôts sus-jacents correspondent généralement à la formation des Marnes d'Escoville (ME), du Callovien inférieur, une alternance marno-calcaire à brachiopodes et à huîtres, chargée en éléments terrigènes, indiquant un milieu de vasières à proximité des terres émergées. Cependant, il arrive que les Argiles de Lion (AL), du Bathonien terminal, une formation d'alternances marno-calcaires également riche en brachiopodes, s'intercalent entre la "Surface de Lion" et les ME, notamment aux alentours d'Argences ([Dugué, 1989](#) ; [Deroin et al., 1999](#)). Les dépôts calloviens vont être de plus en plus marqués par des influences marines, s'enrichissant ainsi en restes de céphalopodes et épisodiquement en éléments silteux et quartzeux, témoignant des différentes phases du remplissage des marges ennoyées du Massif

armoricain (Dugué *et al.*, 2016). Dans cette continuité, les formations suivantes que sont les Marnes d'Argences (MA), du Callovien inférieur, et les Marnes à *Belemnopsis latesulcatus* (MBI), du Callovien inférieur/moyen, correspondent à des milieux de dépôts de plus en plus profonds (Deroin *et al.*, 1999). Il est important de préciser qu'il existe des dépôts contemporains équivalents du côté anglais avec la formation du Cornbrash, plus précisément de l'Upper Cornbrash, la formation du Kellaways ainsi que la base de l'Oxford Clay, qui correspondent aux premiers dépôts transgressifs du Callovien incluant par conséquent une faune très similaire

(Riout *et al.*, 1989). Le fait que ces trois formations normandes calloviennes ne se retrouvent que très rarement à l'affleurement est principalement dû à l'érosion quaternaire qui n'a laissé que des buttes témoins de ces dépôts dans les vallées de l'Orne et de la Dives (Riout *et al.*, 1989 ; Dugué *et al.*, 2016). Néanmoins, les carrières de Bavent et Touffréville, respectivement exploitées par les sociétés Terreal et Calcia, mettent à l'affleurement ces trois formations dans leur quasi-totalité et leur accès nous a été permis pour le bon déroulement de cette étude.

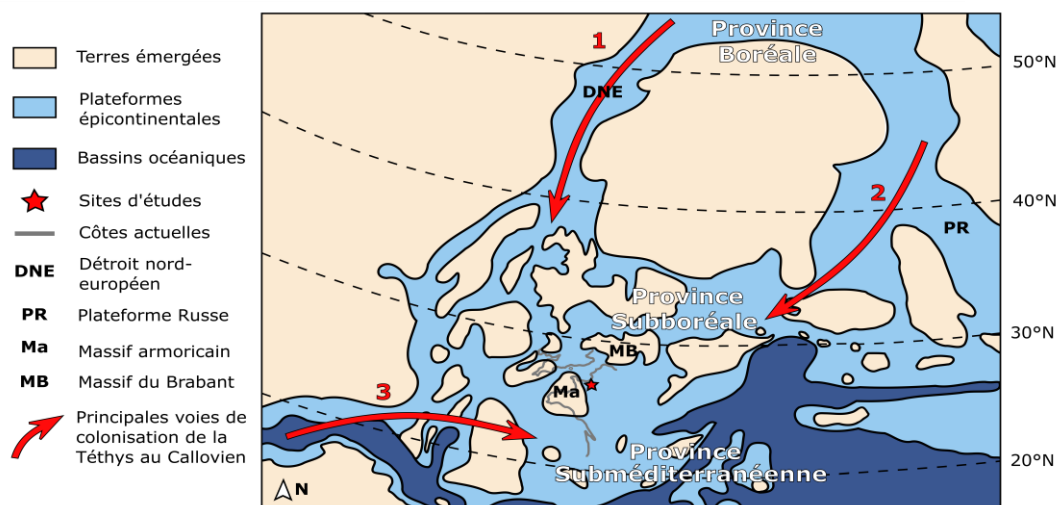


Figure 2 : Carte paléogéographique de l'Europe au Callovien (modifiée d'après Dercourt *et al.*, 2000).

## 2) Matériels et méthodes

La carrière de Bavent est la première à laquelle nous avons pu avoir accès. Celle-ci laisse à l'affleurement environ 16 m de dépôts qui ont été étudiés sur une dizaine de jours. Une phase préliminaire de dégagement des fronts de taille a dû être effectuée afin d'avoir accès à une coupe nette car la carrière n'était plus en activité depuis octobre 2022. Pour réaliser une étude cohérente et pertinente de ces niveaux, correspondant à la formation des MBI (Callovien inférieur/moyen), l'étude des différentes unités lithologiques a été réalisée avant la collecte de spécimens. Une fois les différentes unités distinguées, selon leur nature géologique, leur composition, mais aussi leur aspect, la collecte de spécimens a été réalisée séparément dans chacune d'entre elles afin d'avoir un assemblage faunique cohérent et le plus synchrone possible. La collecte s'est faite de la façon la plus uniforme possible en prenant en compte toute la faune, la flore ainsi que les différents éléments ichnologiques rencontrés, cela dans le but d'avoir une vision globale des conditions

environnementales au moment du dépôt. Une attention particulière a été portée sur les spécimens biostratigraphiquement intéressants, en l'occurrence ici les ammonites. Les spécimens d'ammonites identifiables et pertinents ont été figurés et utilisés en tant qu'outil biostratigraphique. L'étude dans la carrière de Touffréville a eu lieu dans un second temps sur une dizaine de jours également. La carrière laisse à l'affleurement environ 33 m de dépôts dont des niveaux similaires à ceux retrouvés à Bavent (MBI), mais également des niveaux plus anciens du début du Callovien inférieur (ME et MA). L'étude de cette deuxième carrière permet donc non seulement d'avoir une séquence presque complète des dépôts du Callovien inférieur normand, mais aussi une corrélation avec les niveaux de Bavent. L'étude des dépôts de cette seconde carrière a été réalisée selon le même schéma d'action que pour la carrière de Bavent avec une collecte de spécimens banc par banc.

Ce travail se base sur l'étude d'environ 180 spécimens d'ammonites provenant de différents niveaux normands du début du Callovien dont 23 spécimens de la collection Asquini, collectés dans la carrière de Bavent, 4 spécimens de la collection Follet, collectés dans la carrière du Fresne d'Argences ainsi qu'environ 150 spécimens collectés ou observés directement dans les carrières de Bavent et Touffréville. La partie systématique a été organisée selon l'ordre établi dans le Treatise sur les Ammonoidea (Moore *et al.*, 1957). Les spécimens collectés ont été figurés dans l'ordre stratigraphique et par collection. Seuls les spécimens les plus complets et représentatifs ont été figurés. Plusieurs spécimens d'une même espèce ont parfois été figurés pour illustrer la variabilité qui existe au sein de celle-ci. Enfin, des spécimens de chaque unité stratigraphique ont été illustrés

pour représenter au mieux l'évolution des assemblages fauniques. Les photos des spécimens ont été réalisées avec un appareil photo Olympus Tough TG-6 4k. Un système de stacking photo a été utilisé avec dix photos consécutives focalisées sur dix plans focaux différents afin d'améliorer la netteté et la qualité des photos. Les spécimens ont été pris avec un éclairage situé en haut à gauche avec un angle de 45° afin de mettre en relief l'ornementation et les différents détails de ces derniers. Pour les spécimens d'ammonites les mieux conservés, une flèche a été placée au niveau de la dernière suture visible, marquant le début de la chambre d'habitation lorsque cela était possible. Le dégagement au moins partiel de certains spécimens était nécessaire pour arriver à une identification et a été réalisé au micro-percuteur ainsi qu'à l'aiguille.

### 3) Résultats

#### 3.1) Coupe de Bavent

La carrière de Bavent se compose de différents niveaux marneux, exploités par la société Terreal, datés du Callovien inférieur à moyen et correspondent à la formation des MBI (**fig. 3 & annexe 1**). Ces différents niveaux mettent en évidence des variations de condition de dépôt, mais aussi d'environnements avec des variations de faunes et de lithologies. Ces derniers peuvent ainsi se diviser en plusieurs unités (voir **annexe 2** pour la description détaillée).

**Unité B1** (membre inférieur des MBI) : marnes grises à bleutées, légèrement silteuses, d'une puissance de 2,4 m, parsemées de bois, de pyrite et de petits terriers (**I annexe 3**). La faune est assez rare, de petite taille et dominée par les bivalves. Les ammonites sont dominées par *Kosmoceras enodatum* (Nikitin 1881).

**Unité B2** (membre supérieur des MBI) : marnes jaune ocre à grises, silteuses, d'une puissance d'environ 6 m, parsemées de bois et de pyrite oxydée. La faune est abondante et dominée par les bivalves. Les ammonites augmentent en nombre vers le sommet et sont toujours dominées par *K. enodatum*. Trois sous-unités se distinguent : **B2a**, parcourue par des veines de gypse néoformé suite à l'hydratation et l'oxydation de la pyrite ; **B2b**, composée de marnes jaune ocre à grises ; **B2c**, parsemée de nodules calcaires (septarias), pluricenti-

métriques à métriques, renfermant parfois des bivalves, des brachiopodes, des nautilus, des ammonites ou des restes de vertébrés (**A, B, D, E, G & H annexe 3**).

**Unité B3** (membre supérieur des MBI) : marnes calcaires indurées jaune ocre, silteuses, d'une puissance de 0,15 m. Elle marque un changement dans la faune avec l'apparition de *Gryphaea dilobotes* Duff 1978 (**6 & 7 Pl. 10**), et *Kosmoceras medea* Callomon 1955. *Belemnopsis latesulcatus* (d'Orbigny 1845) devient plus fréquente (**3 & 4 Pl. 10**). Les bivalves sont toujours dominants. La préservation dans le niveau est très mauvaise.

**Unité B4** (membre supérieur des MBI) : marnes jaune ocre à grises, silteuses, d'une puissance d'environ 5,5 m. La faune est dominée par les bivalves. *Gryphaea dilobotes* et la bélemnite indice sont fréquentes et des *Thecocyathus* sp. apparaissent (**5 Pl. 10**). Les ammonites de la partie basse (**B4a**) sont dominées par *Kosmoceras medea*. La partie supérieure de l'unité, **B4b**, passe à des argiles bariolées et semble avoir été altérée par le passage des cours d'eaux pléistocènes.

**Unité B5** : alluvions pléistocènes, riches en galets, graviers et sables, d'une puissance variable (en moyenne 1 m), en discordance sur les marnes calloviennes.

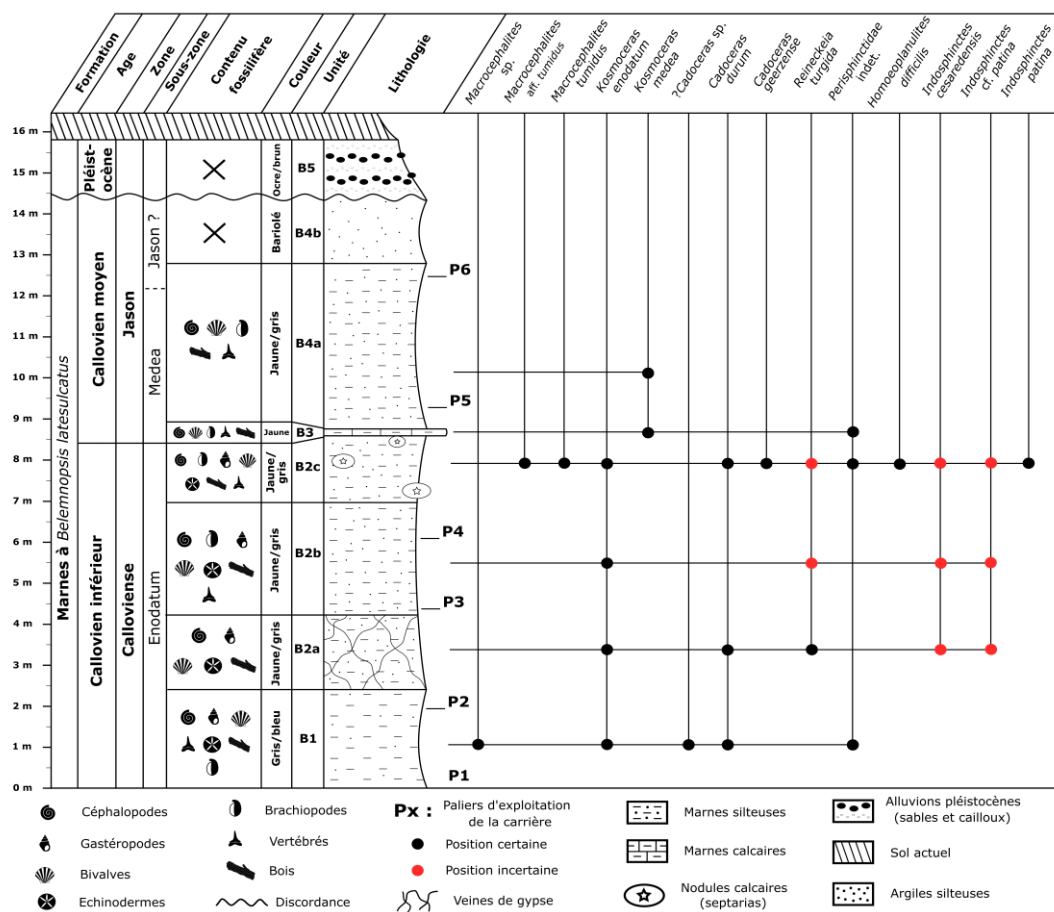


Figure 3 : Coupe stratigraphique synthétique de la carrière de Bavent avec répartition stratigraphique simplifiée des espèces d'ammonites collectées sur site.

### 3.2) Coupe de Touffréville

La carrière de Touffréville se situe à moins de 1 km au sud de celle de Bavent. La société Calcia exploite les niveaux calloviens sur une plus grande épaisseur que Terreal. Cette carrière se compose de plusieurs formations marno-calcaires que sont les ME, les MA et les MBI (fig. 4 & annexe 4). Ces niveaux constituent la quasi-totalité des dépôts du Callovien inférieur et permettent de mettre en évidence l'évolution du bassin lors des mouvements transgressifs qui ont lieu à cette période ainsi que d'y suivre l'évolution de la faune. Il est possible de diviser les dépôts en plusieurs unités (voir annexe 5 pour la description détaillée).

**Unité T1** (membre inférieur des ME) : marnes grises, légèrement silteuses, d'une puissance de 1,4 m, traversées à leur base par un banc calcaire de 0,15 m. Faune dominée par les bivalves et les brachiopodes. Les céphalopodes sont rares.

**Unité T2** (membre supérieur des ME) : alternance marno-calcaire d'une puissance d'environ 12 m, s'enrichissant de plus en plus en

éléments détritiques. Certains bancs sont très bioturbés (C & F annexe 3). La faune est dominée par les bivalves et les brachiopodes. Les céphalopodes sont rares mais deviennent de plus en plus fréquents vers le sommet et sont dominés par les Macrocephalitidae.

**Unité T3** (membre supérieur des ME) : alternance marno-calcaire condensée avec des bancs mal individualisés, d'une puissance de 1,6 m et terminée par un banc calcaire bioturbé de 0,25 m appelé "Surface d'Argences 1" (Dugué, 1989). La faune est riche, parfois lumachellique, dominée par les bivalves et les brachiopodes. Les céphalopodes restent rares.

**Unité T4** (MA) : marnes sombres, d'une puissance d'environ 3 m, pauvres en éléments détritiques et riches en faune. Elle est parsemée à la base par des nodules calcaires pluricentimétriques puis traversée par un banc calcaire bioturbé d'environ 0.25 m. La faune est dominée par les bivalves et les brachiopodes. Les céphalopodes deviennent plus fréquents mais restent rares et mal préservés. Unité se



terminant par un épais banc calcaire bioturbé, d'une puissance variant entre 0,4 et 0,6 m, discontinu à sa base, appelé "Grugeon" ou "Surface d'Argences 2" (Dugué, 1989).

**Unité T5** (membre inférieur des MBI) : marnes grises à bleutées, légèrement silteuses, d'une puissance de 5,5 m et parsemées de bois, de pyrite et de deux niveaux plus clairs et silteux, le premier contenant des nodules calcaires. La faune est assez rare, de petite taille et dominée par les bivalves. Les ammonites sont dominées par *Kosmoceras enodatum* dans la partie supérieure.

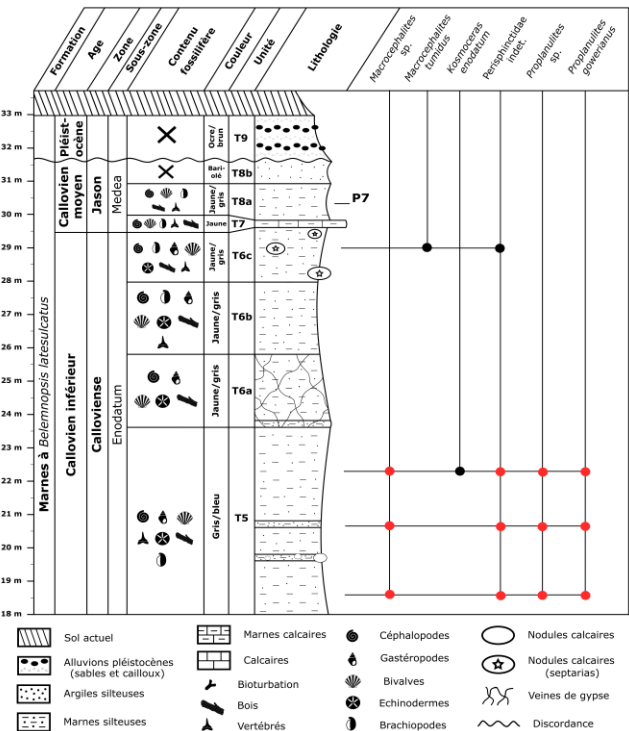
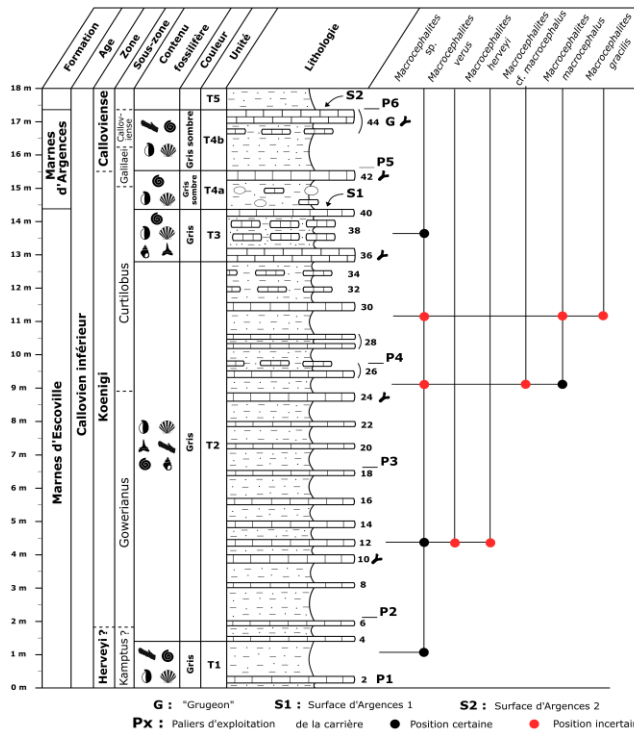
**Unité T6** (membre supérieur des MBI) : marnes jaune ocre à grises, silteuses, d'une puissance d'environ 6 m et parsemées de bois et de pyrite oxydée. La faune est fréquente et dominée par les bivalves. Trois sous-unités se distinguent : **T6a**, parcourue par des veines de gypse néoformé ; **T6b**, composée de marnes jaune ocre à grises ; **T6c**, parsemée de nodules calcaires (septarias) pluricentimétriques à métriques, renfermant parfois des bivalves, des

brachiopodes, des nautilus, des ammonites ou des restes de vertébrés (**A, B, D, E, G & H annexe 3**).

**Unité T7** (membre supérieur des MBI) : marnes calcaires indurées jaune ocre, silteuses, d'une puissance de 0,15 m. *Gryphaea dilobotes* (**6 & 7 Pl. 10**) et *Belemnopsis latesulcatus* sont fréquentes (**3 & 4 Pl. 10**).

**Unité T8** (membre supérieur des MBI) : marnes jaune ocre à grises, silteuses, d'une puissance d'environ 5,5 m. La faune est toujours dominée par les bivalves. *Gryphaea dilobotes* et la bélemnite indice sont fréquentes. La partie supérieure de l'unité, **T8b**, passe progressivement à des argiles bariolées et semble donc avoir été altérée par le passage des cours d'eaux pléistocènes.

**Unité T9** : alluvions pléistocènes, riches en galets, graviers et sables, d'une puissance variable (en moyenne 1 m), en discordance sur les marnes calloviennes.



### 3.3) Systématique

Les ammonites du début du Callovien, bien que beaucoup étudiées en Europe, ont peu été décrites et figurées récemment, notamment dans le nord-ouest de la France. Les spécimens collectés dans les carrières de Bavent et

Touffréville, ainsi que ceux présents dans les collections du Paléospace, offrent l'opportunité de redécrire et figurer de nouveaux spécimens, certains n'ayant même jamais été mentionnés en Normandie.

**Super-famille : Stephanocerataceae**

Neumayr, 1875

**Famille : Macrocephalitidae** Buckman, 1922

**Genre : *Macrocephalites*** Zittel, 1884

**Espèce : *Macrocephalites verus***

(Buckman, 1922) (3 Pl. 6)

**Description** : espèce de grande taille, atteignant 255 mm pour les macroconques et 115 mm pour les microconques (Thierry, 1978). Coquille involute à ombilic profond et étroit (O/D = 0,1-0,2). Coquille sphérocoône à discocoône avec une section subtrapézoïdale à arrondie (E/H = 0,8-1,1). Aire ventrale arrondie. Epaisseur maximale près du rebord ombilical. Flancs arrondis à légèrement aplatis. Costulation assez dense, marquée et légèrement sinueuse, prenant naissance sur le rebord ombilical. Côtes primaires courtes et proverses (1/3 à 1/2 du flanc). Côtes secondaires assez radiales, bifurquées ou trifurquées, mêlées à des côtes intercalaires. Côtes primaires s'effaçant sur les derniers tours et ornementation s'atténuant jusqu'à disparaître sur la chambre d'habitation des macroconques. Rebord ombilical arrondi à anguleux et mur ombilical subvertical et lisse.

