

UNE EXCURSION DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD DANS LES CARRIÈRES SOUTERRAINES D'ARRAS LE 21 OCTOBRE 2023. STRATIGRAPHIE ET FRACTURATION DES CRAIES CONIACIENNES

*An excursion of the Société Géologique du Nord in the underground quarries of Arras
on october 21, 2023. Stratigraphy and fracturing of the coniacian chalks*

Francis Amédéo

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

Françoise Bergerat

Sorbonne Université, CNRS, Institut des Sciences de la Terre de Paris, UMR 7193, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05
francoise.bergerat@sorbonne-universite.fr

Résumé

Les carrières souterraines d'Arras constituent un patrimoine naturel et historique remarquable : la craie coniacienne y a été exploitée depuis l'Antiquité en souterrain, puis après une période d'exploitation à ciel ouvert, à nouveau en souterrain au Moyen Âge. Un grand nombre de ces carrières ont été aménagées et reliées entre elles par un réseau de tunnels lors de la Grande Guerre, en vue de l'offensive d'avril 1917. Les coupes lithostratigraphiques réalisées dans les carrières d'Arras sont corrélables avec les coupes de référence du Boulonnais et du Kent. Les fractures sont extrêmement régulières et leur agencement se fait essentiellement suivant les directions N 105°-125° E (diaclasses et quelques failles normales) et N 160°-180° E (décrochements senestres) ; elles ont largement guidé l'exploitation souterraine.

Abstract

The underground quarries of Arras constitute a remarkable natural and historical heritage: the Coniacian chalk has been exploited there since Antiquity first in underground quarries, then after a period of open-air mining, again underground from the Middle Age. Numerous quarries were arranged and connected by a network of tunnels during the Great War, in preparation for the offensive of April 1917. The lithostratigraphic sections surveyed in the quarries of Arras can be correlated with the reference sections from Boulonnais and Kent. Fracturing is extremely regular and mainly arranged along the directions N 105°-125°E (joints and some normal faults) and N 160°-180°E (left-lateral strike-slip faults); it largely guided underground mining.

INTRODUCTION

Des origines de la Société Géologique du Nord (SGN) en 1870 jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, la vie de la Société Géologique du Nord a été rythmée par de nombreuses séances de communications organisées dans les locaux de la Faculté des Sciences, sise à l'époque rue Gosselet à Lille, ainsi que par des excursions pluriannuelles emmenant les membres de la Société sur le terrain. C'est ainsi que de nombreuses sorties organisées par nos illustres prédécesseurs comme Jules Gosselet, Charles Barrois, Pierre Pruvost et bien d'autres ont fait découvrir la diversité et la richesse du sous-sol de notre région à de nombreux géologues professionnels et amateurs, chacune d'entre elles faisant l'objet d'un compte rendu publié dans les Annales de la SGN. Cette tradition s'est ensuite perdue. Elle renaît progressivement suite au nouvel élan impulsé depuis deux décennies par les derniers présidents, dont Francis Robaszynski a été le pionnier. Le compte rendu de l'excursion SGN du samedi 21 octobre à Arras s'inscrit dans cette démarche.

L'Artois présente peu d'affleurements naturels continus et les accidents tectoniques, tout comme la stratigraphie de la craie, ont été reconnus essentiellement grâce aux travaux miniers, aux forages, à la géophysique ainsi que, ponctuellement, à l'occasion d'exploitations à ciel ouvert, de travaux ou de fouilles archéologiques. Les carrières souterraines d'Arras constituent pour cette raison une importante source d'informations. Les objectifs de cette sortie sur le terrain sont de présenter aux membres de la SGN la stratigraphie et la fracturation de la craie à silex coniacienne dans les carrières souterraines d'Arras. Cependant la géologie étant étroitement liée à l'histoire de ces carrières, que ce soit celle de leur exploitation du X^e au XVIII^e siècle ou celle de leur utilisation pendant les derniers conflits mondiaux, quelques brefs paragraphes évoquent ces différents domaines. Le lecteur intéressé par ces aspects « extra-géologiques » pourra également trouver dans la bibliographie de quoi satisfaire sa curiosité.

L'excursion comprend 4 points d'arrêt permettant d'étudier la succession lithologique et la fracturation des craies coniaciennes dans les carrières du centre-ville (les Boves de la place des Héros) et du faubourg de Ronville (carrières

Auckland, Blenheim et Wellington qui sont connectées par des tunnels), mais aussi d'avoir un aperçu sur l'histoire de ces carrières durant leur exploitation, puis pendant la Grande Guerre :

- ✧ Arrêt 1 : les Boves de la place des Héros (stratigraphie)
- ✧ Arrêt 2 : la carrière Auckland (stratigraphie)
- ✧ Arrêt 3 : la carrière Blenheim (fracturation)
- ✧ Arrêt 4 : la carrière Wellington (histoire).

Les adresses et coordonnées des lieux d'accès à ces points d'observation sont les suivants.

Les Boves de la place des Héros

Entrée par l'Office de Tourisme d'Arras

Hôtel de Ville (Beffroi), place des Héros

Coordonnées : 50° 17' 27.68" N, 2° 46' 38.15" E

Les carrières du Faubourg de Ronville

Entrée par la Carrière Wellington

Rue Arthur Delétoile, Arras

Coordonnées : 50° 16' 51.39" N, 2° 46' 58.81" E

LE BASSIN CARRIER D'ARRAS

Comme de nombreuses villes du Nord de la France, Arras a exploité son sous-sol pour extraire les matériaux nécessaires à sa construction, c'est-à-dire ici la craie coniacienne. La cité d'Arras remonte à l'Antiquité (*Nemetacum*; e.g. Jacques & Davy, 1986), mais s'est surtout développée au Moyen Âge, époque à laquelle la craie était réservée à l'édification des édifices religieux et à la construction des fortifications. Au XVI^e siècle, l'emploi de ce matériau s'est généralisé, entraînant la création de nombreuses carrières dont l'exploitation s'est poursuivie jusqu'au XVII^e siècle en s'étendant au sud et à l'est de la ville.

Ce bassin d'exploitation s'appuie au sud sur la vallée du Crinchon et au nord sur celle de la Scarpe, dont le cours est navigable depuis le début du XVII^e siècle, offrant ainsi des débouchés vers la Flandre où ce matériau était recherché. Cet arc carrier se développe aussi vers l'est en suivant les routes de Cambrai et Bapaume, qui constituent également des axes de transport pour alimenter les chantiers de constructions urbains (fig. 1).

L'EXPLOITATION DE LA CRAIE À ARRAS

Les carrières constituent les premiers indices de l'occupation du site d'Arras avec les puits d'extraction retrouvés à la périphérie du Rond-point Baudimont, datés entre les années - 10 et +20 de notre ère; ils délimitent le noyau de la ville antique que l'on peut estimer à environ 3 ha. L'existence de trous de pieux autour des puits suppose l'installation de treuils pour la descente des carriers et la remontée des matériaux. Dans le courant du I^{er} siècle, ce mode d'extraction

a été relayé par des carrières à ciel ouvert pour alimenter les chantiers de construction de la ville en pleine expansion, sur le versant sud de la colline Baudimont. Cette exploitation cessera son activité à la fin du III^e siècle - début du IV^e siècle.

Aux X^e et XI^e siècles, la ville médiévale est en plein essor et on trouve d'autres témoins de l'extraction de la craie avec des méthodes identiques à celles de l'époque romaine : exploitation verticale par puits aboutissant, environ 12 m plus bas, à des galeries d'extraction de 2,50 m de hauteur. L'exploitation par « chambres et piliers » apparaît à la fin du Moyen Âge, consistant à laisser en place des piliers de roche à distance régulière, destinés à soutenir le ciel des salles d'extraction. Elle se développe dans le bassin carrier d'Arras jusqu'à la fin du XVII^e siècle.

Des carrières de craie aux dimensions importantes existent sous les faubourgs Ronville et Saint-Sauveur. D'anciens fronts de taille sont visibles dans ces carrières et il est possible d'y observer l'empreinte des blocs arrachés à la paroi et des traces d'outils (Béghin & Bergerat, 2021). Le développement des quartiers suburbains le long des routes de Cambrai et de Bapaume a ensuite entraîné l'abandon de l'exploitation.

LES CARRIÈRES D'ARRAS PENDANT LA GUERRE DE 14-18

Les carrières arrageoises seront réoccupées au cours de la Première Guerre mondiale quelques mois avant l'offensive du 9 avril 1917 (e.g. Girardet *et al.*, 2003; Jacques & Mortier, 2008; Bergerat *et al.*, 2018).