**Comparaison et discussion** : proche de *M. herveyi* (Sowerby 1818), il s'en distingue par une costulation plus dense et une section plus anguleuse. Proche également de *M. macrocephalus* (Schlotheim 1813), il s'en distingue par une costulation plus dense et moins radiale. *M. verus* correspond en réalité à *M. macrocephalus sensu* Zittel 1884 et *sensu* Thierry 1978.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Herveyi.

**Espèce : *Macrocephalites herveyi***

(Sowerby, 1818) (1 Pl. 6)

**Description** : espèce de taille moyenne, dépassant 100 mm (Fischer, 1994). Coquille involute à ombilic assez étroit (O/D = 0,2-0,3). Coquille plutôt sphérocoône et globuleuse avec une section arrondie en forme de croissant (E/H = 1,2-1,4). Aire ventrale arrondie. Epaisseur maximale près du rebord ombilical. Flancs arrondis. Costulation assez dense, marquée, légèrement sinueuse et prenant naissance sur le rebord ombilical. Côtes primaires courtes légèrement proverses à radiales (1/3 à 1/2 du flanc). Côtes secondaires radiales à légèrement proverses, bifurquées ou trifurquées, mêlées à des côtes intercalaires. Rebord ombilical arrondi à anguleux et mur ombilical subvertical.

**Comparaison et discussion** : proche de *M. macrocephalus*, il s'en distingue par des côtes plus fortes, moins denses et moins radiales ainsi qu'un ombilic plus ouvert.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Herveyi.

**Espèce : *Macrocephalites macrocephalus***

(Schlotheim, 1813) (4 & 5 Pl. 6 ; 4 & 5 Pl. 7)

**Description** : espèce de grande taille, atteignant 250 mm pour les macroconques et 80 mm pour les microconques (Callomon *et al.*, 1992). Coquille involute à ombilic profond et étroit (O/D = 0,1-0,2). Coquille sphérocoône avec une section arrondie en forme de croissant (E/H = 1,2-1,6). Aire ventrale large et arrondie. Epaisseur maximale près du rebord ombilical. Flancs arrondis à légèrement aplatis. Costulation assez dense et marquée, prenant naissance sur le rebord ombilical. Côtes primaires proverses à radiales (1/3 à 1/2 du flanc). Côtes secondaires radiales, bifurquées ou trifurquées, mêlées à des côtes intercalaires. Côtes primaires s'effaçant sur les derniers tours et ornementation s'atténuant jusqu'à disparaître sur la chambre d'habitation des macroconques. Rebord ombilical arrondi à anguleux et mur ombilical subvertical et lisse.

**Comparaison et discussion** : proche de *M. megalcephalus* Callomon *et al.* 1989, il s'en distingue par une section généralement plus comprimée, sa taille inférieure et sa costulation plus dense. La définition de l'espèce a longtemps été confuse. Cela est notamment dû au fait que Schlotheim (1813) et Zittel (1884) ont en réalité décrit deux "*M. macrocephalus*" différents. Callomon (1971) et Callomon *et al.* (1992) sont revenus sur la définition de l'espèce à l'appui de données de terrains. Ils ont ainsi défini que par principe d'antériorité, *M. macrocephalus sensu* Schlotheim doit être considéré comme l'espèce originale et que *M. macrocephalus sensu* Zittel doit en réalité être mis en synonymie avec *M. verus*. Ce travail a également révélé que *M. macrocephalus sensu* Thierry 1978 était en réalité *M. verus* et que la Zone à Macrocephalus n'avait plus lieu d'être puisque l'espèce n'était pas présente dans les assemblages fauniques sur cet intervalle de temps.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Koenigi, Sous-zone à Gowerianus.

**Espèce : *Macrocephalites gracilis***

(Spath, 1928) (3 Pl. 7)

**Description** : espèce de grande taille, dépassant 190 mm pour les macroconques et 90 mm pour les microconques (Thierry, 1978). Coquille involute à ombilic profond et étroit (O/D = 0,15-0,2). Coquille comprimée et discocône avec une section ogivale (E/H = 0,7-1). Aire ventrale étroite et arrondie. Epaisseur maximale près du rebord ombilical. Flancs arrondis à légèrement aplatis. Costulation fine et dense, prenant naissance sur le rebord ombilical. Côtes primaires légèrement proverses à radiales (1/3 à 1/2 du flanc). Côtes secondaires radiales, bifurquées à trifurquées mêlées à des côtes intercalaires. Côtes primaires s'effaçant sur les derniers tours et ornementation s'atténuant jusqu'à disparaître sur la chambre d'habitation des macroconques. Rebord ombilical arrondi à anguleux et mur ombilical subvertical et lisse.

**Comparaison et discussion** : proche de *M. macrocephalus*, il s'en distingue par une coquille plus comprimée, une section plus élevée, des flancs plus aplatis ainsi qu'une costulation plus fine et dense. Anciennement désignés comme *M. compressus* Quenstedt 1846, les *Macrocephalites* macroconques comprimés du milieu du Callovien inférieur ont été rattachés à l'espèce de Spath suite aux travaux de Mangold *et al.* (1996). L'espèce de Quenstedt désigne alors les premiers Macrocephalitidae comprimés européens de la limite Bathonien-Callovien.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Gracilis (= Zone à Koenigi et à Calloviense, annexe 6).

**Espèce** : *Macrocephalites (Pleurocephalites) tumidus* (Reinecke, 1818) (3 & 4 Pl. 4)

**Description** : espèce de très grande taille atteignant entre 280 et 400 mm pour les macroconques et plus de 120 mm pour les microconques (Page, 1991 ; Fischer, 1994). Coquille involute à ombilic profond et très étroit (O/D = 0,13-0,2). Coquille sphérocone renflée avec une section arrondie en forme de croissant. Aire ventrale large et arrondie (E/H = 1,4-1,6). Epaisseur maximale au niveau du rebord ombilical. Flancs arrondis, convergeant rapidement vers l'aire ventrale. Costulation assez dense et marquée, prenant naissance sur le rebord ombilical. Côtes primaires radiales et courtes (1/3 du flanc). Côtes secondaires radiales, bifurquées à trifurquées. Ornementation s'atténuant jusqu'à disparaître au niveau de la chambre d'habitation des macroconques. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical haut, subvertical et lisse.

**Comparaison et discussion** : proche de *M. macrocephalus*, il s'en distingue par une coquille plus renflée et moins comprimée, ses côtes moins nombreuses et radiales ainsi que sa taille plus importante. Certains spécimens semblent trop caducône pour appartenir à *M. tumidus* qui a généralement des tours plus renflés et arrondis latéralement (3 Pl. 4). Il est possible que ces derniers appartiennent en réalité à *M. megalcephalus*, cependant, la répartition stratigraphique de cette espèce est mal connue et pratiquement aucun spécimen n'a été décrit ou figuré depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle, rendant difficile une attribution certaine.

**Niveaux stratigraphiques** : fin du Callovien inférieur, Zone à Calloviense, Sous-zone à Enodatum, jusqu'au début du Callovien moyen, Zone à Jason, Sous-zone à Medea.

**Famille** : Kosmoceratidae Linné, 1758

**Genre** : *Keplerites* Neumayr & Uhlig, 1892

**Espèce** : *Keplerites (Keplerites) curtilobus* (Buckman, 1922) (3 Pl. 8 & 2 Pl. 9)

**Description** : espèce de taille moyenne pouvant atteindre plus de 110 mm pour les macroconques mais sont généralement plus petits (Tintant, 1963). Coquille involute à ombilic assez étroit s'ouvrant sur les derniers tours (O/D = 0,2-0,4). Coquille plutôt serpenticonne à platicône avec une section subquadratique à subtrapézoïdale arrondie (E/H = 0,9-1,2). Aire ventrale assez large et arrondie avec un méplat sur les premiers tours. Epaisseur maximale des tours située à l'approche du bord ombilical. Flancs légèrement arrondis et aplatis. Costulation dense prenant naissance sur le mur ombilical. Côtes primaires proverses, fortes et pincées, s'espaçant et s'arrondissant sur la chambre d'habitation (1/3 des flancs). Côtes secondaires nombreuses et assez radiales, bifurquées ou trifurquées, mêlées à plusieurs côtes intercalaires. Chambre d'habitation représentant environ un demi-tour. Rebord ombilical arrondi voir légèrement anguleux et mur ombilical abrupte et subvertical.

**Comparaison et discussion** : très proche du sous-genre *Gowericeras* Buckman 1921, il s'en distingue par l'absence de tubercules latéraux, ses côtes primaires plus courtes et sa taille plus importante. Proche du groupe *kepleri*, il s'en distingue par son ombilic plus large, sa section moins élevée ainsi que ses côtes primaires s'espaçant et s'arrondissant sur la chambre d'habitation. Des spécimens de cette espèce ont déjà été mentionnés dans les dépôts d'Argences

et figurés par Douvillé (1909) sous le nom de *K. gowerianus* Sowerby 1887.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Koenigi, Sous-zone à Curtilobus. Tintant (1963) mentionne l'espèce dans toute l'ancienne Zone à Calloviense (**annexe 6**).

**Espèce** : *Kepplerites (Kepplerites) trichophorus* (Buckman, 1922) (1 Pl. 9)

**Description** : espèce de taille moyenne atteignant 90 mm pour les macroconques (Tintant, 1963). Coquille assez involute à ombilic étroit (O/D = 0,25-0,33). Coquille plutôt serpenticonne à platicône avec une section subtrapézoïdale arrondie (E/H = 0,9-1,3). Aire ventrale plane, assez étroite et bordée de rangées de tubercules sur les premiers tours puis s'élargissant et s'arrondissant rapidement avec la disparition des tubercules. Epaisseur maximale des tours située au 1/3 des flancs. Flancs aplatis et légèrement arrondis. Costulation très dense et fine, prenant naissance sur le mur ombilical. Côtes primaires courtes (1/3 du flanc), nombreuses, marquées et proverses. Côtes secondaires bifurquées ou trifurquées, légèrement sinueuses, mêlées à de nombreuses côtes intercalaires. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical incliné.

**Comparaison et discussion** : très proche de *K. keppleri* (Oppel 1862), il s'en distingue par sa taille inférieure (~1/2), son ombilic plus large et sa coquille plus comprimée. Également proche de *K. curtlobus*, il s'en distingue par son ombilic plus étroit et sa costulation plus fine et dense sur les derniers tours.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Calloviense, Sous-zone à Curtilobus. Tintant (1963) mentionne l'espèce dans toute l'ancienne Zone à Calloviense (**annexe 6**).

**Genre** : *Kosmoceras* Waagen, 1865

**Espèce** : *Kosmoceras (Catasigaloceras) enodatum* (Nikitin, 1881)

(1 à 3, 8 & 9 Pl. 1 ; 1 & 2 Pl. 2 ; 4 & 5 Pl. 8)

**Description** : espèce de petite taille, ne dépassant pas 65 mm pour les macroconques et 35 mm pour les microconques (Tintant, 1963 ; Page, 1991). Coquille assez involute à ombilic étroit (O/D = 0,20-0,25). Coquille légèrement comprimée et discocône avec une section subtrapézoïdale arrondie (E/H = 0,6-0,9). Aire ventrale plane, bordée d'une rangée de petits tubercules qui s'estompent généralement au-

delà de 20 mm. Méplat ventral disparaissant sur la loge d'habitation des macroconques. Epaisseur maximale de la coquille située à l'approche du bord ombilical. Flancs légèrement convexes, devenant de plus en plus parallèles avec l'augmentation du diamètre. Costulation fine et dense, prenant naissance sur le mur ombilical. Côtes primaires légèrement pincées et proverses terminées au 2/5 des flancs par un petit tubercule latéral, s'atténuant généralement au-delà de 10 mm. Côtes secondaires bifurquées ou trifurquées, légèrement sinueuses, se terminant au bord de l'aire ventrale par un tubercule ayant tendance à s'allonger et rejoindre celui du flanc opposé sur les derniers tours. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical fortement incliné voir subvertical. Sutures assez simples par rapport aux autres *Kosmoceratidae* avec des lobes étroits et trifides ainsi que des selles larges présentant des lobes et selles accessoires.

**Comparaison et discussion** : très similaire à *Sigaloceras calloviense* (Sowerby 1815), il s'en distingue par sa taille bien inférieure, la disparition du méplat ventral sur la loge d'habitation des macroconques ainsi que ses sutures bien moins complexes. La lignée des *Kosmoceras* débute avec *Catasigaloceras* Buckman 1923, sous-genre de transition entre *Sigaloceras* Hyatt 1900 et *Kosmoceras* (Courville et al., 1998). *K. enodatum* va progressivement dériver vers *K. medea* puis *K. jason* (Reinecke 1818). De ce fait, le passage entre ces trois espèces est progressif avec tous les intermédiaires. La distinction entre *K. enodatum* et *K. jason* reste assez simple avec l'apparition de tubercules ombilicaux arrondis et une taille bien plus importante pour *K. jason*. Mais la distinction entre les dernières populations de *K. enodatum* et les premiers *K. medea* est beaucoup plus confuse. Les meilleurs critères de distinction sont alors pour *K. enodatum* : (1) des sutures assez simples avec un lobe latéral régulièrement trifide ; (2) des côtes primaires légèrement pincées ne formant jamais de pseudo tubercules ombilicaux ; (3) une taille ne dépassant pas 65 mm pour les macroconques et 35 mm pour les microconques ; (4) une coquille moins comprimée latéralement. Rioult et al. (1989) ont déjà mentionné *K. enodatum*, ainsi que son microconque *K. guillemii anterior* Brinkmann 1929 dans ces dépôts sans les figurer.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Calloviense, Sous-zone à Enodatum.

**Espèce : *Kosmoceras (Catasigaloceras) medea* Callomon, 1955 (5 à 7 Pl. 2)**

**Description :** espèce de taille moyenne généralement de 90 mm pour les macroconques et 40 mm pour les microconques (Tintant, 1963 ; Page, 1991). Coquille assez involute à ombilic étroit (O/D = 0,2-0,3). Coquille légèrement compressée et discocône avec une section subtrapézoïdale arrondie (E/H = 0,55-0,75). Aire ventrale plane et bordée d'une rangée de petits tubercules qui s'estompent au-delà de 40 mm. Méplat ventral disparaissant sur la loge d'habitation des macroconques. Epaisseur maximale des tours située à l'approche du bord ombilical. Flancs légèrement convexes, devenant de plus en plus parallèles avec l'augmentation du diamètre. Costulation fine et dense, prenant naissance sur le mur ombilical. Côtes primaires pincées et marquées, légèrement proverses, formant une ébauche de tubercule ombilical à la base et terminées au 2/5 des flancs par un petit tubercule latéral, s'atténuant généralement avant 30 mm. Côtes secondaires bifurquées ou trifurquées, légèrement sinueuses, se terminant au bord de l'aire ventrale par un tubercule. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical fortement incliné voir subvertical. Sutures assez simples, basées sur le même schéma que *K. enodatum* mais avec des lobes qui deviennent irrégulièrement trifides ainsi que des selles larges présentant de plus nombreux lobes et selles accessoires.

**Comparaison et discussion :** proche de *K. jason*, il s'en distingue par une taille inférieure, une coquille moins compressée latéralement et l'absence de tubercules arrondis individualisés à la base des côtes primaires. Il existe en réalité de petits *K. medea* anciens très ornés et de grands *K. medea* très plats mais se distinguent des autres *Kosmoceras* anciens par leur ornementation plus vigoureuse notamment sur la chambre d'habitation (Courville et al., 1998). Rioult et al. (1989) ont déjà mentionné *K. medea* dans les MBI.

**Niveaux stratigraphiques :** Callovien moyen, Zone à Jason, Sous-zone à Medea.

**Famille :** *Cardioceratidae* Siemiradzki, 1891

**Genre :** *Cadoceras* Fischer, 1882

**Espèce :** *Cadoceras durum* (Buckman, 1922) (1 à 3 Pl. 3)

**Description :** espèce de grande taille, en général 150 mm pour les macroconques et 45 mm pour les microconques (Page, 1991). Les

spécimens de Bavent atteignent cependant des tailles plus importantes allant jusqu'à 230 mm. Coquille involute à ombilic profond et étroit (O/D = 0,27-0,37). Coquille discocône dans les premiers tours, devenant peu à peu sphérocone voire cadicône dans les derniers tours. Section des tours ogivale élevée dans les premiers tours, devenant de plus en plus arrondie et écrasée dorso-ventralement, lui donnant une forme de croissant sur les derniers tours (E/H = 1,7-2). Aire ventrale très étroite sur les premiers tours, devenant très large et arrondie sur les derniers tours. Epaisseur maximale au niveau du rebord ombilical. Flancs très arrondis, convergeant rapidement vers l'aire ventrale. Sur les premiers tours, costulation assez dense et marquée, prenant naissance sur le mur ombilical. Côtes primaires proverses et longues (1/2 des flancs). Côtes secondaires proverses et bifurquées. Ornementation s'effaçant ensuite rapidement, laissant alors les derniers tours et la chambre d'habitation parfaitement lisses. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical subvertical dans les premiers tours. Rebord ombilical devenant saillant, formant presque une carène et mur ombilical devenant très haut et lisse.

**Comparaison et discussion :** très proche de l'espèce russe *Paracadoceras falsum* Voronetz 1962, il s'en distingue géographiquement et stratigraphiquement puisque *P. falsum* se retrouve uniquement sur la plateforme russe dans la Zone à Elatmae, équivalent de la Zone à Herveyi (annexe 6). Proche également de *C. geerzense* (Wermbter 1891), il s'en distingue par une largeur toujours inférieure au diamètre de la coquille. Souvent représenté sans la chambre d'habitation, notamment pour l'holotype de Buckman (1922-1923), les spécimens trouvés à Bavent eux présentent tous leur chambre quasiment complète et ressemblent fortement au spécimen figuré par Page (1991) (Fig. 3 & 4 PL. 18 page 110). Dernier représentant de la lignée *tolype-rubrum-sublaeve-durum*, il est en continuité morphologique avec ces derniers (Callomon, 1985).

**Niveaux stratigraphiques :** Callovien inférieur, Zone à Calloviense, Sous-zone à Enodatum.

**Espèce : *Cadoceras geerzense***  
(Wermbter, 1891) (4 Pl. 3)

**Description :** espèce de grande taille, en général 150 mm pour les macroconques, les spécimens de Bavent sont bien plus grands, atteignant 255 mm. Coquille très involute à ombilic étroit (O/D = 0,2-0,25). Coquille cadicône

et renflée avec une section en forme de croissant dans les derniers tours. Aire ventrale large et très arrondie. Épaisseur maximale au niveau du rebord ombilical. Flancs très arrondis, convergeant rapidement vers l'aire ventrale. Derniers tours et chambre d'habitation lisses. Rebord ombilical saillant formant presque une carène et mur ombilical très haut et lisse sur les derniers tours. Espèce caractérisée par une épaisseur égale voir supérieure au diamètre de la coquille, la rendant presque sphérique.

**Comparaison et discussion :** l'espèce a souvent été confondue avec *C. sublaeve* (Sowerby 1814) mais s'en distingue par son épaisseur égale voir supérieure à son diamètre. Initialement nommé *Ammonites modiolaris* Lhuys 1699 mais étant considéré comme non valide avec les critères de nomenclature moderne, il faudra attendre Wernbter (1891) pour que l'espèce soit redécrite et renommée *geerzense* (Fischer, 1994). L'espèce a rarement été figurée en Europe (sous le nom de *Ammonites modiolaris*, Pl. 170 d'Orbigny, 1842 ; sous le nom de *C. sublaeve*, fig. 210, Pl. XX page 224, Roman, 1938 ; sous le nom de *C. geerzense*, 2 Pl. 58 page 300, Fischer, 1994 ; sous le nom de *C. geerzense*, 3 fig. 2 page 98, Thierry, 2003). Déjà mentionné dans les dépôts calloviens de Barent et Touffréville sans être figuré, il l'est également dans le Callovien moyen de Sarthe mais sans figuration, il est donc difficile d'affirmer sa présence au-delà du Callovien inférieur (Fischer, 1994).

**Niveaux stratigraphiques :** Callovien inférieur, Zone à Calloviense.

**Super-famille : Perisphinctaceae**  
Steinmann, 1890

**Famille : Reineckeidae** Hyatt, 1900

**Genre : Reineckeia** Bayle, 1878

**Espèce : Reineckeia turgida** Cariou, 1984  
(5 Pl. 4 & 1 Pl. 5)

**Description :** espèce de taille géante pouvant atteindre plus de 450 mm pour les macroconques (Cariou, 1984). Coquille évoluée à ombilic creusé et large (O/D = 0,45-0,50). Coquille serpenticône avec une section subcirculaire dans les premiers tours, devenant subtrapézoïdale arrondie dans les derniers tours (E/H = 0,9-1,3). Aire ventrale assez large et arrondie. Épaisseur maximale située près du rebord ombilical. Flancs arrondis. Costulation dense et épaisse, prenant naissance sur le rebord ombilical. Côtes primaires épaisses, radiales et longues (1/2 des flancs), formant des

tubercules pointus proches du rebord ombilical dans les premiers tours, puis devenant proéminents, arrondis et allongés. Côtes secondaires radiales, fines et arrondies, bifurquées ou trifurquées dans les premiers tours, augmentant ensuite jusqu'à cinq et mêlées à des côtes intercalaires. Ornementation s'atténuant jusqu'à disparaître sur la chambre d'habitation. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical abrupt, subvertical.

**Comparaison et discussion :** très proche de *R. spinosa* Jeannel 1951, il s'en distingue par ses tubercules devenant progressivement plus bulbeux, sa loge d'habitation moins comprimée et sa costulation s'effaçant sur celle-ci. *R. turgida* est une espèce d'affinité méditerranéenne et n'a, semble-t-il, jamais été mentionnée dans le nord-ouest de la France (Cariou, 1984). De plus, l'un des spécimens de la collection Asquini, provenant de la carrière de Barent, mesure 650 mm ce qui en fait le plus grand connu à ce jour (1 Pl. 5). L'ombilic a cependant été endommagé lors de son dégagement. La seconde face du spécimen est encore préservée dans sa gangue et pourra être dégagée ultérieurement.

**Niveaux stratigraphiques :** Callovien inférieur, Zone à Gracilis, Sous-zone à Patina (= Zone à Calloviense, Sous-zone à Enodatum).

**Famille : Perisphinctidae** Steinmann, 1890

**Genre : Proplanulites** Teisseyre, 1887

**Espèce : Proplanulites koenigi**  
(Sowerby, 1820) (3 & 4 Pl. 9)

**Description :** espèce de taille moyenne pouvant atteindre 150 mm pour les macroconques (Roman, 1938). Coquille assez involute avec un ombilic plutôt étroit (O/D = 0,3-0,35). Coquille discocône avec une section ogivale élevée et comprimée dans les premiers tours, devenant subrectangulaire à angles arrondis (E/H = 0,6-0,7). Aire ventrale arrondie et étroite. Épaisseur maximale située à l'approche du rebord ombilical. Flancs comprimés et légèrement arrondis. Costulation dense, prenant naissance sur le rebord ombilical. Côtes primaires légèrement proverses, épaisses et arrondies (1/2 du flanc). Côtes secondaires légèrement proverses, bifurquées ou trifurquées, mêlées à des côtes intercalaires. Costulation ayant tendance à s'effacer au milieu des flancs et sur l'aire ventrale sur les derniers tours, ne laissant apparaître sur la chambre d'habitation que les côtes primaires et le milieu des côtes secondaires affaiblies. Recouvrement des tours important (1/2) ne laissant que les côtes

primaires visibles sur les tours internes. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical subvertical dans les tours internes, puis devenant progressivement plus incliné.

**Comparaison et discussion** : très proche de *P. teisseyrei* Tornquist 1894, il s'en distingue par une aire ventrale moins arrondie, un ombilic proportionnellement plus étroit et une section moins rectangulaire. Cependant, les taxons contemporains très proches comme *P. teisseyrei* pourraient en réalité appartenir à une seule et même espèce au vu de leur grande ressemblance tant stratigraphique que morphologique comme le mentionne Thierry (2003). Douvillé (1909) figure des spécimens de *P. teisseyrei* provenant du Fresne d'Argences.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Koenigi.

**Genre** : *Homoeoplanulites* Buckman, 1922  
**Espèce** : *Homoeoplanulites difficilis*  
Buckman, 1922 (1 & 2 Pl. 4)

**Description** : espèce de grande taille pouvant atteindre 180 mm pour les macroconques et 95 mm pour les microconques (Cox, 1988 ; Page, 1991). Coquille modérément évolutive à ombilic assez large et creusé (O/D = 0,3-0,4). Coquille serpenticonne à platicône avec une section subcirculaire dans les premiers tours devenant de plus en plus comprimée latéralement (H/E = 0,7 à 0,9). Aire ventrale arrondie et assez étroite. Epaisseur maximale située au niveau du rebord ombilical. Flancs comprimés à légèrement arrondis, présentant de rares strictions. Costulation dense et marquée sur les premiers tours. Côtes primaires longues (1/2 à 2/3 du flanc), fines et radiales à légèrement proverses prenant naissance sur le rebord ombilical et se renforçant à la base sur les derniers tours. Côtes primaires se renforçant au niveau de l'ombilic et s'affaiblissant au milieu des flancs vers les derniers tours. Côtes secondaires radiales à légèrement proverses, bifurquées ou trifurquées, mêlées à des côtes intercalaires. Chambre d'habitation formant jusqu'à un tour complet et presque dépourvu de costulation. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical incliné à subvertical, arrondi et presque lisse.

**Comparaison et discussion** : très proche des *Indosphinctes* Spath, 1930 comme *I. patina* (Neumayr, 1870), il s'en distingue par des côtes primaires plus longues et moins épaisses ainsi qu'un recouvrement des tours plus important

(~1/2). Proche de *Choffatia cardoti* Petitclerc 1915, il s'en distingue par des tours moins comprimés, une coquille plus involute et des côtes primaires moins épaisses.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Calloviense, Sous-zone à Enodatum.

**Genre** : *Indosphinctes* Spath, 1930  
**Espèce** : *Indosphinctes cesaredensis*  
Mangold, 1970 (5 Pl. 3)

**Description** : espèce de grande taille pouvant dépasser 350 mm pour les macroconques (Mangold, 1970). Coquille évolutive à ombilic creusé et large (O/D = 0,5). Coquille serpenticonne à platicône avec une section subcirculaire dans les premiers tours puis se comprimant, devenant ogivale (E/H = 0,7-0,8). Aire ventrale arrondie. Epaisseur maximale située près du rebord ombilical. Flancs arrondis à aplatis, présentant de rares strictions. Costulation fine et serrée sur les premiers tours, prenant naissance sur le rebord ombilical et devenant plus forte et espacée sur les derniers tours. Côtes primaires longues (2/3 du flanc), proverses puis radiales et devenant très épaisses sur les derniers tours. Côtes secondaires radiales, trifurquées, mêlées à des côtes intercalaires, s'affaiblissant sur les derniers tours. Recouvrement des tours (1/3 à 1/2) ne laissant apparent que les côtes primaires des tours internes. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical oblique dans les premiers tours, puis devenant plus vertical et haut.

**Comparaison et discussion** : l'allure de la costulation du phragmocône est décrite comme "reineckeiforme" par Mangold (1970), ce qui décrit très bien ces fortes côtes primaires rappelant certains Reineckeidae. Cependant, cette espèce s'en distingue par l'absence totale de tubercules à tous les stades ontogéniques et par la présence de strictions dans les premiers tours. Également proche de *I. patina*, il s'en distingue par sa taille bien plus importante, ses côtes plus grossières et par la présence d'ornementation sur la chambre d'habitation. L'holotype de Mangold (1970) semble être le seul spécimen figuré et ne permet donc pas de connaître les variations intraspécifiques possibles notamment au niveau de la taille. Étant donné que le spécimen figuré ici mesure déjà 300 mm sans sa chambre d'habitation, il est possible que la gamme de taille de l'espèce aille au-delà des 350 mm mentionnés par Mangold.

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Gracilis, Sous-zone à Patina (= Zone à Calloviense, Sous-zone à Enodatum).

**Espèce** : *Indosphinctes patina*  
(Neumayr, 1870) (3 & 8 Pl. 2)

**Description** : espèce de grande taille pouvant atteindre 270 mm pour les macroconques et 90 mm pour les microconques (Mangold, 1970 ; Page, 1991). Coquille évolutive à ombilic large (O/D = 0,5). Coquille serpenticône à platicône avec une section subcirculaire dans les premiers tours devenant ogivale à subtriangulaire et plus comprimée (E/H = 0,7-0,8). Aire ventrale arrondie et étroite sur les derniers tours. Epaisseur maximale située au niveau du rebord ombilical. Flancs arrondis, présentant de rares constriction et devenant de plus en plus plats sur les derniers tours. Costulation fine et dense sur les premiers tours, devenant plus épaisse et espacée sur les derniers tours. Côtes primaires

épaisses, radiales et courtes (1/3 du flanc). Côtes secondaires radiales, trifurquées, mêlées à des côtes intercalaires. Recouvrement des tours faible (1/3), laissant apparent la base des côtes secondaires dans les tours internes. Chambre d'habitation faisant environ 3/4 de tours, pratiquement lisse avec seulement des côtes primaires émoussées et peu marquées qui subsistent près du bord ombilical. Rebord ombilical arrondi et mur ombilical incliné.

**Comparaison et discussion** : se distingue des autres *Indosphinctes* étant le plus évolutive du genre avec un taux de recouvrement très faible (1/3), une chambre d'habitation pratiquement lisse et sa section subtriangulaire sur les derniers tours. L'espèce a déjà été mentionnée dans les MBI par Rioult *et al.* (1989).

**Niveaux stratigraphiques** : Callovien inférieur, Zone à Gracilis, Sous-zone à Patina (= Zone à Calloviense, Sous-zone à Enodatum).

### 3.4) Biostratigraphie

Le découpage biostratigraphique du Callovien inférieur de la province subboréale a énormément évolué à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle (Callomon & Phil, 1955 ; Callomon *et al.*, 1988 ; Page, 1988 ; Page, 1989 ; Callomon *et al.*, 1992 ; Cariou & Hantzpergue, 1997). Initialement découpé en deux biozones (Zone à Macrocephalus et Zone à Calloviense), il est maintenant subdivisé en trois biozones que sont la Zone à Herveyi, la Zone à Koenigi et la Zone à Calloviense qui se corrélaient assez mal avec les anciennes zones. La subdivision des biozones s'est également affinée avec le temps, passant de cinq à huit sous-zones et la création de dix-huit horizons pour les dépôts anglais (annexe 6). Les dépôts normands en sont très proches et ont donc une faune et un découpage biostratigraphique très similaire.

Les travaux de Eudes-Deslongchamps, repris durant la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, avaient permis d'établir un découpage pour les formations normandes des ME, MA et MBI (Eudes-Deslongchamps, 1856 ; Rioult & Mourdon, 1982 ; Dugué, 1989 ; Rioult *et al.*, 1991). Cependant, ce découpage a été effectué avec l'ancienne biozonation en vigueur et n'est donc plus d'actualité. De plus, les publications ayant défini l'ancienne biozonation sont difficiles d'accès et les spécimens ayant permis ce découpage n'ont donc pas pu être utilisés pour

le mettre à jour. La corrélation directe des biozones étant rendue difficile par les trop gros changements dans le découpage, l'acquisition de nouvelles données est essentielle pour mettre à jour la biostratigraphie de ces niveaux.

Initialement, le membre inférieur des ME ainsi que les trois premiers mètres du membre supérieur étaient rattachés à la Zone à Macrocephalus. Le reste du membre supérieur, l'intégralité des MA ainsi que le membre inférieur des MBI correspondaient alors à la Zone à Calloviense et le second membre des MBI correspondait à la Zone à Jason (annexe 6). Cependant, l'introduction de la Zone à Herveyi remplaçant le début de la Zone à Macrocephalus et l'introduction de la Zone à Koenigi remplaçant la fin de la Zone à Macrocephalus et le début de la Zone à Calloviense bouleverse ce découpage. De plus, les ME sont pauvres en restes de céphalopodes, ne permettant pas un découpage biostratigraphique précis, cela même pour les biozones principales. Néanmoins, une corrélation approximative demeure réalisable.

Le membre supérieur des ME se compose à sa base de plusieurs bancs calcaires dont un épais et bioturbé (banc n°10) marquant la limite supérieure de l'ancienne Zone à Macrocephalus (Dugué, 1989). Cette partie basale du membre supérieur (base de l'unité T2), ainsi que les derniers mètres du membre inférieur qui les



précèdent (unité T1), correspondaient alors à l'ancienne Sous-zone à Kamptus qui maintenant correspond presque intégralement à la Sous-zone à Gowerianus de la Zone à Koenigi (**annexe 6**). Il semble donc que le découpage des dépôts de Touffréville débute avec la base de la nouvelle Sous-zone à Gowerianus de la Zone à Koenigi. Néanmoins, un *Macrocephalites herveyi* et un *M. verus* ont été collectés dans les déblais de cette partie de la carrière. Or ces spécimens de *Macrocephalites* anciens sont des marqueurs de la Zone à Herveyi. Cela pourrait ainsi indiquer la présence de cette zone dans les niveaux les plus bas de la carrière. Ces spécimens pourraient également être des spécimens tardifs présents dans la Zone à Koenigi. Cependant, seuls des spécimens en place pourront confirmer ces hypothèses.

Le reste du membre supérieur des ME (unité T2 et T3), correspondait quant à lui à l'ancienne Sous-zone à Koenigi qui est maintenant en partie corrélée aux Sous-zone à Gowerianus et *Curtilobus* (**annexe 6**). La présence de plusieurs *M. macrocephalus* (palier d'exploitation 3 et bancs n° 24 et 26), confirme bien un assemblage à la limite entre ces deux sous-zones, pouvant correspondre à l'Horizon à *Macrocephalus*.

Les MA (unité T4), étaient attribuées à la Sous-zone à Calloviense de la Zone à Calloviense. Cette sous-zone correspond maintenant à la toute fin de la Sous-zone à *Curtilobus* ainsi qu'aux Sous-zone à Galilaei et à Calloviense (**annexe 6**). Cependant, aucune ammonite en bon état de conservation n'a pu être collectée en place, empêchant de préciser le découpage.

En dehors des spécimens collectés, les *Keplerites trichophorus*, *K. curtilobus* et *Proplanulites koenigi* de la collection Follet nous en apprennent plus sur les faunes d'ammonites présentes. Ces derniers, qui proviennent des niveaux équivalents du Fresne d'Argences, montrent bien qu'il existe un assemblage faunique cohérent avec la Zone à Koenigi. Encore une fois, seuls des spécimens en place pourraient permettre de préciser ce découpage.

Le membre inférieur des MBI (B1 & T5), correspondait initialement à la Sous-zone à Enodatum de la Zone à Calloviense et le membre supérieur (B2 à B4 & T6 à T8), à la Zone à Jason du Callovien moyen.

L'unité B1 ne constitue que la partie supérieure de l'unité T5 et la partie inférieure de cette

dernière n'a pas fourni d'ammonites en assez bon état de conservation pour effectuer un découpage. Néanmoins, la présence de nombreux spécimens de *Kosmoceras enodatum*, de plusieurs Perisphinctidae ainsi que de rares *Cadoceras* et *Macrocephalites* dans la partie supérieure de ces niveaux confirme l'attribution à la Sous-zone à Enodatum. La limite inférieure exacte de cette sous-zone reste cependant indéterminée.

Les Kosmoceratidae des unités B2/T6, que ce soit en taille, en ornementation ou au niveau des sutures, ne rappellent pas *K. medea*, premier Kosmoceratidae du Callovien moyen. Leurs sutures sont encore régulièrement trifides et les côtes primaires sont encore finement pincées sans former de pseudo-tubercules ombilicaux et correspondent donc encore à *K. enodatum*. De plus, les spécimens collectés ainsi que ceux de la collection Asquini provenant de ces unités indiquent une faune typique de la fin du Callovien inférieur. *Macrocephalites tumidus*, *Cadoceras durum*, *C. geerzense* et *Homoeoplanulites difficilis* correspondent à la faune de la Sous-zone à Enodatum tandis que *Reineckeia turgida* et les nombreux Perisphinctidae tel que *Indosphinctes patina* et *I. cesaredensis* rappellent la faune de la Sous-zone à Patina, équivalent subméditerranéen de la Sous-zone à Enodatum (**annexe 6**). Ces unités sont donc en réalité dans la continuité de la Sous-zone à Enodatum et non dans la Zone à Jason. L'individualisation de trois horizons basés sur les trois morphotypes de *K. enodatum* proposé par Page (1988) n'est quant à elle pas possible ici au vu de la mauvaise préservation des spécimens collectés.

Les unités B3/T7 voient apparaître un changement dans la sédimentation (niveau plus calcaire) mais également dans la faune, notamment avec l'apparition de *Gryphaea dilobotes* et la présence plus importante de *Belemnopsis latesulcatus*. Les Kosmoceratidae de ces unités possèdent des caractères très similaires à *K. enodatum* mais ont une costulation plus vigoureuse et des côtes primaires formant sur la région ombilicale des pseudo-tubercules correspondant de façon certaine à *K. medea*, marquant ainsi le passage dans le Callovien moyen avec la Sous-zone à Medea de la Zone à Jason. La limite entre le Callovien inférieur et le Callovien moyen se situe donc entre l'unité B2/T6 et B3/T7, passage ainsi marqué dans la région par ce niveau marno-calcaire plus induré.

Les Kosmocerotidae de la partie inférieure des unités B4/T8 correspondent encore à *K. medea*. Cependant, les seuls spécimens d'ammonites identifiables collectés sont tous de cette espèce et proviennent de la partie inférieure de ces unités, ne permettant pas de mettre en évidence un assemblage faunique. Malgré cela, la présence de *K. medea* permet de confirmer la continuité de la Sous-zone à Medea sur les premiers mètres des unités B4/T8. Il est possible que les premiers *K. jason* soient présents dans

la partie supérieure de ces unités, marquant ainsi le passage à la Sous-zone à Jason. Deroin *et al.* (1999) avaient d'ailleurs déjà mentionné la présence de cette sous-zone dans la partie supérieure de la "couche jaune", second membre des MBI. Cependant, cette partie a entièrement été érodée durant le Quaternaire à Touffréville et aucune Kosmocerotidae en bon état de conservation n'a pu être collectée dans cette partie de l'affleurement à Bavent.

## 4) Discussion

### 4.1) Évolution du bassin

L'évolution du remplissage sédimentaire du bassin avait déjà été étudiée dans la région (Dugué, 1989 ; Rioult *et al.*, 1989 ; Deroin *et al.*, 1999). Les observations faites dans les carrières de Bavent et Touffréville semblent correspondre à ce qui a été observé dans les carrières d'Escoville et du Fresne d'Argences. A la base, les ME correspondent à une vasière à brachiopodes qui va peu à peu s'enrichir en éléments détritiques. Des changements dans la vitesse de sédimentation marquent ensuite les MA avec des dépôts plus condensés. Cependant, la condensation des bancs de la fin des ME semble déjà marquer un changement dans la sédimentation, ce qui n'avait pas été mentionné précédemment. Ces variations ont probablement un lien avec la montée du niveau marin qui engendre des variations de courant et de remplissage du bassin. La présence de nodules calcaires dans les MA démontre également un changement de condition de dépôt et le "Grugeon", limite supérieure de la formation, marque le passage à des dépôts plus profonds et moins carbonatés dans les MBI.

Le fait que les ME soient parcourues par 15 mètres d'alternances marno-calcaire permettrait une étude plus poussée sur la mise en évidence d'une éventuelle cyclicité. Les variations régulières semblent correspondre aux cycles de précession et les niveaux plus condensés pourraient correspondre aux variations d'excentricité. Cependant, les variations astronomiques ne sont pas les seuls facteurs à jouer sur la sédimentation. Les variations du niveau marin, du climat, des courants ainsi que des apports détritiques influent énormément sur celle-ci. Une étude plus poussée sur le sujet semble alors intéressante pour mieux comprendre l'évolution des dépôts et les causes des variations dans la sédimentation.

Les unités B1 et T5 sont particulièrement riches en pyrite comparées aux autres niveaux marneux, ce qui indique un milieu assez pauvre en oxygène. Elles sont également assez pauvres en faune et celle-ci est de petite taille en globalité, indiquant un milieu peu propice au développement de la vie benthique. Pourtant, de petits terriers sont tout de même présents, témoignant d'une activité benthique jusque dans les premiers centimètres de sédiment. Cela indique donc que le fond marin n'était pas totalement anoxique, mais encore oxygéné sur les premiers centimètres, permettant le développement de petits organismes.

La couleur jaune du membre supérieur des MBI est également un phénomène intéressant. Issue de la dégradation de la pyrite en gypse et de l'oxydation du fer (Deroin *et al.*, 1999), cette couleur pourrait indiquer des changements de milieu avec des fonds plus oxygénés comme en témoigne l'augmentation de la faune et cette oxydation de la pyrite. Malgré tout, le gypse néoformé tend à indiquer que cette oxydation est en réalité secondaire. Des cristaux de gypse néoformé comme ceux qui parcourent le membre supérieur avaient déjà été mentionnés (Deroin *et al.*, 1999). Cependant, de telles veines ne semblent pas avoir été observées auparavant. La présence de ce gypse à l'interface entre les marnes grises riches en pyrite et les marnes oxydées pourrait indiquer que c'est le contact avec ces dernières qui permet la formation de ces veines. De l'infiltration pourrait causer la dégradation de la pyrite et des carbonates, libérant ainsi des sulfates et du calcium, entraînant la précipitation de cristaux de gypse néoformé sur le parcours de ces infiltrations (Collon *et al.*, 2004). L'oxydation et l'hydratation de la pyrite dans le membre supérieur seraient alors sans doute

dues à l'érosion quaternaire qui aurait entraîné ces infiltrations. Celle-ci aurait progressivement altéré les marnes sous-jacentes, oxydant et altérant la pyrite, et accumulant les éléments au niveau du front d'infiltration, traduit ici par un changement de couleur et la formation de veines de gypse suite à la concentration de sulfate et de calcium. De plus, même si la faune semble plus nombreuse et de plus grande taille en globalité dans le second membre, celle-ci reste très similaire à celle du membre inférieur et les traces d'activité restent modestes avec de petits terriers millimétriques, pouvant indiquer que les conditions de dépôt n'ont pas énormément évolué. Il est également important de mentionner que pour qu'il y ait formation de pyrite, les fonds doivent être assez peu oxygénés, au moins au sein des sédiments. Ainsi, il semble que la pyrite du membre supérieur des MBI se soit formée dans des conditions similaires à celles du membre inférieur et que son oxydation soit arrivée secondairement durant le quaternaire. Il demeure cependant étonnant que l'épaisseur des niveaux jaunes semble peu varier entre les différentes carrières (**annexe 7**). Une oxydation secondaire suite à l'érosion quaternaire devrait au contraire être très variable en épaisseur, d'autant plus sur de grandes distances comme entre Touffréville et Fresne d'Argences.