C'est lors de la conférence de Chantilly, en novembre 1916, que les états-majors des armées anglaises (général Haig) et françaises (général Joffre) décidèrent d'une action commune pour rompre le front allemand. La ville d'Arras située en zone britannique fut pressentie pour être la base de départ d'une offensive de diversion confiée au haut commandement britannique, combinée avec une attaque d'envergure au chemin des Dames en secteur français. Le site convenait parfaitement à la concentration discrète de troupes et à leur hébergement sans attirer l'attention des Allemands, puisque, lors du creusement de souterrains dans le cadre de la « guerre des mines », les sapeurs avaient redécouvert les grandes carrières souterraines qui étaient tombées dans l'oubli. Les carrières d'Arras furent ainsi cartographiées par les Britanniques et, pendant près de six mois, des travaux furent réalisés pour relier les caves du centre-ville aux carrières des faubourgs de Saint-Sauveur et de Ronville et pour les aménager (eau, électricité) afin d'y installer des cantonnements. Pour réaliser ces travaux, l'état-major fit appel à une unité de tunneliers néo-zélandais (*New Zealand Engineers Tunnelling Company*) présents pour des travaux de sape dans le cadre de la guerre des mines, renforcée par des bataillons des *Scottish Rifles* et des *King's Own Borderers* et par le *West Yorkshire Regiment*. Fin mars,

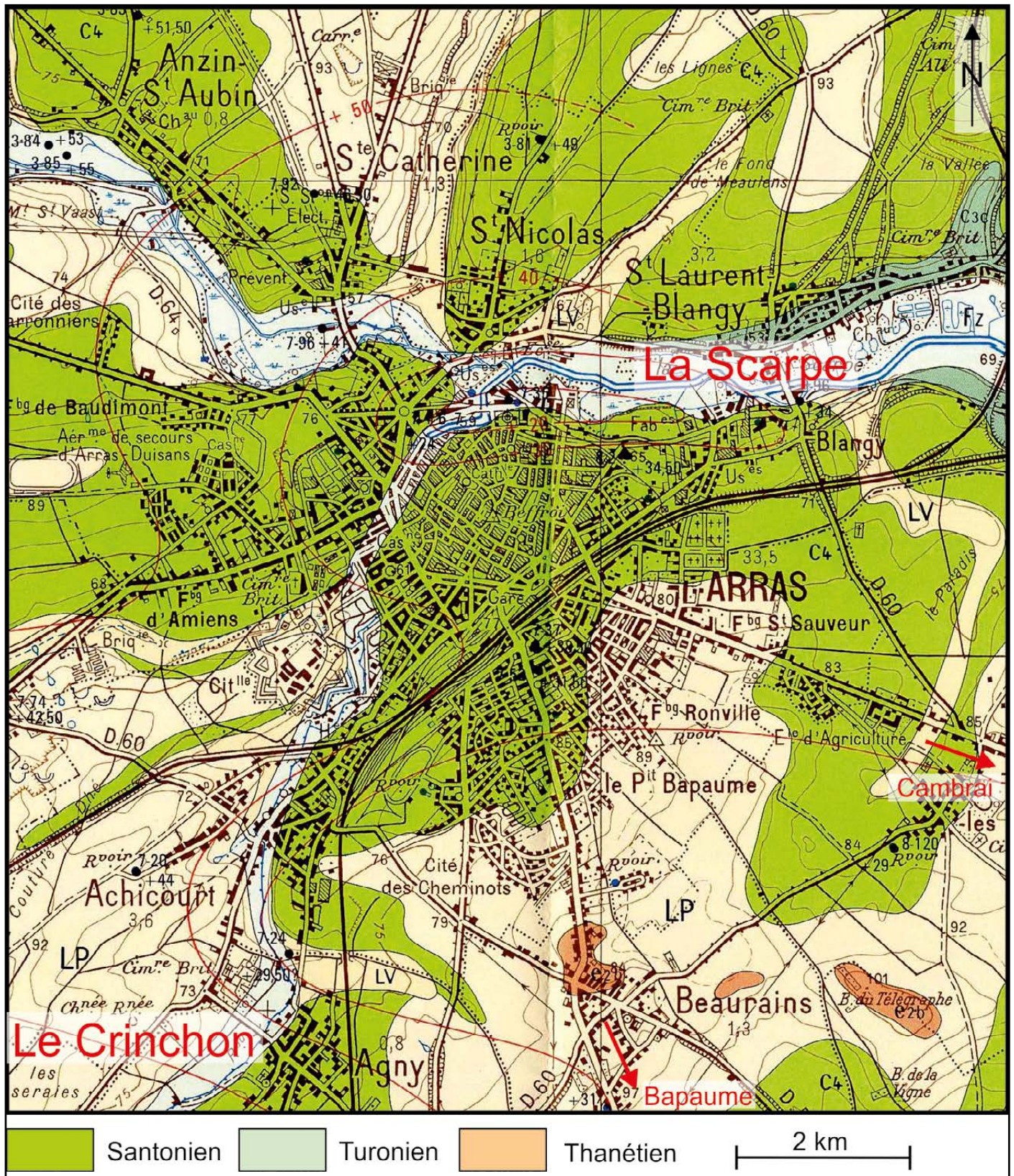


Fig. 1. Le bassin carrier d'Arras (extrait de la carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Arras, BRGM).

Fig. 1. The Arras chalk quarry arc in its geological setting (France geological map, 1/50 000, Sheet Arras, BRGM).

les travaux souterrains étaient achevés et dès le 3 avril 1917, un premier bataillon put utiliser les galeries et passer de la Grand Place aux carrières du quartier Saint-Sauveur.

Les différents secteurs de ce cantonnement ont été baptisés de noms de villes d'où ils étaient originaires, ainsi les carrières de Ronville portent les noms de villes néo-zélandaises (dans la même « position géographique » qu'en Nouvelle-Zélande, de Russell au nord à Bluff au sud ; fig. 2). Les caves et carrières pouvaient héberger plus de 24 400 hommes dont 13 000 dans le secteur des places. La capacité d'accueil dans le secteur Saint-Sauveur était de 2 000 hommes et de 9 400 dans les cantonnements souterrains de Ronville.

Le lundi 9 avril 1917 à 5h30 du matin, après un bombardement intensif de quatre jours, destiné à annihiler toute action des forces adverses, les troupes stationnées dans les souterrains surgirent à quelques mètres de la 1^{re} ligne allemande et, profitant de l'effet de surprise, atteignirent rapidement leur objectif avec des pertes relativement faibles. Les jours suivants virent cependant les pertes humaines s'intensifier. Si la bataille d'Arras a permis le désenclavement de la ville qui subissait des bombardements depuis octobre 1914, un peu plus de 150 000 hommes, dans les armées alliées, ont été mis hors de combat durant les mois d'avril et mai 1917.

Notons enfin qu'au milieu des années 1930, les rumeurs d'une nouvelle guerre avec l'Allemagne décidèrent les auto-

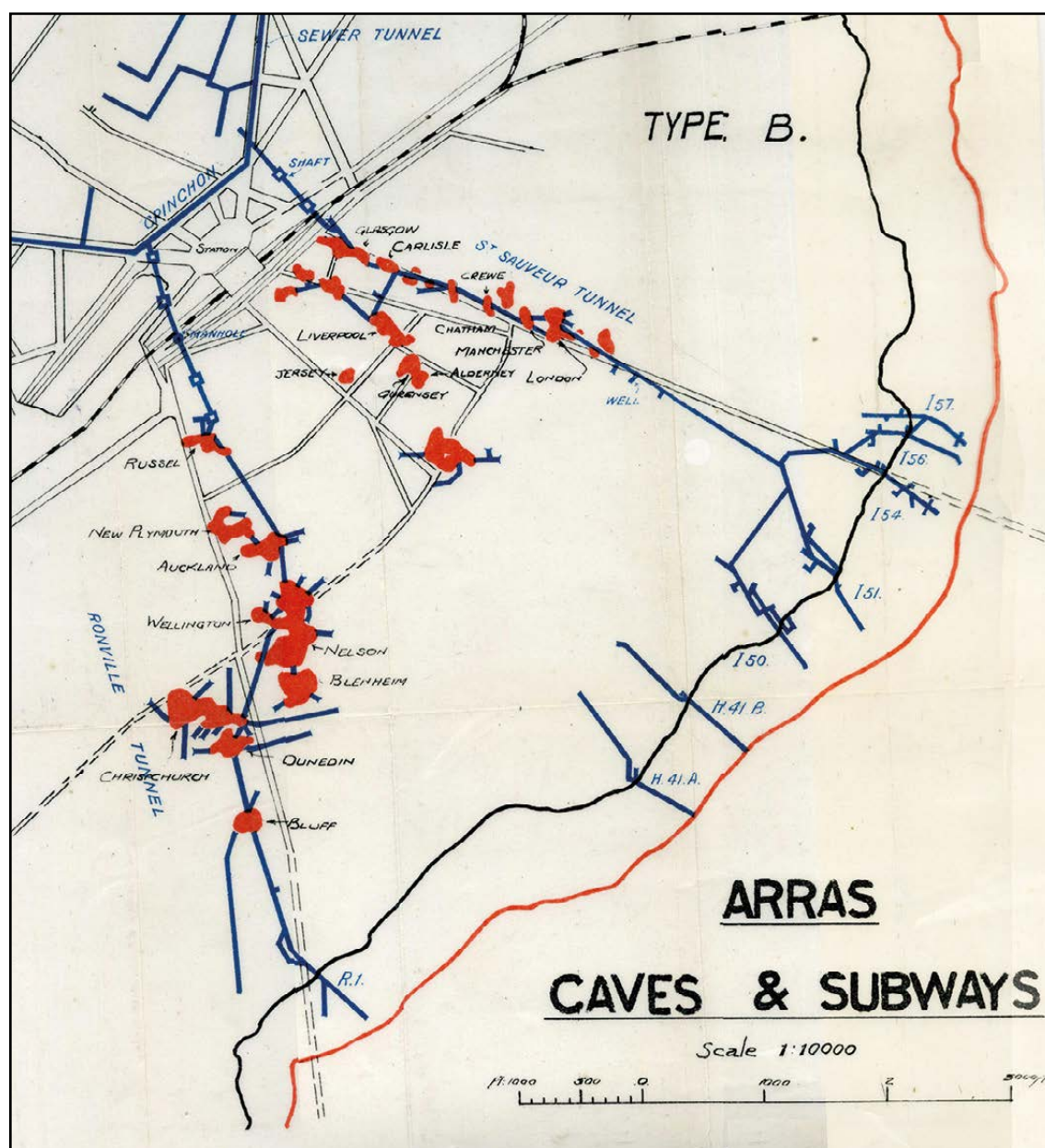


Fig. 2. Plans des réseaux de carrières des faubourgs de Ronville et de Saint-Sauveur (document *Secretary of the Institution of Royal Engineers*, 1922).

Fig. 2. Map of the underground quarries of the Ronville and Saint-Sauveur suburbs (*Secretary of the Institution of Royal Engineers*, 1922).

rités locales à aménager en abris de la Défense passive les carrières localisées dans le quartier de la gare, puis celles des faubourgs. Ces abris ont été utilisés par les habitants en particulier en mai 1940 et lors des bombardements anglo-américains de 1944.

L'ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE DES CARRIÈRES DE CRAIE D'ARRAS

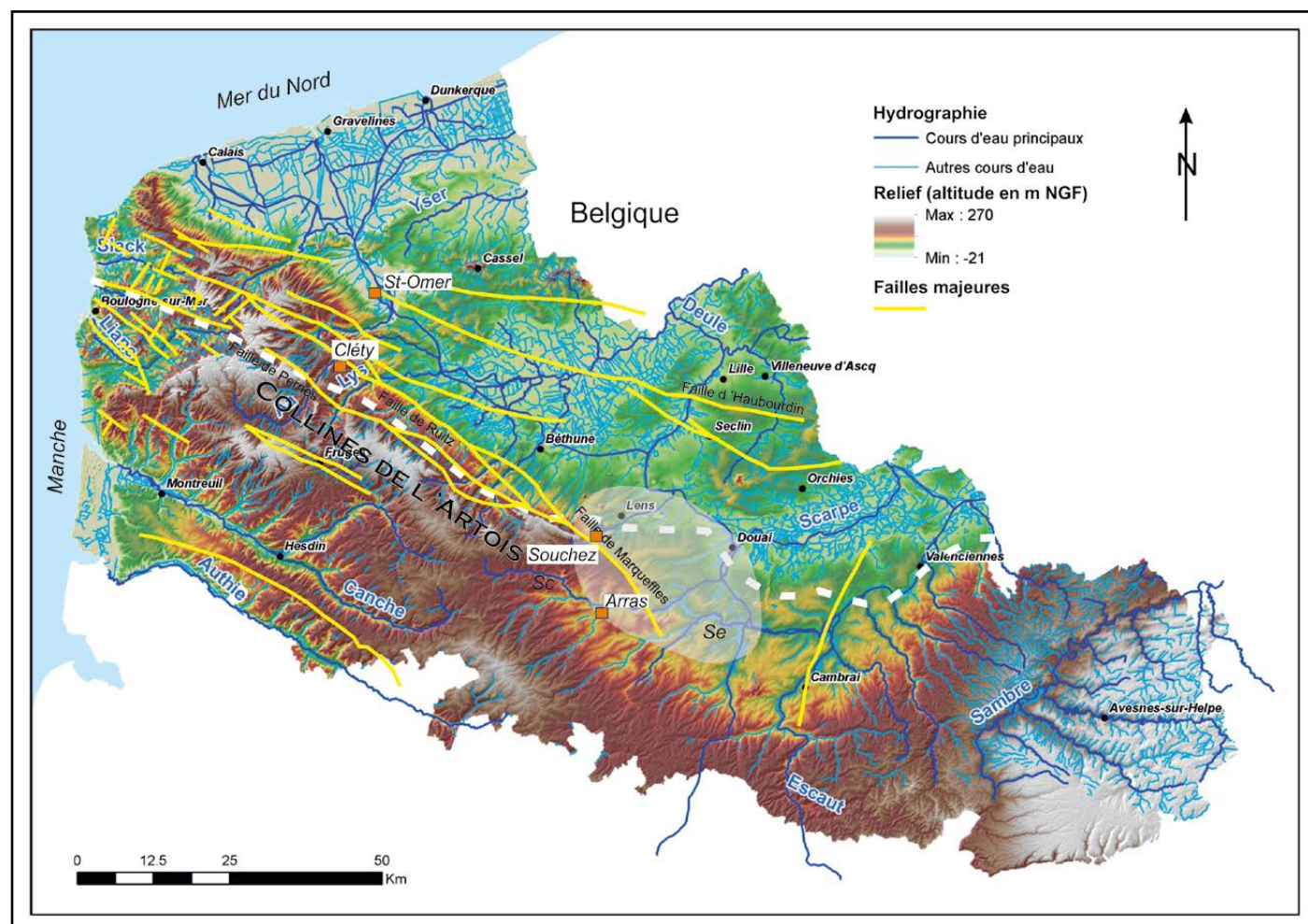
Le trait morpho-structural fondamental du Nord-Pas de Calais est le bombement anticlinal faillé de l'Artois qui s'étend du Boulonnais à l'ouest jusqu'à la région d'Arras à l'est, en suivant un axe globalement WNW-ESE (fig. 3). Il constitue une limite majeure tant sur le plan géologique que géomorphologique entre la plaine des Flandres, au nord, où affleurent principalement les sédiments tertiaires sableux et argileux, et le plateau picard au sud, constitué des forma-

tions crayeuses du Crétacé supérieur. Cet anticlinal, bien marqué dans la topographie par les collines de l'Artois, est un pli dissymétrique à flanc sud doux et flanc nord plus redressé. Il est affecté, dans la couverture mésozoïque, de failles longitudinales classiquement liées au jeu inverse de failles tardi-hercyniennes qui, sauf dans le Boulonnais où elles sont en partie visibles en surface (Averbuch *et al.*, 2001), sont surtout connues grâce aux forages et aux profils sismiques.

Ces failles, à fort pendage vers le sud, ont été interprétées par Bouroz (1956) comme des accidents très redressés recoupant la Faille du Midi puis, plus récemment, comme des accidents se raccordant en profondeur aux chevauchements varisques (Mansy *et al.*, 2003; Minguely *et al.*, 2010). Elles ont d'abord joué à la fin de l'Hercynien, localisant ponctuellement de petits demi-grabens remplis de sédiments fluviaux stéphano-permiens (inversion tectonique négative). Le décalage inverse observé pour les niveaux du Crétacé

Fig. 3. Grands traits géomorphologiques et géologiques du Nord-Pas de Calais. Relief et hydrographie, d'après <http://www.cartograf.fr> (free copyright open source). Failles majeures, d'après <http://sigesnpc.brgm.fr> (BRGM-SIGES Nord-Pas de Calais) et Minguely, 2007. Sc : Scarpe. Se : Sensée. Ligne pointillée blanche : tracé de la Faille du Midi, d'après Minguely, 2007. Ovoïde grisé : zone épicentrale du séisme de 1896, d'après Camelbeek *et al.*, 2007. Carrés orange : lieux des coupes dans la craie à silex signalées dans la figure 4.

Fig. 3. Main geomorphological and geological features of Nord-Pas de Calais area, Northern France. Relief and hydrography from <http://www.cartograf.fr> (free copyright open source). Main faults from <http://sigesnpc.brgm.fr> (BRGM-SIGES Nord-Pas de Calais) and Minguely, 2007. Sc : Scarpe. Se : Sensée. Dotted white line: delineation of the Faille du Midi, from Minguely, 2007. Shaded ovoid: Epicenter zone of the 1896 earthquake, from Camelbeek *et al.*, 2007. Orange squares: locations of cross-sections in the flint chalk marked in Figure 4.



moyen à l'Éocène inférieur, démontre l'existence d'une autre réactivation (positive), au Tertiaire (Minguely *et al.*, 2010). Ce jeu inverse pourrait comprendre une certaine composante décrochante (Auffret & Colbeaux, 1977 ; Mansy *et al.*, 2003).

La faille la plus orientale du système de failles de l'Artois – et la plus proche d'Arras – est la faille de Marqueffles dont on a trouvé des traces jusque dans le Quaternaire dans le site archéologique de Biache-Saint-Vaast (Colbeaux *et al.*, 1981) et qui a probablement été la faille responsable de l'important séisme du 2 septembre 1896 dont la zone épicertrale comprend les villages de Vimy, Farbus, Vitry-en-Artois, Biache-Saint-Vaast et Fampoux (fig. 3). L'intensité, évaluée à partir des dommages observés, est de l'ordre de VI ce qui correspondrait à une magnitude de $4,6 \pm 0,3$ (Kusman *et al.*, 2010).

STRATIGRAPHIE DES CRAIES CONIACIENNES

Au regard du nombre impressionnant de carrières souterraines creusées dans le sous-sol d'Arras et de ses faubourgs depuis le Moyen Âge jusqu'à la fin du XVII^e siècle, on pourrait s'attendre à ce que la constitution géologique du sous-sol de la ville ait fait l'objet de nombreuses publications. Curieusement, il n'en est rien, à l'exception d'un travail récent de Bergerat *et al.* (2015). La première description, très courte, est fournie par Jules Gosselet (1881) dans le fascicule consacré aux Terrains secondaires de son « Esquisse Géologique du Nord de la France ». La craie d'Arras est attribuée à l'étage Sénonien. Il s'agit d'une « craie blanche, tendre, homogène, qui appartient au niveau inférieur de la zone à *Micraster coranguinum* caractérisé par la coexistence de l'espèce index et de l'*Inoceramus involutus* ». Les Annales de la Société géologique du Nord, consultées depuis leur création en 1870, contiennent seulement deux notes rédigées à l'occasion du levé de la Carte géologique à 1/80 000 (Gosselet, 1900, 1910), dans lesquelles on retrouve la même description. Enfin, la légende de la Carte géologique à 1/50 000 d'Arras (Delattre, 1969) n'apporte aucune information complémentaire. Que peut-on dire aujourd'hui ?

L'usage du terme Sénonien est abandonné dans les craies du bassin anglo-parisien au profit de la succession des étages Coniacien, Santonien, Campanien et Maastrichtien qui couvrent le même intervalle dans l'échelle des temps géologiques. Par ailleurs, l'assimilation de l'étage Coniacien à la zone d'échinides à *Micraster cortestudinarium* et, au-dessus, de l'étage Santonien à la zone à *Micraster coranguinum* en usage dans la notice de la carte géologique à 1/50 000 d'Arras (Delattre, 1969) n'est pas exacte. Depuis 1995, suivant les recommandations formulées par la Sous-Commission pour la Stratigraphie du Crétacé (Lamolda & Hancock, 1996), qui ont depuis été adoptées par la Commission Stratigraphique Internationale (Lamolda *et al.*, 2014), la base du Santonien est définie par l'apparition de l'inocérane *Cladoceramus unduloplicatus* (Roemer, 1849). Dans les craies du bassin

anglo-parisien, l'apparition de l'espèce s'effectue dans la partie moyenne de la zone à *M. coranguinum*. L'étage Coniacien englobe la totalité de la zone à *M. cortestudinarium* et la moitié inférieure de la zone suivante à *M. coranguinum*.