Il est important de mentionner l'apparition de nodules calcaires dans les MA et les MBI. L'apparition de ces différents niveaux à nodules corrélée avec la baisse du régime carbonaté et la montée du niveau marin indique que les changements eustatiques et sédimentaires ont une influence sur leur formation. Les travaux de Yoshida *et al.* (2018) ont démontré que les nodules calcaires se forment généralement dans des substrats argileux ou limoneux à des profondeurs assez importantes (plusieurs dizaines de mètres), ce qui correspond bien aux conditions de dépôt des MA et des MBI. Ces nodules vont généralement se former autour de matière organique, qui en se décomposant, va créer un gradient de diffusion de carbonates entraînant la précipitation de ces derniers (Yoshida *et al.*, 2018). Cette matière organique peut être un simple voile bactérien ou bien des organismes que l'on peut retrouver ensuite au cœur de ces nodules. Les nodules des unités B2c et T6c (septarias) contiennent quant à eux des veines de calcite (**D & E annexe 3**). Ces veines ne sont probablement pas dues à des variations de milieu de dépôt mais plutôt à des variations de conditions diagenétiques. En effet,

Astin (1986) a montré que l'apparition de ces veines était due au stress de compression subi par les nodules lors de la diagenèse. Ce stress va entraîner des fractures et conduire les fluides interstitiels à précipiter de la calcite. Astin (1986) a également démontré qu'il était possible d'estimer la durée et les conditions de pression lors de la formation des septarias. Il serait donc intéressant d'étudier ces nodules plus en détail afin de mieux comprendre l'évolution de ces dépôts.

Les coupes de Bavent et Touffréville se corrèlent très bien, que ce soit au niveau des épaisseurs ou de la lithologie. Les mêmes unités se distinguent avec des épaisseurs très similaires, si l'on exclut l'épaisseur des couches qui ont été érodées durant le Quaternaire, et témoignent ainsi que les variations latérales sont faibles entre les deux carrières (**annexe 7**). La comparaison entre ces coupes révèle également que l'érosion quaternaire était bien plus importante à Touffréville qu'à Bavent.

Il est également important de comprendre l'évolution spatiale et temporelle des dépôts en prenant d'autres points de comparaison avec les coupes déjà réalisées dans la région.

Dugué (1989) a réalisé une coupe dans la carrière d'Escoville où les AL, les ME ainsi que les MA étaient mises à l'affleurement. Il y a observé un certain nombre de bancs et niveaux repères permettant assez aisément une corrélation avec d'autres coupes dans les niveaux équivalents. La corrélation entre la coupe d'Escoville et la coupe de Touffréville est bonne avec une concordance des bancs repères et seulement de légères variations d'épaisseur et de continuité des niveaux (**annexe 7**). Cette coupe donne également une information sur l'érosion quaternaire dans la région. En effet, les carrières de Bavent, Touffréville et Escoville sont alignées du nord au sud. Les différentes coupes réalisées montrent que plus on va vers le sud, plus les niveaux calloviens sont érodés, allant jusqu'à éroder totalement les MBI à Escoville.

Riout et Fily (1975) ont réalisé une coupe de l'intégralité des niveaux du Callovien inférieur normand dans la carrière du Fresne d'Argences. Celle-ci mettait à l'affleurement les formations des AL, des ME, des MA et des MBI, donnant ainsi la limite avec le Bathonien supérieur et le Callovien moyen. Cependant, cette carrière est aujourd'hui remblayée et la coupe originale de 1975 est difficile à obtenir. Néanmoins, Dugué

(1989) figure une version simplifiée de celle-ci et permet donc une corrélation au moins partielle. Il est intéressant de remarquer que les dépôts correspondant aux MBI et aux MA sont presque parfaitement corrélés, que ce soit au niveau des épaisseurs ou de la lithologie (**annexe 7**). Le membre supérieur des ME quant à lui est trois fois moins épais que ce qui a été observé à Touffréville et Escoville alors que le membre inférieur lui, correspond plus ou moins aux proportions observées dans les autres carrières. Plusieurs hypothèses pourraient expliquer ces variations d'épaisseur. Les variations du membre supérieur des ME pourraient être de simples variations latérales de faciès puisque la carrière du Fresne d'Argences est située à plus de 8,5 km au sud des autres carrières. Il est

#### 4.2) Les faunes d'ammonites

Les céphalopodes sont rares dans les ME mais sont de plus en plus présents quand on monte dans les niveaux. Cela suit bien l'évolution de l'ennoiement de la plateforme, avec des milieux de plus en plus propices à la vie de ces derniers. Malgré tout, une dominance des *Macrocephalites*, pour la plupart encroûtés d'huîtres et de serpules, se remarque. Des spécimens de nautilus encroûtés ont également été trouvés (**2 Pl. 10**). Bien que les Macrocephalitidae migrent bel et bien à cette période dans la province subboréale ([Thierry, 1978](#)), il semble étonnant qu'ils représentent la totalité des spécimens collectés dans les ME. Cette dominance pourrait s'expliquer par la forme de leurs coquilles, à tendance sphérocone, tout comme les nautilus. En effet, les coquilles plus sphériques flottent mieux et ont donc plus de chance de dériver vers des milieux allochtones où ces céphalopodes ne vivent pas ([Marchand, 1984](#)). Cette dominance ne serait alors qu'un biais taphonomique. Cependant, les spécimens collectés étant peu nombreux, cela peut également être un simple biais d'échantillonnage.

Autre élément intéressant, les assemblages sont marqués par les faunes boréales, avec une dominance des Kosmocerotidae et des Perisphinctidae, accompagnés de *Cadoceras* et de *Macrocephalites* tandis que les *Homoeoplanulites* se font très rares alors qu'ils sont très présents dans les dépôts anglais contemporains. Il faut également remarquer que des faunes méditerranéennes tendent à s'immiscer dans les dépôts de la fin du Callovien inférieur (*Reineckeia*, *Indosphinctes*). La

possible qu'à cette période la sédimentation était moins importante en raison de variations de courant ou de diminution d'apports sédimentaires. Il est également possible que cela soit lié à un biais dû au fait que la coupe soit simplifiée. Cependant, seule la coupe détaillée et sa description pourront donner assez d'informations pour comprendre ces différences d'épaisseur. Cette coupe, bien que simplifiée, donne également une information sur l'érosion quaternaire. En effet, bien que la carrière soit bien plus au sud que les autres, les MBI sont encore présentes comme c'est le cas à Touffréville (**annexe 7**). Ainsi, il semble que l'érosion des cours d'eaux pléistocènes était plus importante au niveau de la carrière d'Escoville.

dominance des *Kosmoceras* microconques et des *Cadoceras* macroconques parmi les spécimens collectés est également étrange. Cette dichotomie ne semble en réalité n'être qu'un biais d'échantillonnage due à la rareté de spécimens en bon état de préservation.

Après le fort provincialisme des faunes d'ammonites téthysiennes durant le Bathonien, l'élévation du niveau marin au Callovien va permettre de nouveaux échanges fauniques (**fig. 2**). Ces derniers ont pu être mis en évidence avec l'apparition progressive de certains taxons dans les dépôts normands mais nécessitent également de comprendre leur origine afin d'avoir une vision des déplacements de ces derniers à l'échelle de la Téthys.

Les Kosmocerotidae sont des ammonites d'affinité boréale, présentes dans les mers circum-polaires dès le Bathonien ([Cariou et al., 1985](#)). Ils vont progressivement coloniser les mers plus au sud durant le Callovien, depuis le nord de l'Europe au Callovien inférieur, jusqu'à atteindre la péninsule ibérique au Callovien supérieur (**voie de colonisation 1, fig. 2**) ([Tintant, 1963](#)). Ces déplacements correspondent bien aux populations de *Kepplerites* et de *Sigaloceras* qui vont commencer à dominer les assemblages dans le nord-ouest de l'Europe au milieu du Callovien inférieur, indiquant que ces derniers ont probablement emprunté le détroit nord-européen lors de la montée du niveau marin. Les *Kosmoceras* vont leur succéder à la fin du Callovien inférieur, et vont très rapidement

dominer les assemblages, comme ce qui s'observe dans les MBI.

Les Cardioceratidae sont également d'affinité boréale et présents dans les eaux circum-polaires au Bathonien. Ils vont petit à petit coloniser le nord de la Téthys durant le Callovien (**voies de colonisations 1 et 2, fig. 2**) (Callomon, 1985 ; Cariou *et al.*, 1985). Les Cadoceratinae Hyatt 1900 sont nombreux sur la plateforme russe dès le Bathonien supérieur et sont au contraire plutôt rares dans le nord-ouest de l'Europe où ils apparaissent seulement au début du Callovien (Mitta, 2011). Bien qu'ils soient bien représentés dans les dépôts allemands et centre-européens, ils se font beaucoup plus rares dans les dépôts anglais et l'ouest de la France (Mitta, 2011). Ce décalage temporel avec la plateforme russe et ce gradient de population vers l'Europe de l'Ouest pourrait indiquer que des taxons tels que les *Cadoceras* de la plateforme russe, suite aux mouvements transgressifs calloviens, aient colonisé l'Europe. Ces derniers auraient alors dérivé vers les taxons européens tels que *C. tolype* Buckman 1923, *C. rubrum* Spath 1932, *C. sublaeve* Sowerby 1814 ou *C. durum*, se cantonnant aux eaux plus froides du nord de l'Europe (Mitta, 2000 ; Mitta, 2011). Ces taxons européens, bien que rares, demanderaient de nouvelles études afin de lever certaines ambiguïtés, comme entre *C. geerzense* et *C. sublaeve*, souvent confondues, ou encore sur *C. boreale* Buckman 1919 dont l'holotype est un microconque.

Les Macrocephalitidae ont une grande répartition géographique (Afrique, Asie du Sud, Amérique du Sud, Europe), mais semblent absents des faibles latitudes (Thierry, 1978). Les plus anciens Macrocephalitidae proviennent du Bathonien du Chili et ne semblent apparaître dans la Téthys qu'au Bathonien terminal (Mangold *et al.*, 1996). Cela semble indiquer une origine extra-téthysienne de ce groupe malgré sa forte représentation dans les dépôts calloviens téthysiens et démontre que de grands mouvements fauniques ont eu lieu suite à la transgression callovienne (**voie de colonisation 3, fig. 2**). Cette famille, qui a très rapidement colonisé la Téthys du sud vers le nord, va finir par décliner jusqu'à disparaître de la Téthys occidentale au début du Callovien moyen (Cariou *et al.*, 1985). Cela se retranscrit dans les dépôts normands avec la brusque apparition des Macrocephalitidae dans les dépôts dès le début du Callovien inférieur, puis leur déclin progressif à la fin du Callovien inférieur et le début du

Callovien moyen où il ne reste que des formes rares comme *Macrocephalites tumidus*.

L'origine des Reineckeidae est encore incertaine, mais deux hypothèses semblent possibles. Cette famille pourrait soit dériver des Perisphinctidae de la base du Callovien qui ont de grandes ressemblances morphologiques et géographiques avec ces dernières, soit être issue d'ammonites extra-téthysiennes comme les Neuqueniceratinae Cariou 1984 (Amérique du Sud), également très proches morphologiquement, qui auraient migré vers la Téthys et évolué indépendamment (**voie de colonisation 3, fig. 2**) (Cariou, 1984). Quoi qu'il en soit, les premiers Reineckeidae apparaissent en Europe dès le Callovien inférieur, au sommet de l'ancienne Zone à *Macrocephalus* et vont se concentrer dans la province méditerranéenne, en restant peu représentés dans la province boréale et les mers extra-téthysiennes (Cariou, 1984). A partir de la fin du Callovien inférieur, ils vont avoir une répartition géographique plus importante, colonisant notamment la province subboréale et le domaine indo-malgache (Cariou *et al.*, 1985). Cette extension coïncide avec l'apparition de Reineckeidae dans les dépôts normands à la fin du Callovien inférieur, que ce soit les spécimens étudiés ou bien ceux déjà mentionnés (Riout *et al.*, 1989).

Les Perisphinctidae calloviens sont quant à eux issus directement des Perisphinctidae du Bathonien, déjà très présents dans la Téthys (Mangold, 1970). A la fin du Callovien inférieur certains groupes comme les Proplanulitinae disparaissent de la province subboréale et semblent avoir migré vers le domaine indo-malgache tandis que d'autres comme les *Choffatia* Siemiradzki 1898 vont continuer à prospérer dans la Téthys jusqu'au Callovien supérieur (Mangold, 1970 ; Cariou *et al.*, 1985).

Enfin, il semble important de souligner les problèmes taxonomiques autour de certaines espèces. Les similitudes morphologiques et stratigraphiques entre *Proplanulites koenigi* et *P. teisseyrei* laissent à penser qu'il s'agit en réalité d'une seule et même espèce comme le mentionne déjà Thierry (2003). Il serait alors judicieux que, par principe d'antériorité, *P. koenigi* soit conservé et que *P. teisseyrei* soit mis en synonymie avec ce dernier. Le cas de *Macrocephalites megalcephalus* est également important à soulever. Anciennement nommé *M. rotundus* Quenstedt 1847, il fut renommé *M. megalcephalus* par Callomon *et al.* (1989) pour

éviter les confusions, le nom *rotundus* étant déjà utilisé. Cependant, l'espèce a très peu été figurée et la définition de Quenstedt (1845-1849) semble être assez large. De plus, sa répartition

stratigraphique est de ce fait mal connue. Une nouvelle description et figuration de *M. megalocephalus* semble alors essentielle pour dissiper ces incertitudes.

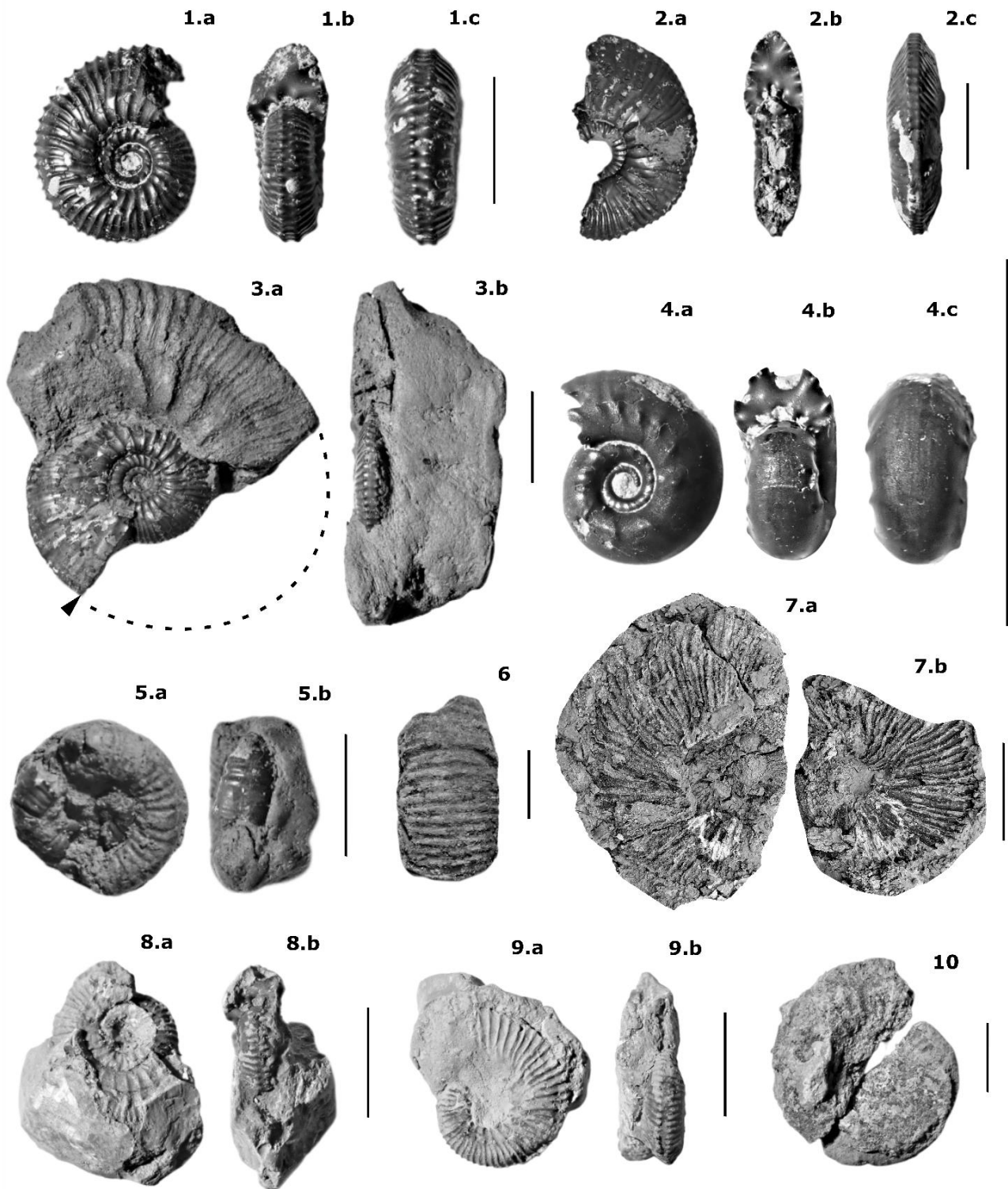
## Conclusion

Cette étude permet d'apporter de nouvelles données sur les dépôts du début du Callovien normand. Les coupes réalisées dans les carrières de Bavent et Touffréville ont permis : (1) la mise en évidence de la présence de veines de gypse néoformé témoignant d'une altération secondaire des dépôts ; (2) la corrélation avec les coupes du Fresne d'Argences et d'Escoville ; (3) la spatialisation des variations latérales de faciès et de l'érosion quaternaire. Les faunes d'ammonites collectées sur place et présentes dans les collections du Paléospace ont quant à elles permis : (1) la description et la figuration d'espèces rarement mentionnées ou figurées dans le nord-ouest de la France ; (2) l'apport de nouvelles données sur leur répartition spatiale et temporelle ; (3) la synthèse des descriptions de 16 espèces du Callovien inférieur et moyen ; (4) la mise à jour du découpage biostratigraphique des ME, des MA et des MBI ; (5) la mise en évidence des déplacements fauniques ayant lieu au début du Callovien. Ces nouvelles données apportent donc un regard neuf sur les formations calloviennes de Normandie et les faunes d'ammonites s'y trouvant. Des questions restent néanmoins en suspens, et demanderaient de ce fait de nouvelles études. Des incertitudes demeurent sur le découpage biostratigraphique de ces formations, notamment dues à la rareté des céphalopodes, et demanderaient donc un nouvel intérêt. Multiplier les proxies en effectuant un découpage avec les nombreuses faunes de brachiopodes semble une bonne alternative, cependant la description détaillée de ces faunes a déjà été réalisée et ne permet pas d'atteindre une grande précision (Garcia, 1993). L'étude des microfossiles quant à elle semble difficilement réalisable au vu de leur rareté dans les dépôts (Dugué, 1989). Ainsi, l'une des seules solutions envisageables est de poursuivre les collectes d'ammonites afin de préciser ce découpage. La cyclostratigraphie ainsi que les septarias semblent également des points intéressants à développer lors de futures études afin de mieux comprendre les conditions et l'évolution des dépôts au début du Callovien en Normandie.

## Bibliographie

- Astin, T. R. (1986). Septarian crack formation in carbonate concretions from shales and mudstones. *Clay Miner.*, 21 : 617-631.
- Blake, R. J. (1905). A Monograph of the Fauna of the Cornbrash Part I. *Monogr. Palaeontogr. Soc.*, 59 : 1-100.
- Buckman, S. S. (1919-1921). Type ammonites (Vol. 3). *London (Wheldon and Wesley, Ltd.)* : 430.
- Buckman, S. S. (1922-1923). Type ammonites (Vol. 4). *London (Wheldon and Wesley, Ltd.)* : 472.
- Callomon, J. H. (1971). On the type species of *Macrocephalites Zittel*, 1884, and the type specimen of *Ammonites macrocephalus* Schlotheim, 1813. *Paleontology*, 4 : 114-130.
- Callomon, J. H. (1985). The evolution of the Jurassic ammonite family *Cardioceratidae*. *Paleontology*, 33 : 49-90.
- Callomon, J. H. & Phil, D. (1955). The ammonite succession in the Lower Oxford Clay and Kellaways Beds at Kidlington, Oxfordshire, and the zones of the Callovian stage. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 239 : 215-264.
- Callomon, J. H. & Wright, J. K. (1989). *Cardioceratid and Kosmoceratid ammonites from the Callovian of Yorkshire. Palaeontology*, 32 : 799-836.
- Callomon, J. H., Dietl, G., & Niederhöfer, H.-J. (1989). Die Ammonitenfaunen-Horizonte im Grenzbereich Bathonium/Callovium des Schwäbischen Juras und deren Korrelation mit W-Frankreich und England. *Stuttgarter Beitr. Naturk.*, 148 : 1-13.
- Callomon, J. H., Dietl, G. & Niederhöfer, H. J. (1992). On the true stratigraphic position of *Macrocephalites macrocephalus* (Schlotheim, 1813) and the nomenclature of the standard Middle Jurassic "Macrocephalus Zone". *Stuttgarter Beitr. Naturk.*, 185 : 1-65.
- Callomon, J. H., Dietl, G. & Page, K.N. (1988). On the Ammonite Faunal horizons and Standard zonations of the Lower Callovian stage in Europe. *2nd Int. Symp. Jurassic Stratigraphy*, Lisbonne, 1 : 339-356.
- Cariou, E. (1984). Les Reineckeidae (Ammonitina, Callovien) de la Téthys occidentale, dimorphisme et évolution : étude à partir des gisements du Centre-Ouest de la France (fascicule 1). *Doc. Lab. Géol. Lyon*, h.-s. 8 : 460.
- Cariou, E. & Hantzpergue, P. (1997). Biostratigraphie du Jurassique Ouest-Européen et Méditerranéen. *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 17 : 440.
- Cariou, E., Contini, D., Dommergues, J. L., Enay, R., Geysant, J. R., Mangold, C. & Thierry, J. (1985). Biogéographie des Ammonites et évolution structurale de la Téthys au cours du Jurassique. *Bull. Soc. Géol. France*, 5 : 679-697.
- Collon, P., Fabriol, R. & Buès, M. (2004). Ennoyage des mines de fer lorraines : impact sur la qualité de l'eau. *Compt. Rend. Géosci.*, 336 : 889-899.
- Courville, P. (2011). Caractères ornementaux, disparité et diversité chez les Ammonitina : exemple des Kosmoceratinae (Stephanoceratoidea), Callovien moyen et supérieur (Jurassique Moyen, Bassin parisien). *C. R. Palevol*, 10 : 155-170.
- Courville, P., Bonnot, A., Collin, P. Y., Contini, D. & Marchand, D. (1998). Coupures morphologiques et biochronologie chez les