L'examen de la figure 4 montre qu'une grande partie du sous-sol de l'Artois est constituée de craies à silex dont l'attribution stratigraphique varie du Turonien supérieur au Santonien. Le Turonien supérieur et la partie inférieure du Coniacien sont caractérisés par la présence de nombreux bancs durcis ou *hardgrounds* qui sont associés à une diminution du taux de sédimentation. Ces *hardgrounds* sont des niveaux précocement indurés lors de la cimentation du sédiment crayeux originel et qui ont pu servir de substrats durs lors du dépôt des couches sus-jacentes. Le sommet du Turonien supérieur et la base du Coniacien coïncident avec l'intervalle transgressif d'un cycle eustatique de 3^e ordre superposé à une phase transgressive de 2^e ordre (Gale, 1996) et la genèse de ces *hardgrounds* souvent très fossilifères s'inscrit dans ce contexte transgressif. La craie à niveaux durcis affleure largement le long de la partie septentrionale de la ride de l'Artois entre Saint-Omer et Liévin (Gosselet, 1911 ; Briquet, 1920 ; Amédro & Robaszynski, 2006).

Les deux tiers supérieurs du Coniacien et le Santonien sont en revanche représentés par une craie blanche, fine, tendre et traçante qui correspond à des dépôts sédimentaires fins, par décantation, dans un milieu d'*offshore* supérieur dans la mer de la craie, pendant une période de haut niveau marin (Amédro & Robaszynski, 2001 ; Amédro *et al.*, 2006). C'est à cette craie blanche tendre, riche en lits de silex, que se rapporte le sous-sol d'Arras.

Si les travaux précurseurs de Jules Gosselet restent toujours valables, une nouvelle méthode de corrélation très précise a été élaborée durant les trente dernières années : la stratigraphie événementielle. Son principe est fondé sur la recherche, dans les successions sédimentaires, de niveaux repères à grande extension géographique utilisables pour des corrélations intra- ou inter-bassins. Ces niveaux repères sont caractérisés, dans les faciès crayeux étudiés ici, soit par une particularité lithologique (niveaux marneux de teinte sombre, bentonite, *hardgrounds*, lits de silex à *Thalassinoides* ou remarquablement épais...), soit par l'abondance momentanée d'un macrofossile (horizons riches en inocérames, échinides, spongiaires...). Il s'agit le plus souvent de la traduction lisible sur le terrain d'événements eustatiques, écologiques ou volcaniques. Le premier inventaire systématique des niveaux repères présents dans les craies à silex du Coniacien-Santonien de la partie septentrionale du bassin anglo-parisien a été réalisé, dans les falaises du Kent et du Sussex, où les affleurements sont continus, par Gale & Smith (1982), Bailey *et al.* (1983), Mortimore (1983, 1986), Robinson (1986), Jenkyns *et al.* (1994) et Mortimore *et al.* (2001). Les travaux ultérieurs d'Amédro & Robaszynski (2001, 2006), Amédro *et al.* (2006) et Bergerat *et al.* (2015) ont révélé la

continuité de ces niveaux repères depuis le sud-est de l'Angleterre jusque dans le Boulonnais, l'Artois et les environs de Lille. La figure 4 résume la succession des principaux litho- ou bio-événements reconnus de part et d'autre de la Manche dans l'intervalle qui nous intéresse. Deux d'entre

eux méritent une attention particulière : l'*East Cliff Marl 2* et les *Hope Point Marls*.

✧ *East Cliff Marl 2* (Gale & Smith, 1982). Ce niveau marneux beige, épais en moyenne de 4 cm, coïncide sensiblement avec la limite entre les zones d'échinides

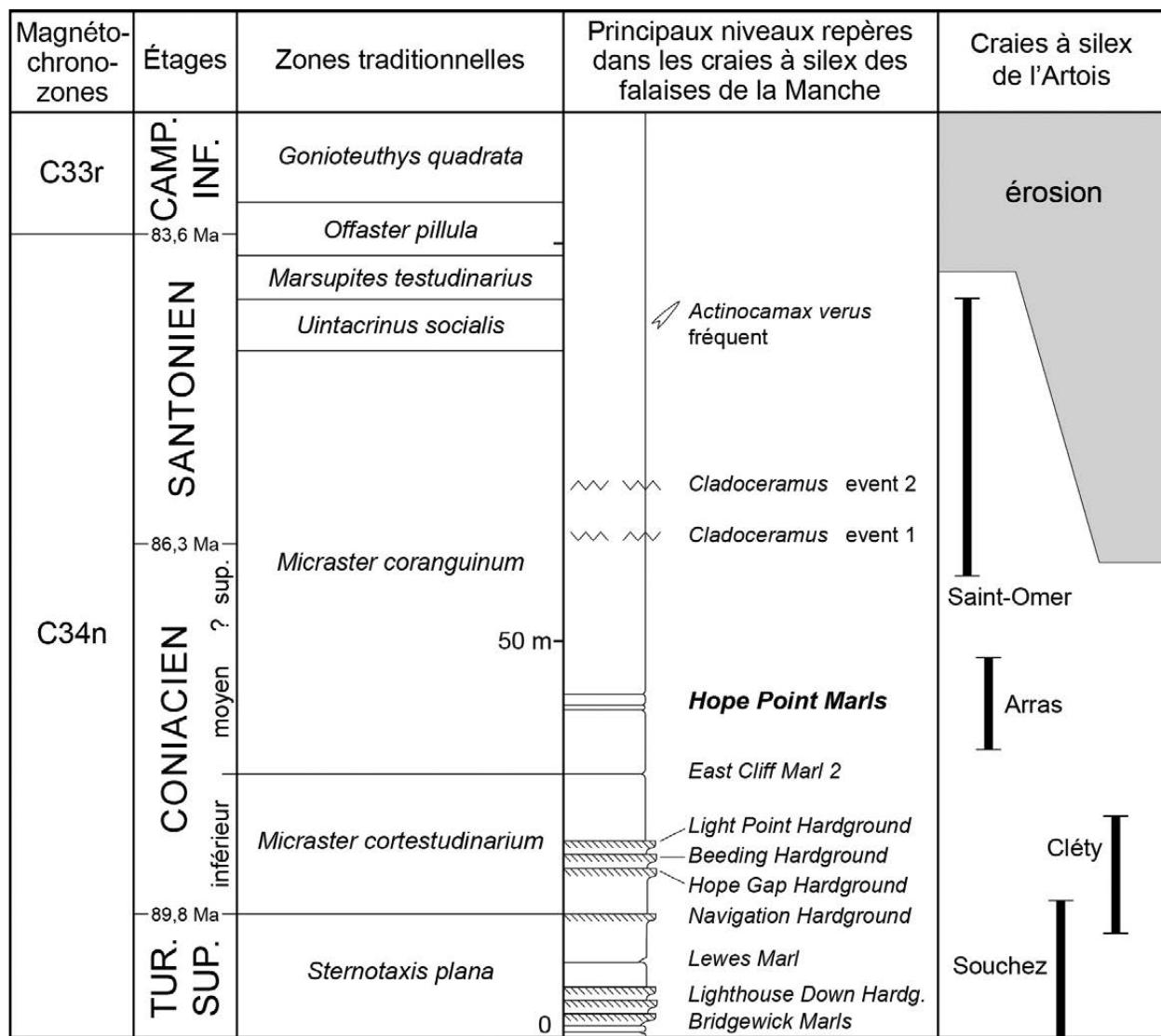


Fig. 4. Succession des principaux niveaux repères identifiés dans les craies à silex du Turonien supérieur au Santonien du Sud de l'Angleterre et du Nord de la France. La localisation géographique des lieux cités en Artois est reportée sur la figure 3.

La base du Coniacien est définie par l'apparition de l'inocérane *Cremnocramus deformis erectus* (Meek, 1877) (Walszczyk et al., 2022), observée dans le Kent quelques décimètres au-dessus du *Navigation Hardground* (Mortimore et al., 2001). La base du Santonien est prise à la première occurrence d'une autre espèce d'inocérane : *Cladoceras undulaticulatus* (Roemer, 1849) (Lamolda et al., 2014) qui s'effectue au niveau du *Cladoceras event 1*. La base du Campanien est quant à elle définie par une inversion du champ magnétique terrestre et est prise maintenant à la base du chron 33r (Gale et al., 2023). Cette inversion magnétique de polarité succède à un long chron de polarité normale débutant à la base de l'Aptien (chron 34n). Cet événement est observé dans les craies du Sud de l'Angleterre environ 7 m au-dessus de la disparition du crinoïde *Marsupites testudinarius* (Schlotheim, 1820), au tiers inférieur de la zone à *Offaster pillula*.

Fig. 4. Succession of benchmarks identified in the flint chalk, Upper Turonian to Santonian in age, in Southern England and Northern France. The location of places mentioned in Artois is shown in figure 3.

The base of the Coniacian is defined by the appearance of the inoceram *Cremnocramus deformis erectus* (Meek, 1877) (Walszczyk et al., 2022), observed in Kent a few decimetres above the *Navigation Hardground* (Mortimore et al., 2001). The base of the Santonian is defined at the first occurrence of another species of inoceram: *Cladoceras undulaticulatus* (Roemer, 1849) (Lamolda et al., 2014) which occurs at the *Cladoceras event 1*. The base of the Campanian is defined by a reversal of the Earth's magnetic field and is now considered at the base of chron 33r (Gale et al., 2023). This magnetic polarity reversal follows a long chron of normal polarity beginning at the base of the Aptian (chron 34n). This event is observed in the chalks of Southern England about 7 m above the disappearance of the crinoid *Marsupites testudinarius* (Schlotheim, 1820), at the lower third of the *Offaster pillula* zone.

successives à *Micraster cortestudinarium*, puis à *Micraster coranguinum*. Les premiers inocérames appartenant aux genres *Platyceramus* et *Volviceramus* sont récoltés 2 m au-dessus de l'*East Cliff Marl 2*. L'apparition du genre *Volviceramus* étant le critère définissant la limite Coniacien inférieur-Coniacien moyen, c'est à ce niveau que doit être placée la limite entre les deux sous-étages.

✧ *Hope Point Marls* (Gale & Smith, 1982). Dans le Kent, il s'agit d'un faisceau de 5 niveaux marneux centimétriques échelonnés sur une hauteur d'1,50 à 2 m, dont trois seulement sont généralement bien exprimés. Les *Hope Point Marls* sont situés 6 à 7 m au-dessus de l'*East Cliff Marl 2*. Dans le Boulonnais, ces niveaux marneux, ainsi que l'*East Cliff Marl 2*, sont oblitérés et remplacés par de minces lits de silex tabulaires (Amédéo & Robaszyński, 2006).

La figure 5 présente la suite lithologique visible dans plusieurs carrières souterraines du centre-ville d'Arras (les « Boves ») exploitées pour la pierre de taille entre les XI^e et XIII^e siècles (puis utilisées comme lieux de stockage et caves), ainsi que dans la carrière Auckland située au sud-est de la ville (ancienne carrière souterraine de craie aménagée durant la Première Guerre mondiale). La coupe des Boves de la place des Héros et celle de la carrière Auckland ont déjà été décrites par nous-mêmes il y a quelques années (Bergerat *et al.*, 2015). La succession composite mesure 20 m d'épaisseur.

La moitié inférieure de la suite lithologique, dans laquelle se situent les Boves de la rue Saint-Denis, de la place des Héros, de l'abbaye de Saint-Vaast et la partie inférieure de la carrière Auckland jusqu'au niveau 5,20 m, montre une craie blanche, tendre, fine, traçante, entrecoupée de lits de silex noirs décimétriques en rognons. Des silex digitiformes, épigénisant des bioturbations de type *Thalassinoides*, sont fréquents dans les Boves de l'abbaye de Saint-Vaast à 0,50 m. Un lit plus épais et plus dense de gros silex, dont certains atteignent 30 cm, constitue le toit de la plupart des chambres et galeries dans la carrière Auckland, au niveau 2,70 m. Mais la principale particularité de cet intervalle est la présence de trois lits de silex tabulaires noir, à cortex gris-blanc. Les deux lits supérieurs sont bien exprimés, tandis que le lit inférieur tend à s'effiloche par endroits. Cet ensemble de trois lits de silex tabulaires, échelonnés sur une hauteur de 4 m, constitue un excellent repère visuel que l'on peut suivre dans toutes les carrières. Les fossiles trouvés en place sont les suivants :

- ✧ sous la rue Saint-Denis : un bivalve rapporté au genre *Pinna* à 3,65 m ;
- ✧ sous la place des Héros : un échinide spatangoïde identifié comme *Micraster coranguinum* (Leske, 1778) au niveau -1,50 m ;
- ✧ sous l'abbaye de Saint-Vaast : *Micraster coranguinum* à 2,35 m, associé à un lit de fragments de coquilles d'inocérames appartenant à l'espèce *Platyceramus mantelli* (de

Mercey, 1872) et, à 4,80 m, *Volviceramus involutus* (J. de C. Sowerby, 1829).

À ces fossiles, il convient d'ajouter un banc riche en inocérames (*P. mantelli* et *V. involutus*), situé 1,80 m au-dessus du lit de silex tabulaire le plus élevé et qui affleure au plafond du tunnel reliant les carrières Auckland et Wellington, à la sortie de celui-ci (côté Wellington).

La moitié supérieure de la suite lithologique est visible uniquement dans la carrière Auckland (intervalle 5,20 m – 13,10 m de la coupe partielle) grâce à la présence, dans une des chambres d'extraction, d'un escalier remontant à la surface. On observe ici aussi une craie blanche, tendre, fine, traçante, mais la succession lithologique est un peu différente de celle décrite dans l'intervalle précédent, les silex devenant moins fréquents, deux lits étant simplement observés aux niveaux 8,20 m et 9,00 m. Au point de vue paléontologique, quatre lits riches en fragments d'inocérames (*Platyceramus mantelli*) existent à 7,40 m, 9,20 m, 10,20 m et entre 12,20 m et 12,90 m. De nombreuses éponges limonitisées sont également présentes à 10,20 m et à 12,60 m.

En définitive, si l'attribution des craies à silex d'Arras à la zone à *Micraster coranguinum* proposée par Jules Gosselet en 1881 reste exacte, il est aujourd'hui possible de préciser leur position au sein de la succession stratigraphique. La récolte de plusieurs *Micraster coranguinum* et *Volviceramus involutus*, associés à de nombreux fragments de *Platyceramus mantelli*, montre que l'on se trouve au-dessus de l'*East Cliff Marl 2*. Ceci permet d'interpréter le faisceau de trois lits de silex tabulaires comme représentant les *Hope Point Marls* définis dans le Kent par Gale & Smith (1982). De façon comparable à ce que l'on observe dans le Boulonnais, les niveaux marneux sont oblitérés par une silicification. Et, comme le Kent au sud-est de l'Angleterre, les *Hope Point Marls* sont surmontées de plusieurs lits riches en débris d'inocérames (*Platyceramus* et *Volviceramus*). On se trouve dans le Coniacien moyen, à la base de la zone d'échinides à *Micraster coranguinum*.

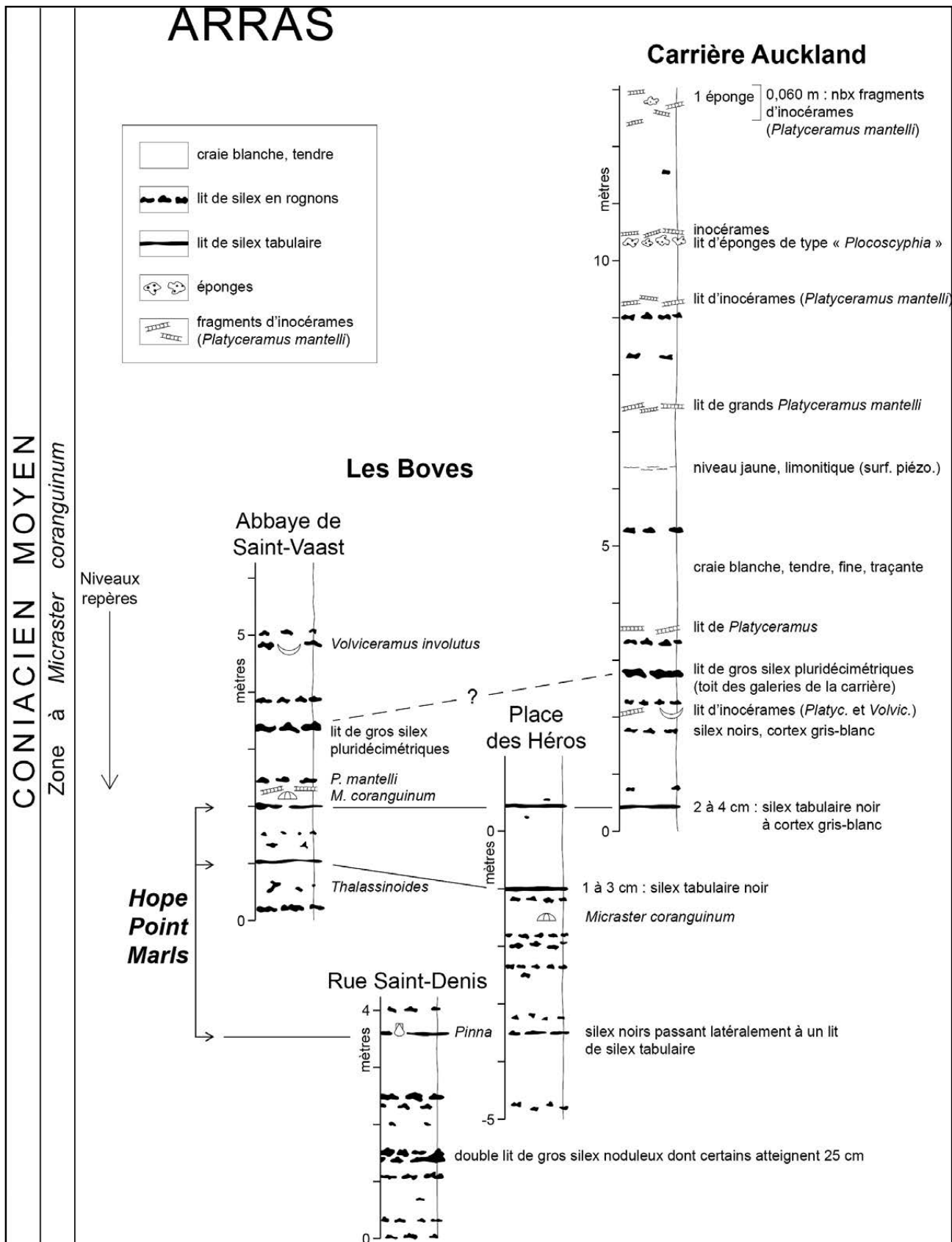


Fig. 5. Coupe lithologique composite de la craie à silex d'Arras, attribuée au Coniacien moyen. Les Hope Point Marls, oblitérés, sont remplacés par de minces lits de silex tabulaires.

Fig. 5. Composite lithological section of Arras flint chalk, attributed to the Middle Coniacian. The obliterated Hope Point Marls are replaced by thin tabular flint beds.

LA FRACTURATION DE LA CRAIE OBSERVÉE DANS LES CARRIÈRES SOUTERRAINES

Observations et mesures

L'exploitation de la craie dans les carrières d'Arras a été largement guidée par la fracturation. Une étude détaillée de quatre carrières dans le faubourg de Ronville (Auckland, Wellington, Nelson, Blenheim, voir localisation figure 2) a permis de cartographier et de mesurer avec précision les fractures et d'en caractériser les mécanismes (Bergerat *et al.*, 2015). Au total, 1715 failles et diaclases ont été mesurées mettant en évidence deux familles directionnelles importantes, représentant plus de 60 % des mesures :

- ✧ une famille N 160°-180°E de grands décrochements senestres
- ✧ une famille N 105°-125°E, comprenant de très nombreuses et longues diaclases ainsi que des failles normales.