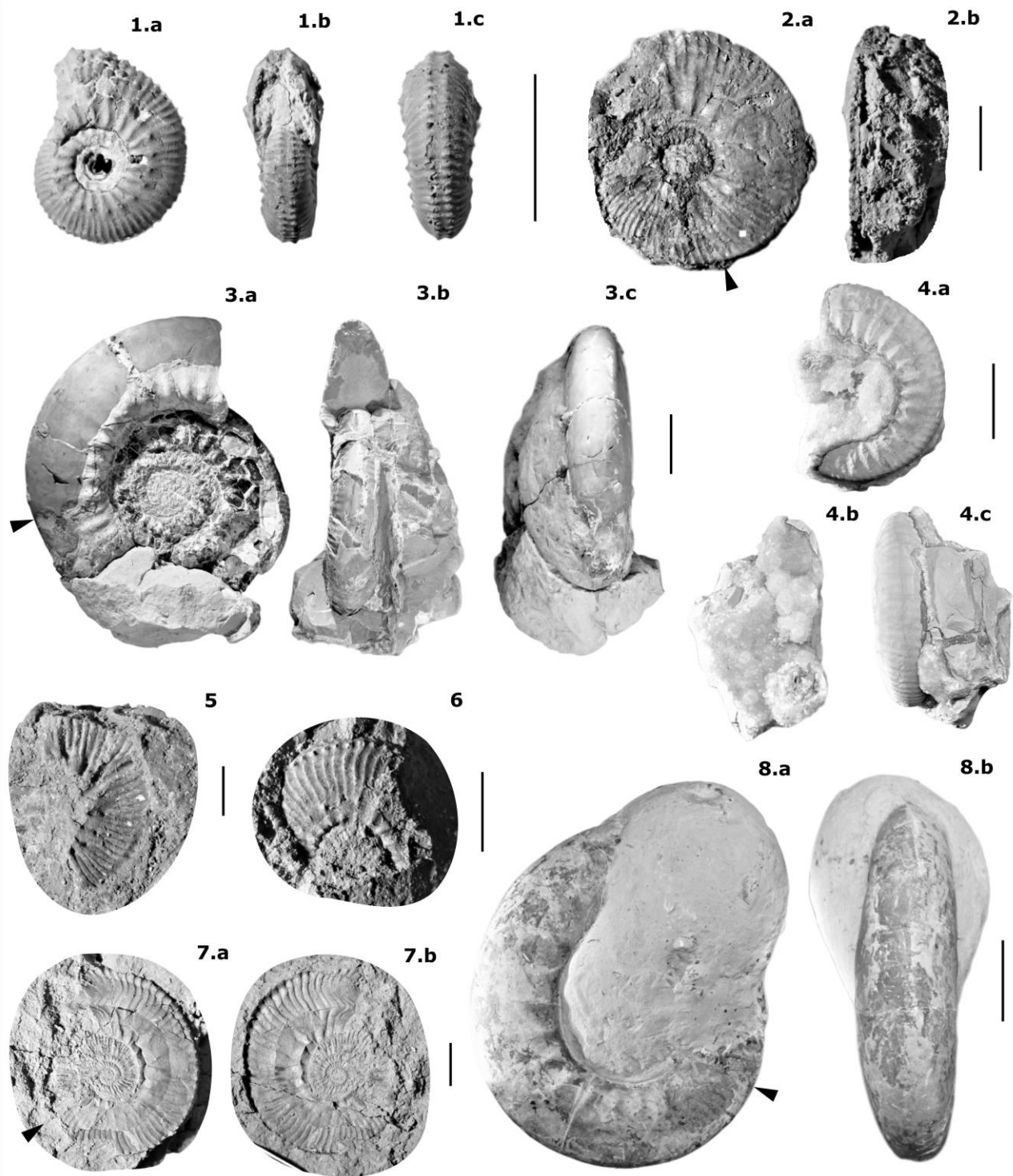
- Kosmoceratinae de l'Est de la France (Callovien inférieur pp. à Callovien supérieur pp.). *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA*, 327 : 685-691.
- Cox, B. M. (1988)**. English Callovian (Middle Jurassic) Perisphinctid Ammonites. *Monogr. Palaeontogr. Soc. Lond.*, 140 : 1-54.
- Dercourt, J., Gaetani, M., Vrielynck, B., Barrier, E., Biju-Duval, B., Brunet, M. F., Cadet, J. P., Crasquin, S. & Sandulescu, M. (2000)**. Middle Callovian in : Atlas Peri-Tethys Paleogeographical Maps. CCGM, Paris : 14.
- Deroin, J. P., Lerouge, G., Barbier, G., Vernhet, Y., Coutard, J. P., Ozouf, J.C. & Langevin, C. (1999)**. Notice explicative de la feuille de Mézidon (1/50 000). BRGM, Orléans : 150.
- d'Orbigny, A. (1842)**. Paléontologie française : description zoologique et géologique de tous les animaux mollusques et rayonnés fossiles de France, Terrains oolitiques ou jurassiques (Vol. 1). *Soc. Géol. France*, Paris : 642.
- d'Orbigny, A. (1852)**. Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphiques. *Masson eds.*, Paris : 383-847.
- Douvillé, R. (1909)**. Contribution à l'étude de la faune jurassique de Normandie, IV, Céphalopodes calloviens d'Argences. *Mém. Soc. linn. Normandie*, vol. XXIII : 121-136.
- Douvillé, R. (1915)**. Étude sur les Cosmocératidés. *Mém. Serv. Explic. Carte géol. Dét. France* : 75.
- Dugué, O. (1989)**. Géodynamique d'une bordure de massifs anciens : La bordure occidentale du Bassin anglo-parisien au Callovo-Oxfordien. *Lab. Géol. Normandie Occidentale* : 593.
- Dugué, O., Benabdellouahed, M. & Gérard, J. (2016)**. Le Jurassique de Normandie : falaises du Bessin et du pays d'Auge. *Université de Caen* : 120.
- Eudes-Deslongchamps, E. (1856)**. Sur la présence du Cornbrash à Lion-sur-mer (Calvados). *Bull. Soc. Linn. Normandie* : 24-27.
- Eudes-Deslongchamps, E. (1859)**. Note sur le Callovien des environs d'Argentan, et de divers points du Calvados. *Bull. Soc. Linn. Normandie*, 4 : 216-252.
- Fischer, J.-C. (1994)**. Révision critique de la Paléontologie française d'Alcide d'Orbigny : Céphalopodes jurassiques (Vol. 1). *Masson eds.*, Paris : 340.
- Garcia, J. P. (1993)**. Les variations du niveau marin sur le bassin de Paris au Bathonien-Callovien : impacts sur les communautés benthiques et sur l'évolution des ornithellidés (Terebratellidina). *Mém. Géol. Univ. Dijon*, 17 : 302.
- Gulyaev, D. B. & Ippolitov, A. P. (2021)**. Lower Callovian of Kanev Dislocations, Cherkasy Oblast, Ukraine: Ammonites and Stratigraphy. *Stratigr. Geol. Correl.*, 29 : 767-847.
- Mangold, C. (1970)**. Les Perisphinctidae (Ammonitina) du Jura méridional au Bathonien et au Callovien (Fascicule 2). *Doc. Lab. Géol. Lyon*, 41 : 246.
- Mangold, C., Marchand, D., Thierry, J. & Tarkowski, R. (1996)**. Les Ammonites de l'Oolite de Balin (Pologne) ; nouvelles données et réinterprétation stratigraphique. *Revue de Paléobiologie*, 15 : 55-77.
- Marchand, D. (1984)**. Ammonites et paléoenvironnements; Une nouvelle approche. *Géobios*, 17 : 101-107.
- Marchand, D. (1986)**. L'évolution des Cardioceratinae d'Europe occidentale dans leur contexte paléobiogéographique (Callovien supérieur, Oxfordien moyen). *Thèse Doct. Etat Univ. Bourgogne*, Dijon : 606.
- Mitta, V. V. (2000)**. Ammonites and biostratigraphy of the Lower Callovian of the Russian Platform. *Byull. Koll. Fonda VNIGNI*, 3 : 144.
- Mitta, V. V. (2011)**. Ammonites of the genus *Cadoceras* (Cardioceratinae) from the uppermost Bathonian-Lowermost Callovian of the northern Caucasus (Ingushetia). *Paleontol. J.*, 45 : 609-619.
- Mitta, V. V., Dietl, G., Callomon, J. H., Schweigert, G. & Dietze, V. (2015)**. The ammonite genus *Cadoceras* (Cardioceratinae) in the Lower Callovian (Middle Jurassic) of the Swabian Alb and the Wutach area (Southern Germany). *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.*, 278 : 303-321.
- Moore, R. C. (1957)**. Treatise on Invertebrate Paleontology, Part L, Mollusca 4, Cephalopoda, Ammonoidea. *Geol. Soc. Am. & Univ. Kansas Press* : 490.
- Page, K. N. (1988)**. The stratigraphy and ammonites of the British Lower Callovian. *Doctoral dissertation, University College London* : (non publié).
- Page, K. N. (1989)**. A stratigraphical revision for the English Lower Callovian. *Proc. Geol. Assoc.*, 100 : 363-382.
- Page, K. N. (1991)**. Ammonites in Fossils of the Oxford Clay (Vol. 4). *Pal. Ass.*, London : 86-143.
- Pellenard, P., Deconinck, J. F., Marchand, D., Thierry, J., Fortwengler, D. & Vigneron, G. (1999)**. Contrôle géodynamique de la sédimentation argileuse du Callovien-Oxfordien moyen dans l'Est du bassin de Paris : influence eustatique et volcanique. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA*, 328 : 807-813.
- Petitclerc, P. (1926)**. Note sur la présence de *Nautilus Julii* Baugier, dans le Bathonien des environs de Belfort ; suivie de la description d'espèces nouvelles ou intéressantes du Callovien des Deux-Sèvres, de Maine-et-Loire, de l'Ardèche, etc. ; et enfin de l'énumération de certaines ammonites rares ou peu connues du Crétacé des Basses-Alpes. *Impr. Marcel Bon*, Vesoul : 27.
- Quenstedt, F. A. (1845-1849)**. Pctrefaktenkunde Deutschlands : 1 Cephalopoden VI. *Tübingen* : 580.
- Riout, M. & Fily, G. (1975)**. Discontinuités de sédimentation et unités lithostratigraphiques dans le Jurassique de Normandie. *9e Congr. intern. Sédim.*, Nice : 353-360.
- Riout, M. & Mourdon, R. (1982)**. Carrière de la Tuilerie du Fresne d'Argences (Calvados). *Bull. trim. Soc. Géol. Normandie et Amis du Muséum du Havre*, LXIX, 3 : 13-18.
- Riout, M., Coutard, J.-P., De la Quèrrière, P., Helliun, M., Larsonneur, C. & Pellerin, J. (1989)**. Notice explicative de la feuille de Caen à 1/50 000. BRGM, Orléans : 104.
- Riout, M., Dugué, O., Jan du Chêne, R., Ponsot, C., Fily, G. & Moron, J. M. (1991)**. Outcrop sequence stratigraphy of the anglo-Paris basin, middle to upper Jurassic (Normandy, Maine, Dorset). *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 15 : 101-194.
- Roman, F. (1938)**. Les ammonites jurassiques et crétacées : essai de genera. *Masson eds.*, Paris : 554.
- Schlothheim, E.F. V. (1813)**. Beitrage zur Naturgeschichte der Versteinerungen in geo-gnostischer Hinsicht. *Taschenbuch Mineralogie*, 7/1 : 3-134.
- Thierry, J. (1978)**. Le genre *Macrocephalites* au Callovien inférieur (Ammonites, Jurassique Moyen) : systematique et evolution, biostratigraphie, biogeographie: Europe et domaine indo-malgache. *Mém. Géol. Univ. Dijon*, 4 : 490.
- Thierry, J. (2003)**. Les ammonites du Bathonien-Callovien du Boulonnais : biodiversité, biostratigraphie et biogéographie. *Geobios*, 36 : 93-126.
- Tintant, H. (1963)**. Les Kosmocératidés du Callovien inférieur et moyen d'Europe occidentale, essai de paléontologie quantitative. *Publi. Univ. Dijon*, XXIX : 500.
- Wernbter, H. (1891)**. Der Gebirgsbau des Leinethales zwischen Greene und Banteln. Schweizerbart. *N. Jb. Geol. Palaont. Beilbd.*, VII : 246-294.
- Yoshida, H., Yamamoto, K., Minami, M., Katsuta, N., Sin-ichi, S. & Metcalfe, R. (2018)**. Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. *Sci. Rep.*, 8 : 630.
- Zittel, K. A. V. (1884)**. Handbuch der Palaeontologie. *R. Oldenbourg*, 1-2 : 893.



## Planche 1

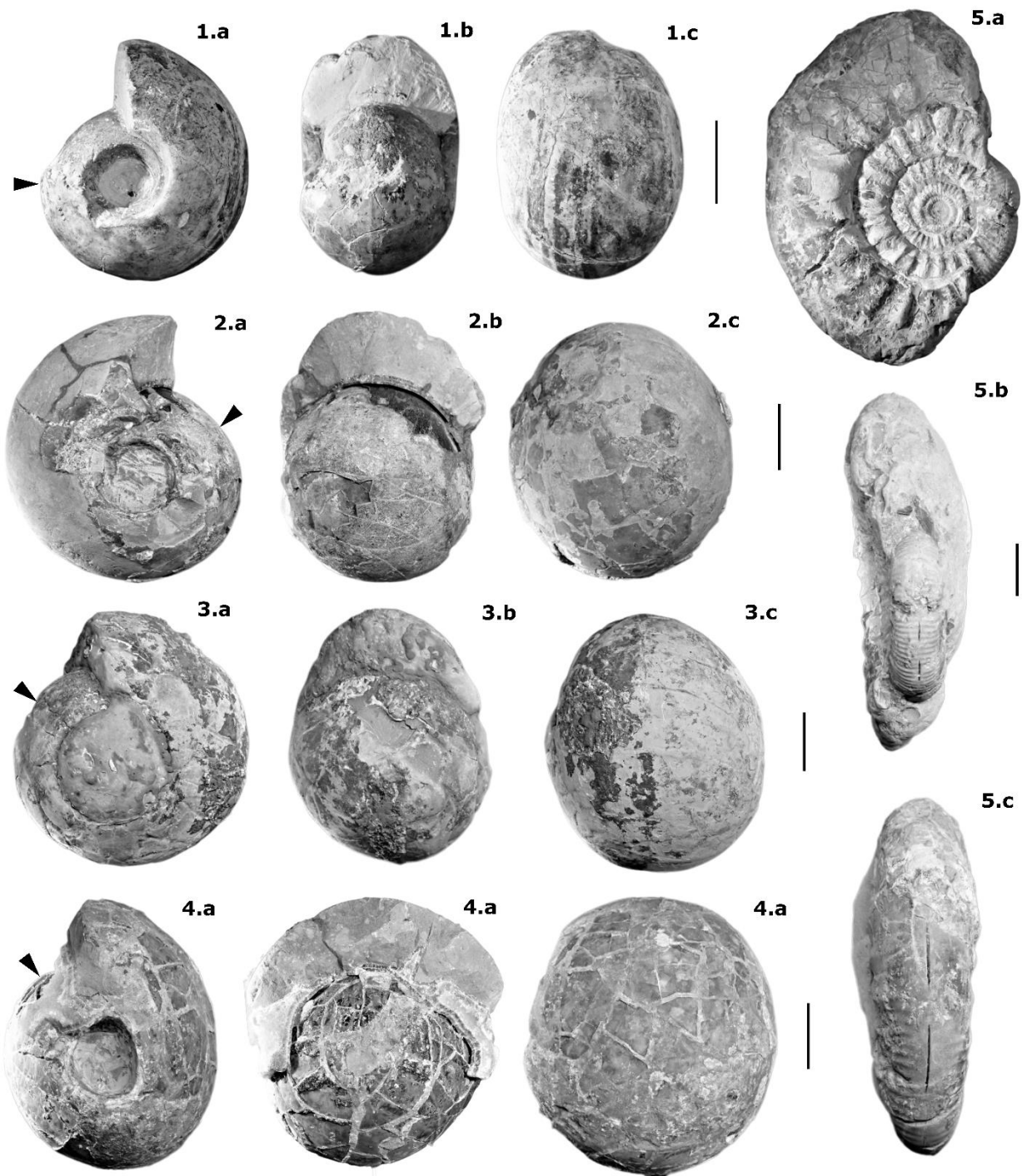
Les spécimens 1 à 7 proviennent de l'unité B1 et les spécimens 8 à 10 de l'unité B2 de la carrière de Bavent. 1 : *Kosmoceras enodatum* (D = 15 mm) ; 2 : *K. enodatum* (D = 23 mm) ; 3 : *K. enodatum* [m] (D = 37 mm) ; 4 : ?*Cadoceras* sp. (D = 5 mm) ; 5 : *Perisphinctidae* indet. (D = 14 mm) ; 6 : *Perisphinctidae* indet. (D = 26 mm) ; 7 : *Macrocephalites* sp. (D = 150 mm) ; 8 : *K. enodatum* de la sous-unité B2a (D = 12 mm) ; 9 : *K. enodatum* de la sous-unité B2a (D = 16 mm) ; 10 : *Ammonitida* indet. de la sous-unité B2a (D = 31 mm). Les barres d'échelle représentent 1 cm, sauf pour le spécimen 7 où elle représente 5 cm, et sont placées à droite du spécimen correspondant.





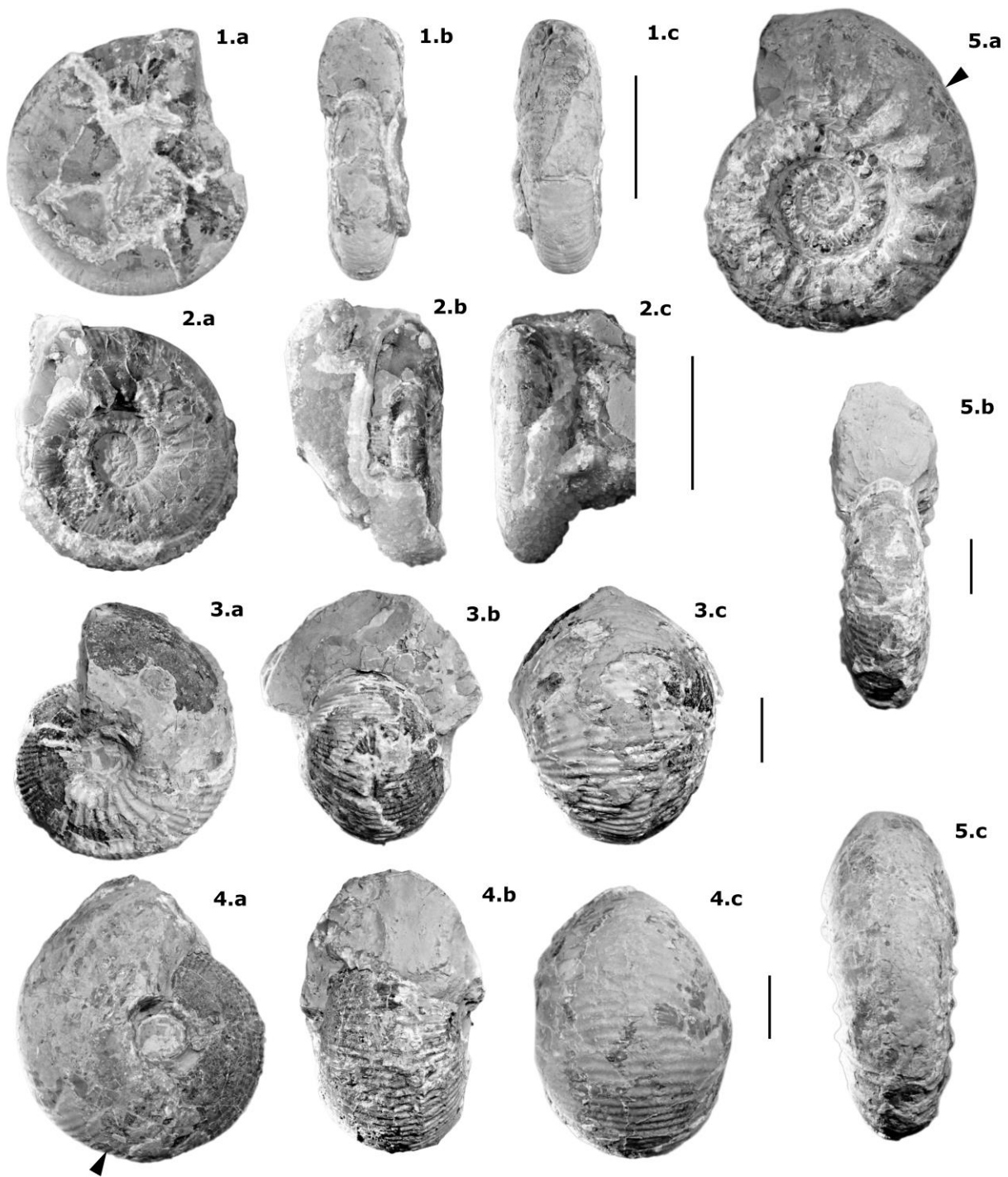
## Planche 2

1 : *Kosmoceras enodatum*, sous-unité B2b (D = 17 mm) ; 2 : *K. enodatum*, sous-unité B2c (D = 38 mm) ; 3 : *Indosphinctes patina* [M], septarias, sous-unité B2c (D = 255 mm) ; 4 : *Perisphinctidae* indet., septarias, sous-unité B2c (D = 130 mm) ; 5 : *K. medea* [M?], unité B3 (D = 40 mm) ; 6 : *K. medea*, unité B4a (H = 10 mm) ; 7 : *K. medea* [m], unité B4a (D = 45 mm) ; 8 : *I. cf. patina* [M], unité B2, collection Asquini (D = 230 mm). Les barres d'échelle représentent 1 cm, sauf pour les spécimens 3, 4 et 8 où elles représentent 5 cm, et sont placées à droite du spécimen correspondant.