Les autres fractures sont des diaclases, beaucoup plus dispersées en direction et peu développées spatialement (de dimension généralement métriques).

La carrière Blenheim a été visitée pendant l'excursion (*cf. infra*). Les mesures et observations faites dans les autres carrières peuvent être trouvées dans Bergerat *et al.* (2015).

Régimes de contrainte et chronologie

Les failles mesurées dans les carrières de Ronville ont été analysées en termes de tenseur de contraintes, caractérisant ainsi le régime dans lequel elles se sont formées : extensif ou décrochant. Le lecteur peu familier avec l'analyse des régimes de contraintes peut se reporter, par exemple, à l'article d'Angelier (1989) où les principes sont énoncés en détail ; on rappellera juste ici que l'état de contraintes liées à la création des failles est classiquement représenté par un ellipsoïde dont les axes sont les contraintes principales σ_1 , σ_2 et σ_3 et caractérisé par un « rapport de forme » $\Phi = \sigma_2 - \sigma_3 / \sigma_1 - \sigma_3$ (fig. 6). Le tenseur des contraintes décrit l'orientation et les magnitudes des trois axes principaux. Dans un dispositif de failles néoformées (cisaillements conjugués), les deux familles de failles contiennent l'axe σ_1 et ont pour bissectrices les axes σ_2 et σ_3 .

Les traces de mouvement portées par les failles dans l'ensemble des quatre carrières étudiées révèlent l'existence d'au moins deux régimes tectoniques bien marqués :

- ✧ un régime décrochant, représenté par les décrochements senestres subméridiens et caractérisé par un état de contrainte grossièrement en compression NW-SE/extension SW-NE (fig. 7) ;
- ✧ un régime extensif, marqué par quelques failles normales conjuguées ESE-WNW – direction qui est aussi

celle des abondantes diaclases – et caractérisé par un état de contrainte en extension NNE-SSW (fig. 8).

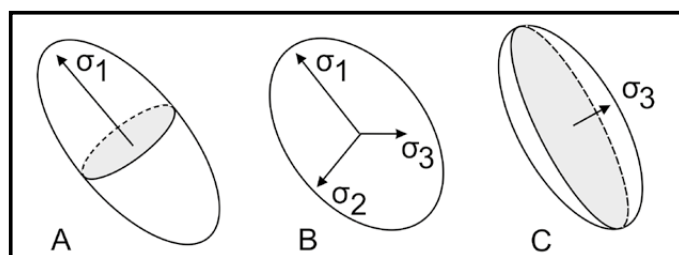


Fig. 6. Ellipsoïde des contraintes (modifié d'après Angelier, 1989). Le facteur Φ décrit la forme de l'ellipsoïde des contraintes en fonction des magnitudes respectives de celles-ci. A : ellipsoïde de révolution « en cigare » autour de l'axe σ_1 ($\sigma_2 = \sigma_3$ et $\Phi = 0$) ; B : ellipsoïde quelconque ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ et $0 < \Phi < 1$) ; C : ellipsoïde de révolution « en galette » autour de l'axe σ_3 ($\sigma_1 = \sigma_2$ et $\Phi = 1$).

Fig. 6. Stress ellipsoid (modified after Angelier, 1989). The factor Φ describes the shape of the stress ellipsoid as a function of their respective magnitudes. A: "cigar" ellipsoid of revolution around the axis σ_1 ($\sigma_2 = \sigma_3$ and $\Phi = 0$), B: any ellipsoid ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ and $0 < \Phi < 1$); C: "pancake" ellipsoid of revolution around the axis σ_3 ($\sigma_1 = \sigma_2$ and $\Phi = 1$).

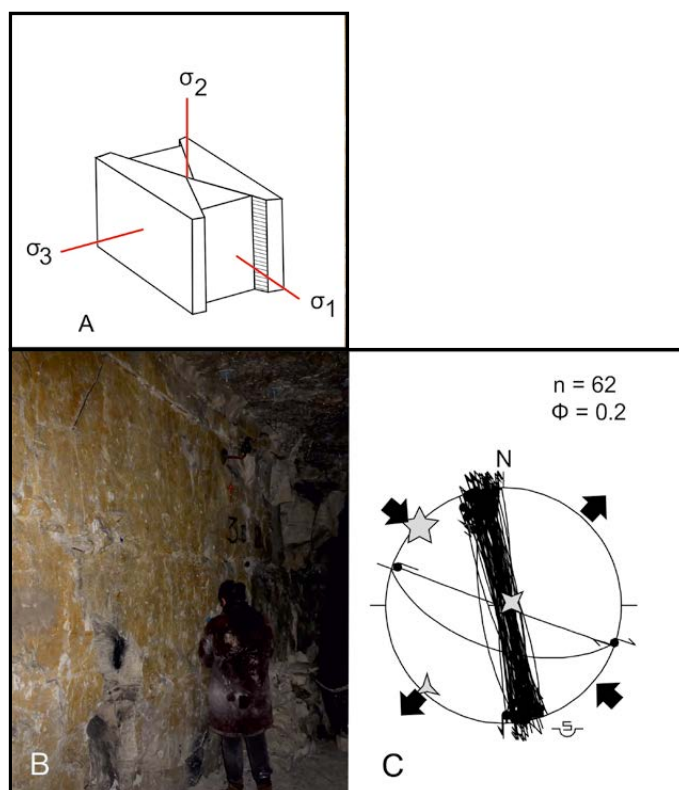


Fig. 7. Décrochements et reconstruction de l'état de contrainte décrochant. A : bloc-diagramme simplifié illustrant un système de décrochements conjugués. Les axes des contraintes principales σ_1 , σ_2 et σ_3 sont indiqués ; B : décrochement senestre formant un côté du pilier 3B dans la carrière Wellington (az. 160°, vertical) ; C : population de décrochements et détermination du tenseur moyen des contraintes en compression SE-NW/extension NE-SW dans la carrière Wellington. Méthode de calcul utilisée : INVDIR (Angelier, 1990). Diagramme de Schmidt, hémisphère inférieure ; N : Nord géographique et magnétique ; points noirs sur les plans de failles : stries, le jeu est représenté par une flèche centrifuge (jeu normal) ou une double flèche (jeu décrochant) ; étoiles à 5, 4 et 3 branches : axes des contraintes principales maximale (σ_1), intermé-

diaire (σ_2) et minimale (σ_3); grosses flèches noires : direction d'extension et de compression. Le rapport de forme de l'ellipsoïde des contraintes $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3)$, avec $0 \leq \Phi \leq 1$, est indiqué à côté du diagramme, de même que le nombre de failles (n) utilisées pour le calcul.

Fig. 7. Strike-slip faulting and related paleo-stress reconstruction. A: simplified block diagram illustrating a system of conjugate strike-slip faults. The principal stress axes σ_1 , σ_2 and σ_3 are indicated; B: left-lateral strike-slip fault forming one side of the pillar 3B in the Wellington quarry (az. 160° , vertical); C: population of strike-slip faults and determination of the average stress tensor with SE-NW compression/NE-SW extension in the Wellington quarry. Inversion method used: INVDIR (Angelier, 1990). Stereoplots are Schmidt's projections, lower hemisphere; N is geographical and magnetic North. Fault planes are shown as thin lines, slickenside lineations (striae) are small dots with single or double thin arrows (normal or strike slip motions, respectively). Three-, four-, and five-branch stars are computed axes σ_3 , σ_2 and σ_1 , respectively. Large solid arrows direction of horizontal extension and compression. The ratio of stress difference $\Phi = (\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3)$, with $0 \leq \Phi \leq 1$ is indicated close to the diagram, as well as the number of faults (n) used for the stress tensor computation.

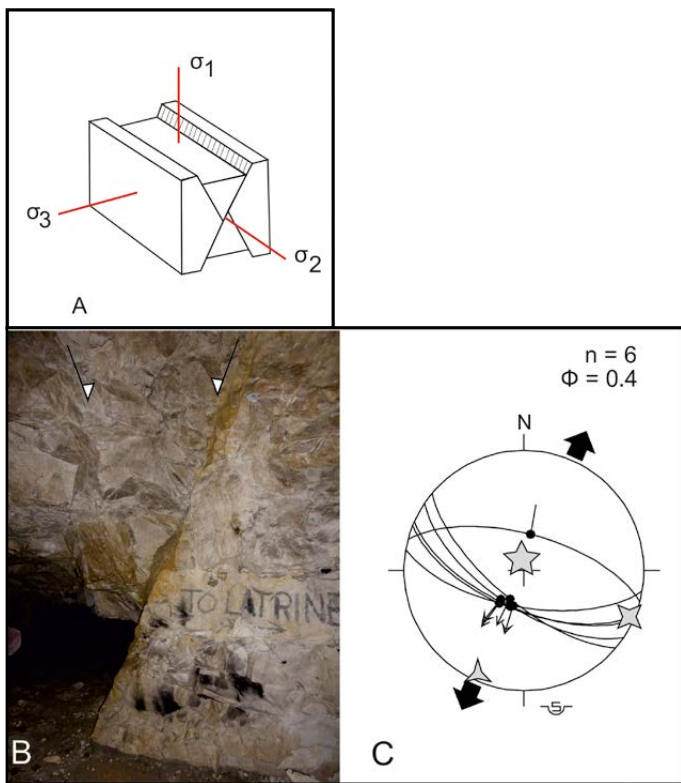


Fig. 8. Failles normales et reconstruction de l'état de contrainte extensif. A : bloc-diagramme simplifié illustrant un système de failles normales conjuguées. Les axes des contraintes principales σ_1 , σ_2 et σ_3 sont indiqués; B : grande faille normale (az. 114° , pendage 64° S) et plan conjugué (en haut à gauche) sur le pilier 3A, carrière Auckland; C : population de failles normales et détermination du tenseur moyen des contraintes en extension NE-SW dans la carrière Auckland. Légende du diagramme voir figure 7. Fig. 8. Normal faulting and related paleo-stress reconstruction. A: simplified block diagram illustrating a system of conjugate normal faults. The principal stress axes σ_1 , σ_2 and σ_3 are indicated; B: conjugate normal fault on the pillar 3A in the Auckland quarry; C: population of normal faults and determination of the average stress tensor with NE-SW extension in the Auckland quarry. Legend of the diagram see figure 7.

Cependant, malgré l'existence de ces deux familles de fractures nettement contrastées tant par leurs directions que par leurs mécanismes, il est très délicat d'établir une chronologie des régimes tectoniques identifiés dans les carrières d'Arras :

- ✧ quand il est possible d'observer les recoupements de fractures dans les piliers ou au ciel de carrière, on note parfois – mais pas systématiquement – un recoupement des plans ESE-WNW par les plans subméridiens, ce qui signifierait que ces derniers sont postérieurs;
- ✧ la continuité spatiale est également plus importante pour les plans subméridiens (dans la carrière Wellington en particulier).

Néanmoins, les plans d'azimut (noté az. dans la suite du texte) 105° - 125° étant majoritairement des diaclases, le fait qu'ils ne traversent pas les plans d'az. 160° - 180° n'est pas une preuve de leur antériorité, ils peuvent en effet leur être postérieurs et venir buter contre eux. Et par ailleurs, dans la carrière Blenheim, ces mêmes plans ESE-WNW se suivent sur des distances équivalentes à celles des plans subméridiens.

En fait, le plus souvent, les plans des deux familles se coupent sans qu'aucun décalage ne soit observé et sans que l'une des familles vienne se terminer contre l'autre. Il est donc, au final, impossible d'établir une chronologie relative à partir des recoupements de fractures.

Par ailleurs, les superpositions de stries sur les fractures sont extrêmement rares, seules 9 ont été observées sur les 200 plans striés mesurés dans l'ensemble des carrières étudiées... et elles ne sont pas concluantes.

Enfin, on remarque que, si les plans N 160° - 180° E constituent une famille de décrochements senestres remarquable, il n'est pratiquement jamais observé de famille dextre conjuguée (5 décrochements dextres au total ont été observés dans l'ensemble des 4 carrières mesurées et ce avec des critères de sens peu fiables), or celle-ci, conformément aux propriétés mécaniques de la craie (angle de frottement interne $\sim 30^\circ$) devrait avoir une direction proche de ESE-WNW. Si les diaclases N 105° - 125° E étaient antérieures aux décrochements senestres, elles auraient pu, vu leur direction et leur pendage particulièrement favorables, être très facilement remobilisées dans un état de contrainte en compression NW-SE/extension NE-SW, or ceci n'a pas été observé.

Finalement le seul élément de chronologie fiable est l'âge des terrains affectés ! Ceux-ci étant datés du Coniacien, les deux événements tectoniques reconnus sont forcément syn- ou post-Crétacé supérieur... ce qui laisse beaucoup de possibilités quant à leur âge !

Discussion sur l'âge des épisodes tectoniques

En prenant en compte l'ensemble des informations disponibles (données recueillies dans les carrières d'Arras

et observations dans le Nord-Ouest européen), plusieurs hypothèses peuvent être envisagées :

- ✧ L'antériorité du régime extensif. Elle serait cohérente avec une extension qui perdurerait pendant tout ou partie de la subsidence thermique du Crétacé supérieur, comme cela a été proposé ailleurs dans le Nord-Ouest européen (Vandycke, 2002) ; les mouvements senestres subméridiens pourraient alors être liés à la période d'inversion tertiaire marquée ici dans la craie par des jeux de décrochements et non par des failles inverses. Mais alors pourquoi n'y a-t-il pas de rejeux dextres des plans ESE-WNW pourtant nombreux et bien orientés ?
- ✧ L'antériorité du régime décrochant. Toujours dans l'hypothèse où il correspondrait à la phase d'inversion tertiaire, l'événement distensif NNE-SSW serait alors un épisode tectonique tardif, peut-être mio-pliocène, comme la tectonique proposée en Angleterre par Bevan et Hancock (1986) et responsable de structures majeures telles que le fossé du Rhin inférieur (*Lower Rhine Embayment*). Il est à noter que la direction ESE-WNW des failles normales est également bien marquée dans le réseau hydrographique régional.
- ✧ L'existence d'une seule phase tectonique, produisant à la fois un système de décrochements senestres et des failles normales. Si on analyse en termes de tenseur de contraintes

l'ensemble des plans senestres subméridiens et des plans normaux ESE-WNW (fig. 9), on obtient un axe d'extension (σ_3) d'azimut 23° et un ellipsoïde des contraintes « en galette » autour de cet axe (rapport de forme Φ proche de 1), c'est-à-dire des magnitudes similaires pour les contraintes σ_1 et σ_2 , le changement de régime résultant alors d'une simple permutation entre ces deux axes, (e.g. Angelier & Bergerat, 1983). Cette hypothèse permettrait d'expliquer à la fois l'absence de mouvements dextres sur les plans ESE-WNW et les chronologies relatives contradictoires observées. L'absence de rejeux observables sur les fractures laisserait à penser qu'il s'agit d'une tectonique récente, probablement syn- et/ou post-Miocène.

COMPTE RENDU DE L'EXCURSION SGN À ARRAS DU SAMEDI 21 OCTOBRE 2023

Le matin : les Boves de la place des Héros au centre-ville d'Arras

La journée d'étude du samedi 21 octobre 2023 a réuni 16 membres de la Société. Après accueil des participants sur la place des Héros, devant le beffroi de l'hôtel de ville, la matinée a débuté par une présentation générale de l'excursion, suivie par la descente dans les **Boves de la place des Héros**.

Suivant le *Dictionnaire du Moyen Français* (Greima & Keane, 2007), le terme de *bove*, aujourd'hui désuet, est synonyme de grotte, caverne ou souterrain. Il proviendrait du latin *hypogaea*, littéralement « sous la Terre ».

Ce premier arrêt, axé sur la stratigraphie, a permis d'observer la partie inférieure de la succession lithologique, en particulier les alternances craie blanche-lits de silex, ainsi qu'un ensemble de trois lits de silex tabulaires interprété comme les *Hope Point Marls*.

La craie blanche d'Arras, tendre, fine et tachant les doigts, est essentiellement composée de coccolithes ou de fragments de ces derniers, c'est-à-dire de petites couronnes de quelques millièmes de mm de diamètre, formées elles-mêmes de minuscules pièces de carbonate de calcium cristallisé en calcite. Ces coccolithes étaient à l'origine assemblés en coccosphères sécrétées par des algues unicellulaires vivant à l'intérieur. Après la mort de l'algue, les coccosphères tombent vers le fond marin en formant une vase, ou boue crayeuse, au fond de la mer. On estime le taux de sédimentation après compaction à 0,025 mm par an, soit 2,5 cm par millier d'années (ka) (Gale & Kennedy, 2002), ce qui correspond à un dépôt initial de boue crayeuse d'environ 7 à 8 cm/ka, la vase contenant en moyenne 70 % d'eau. La compaction ultérieure due au poids des sédiments a chassé l'eau entre les éléments, aboutissant à la genèse de la craie. On estime généralement que la craie blanche à silex du Coniacien-Santonien du bassin anglo-parisien s'est déposée à une profondeur de l'ordre de plusieurs centaines de mètres (entre 100 et 500 m) sans

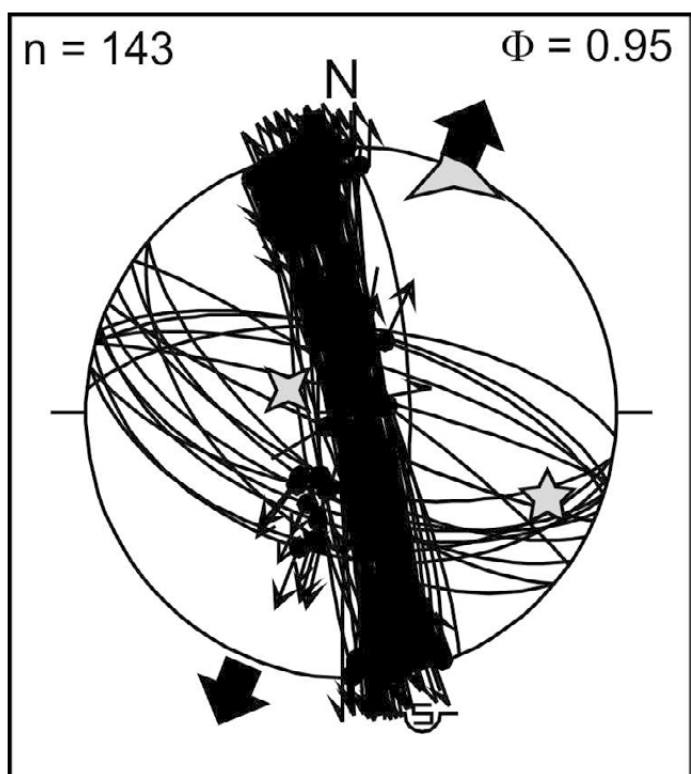


Fig. 9. Population des décrochements N160°-180°E et des failles normales N105°-125°E dans l'ensemble des 4 carrières de Ronville et détermination du tenseur moyen des contraintes. Légende du diagramme, voir figure 7.

Fig. 9. Total population of N160°-180°E strike-slip faults and N105°-125°E normal faults in the Ronville quarries, and average stress tensor. Diagram's legend, see figure 7.

qu'il soit possible d'être plus précis (Mortimore *et al.*, 2001). La porosité de la craie coniacienne est élevée (30 à 40 % du volume), ce qui lui permet d'héberger une importante nappe phréatique à l'échelle régionale : celle du Turonien supérieur-Coniacien qui est une nappe libre.