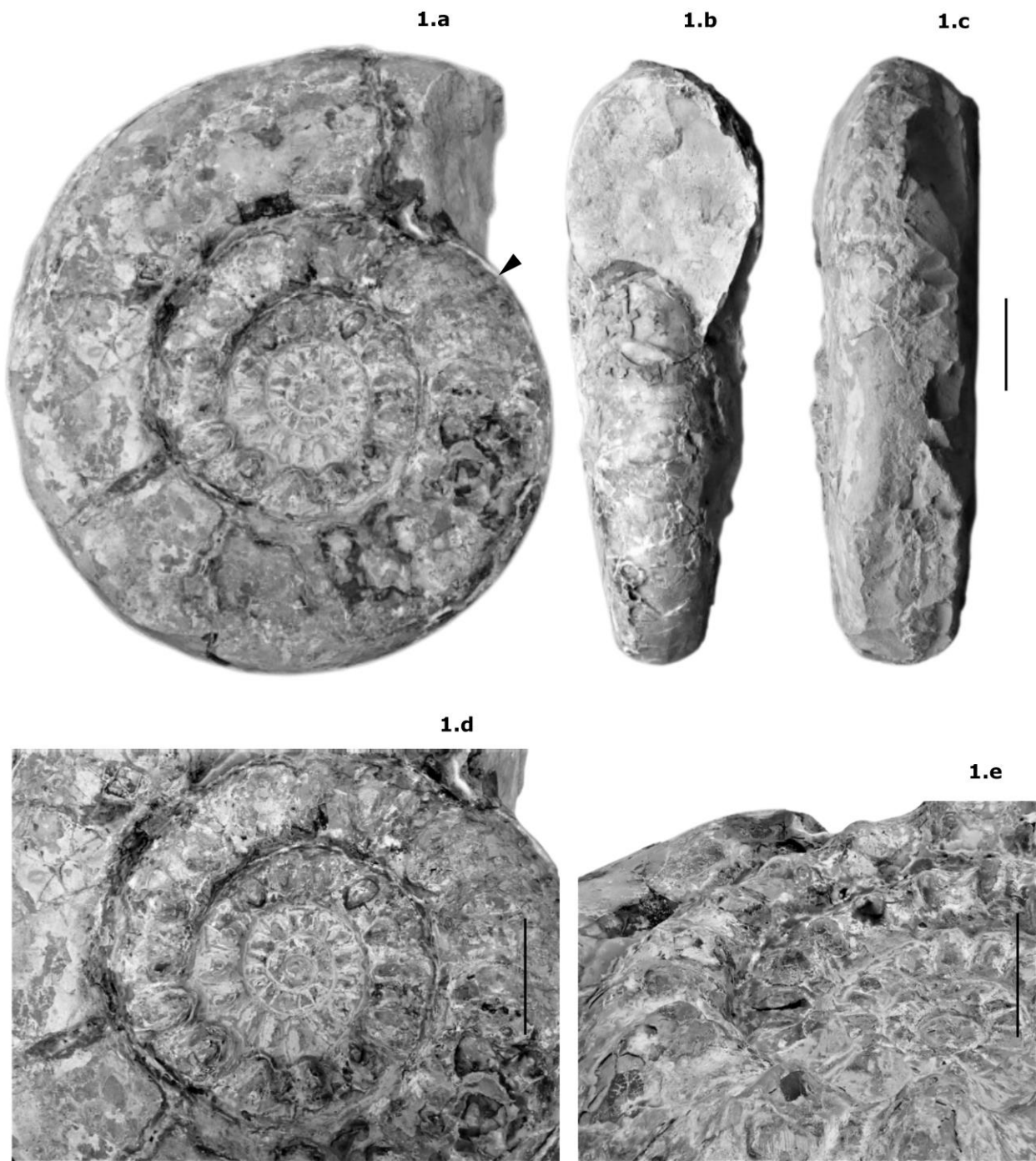
### Planche 3

Tous ces spécimens proviennent de la collection Asquini et ont été collectés dans la carrière de Bavent. **1** : *Cadoceras durum* [M], unité B1 ? (D = 150 mm) ; **2** : *C. durum* [M], septarias, sous-unité B2c (D = 230 mm) ; **3** : *Cadoceras durum* [M], sous-unité B2a (D = 225 mm) ; **4** : *C. geerzense* [M], septarias, sous-unité B2c (D = 255 mm) ; **5** : *Indosphinctes cesaredensis* [M], unité B2 (D = 300 mm). Les barres d'échelle représentent 5 cm et sont placées à droite du spécimen correspondant.



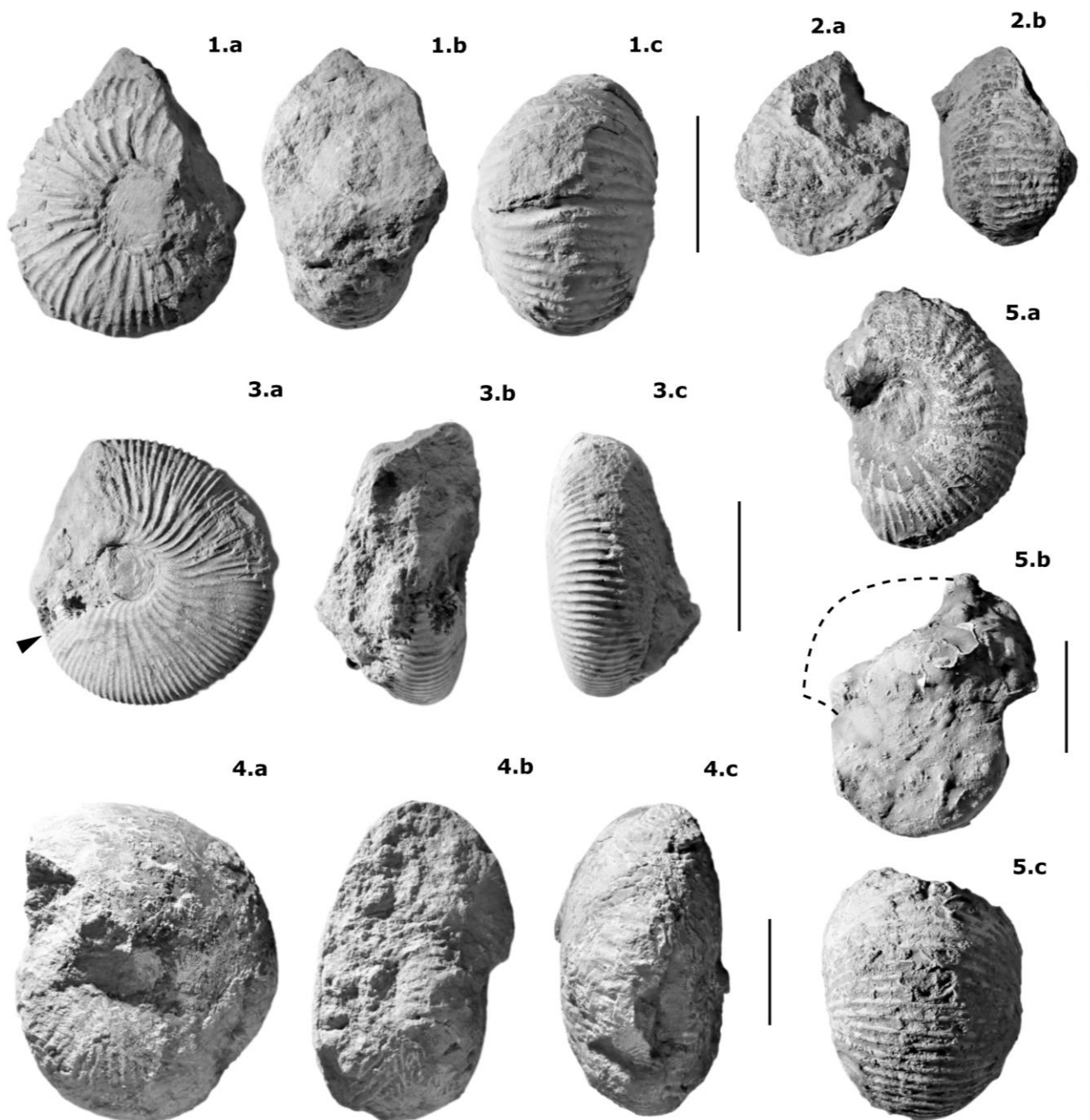
## Planche 4

Tous ces spécimens proviennent de la collection Asquini et ont été collectés dans la carrière de Bavent. 1 : *Homoeoplanulites cf. difficilis*, septarias, sous-unité B2c (D = 110 mm) ; 2 : *H. difficilis*, septarias, sous-unité B2c (D = 95 mm) ; 3 : *M. aff. tumidus* [M], septarias, sous-unité B2c (D = 230 mm) ; 4 : *M. tumidus* [M], septarias, sous-unité B2c (D = 240 mm) ; 5 : *Reineckeia turgida* [M], unité B2 (D = 290 mm). Les barres d'échelle représentent 5 cm et sont placées à droite du spécimen correspondant.



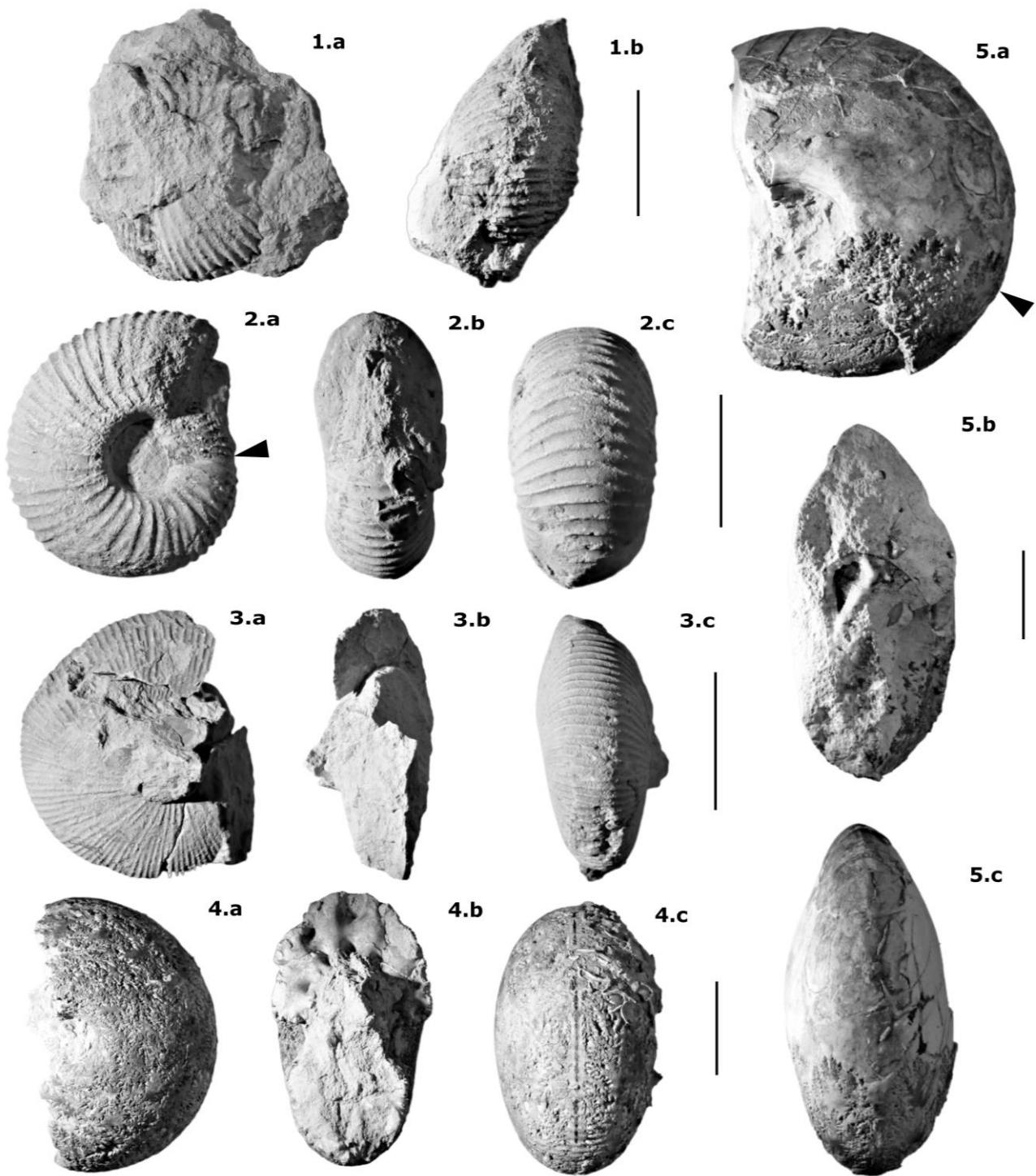
## Planche 5

1 : *Reineckeia turgida* [M] provenant de la collection Asquini probablement collecté dans la sous-unité B2a de la carrière de Bavent (D = 650 mm). Les barres d'échelle représentent 10 cm.



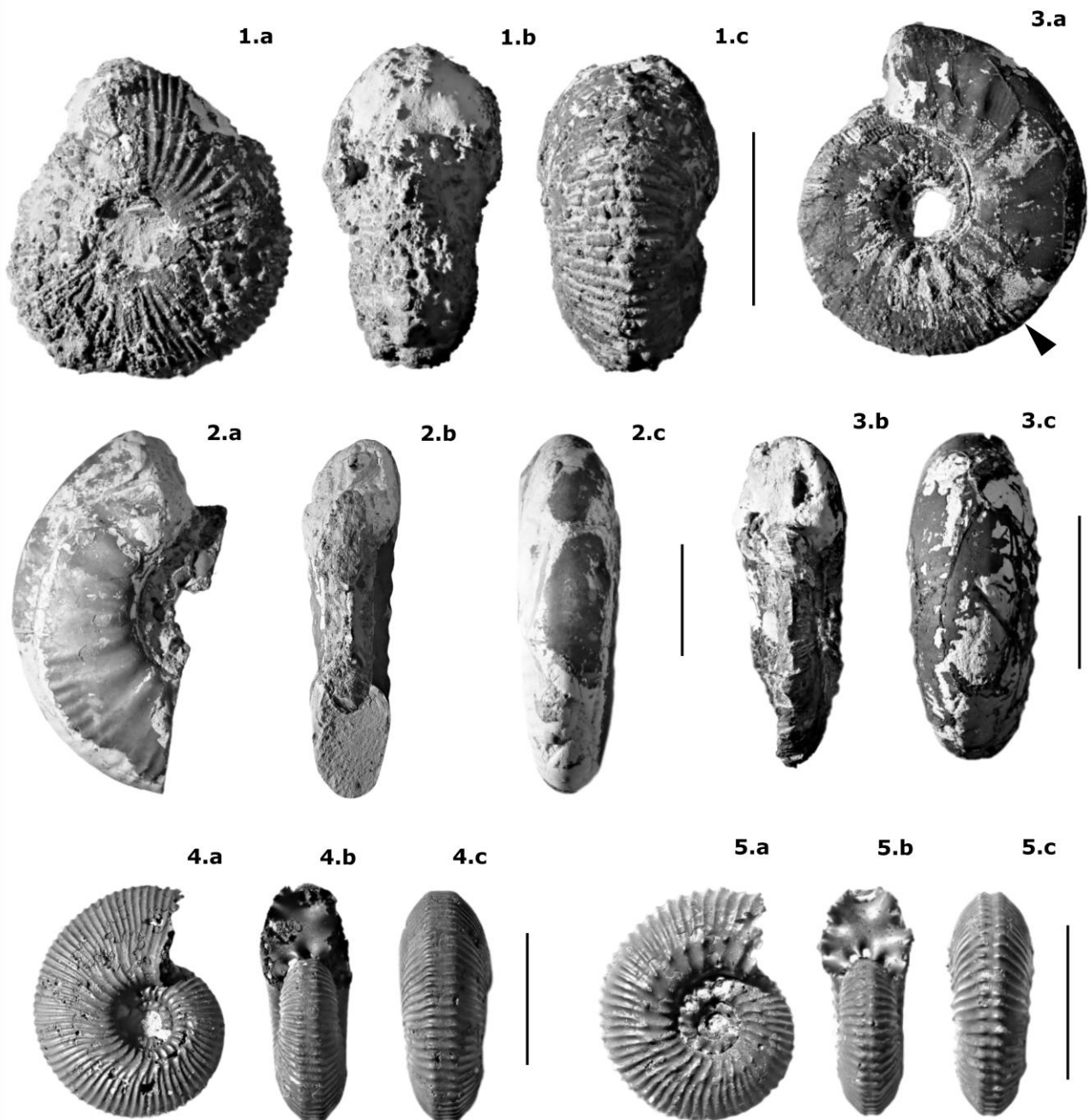
## Planche 6

Tous ces spécimens proviennent de la carrière de Touffréville. **1** : *M. herveyi*, trouvé hors stratigraphie, deuxième palier d'exploitation, base de l'unité T2 (D = 90 mm) ; **2** : *M. sp.*, banc n°6, unité T2 (D = 70 mm) ; **3** : *M. verus [m]*, trouvé hors stratigraphie, deuxième palier d'exploitation, base de l'unité T2 (D = 100 mm) ; **4** : *Macrocephalites macrocephalus [M]*, banc n°24, unité T2 (D = 150 mm) ; **5** : *M. macrocephalus*, banc n°26, unité T2 (D = 100 mm). Les barres d'échelle représentent 5 cm et sont placées à droite du spécimen correspondant.



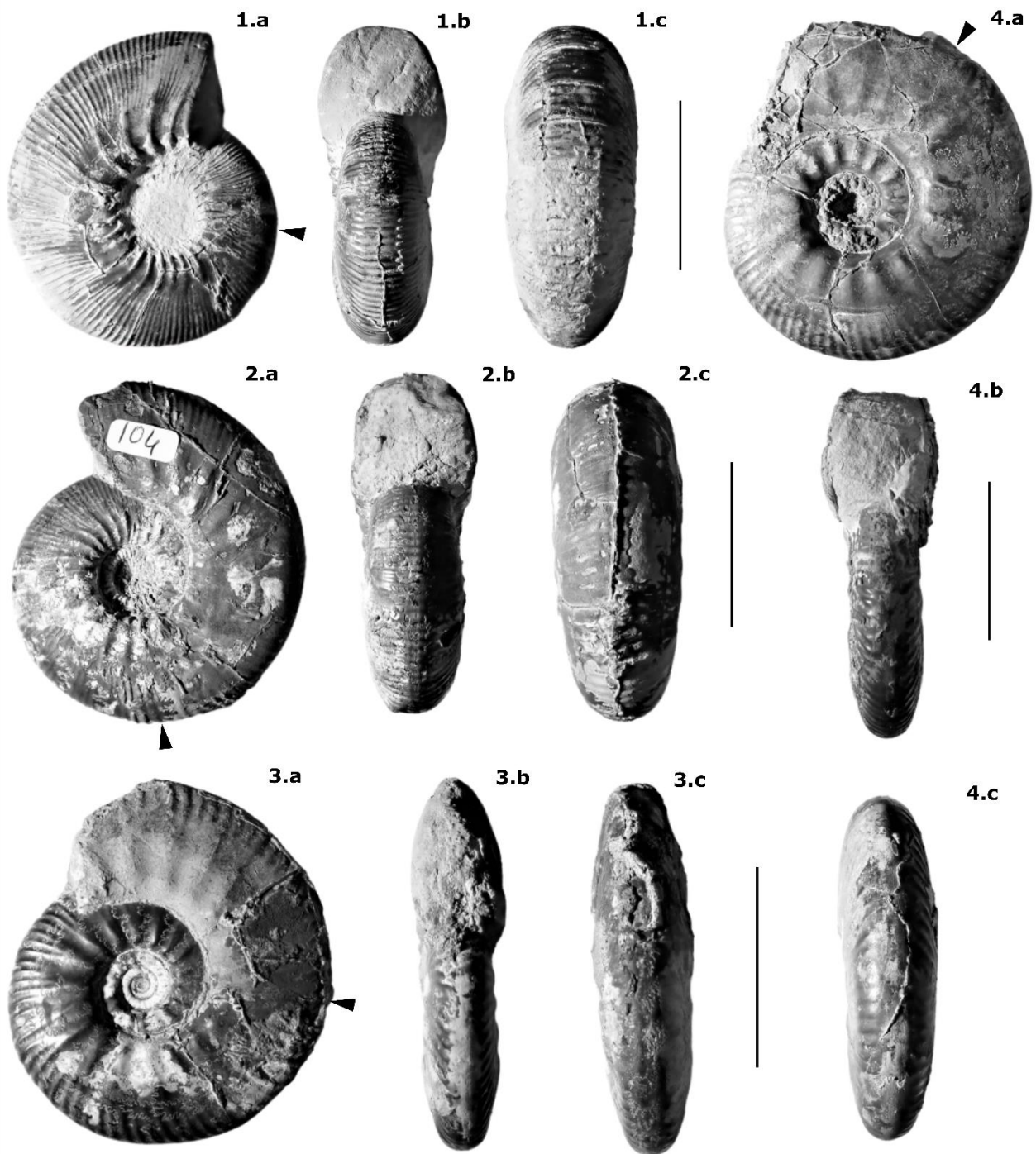
## Planche 7

Tous ces spécimens proviennent de la carrière de Touffréville. **1** : *Macrocephalites* sp., unité T3 (D = 85 mm) ; **2** : *M. (Pleurocephalites)* sp. [m], trouvé hors stratigraphie, quatrième palier d'exploitation, sommet de l'unité T2, unité T3 ou unité T4a (D = 100 mm) ; **3** : *M. gracilis*, trouvé hors stratigraphie, quatrième palier d'exploitation, sommet de l'unité T2, unité T3 ou unité T4a (D = 89 mm) ; **4** : *M. macrocephalus* [M], trouvé hors stratigraphie, troisième palier d'exploitation, milieu de l'unité T2 (D = 155 mm) ; **5** : *M. cf. macrocephalus* [M] trouvé hors stratigraphie, troisième palier d'exploitation, milieu de l'unité T2 (D = 200 mm). Les barres d'échelle représentent 5 cm et sont placées à droite du spécimen correspondant.



## Planche 8

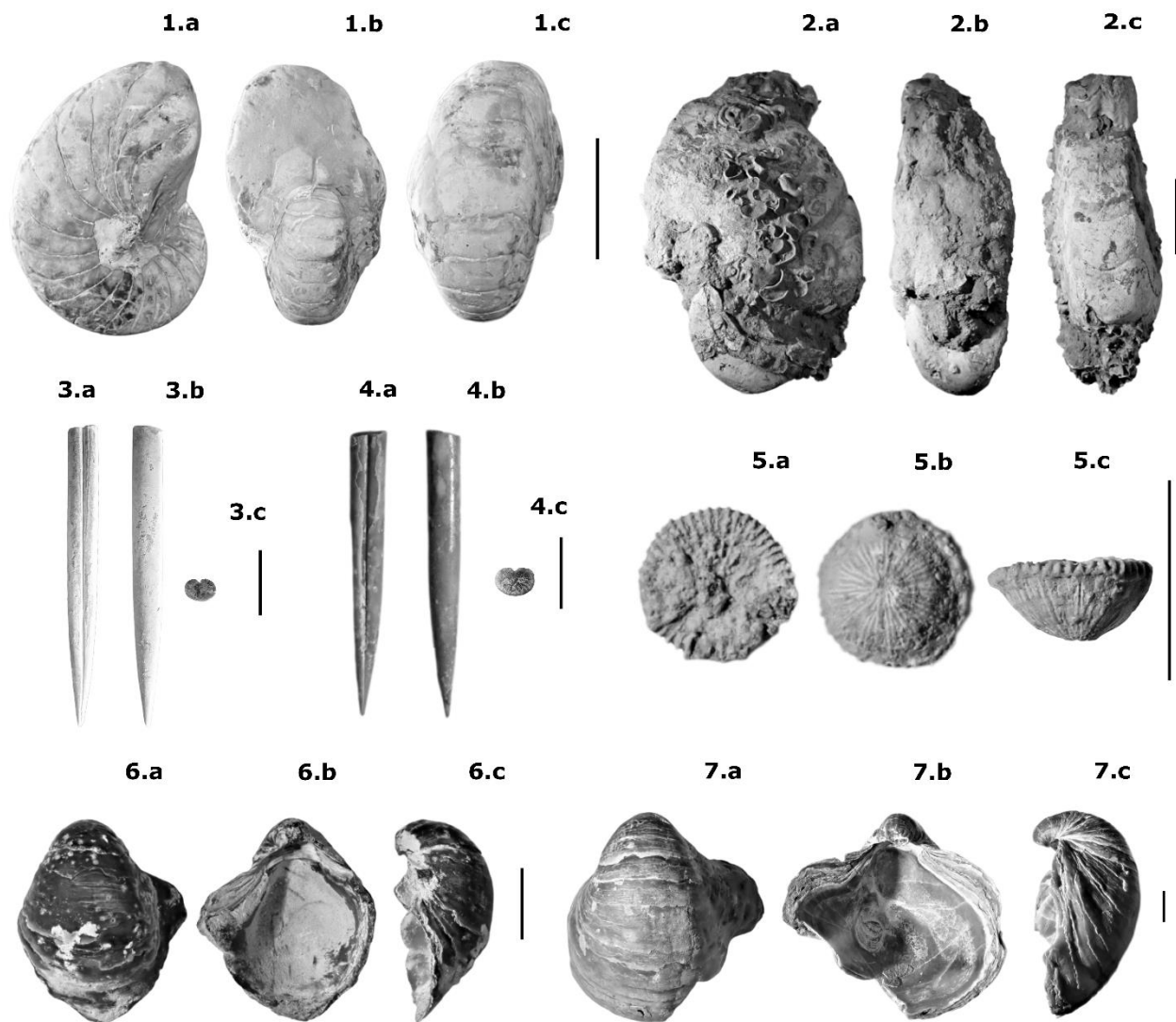
Tous ces spécimens proviennent de l'unité T5 de la carrière de Touffréville. 1 : *Macrocephalites* sp., trouvé hors stratigraphie, sixième palier d'exploitation (D = 93 mm) ; 2 : *Proplanulites* sp., trouvé hors stratigraphie, sixième palier d'exploitation (D = 165 mm) ; 3 : *Keplerites curtilobus* [M], trouvé hors stratigraphie, sixième palier d'exploitation (D = 112 mm) ; 4 : *Kosmoceras enodatum*, moitié haute de l'unité T5 (D = 18 mm) ; 5 : *K. enodatum*, moitié haute de l'unité T5 (D = 14 mm). Les barres d'échelle représentent 5 cm, sauf pour les spécimens 4 et 5 où elles représentent 1 cm, et sont placées à droite du spécimen correspondant.



## Planche 9

Tous ces spécimens proviennent de la collection Follet et ont été trouvés dans la carrière du Fresne d'Argences. 1 : *Kepplerites trichophorus* [M] (D = 91 mm) ; 2 : *K. curtilobus* [M] (D = 114 mm) ; 3 : *Proplanulites koenigi* [m] (D = 86 mm) ; 4 : *P. koenigi* [M] (D = 120 mm). Les barres d'échelle représentent 5 cm et sont placées à droite du spécimen correspondant.

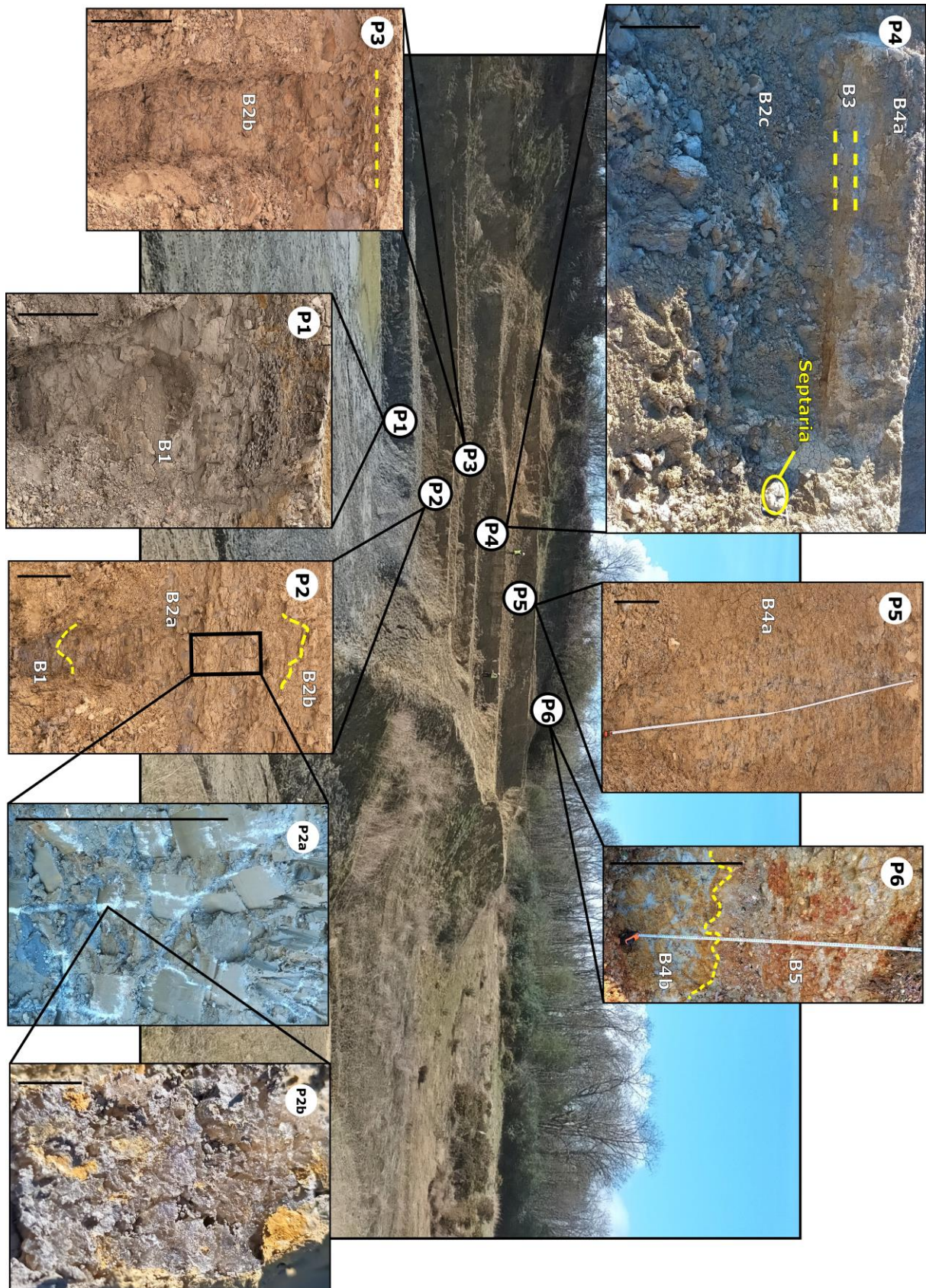




## Planche 10

1 : *Paracenoceras* sp. provenant de la collection Asquini trouvé dans la carrière de Bavent (D = 110 mm) ; 2 : *P. sp.* provenant des éboulis du deuxième palier d'exploitation de la carrière de Touffréville (D = 195 mm) ; 3 : *Belemnopsis latesulcatus* provenant de la collection Asquini trouvée dans la carrière de Bavent (H = 47 mm) ; 4 : *B. latesulcatus* trouvée dans l'unité B4 de la carrière de Bavent (H = 40 mm) ; 5 : *Thecocyathus* sp. trouvé dans l'unité B4 de la carrière de Bavent (D = 7 mm) ; 6 : *Gryphaea dilobotes* trouvée dans l'unité B4 de la carrière de Bavent (D = 31 mm) ; 7 : *G. dilobotes* trouvée dans l'unité T7 de la carrière de Touffréville (D = 69 mm). Les barres d'échelle représentent 1 cm sauf pour les spécimens 1 et 2 où elles représentent 5 cm et sont placées à droite du spécimen correspondant.

## Annexes



**Annexe 1** : carrière de Bavent avec un zoom sur les différentes plateformes d'exploitation et les unités correspondantes (**P2a & P2b** : zoom sur les veines de gypse de l'unité B2a). Les échelles représentent 50 cm sauf pour P2b où elle représente 2 cm.

## Annexe 2 : description détaillée de la coupe de Bavent.

**Unité B1** : composée de marnes grises à bleutées légèrement silteuses d'une puissance d'environ 2,4 m dont la limite inférieure n'est pas visible dans la carrière. Elle constitue donc la base de la coupe de Bavent. Ce niveau est riche en matière organique ainsi qu'en pyrite et ne présente pas de marques d'oxydation. Des fragments de bois de dimensions variables pouvant atteindre de grandes tailles (plusieurs dizaines de centimètres) sont assez fréquents. La faune fossile est assez hétérogène avec des niveaux pauvres parsemés de lentilles plus riches. Les bivalves sont les plus fréquents, de petite à moyenne taille (millimétriques à centimétriques). Il s'y trouve *Gervillella* sp., *Corbulomima* sp., *Grammatodon concinnus* Phillips 1829, *Bositra buchii* Roemer 1836, des Pectinidae Rafinesque 1815, des Trigoniidae Lamarck 1819, des Nuculidae Gray 1824, des Ostreidae Rafinesque 1815 ainsi que de rares *Pholadomya* sp., faune fréquente à la base de cette formation (Deroin et al., 1999 ; Rioult et al. 1989). Des restes fragmentaires d'ammonites sont régulièrement trouvés, mais de petite taille en globalité (millimétriques à centimétriques). Une majorité de *Kosmoceras enodatum* accompagnées de ?*Cadoceras* sp., ainsi que plusieurs Perisphinctidae, ont pu être identifiés (1 à 6 Pl. 1). Une unique ammonite de grande taille (150 mm) a été trouvée, mal conservée, appartenant au genre *Macrocephalites* (7 Pl. 1). Des nautilus du genre *Paracenoceras* Spath 1927 et quelques rares bélemnites ont également été collectés. La collection Asquini a fourni un spécimen de *Cadoceras durum* très bien conservé qui semble provenir de cette unité au vu de sa préservation (1 Pl. 3). Que ce soit pour les bivalves ou les ammonites, la conservation est mauvaise avec presque exclusivement des empreintes, contre-empreintes ou moulages marneux. Ainsi, beaucoup de spécimens sont comprimés, écrasés, déformés ou fragmentaires. De rares spécimens sont pyritisés, permettant une conservation en trois dimensions, mais la pyritisation est souvent partielle et cantonnée aux premiers tours pour les ammonites. Il est également récurant de trouver de petits terriers rectilignes de tailles variables faisant quelques millimètres de diamètres (1 annexe 3). Quelques fois ces derniers sont pyritisés mais sont plus souvent silteux ou sableux. De rares spécimens de brachiopodes, crinoïdes, oursins et gastéropodes sont aussi présents. Le niveau a également livré de rares restes de vertébrés,

notamment des dents d'Hybodontiformes Owen 1846 ainsi qu'une vertèbre de Plesiosauria Blainville 1835, appartenant à la collection Asquini, qui est supposée provenir de ce niveau au vu de sa préservation.

**Unité B2** : composée de marnes jaune ocre à grises, plus silteuses que la précédente et d'une puissance d'environ 6 m. La limite avec l'unité B1 est marquée par l'apparition de cette couleur jaune ocre et marque l'entrée dans le second membre des MBI. La faune s'y trouvant est très similaire à celle de l'unité B1 mais avec une taille en moyenne plus importante. Les bivalves tels que *Grammatodon concinnus*, Trigoniidae, Pectinidae, Ostreidae et Nuculidae sont toujours majoritaires. Les spécimens de crinoïdes sont plus fréquents. Les gastéropodes ainsi que les nautilus sont présents mais restent rares. Des spécimens fragmentaires de crustacés ont aussi été trouvés. Des terriers similaires à ceux de l'unité B1 ainsi que du bois sont toujours présents. Les brachiopodes se font moins rares au sommet de l'unité, dominés par les Rhynchonellida Kuhn 1949, et sont très déformés et écrasés. Les ammonites deviennent fréquentes et vont augmenter en nombre vers le sommet. Trois sous-unités peuvent être distinguées :

**B2a**, d'une puissance d'environ 1,8 m, a la particularité d'être parcourue par un réseau de veines de gypse cristallisé sur toute sa hauteur (P2 annexe 1). Ces cristaux ne semblent pas être synsédimentaires mais plutôt apparus secondairement suite à l'oxydation et l'hydratation de la pyrite. La dégradation de la pyrite peut entraîner la formation de néocristaux de gypse, formant ainsi ces veines avec l'infiltration de l'eau (Rioult et al. 1989 ; Collon et al., 2004). Ce sont également ces néocristaux de gypse et les hydroxydes de fer qui vont donner cette couleur jaune ocre à la suite de la formation (Deroin et al., 1999). La préservation reste presque exclusivement marneuse sauf pour les crinoïdes, certaines coquilles de bivalves ainsi que de rares ammonites calcaires ou pyriteuses. Les spécimens pyritisés sont très oxydés et donc souvent en mauvais état de conservation. Les veines de néocristaux de gypse ont également dégradé la qualité de conservation dans le niveau, ayant parfois fracturé ou endommagé les fossiles (10 Pl. 1). Des lentilles lumachelliques parcourent aussi les dépôts. Les spécimens d'ammonites semblent peu

nombreux, mais cela peut être un biais de collecte dû à la difficulté de fouiller ce niveau à cause des veines de gypse. Elles sont pour la majorité des *Kosmoceras enodatum* (8 & 9 PI. 1). La collection Asquini a également fourni des spécimens de grande taille de *Cadoceras durum* et de *Reineckeia turgida*, supposés provenir de ce niveau au vu des cristaux de gypses présent à leur surface (3 PI. 3 & 1 PI. 5). Une vertèbre de Plesiosauria de cette collection peut aussi provenir de cette unité pour les mêmes raisons.

**B2b**, d'une puissance d'environ 2,6 m, elle se compose toujours de marnes silteuses jaune ocre à grises. Le gypse est encore présent par endroits, mais ne forme pas de réseaux de veines cristallisées comme dans la sous-unité précédente. La préservation des spécimens est de meilleure qualité, en partie due à l'absence de veines de gypse. La faune est identique à celle de la sous-unité précédente et les ammonites deviennent fréquentes, bien que mal conservées, et sont toujours en majorité des *Kosmoceras enodatum* (1 PI. 2).

**B2c**, d'une puissance d'environ 1,6 m, elle est parsemée de nodules calcaires siliceux (septarias), de taille variable, pluricentimétriques à métriques (A & B annexe 3). Les nodules se forment souvent autour d'un nucleus pouvant être un bivalve tel que des *Pholadomya* sp., des ammonites ou des nautilus pouvant atteindre de grandes tailles, et plus rarement autour de restes de vertébrés (G annexe 3). La préservation au sein des nodules est variable, pouvant être bonne ou bien très mauvaise à cause de la cristallisation de la calcite, fracturant ou détruisant parfois les fossiles s'y trouvant (4 PI. 2). Au sein des nodules, majoritairement provenant de la collection Asquini, ont pu être identifiés des spécimens de *Macrocephalites tumidus* (3 & 4 PI. 4), *Cadoceras durum* (2 PI. 3), *C. geerzense* (4 PI. 3) ainsi que de nombreux Perisphinctidae, *Indosphinctes patina* (3 PI. 2), *Homoeoplanulites difficilis* (1 & 2 PI. 4). Un de ces nodules a également livré une centaine de brachiopodes, dont beaucoup avec le brachidium cristallisé à l'intérieur (H annexe 3). Ce nodule a aussi fourni de nombreux fragments osseux d'Actinoptérygiens dont plusieurs peignes branchiaux de *Leedsichthys problematicus* Woodward 1889. Dans les marnes, la faune reste identique à celle des sous-unités précédentes avec une majorité de bivalves et une dominance de *Kosmoceras enodatum* pour les ammonites (2 PI. 2).

Des spécimens d'*Indosphinctes cesaredensis* (5 PI. 3), *I. cf. patina* (8 PI. 2), *Reineckeia turgida* (5 PI. 4) et *Paracenoceras* sp. (1 PI. 10), de la collection Asquini, semblent également provenir de l'unité B2, mais leur position exacte n'est pas certaine.

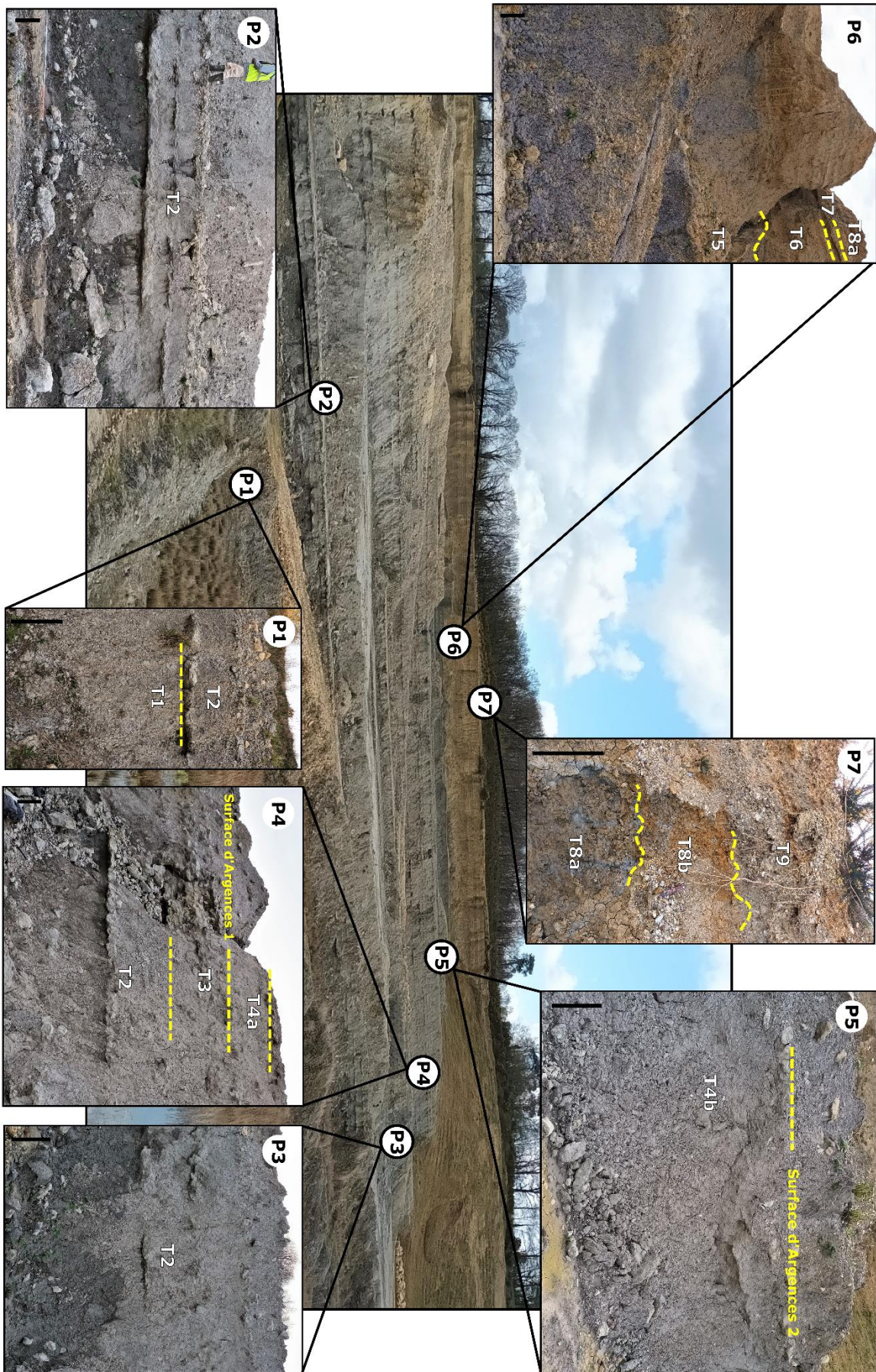
**Unité B3** : composée d'un banc de marnes calcaires induré. Il mesure en moyenne 0,15 m et la préservation au sein de celui-ci est très mauvaise. Cette unité signe également un changement de faune important avec l'apparition de *Gryphaea dilobotes* (6 PI. 10) ainsi que la présence plus importante de brachiopodes et de la bélemnite indice *Belemnopsis latesulcatus* (3 & 4 PI. 10). Les ammonites sont pour la majorité en très mauvais état de préservation, mais *Kosmoceras medea* (5 PI. 2) a pu être identifié ainsi qu'un Perisphinctidae fragmentaire de grande taille.

**Unité B4** : composée de marnes silteuses jaune ocre à grises, similaires à ceux de l'unité B2, elle peut se diviser en deux sous-unités. La première, **B4a**, constitue la majorité de l'unité avec une puissance variant entre 4 et 5 m. *Gryphaea dilobotes* est courante et la bélemnite indice devient très fréquente. Les bivalves tels que *Grammatodon concinnus*, Trigoniidae, Nuculidae, Ostreidae et Pectinidae sont toujours très présents. Les ammonites sont assez fréquentes et dominées par *Kosmoceras medea* (6 & 7 PI. 2). *Thecocyathus* sp. (5 PI. 10), est également présent, se concentrant beaucoup par endroits. Le sommet de ce niveau semble changer progressivement de couleur, passant à des marnes plus argileuses ocre à gris clair qui réagissent encore à l'HCl. La seconde sous-unité, **B4b**, se compose d'argiles silteuses bariolées d'une puissance variant entre 0,4 et 1,5 m qui ne réagissent pas à l'HCl. Ces argiles peuvent être ocre, blanches, bleutées ou verdâtres et sont pratiquement azoïques. Ce niveau semble être le résultat du lessivage des marnes par les eaux pléistocènes ayant laissé les alluvions sus-jacentes.

**Unité B5** : composée de dépôts quaternaires en discordance sur les niveaux calloviens, d'une puissance très variable, en moyenne d'1 m. Ils correspondent à des alluvions riches en galets, sables et silex déposés par les cours d'eau pléistocènes. Ce sont ces derniers qui ont érodé les dépôts jurassiques dans la région (Riout et al., 1989 ; Dugué et al., 2016).



**Annexe 3 :** **A :** septaria en place dans l'unité B2c de Bavant ; **B :** septaria de grande taille en place dans l'unité T6c de Touffréville ; **C :** *Thalassinoides* de la base de l'unité T2 de Touffréville ; **D :** septaria fracturé laissant visible la cristallisation ; **E :** zoom sur la cristallisation ; **F :** *Thalassinoides* du milieu de l'unité T2 de Touffréville ; **G :** septaria de l'unité B2c de Bavant, s'étant formé autour d'un *Cadoceras* sp. (collection Asquini) ; **H :** Brachiopodes préservant le brachidium en calcite au sein d'un septaria de l'unité B2c de Bavant ; **I :** terrier de petite taille de l'unité B1 de Bavant. Les barres d'échelle représentent 10 cm sauf pour E, H et I où elles représentent 5 cm et sont placées en bas à gauche.



**Annexe 4 :** carrière de Touffréville avec un zoom sur les différentes plateformes d'exploitation et les unités correspondantes. Les échelles représentent 50 cm.

## Annexe 5 : description détaillée de la carrière de Touffréville.

**Unité T1** : cette première unité se compose d'un banc calcaire gris légèrement siliceux de 0,15 m à sa base et de 1,4 m de marnes gris sombre légèrement silteuses assez pauvres en faune. Sous ce banc calcaire se poursuivent des marnes grises dont la limite inférieure n'est pas visible et constituent donc la base de la coupe de Touffréville. Il s'y trouve presque exclusivement des bivalves (Trigoniidae, Nuculidae, Ostreidae, *Modiolus* sp. ...) ainsi que des brachiopodes avec une dominance de Terebratulida Waagen 1883. Même si la continuité du niveau n'est pas observable en profondeur, cette unité semble correspondre à la fin du membre inférieur des ME, constitués d'environ 8 m de marnes sombres pauvres en faune (Deroin *et al.*, 1999). Cette unité se termine par un banc calcaire riche en brachiopodes et débris coquilliers et marque la fin du membre inférieur des ME (Dugué, 1989).

Les dépôts se poursuivent par environ 14 m d'alternance marno-calcaire qui vont peu à peu s'enrichir en éléments détritiques avec des marnes de plus en plus silteuses et sableuses ainsi que des bancs calcaires de plus en plus siliceux à texture wackestone/packstone. Cette alternance correspond au second membre des ME (Dugué, 1989).

**Unité T2** : cette unité d'environ 12 m de puissance se compose d'une alternance de bancs calcaires et de niveaux marneux gris devenant de plus en plus épais. Les bancs calcaires sont légèrement siliceux à la base, mesurent environ 0,15 m et sont parsemés de débris coquilliers de bivalves et de brachiopodes. Un spécimen de *Macrocephalites* sp. (2 PI. 6), a pu être collecté dans le banc n°6 (fig. 4), mais les céphalopodes restent extrêmement rares. Les inter-bancs marneux quant à eux, sont pauvres en fossiles avec une faune composée de bivalves et de brachiopodes en mauvais état de conservation (Terebratulida, Trigoniidae, Pectinidae, Ostreidae, Nuculidae, *Modiolus* sp., *Gervillella* sp. ...). La finesse des bancs calcaires va être interrompue par un banc plus épais de 0,25 m (banc n°10, fig. 4), très bioturbé montrant des *Thalassinoides* de grande taille (C annexe 3). Les alternances deviennent ensuite assez régulières avec des bancs calcaires d'une épaisseur variant entre 0,15 et 0,25 m et des inter-bancs marneux d'une épaisseur variant entre 0,3 et 0,7 m. Les niveaux vont également se charger de plus en plus en

éléments détritiques et sont toujours parsemés de débris coquilliers de bivalves et de brachiopodes. Les inter-bancs marneux sont toujours assez pauvres en faune, contenant majoritairement des bivalves sous forme d'empreintes et contre empreintes marneuses ainsi que de brachiopodes, toujours dominés par les Terebratulida même si les Rhynchonellida se font moins rares dans les bancs calcaires. Plusieurs spécimens d'ammonites dont deux *Macrocephalites macrocephalus* (4 & 5 PI. 6) ont pu être collectés en place dans les bancs calcaires n°24 et n°26 (fig. 4). Quelques rares fragments marneux non identifiables ont également été trouvés dans les inter-bancs marneux n°23 et n°25 mais les céphalopodes se font toujours rares en globalité.

Dans les éboulis des différents paliers d'exploitation, au pied de ces alternances, ont été trouvés plusieurs spécimens de céphalopodes. Cependant, leur position exacte dans la stratigraphie ne peut pas être précisée. Un spécimen de *Macrocephalites herveyi* (1 PI. 6), de *M. verus* (3 PI. 6) ainsi qu'un *Paracenoceras* sp. (2 PI. 10) ont été trouvés au niveau du palier 2 (P2 annexe 4). Un spécimen assez déformé de *M. cf. macrocephalus* (5 PI. 7), un spécimen de *M. macrocephalus* (4 PI. 7) ainsi que des fragments de *Paracenoceras* sp. ont été trouvés au niveau du palier 3 (P3 annexe 4). Un spécimen de *M. (Pleurocephalites)* sp. (2 PI. 7), un spécimen de *M. gracilis* (3 PI. 7) ainsi que plusieurs fragments d'ammonites non identifiables ont été trouvés au pied du palier 4 (P4 annexe 4), témoignant d'une certaine augmentation du nombre de céphalopodes avec la montée dans les niveaux.

**Unité T3** : la régularité de l'alternance marno-calcaire va être interrompue par une séquence très dense de 1,6 m où les bancs calcaires sont mal individualisés, bioturbés et très rapprochés les uns des autres. Les inter-bancs marneux deviennent peu épais (0,1 à 0,3 m) et très riches en faune, voire lumachelliques par endroit. Il s'y trouve un très grand nombre de brachiopodes (dominés par les Terebratulida) et de bivalves tels que des *Pholadomya* sp., des *Actinostreon* sp. ou des Ostreidae. Un spécimen de *Macrocephalites* sp. (1 PI. 7), a été trouvé dans cette alternance ainsi que quelques fragments d'ammonites non identifiables. Le sommet de cette unité condensée correspond à un banc calcaire bioturbé appelé "Surface d'Argences 1"

marquant la fin des ME et le début des MA (Dugué, 1989).

**Unité T4** : cette unité se compose de marnes gris sombre très riches en faune, traversées de deux bancs calcaires bioturbés et correspond à la formation des MA. Il s'y trouve une faune riche avec énormément de bivalves (*Modiolus* sp., *Gervillella* sp., *Pholadomya* sp., Trigoniidae, Nuculidae, Pectinidae, Ostreidae...) et de débris coquilliers, pratiquement lumachelliques par endroits. Les brachiopodes sont encore présents et réguliers, toujours dominés par les Terebratulida mais sont moins nombreux que dans les ME. A l'inverse, les fragments d'ammonites se font plus nombreux. Cependant, les céphalopodes collectés restent assez rares et non identifiables, car trop marneux et/ou fragmentaires. Cette unité peut se subdiviser en deux sous-unités :

La première, **T4a**, se compose de marnes gris sombre d'environ 0,9 m de puissance parsemées de nombreux nodules et blocs de calcaire siliceux. Les nodules et blocs calcaires sont assez irréguliers en forme et sont pluricentimétriques. Ces derniers ne renferment généralement que quelques débris coquilliers épars. Ce niveau à nodules se termine par un banc de calcaire siliceux bioturbé de 0,3 m, riche en faune et en débris coquilliers, notamment de brachiopodes et de bivalves.

Le second, **T4b**, se poursuit avec des marnes gris sombre toujours très riches en faune sur environ 1,6 m de puissance. Ce niveau marneux se termine par un épais banc calcaire bioturbé discontinu à sa base, variant entre 0,4 et 0,6 m d'épaisseur, appelé "Surface d'Argences 2" ou "Grugeon", marquant la fin des MA (Dugué, 1989). Cette surface forme le sol du sixième palier d'exploitation de la carrière, permettant ainsi d'observer son contenu sur une très grande distance. Ce banc contient des nautilus et des ammonites de grandes tailles non identifiables (plusieurs dizaines de centimètres), des bioturbations, des brachiopodes et des débris coquilliers.

**Unité T5** : cette unité se compose de marnes grises à bleutées légèrement silteuses sur environ 5,5 m de puissance correspondant à la base des MBI qui n'était pas entièrement visible dans la carrière de Bavent. Elle est traversée par deux niveaux beaucoup plus silteux/sableux de couleur plus claire d'environ 0,2 m. Le premier de ces niveaux silteux est parsemé de nodules

calcaires pouvant renfermer des débris coquilliers ainsi que des brachiopodes, mais sont généralement assez peu fossilifères. La faune est sensiblement la même que celle observée dans l'unité B1 de Bavent avec assez peu de fossiles, majoritairement des bivalves (*Grammatodon concinus*, *Pholadomya* sp., Nuculidae, Ostreidae, Pectinidae...). Les céphalopodes sont bien présents avec des bélemnites et des ammonites pyritisées présentes dans la partie supérieure de l'unité et dominées par *Kosmoceras enodatum* (**4 & 5 Pl. 8**). Cependant, aucune ammonite en bon état de conservation n'a pu être collectée dans la partie inférieure de celle-ci. Un *Macrocephalites* sp. (**1 Pl. 8**), un *Proplanulites* sp. (**2 Pl. 8**) ainsi qu'un *Keplerites curtilobus* (**3 Pl. 8**) ont pu être collectés au niveau du palier 6 (**P6 annexe 4**) et être rattachés à cette unité au vu de leur préservation.

La lithologie des unités suivantes a bien été étudiée cependant celles-ci ont très peu été fouillées dans le détail par manque de temps. Cela est compensé par le fait que la faune des niveaux équivalents de la carrière de Bavent (B2 à B5) a déjà été établie.

**Unité T6** : cette unité débute par un niveau de marnes très jaune d'environ 0,2 m très riche en gypse, silt et débris coquilliers qui n'était pas visible dans la première carrière. La suite des dépôts reprend des marnes jaune ocre à grises silteuses sur environ 5,8 m, équivalent de l'unité B2 de Bavent. Elle peut ainsi se subdiviser de la même manière :

La première sous-unité, **T6a**, est parcourue par des veines de cristaux de gypse néoformé d'une épaisseur variable, en moyenne autour de 1,8 m comme c'est le cas à Bavent. Cela démontre que ce gypse n'est pas uniquement local, mais est continu dans les niveaux. La propagation des veines de gypse est assez variable et peut se déporter plus bas ou plus haut de façon irrégulière, mais se cantonne généralement aux deux premiers mètres au-dessus des marnes grises de l'unité T5.

La seconde sous-unité, **T6b**, reprend des marnes jaune ocre à grises, silteuses, sans veines de gypse sur environ 2 m comme c'est le cas à Bavent.

La troisième sous-unité, **T6c**, est parsemée de nodules calcaires (septarias) sur environ 1,6 m qui renferment toujours une faune de grande



taille tel que des *Macrocephalites tumidus*, de nombreuses Perisphinctidae ainsi que des *Paracenoceras* sp. et des *Pholadomya* sp.. Certains de ces nodules atteignent des tailles bien supérieures à ceux observés à Bavent, pouvant atteindre 1,8 m de long. Cette différence de taille semble seulement due à un biais d'observation puisque l'exploitation de Bavent est bien plus petite que celle de Touffréville et met donc à l'affleurement beaucoup moins de nodules. La carrière de Touffréville a de ce fait permis d'observer que plus ces nodules étaient grands, plus ils étaient compressés et aplatis, tandis que plus les nodules étaient petits plus leur forme sphérique ou ovoïde était conservée (**A et B annexe 3**).

**Unité T7** : tout comme à Bavent, les niveaux marneux sont interrompus par un niveau de marnes calcaires induré d'environ 0,15 m. A l'image de l'unité B3, l'unité T7 voit apparaître des *Gryphaea dilobotes* (**7 Pl. 10**), ainsi qu'une forte augmentation du nombre de *Belemnopsis*

*latesulcatus*. Des dents d'Hybodontiformes et d'Actinopterygiens ont également pu y être collectées.

**Unité T8** : Cette unité s'observe sur une hauteur variable allant de 0,4 m à 1,8 m de puissance due à l'érosion quaternaire. Celle-ci peut se diviser en deux sous-unités. A la base, **T8a** se compose de marnes silteuses jaune ocre à grises, riches en *Gryphaea dilobotes* et *Belemnopsis latesulcatus*. Au sommet, **T8b** se compose d'argiles bariolées pratiquement azoïques qui ne réagissent pas à l'HCl. Tout comme à Bavent, cette unité semble avoir été lessivée et érodée par les cours d'eau pléistocènes, cela de façon encore plus importante au vu de la différence d'épaisseur entre les deux carrières.

**Unité T9** : celle-ci se compose d'alluvions pléistocènes riches en silex, sables et graviers d'épaisseur variable entre 1 et 2 m en moyenne, en discordance sur les marnes calloviennes.

		Province subboréale					Unité		Province subméditerranéenne																		
Age	Z	S-Z	Zone	Sous-zone	Horizon anglais	Horizon allemands	Touffréville	Bavent	Horizon	Sous-zone	Zone																
Callovien moyen	II	II	Jason	Medea	Jason β	Jason α	T7 & T8	B3 & B4	Bannense	Stuebeli	Anceps																
												Coronatum	Obductum	Coronatum	Jason β	Jason α	Coronatum	Coronatum									
Callovien inférieur	Macrocephalus	Kamptus	Koenigi	Gowerianus	Kamptus	Kamptus α	T1 ?	B1 & B2	Prahocquense	Bullatus	Bullatus																
												Herveyi	Kamptus	Kamptus β	T2 ?	Prahocquense	Bullatus										
																		Terebratus	Terebratus β	T3 ?	Prahocquense	Bullatus					
																							Keppleri	Terebratus α	T4 ?	Prahocquense	Bullatus
	Macrocephalus	Koenigi	Calloviense	Enodatum	Enodatum α	Enodatum β	T6	B2	Boginense	Patina	Gracilis																
												Calloviense	Enodatum β	T7 ?	Pamprouxensis	Patina											
																	Galilaei	Galilaei	T8 ?	B4 ?	Tyranniformis						
																						Curtliobus	Curtliobus	B3 & B4	Tyranniformis		
																										Trichophorus	Bullatocephalus
Macrocephalus	Koenigi	Calloviense	Enodatum	Enodatum α	Enodatum β	T8 ?	B4 ?	Bannense	Stuebeli	Anceps																	
											Calloviense	Enodatum β	T9 ?	Pamprouxensis	Patina												
																Galilaei	Galilaei	T10 ?	Bannense	Stuebeli							
																					Curtliobus	Curtliobus	T11 ?	Stuebeli			
																									Gowerianus	Macrocephalus	T12 ?
Macrocephalus	Koenigi	Calloviense	Enodatum	Enodatum α	Enodatum β	T13 ?	B4 ?	Bannense	Stuebeli	Anceps																	
											Calloviense	Enodatum β	T14 ?	Pamprouxensis	Patina												
																Galilaei	Galilaei	T15 ?	Bannense	Stuebeli							
																					Curtliobus	Curtliobus	T16 ?	Stuebeli			
																									Trichophorus	Bullatocephalus	T17 ?

■ Anciennnes biozones

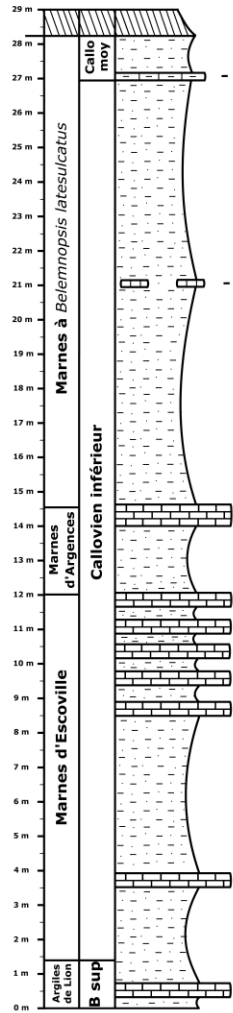
▨ Absence de données

- - - Limite incertaine

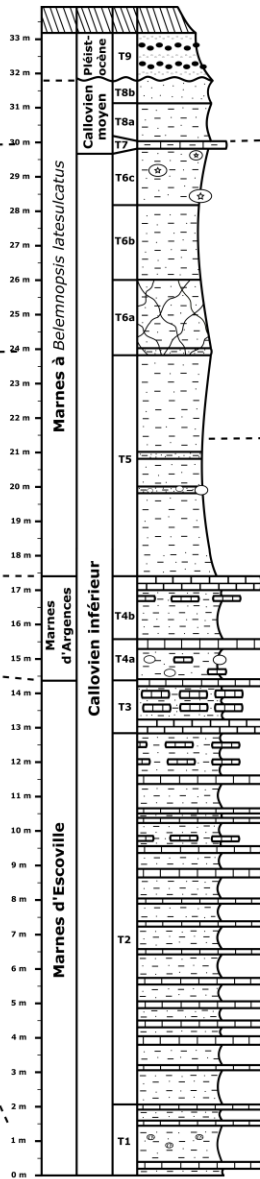
▬ zones inchangées

**Annexe 6** : Découpage biostratigraphique actuel et ancien du Callovien inférieur et moyen avec corrélation des différentes unités définies dans les carrières de Bavent et Touffréville (modifié d'après Carou & Hantzpergue, 1997).

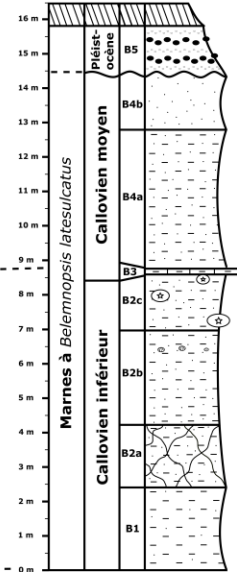
① Coupe simplifiée du Fresne d'Argences, modifié d'après Rioult & Fily, 1975 in Dugué, 1989



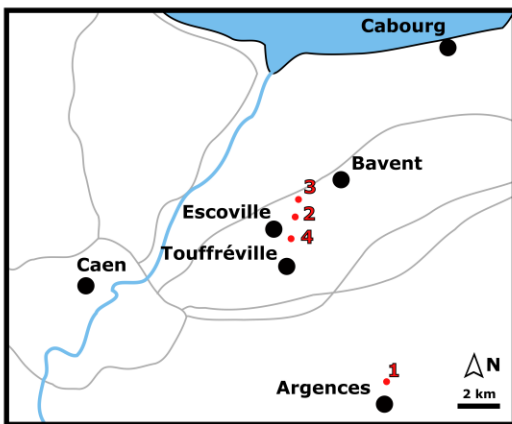
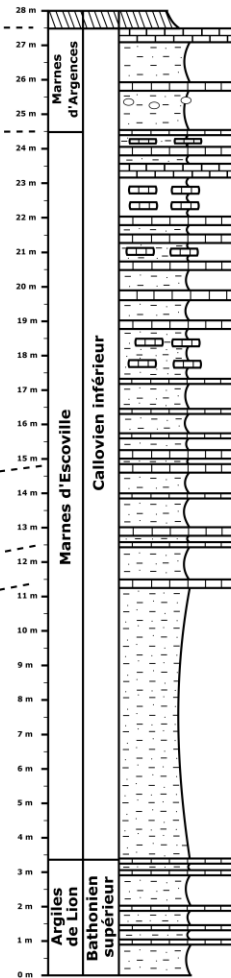
② Coupe de Touffréville



③ Coupe de Bavent



④ Coupe d'Escoville, modifié d'après Dugué, 1989



Annexe 7 : Corrélations entre les différentes coupes déjà réalisées dans les formations du début du Callovien de Normandie.