Les lits de silex soulignent des horizons bioturbés. Les silex, à cassure conchoïdale de teinte noire et à cortex crayeux blanc, sont constitués de silice essentiellement sous forme de calcédoine. Dans certains cas, il s'agit de silex digitiformes : la silice envahit des traces fossiles de fousseurs ; le cas le plus fréquent se rapporte aux bioturbations de crustacés callianasse : les *Thalassinoides*. Dans le cas des silex en rognons, la silice déborde les bioturbations et l'on ne peut plus voir leur forme originelle. Les alternances craie-lits de silex, épaisses en moyenne de 0,50 m à 2 m, sont probablement le reflet de cycles astronomiques (cycles de précession des équinoxes d'environ 20 000 ans entraînant des variations périodiques de la concentration en silice au sein des mers et océans). La quantité de silice captée par les organismes (éponges, radiolaires) serait plus importante lors des époques de plus faible insolation, correspondant à des minima de productivité des formes planctoniques carbonatées comme les coccolithes. Cette silice très soluble se dissout et se concentre dans les zones à oxygène réduit sous la surface du sédiment et envahit petit à petit les bioturbations où elle se dépose sous forme d'opale évoluant ensuite en calcédoine (Robaszynski & Amédéo, 2003). Les alternances niveaux marneux-bancs crayeux du Cénomanien, bien visibles dans les falaises des côtes de la Manche, résultent d'un mécanisme identique. L'évolution du rapport des isotopes de l'oxygène ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) au sein de ces cycles a permis d'estimer à 4 °C la différence de température des eaux superficielles entre le dépôt des niveaux marneux (plus froids) et des bancs crayeux (plus chauds) (Gale *et al.*, 1999).

Les silex tabulaires sont quant à eux continus et présentent une grande extension géographique allant des falaises de la Manche à l'Artois et aux environs de Lille. Dans le cas présent, il semble qu'il s'agisse à l'origine de niveaux marneux (les *Hope Point Marls* du sud de l'Angleterre) qui seraient oblitérés par une silicification côté France. L'origine de cette transformation n'est pas élucidée.

L'après-midi : les carrières Auckland, Bleinheim et Wellington dans le faubourg de Ronville

Après un repas convivial qui a permis aux participants d'avoir des discussions fructueuses, notre groupe a pu accéder, en passant par la carrière Wellington à laquelle elle est connectée par un tunnel, à la **carrière Auckland** qui, en temps normal, n'est pas ouverte au public, afin d'observer les parties moyenne et supérieure de la succession lithologique.

On retrouve près du plancher de la carrière le lit de silex tabulaire le plus élevé des *Hope Point Marls* et, 1,80 m plus haut, un niveau riche en *Volvicramus involutus* et surtout

Platyceramus mantelli (fig. 10). Deux mètres au-dessus du sol, un lit de gros silex pluridécimétriques constitue le toit des galeries de la carrière. La suite crayeuse est ici identique à celle observée dans les Boves de la place des Héros. Un escalier remontant vers la surface (sortie 7) permet cependant d'atteindre des niveaux plus élevés. Les silex se raréfient, tandis que la craie présente deux niveaux riches en éponges de type *Stauroinema* et *Paraplocia* (« *Plocoscyphia* » *auct.*) et surtout quatre lits pluricentimétriques constitués de débris de grands inocérames plats rapportés à l'espèce *Platyceramus mantelli*. La particularité de ce taxon est la taille de la coquille qui peut atteindre 1 m². Cette forme plate d'inocérame à test mince devait vivre à plat sur des vases molles. La récolte de plusieurs *Micraster coranguinum*, des échinides spatangoïdes vivant enfouis dans des substrats de vase fine, confirme la nature semi-fluide du sédiment.



Fig. 10. *Platyceramus mantelli* (de Mercey, 1872), spécimen préservé au toit et à la sortie du tunnel reliant les carrières Auckland et Wellington, 1,80 m au-dessus du lit de silex tabulaire supérieur correspondant aux *Hope Point Marls*. Carrière Wellington à Arras, Coniacien moyen. La photographie correspond, en largeur, à une dizaine de centimètres. Il s'agit d'un inocérame plat, à coquille fine, dont certains spécimens pouvaient atteindre 1 m². Cliché F. Graveleau.

Fig. 10. *Platyceramus mantelli* (de Mercey, 1872), specimen preserved at the roof and exit of the tunnel connecting the Auckland and Wellington quarries, 1,80 m above the upper tabular flint bed corresponding to the *Hope Point Marls*. Wellington Quarry in Arras, Middle Coniacian. The photograph corresponds, in width, to around ten centimeters. It is a flat inoceram with a thin shell, some specimens of which could reach 1 m². Photo F. Graveleau.

En revenant sur nos pas, puis en traversant la carrière Wellington et la carrière Nelson, on atteint la **carrière Bleinheim**, également non accessible au public, où s'est poursuivie notre excursion orientée maintenant vers les aspects tectoniques.

Le bon état de la carrière et ses dimensions ont permis d'effectuer un relevé quasi exhaustif des fractures majeures, plurimétriques, même si le plan anglais disponible est assez grossier. Les côtés des piliers sont très fréquemment des plans de fractures de même que les parois rocheuses en limite de la carrière sont souvent constituées par des plans remarquablement réguliers sur de grandes distances (fig. 11A).

Trois sortes de fractures peuvent être observées dans la carrière Blenheim :

✧ des diaclases, c'est-à-dire des fractures sans déplacement visible à l'œil nu des deux compartiments séparés ; elles sont subverticales (fig. 12A et B),

✧ des décrochements, subverticaux également, (fig. 12A, B et C) séparant des compartiments qui se sont déplacés horizontalement l'un par rapport à l'autre et portant des stries matérialisant la direction du mouvement – et donc horizontales,

✧ des failles normales, assez rares et en général plutôt redressées (en moyenne 70°), séparant deux compartiments qui se sont déplacés verticalement l'un par rapport à l'autre (le compartiment au-dessus de la faille se déplaçant vers le bas par rapport au compartiment situé en-dessous) et portant des stries *dip-slip* (suivant la ligne de plus grande pente).

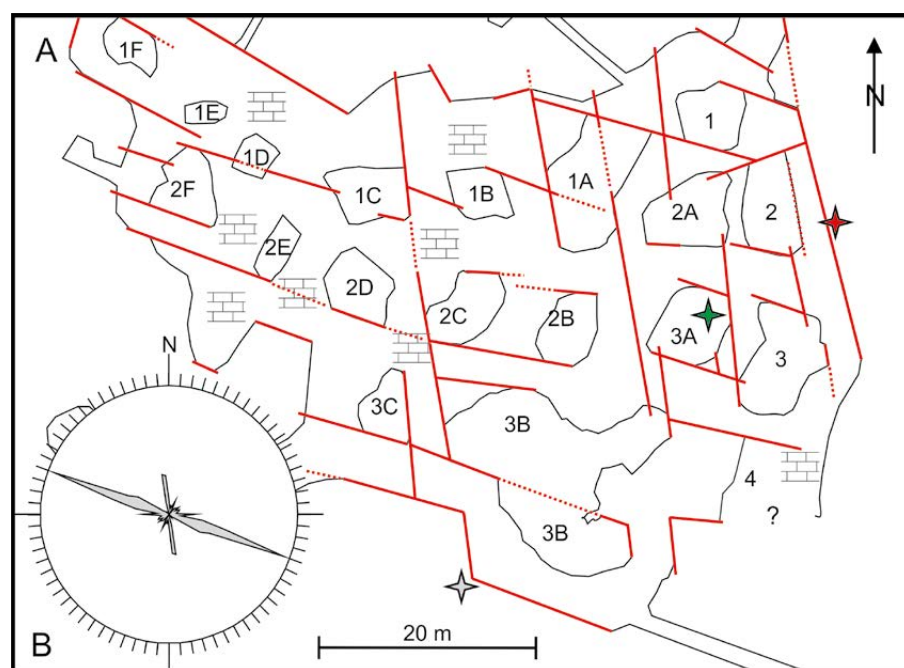


Fig. 11. Carte des plans de fracture plurimétriques à pluri-décamétriques (en rouge) relevés sur les parois, les piliers et au ciel de la carrière Blenheim (A) et rosace directionnelle de l'ensemble des 405 fractures (failles et diaclases) mesurées (B). Le plan anglais a été légèrement rectifié là où il était mal dessiné et où les fractures constituaient nettement les côtés de certains piliers ou les parois de la carrière. Les symboles « briques » indiquent des zones où il est impossible de suivre les fractures à cause des maçonneries de confortation. Les plans marqués par des étoiles sont ceux montrés dans la figure 11A (étoile verte), B (étoile grise) et C (étoile rouge).

Fig. 11. Map of plurimetric to pluridecametric fracture planes (in red) measured in the Blenheim Quarry (A) and rose diagram of the 405 fractures measured (faults and joints) (B). The english map has been slightly modified where it was poorly drawn and where the fracture planes clearly formed the sides of the pillars and the walls of the quarry. The bricks symbols indicate zones where fracture traces were impossible to be drawn because of masonry constructions. The fracture planes illustrated in the figure 11 are marked by stars (green : A, grey : B, red : C).

Fig. 12. Exemples de plans subverticaux parfaitement réguliers dans la carrière Blenheim. A, pilier 3A : à droite : diaclase d'azimut (az.) 108°, à gauche : plan décrochant d'az. 176° ; B, parois de la carrière, en face du pilier 3B, à droite : plan décrochant d'az. 175°, à gauche : diaclase d'az. 110° ; C : paroi est de la carrière Blenheim : grand plan décrochant d'az. 170°, pendage 80°E.

Fig. 12. Examples of subvertical planes highly regular in the Blenheim Quarry. A: two sides of the pillar 3A. On the right: joint of azimuth 108°, on the left: strike-slip fault of azimuth. 176° ; B: walls of the quarry, close to the pillar 3B, on the right: strike-slip fault of az. 175°, on the left: joint of az. 110° ; C: strike-slip fault azimuth 170°, dip 80°E forming all the Eastern wall of quarry.



Il n'existe pas, ici, de critères (tels des décalages d'objets) permettant de chiffrer le rejet des décrochements ; ceux des failles normales, quand ils sont visibles, c'est-à-dire quand ils décalent des lits de silex, sont de l'ordre de quelques centimètres (fig. 13).

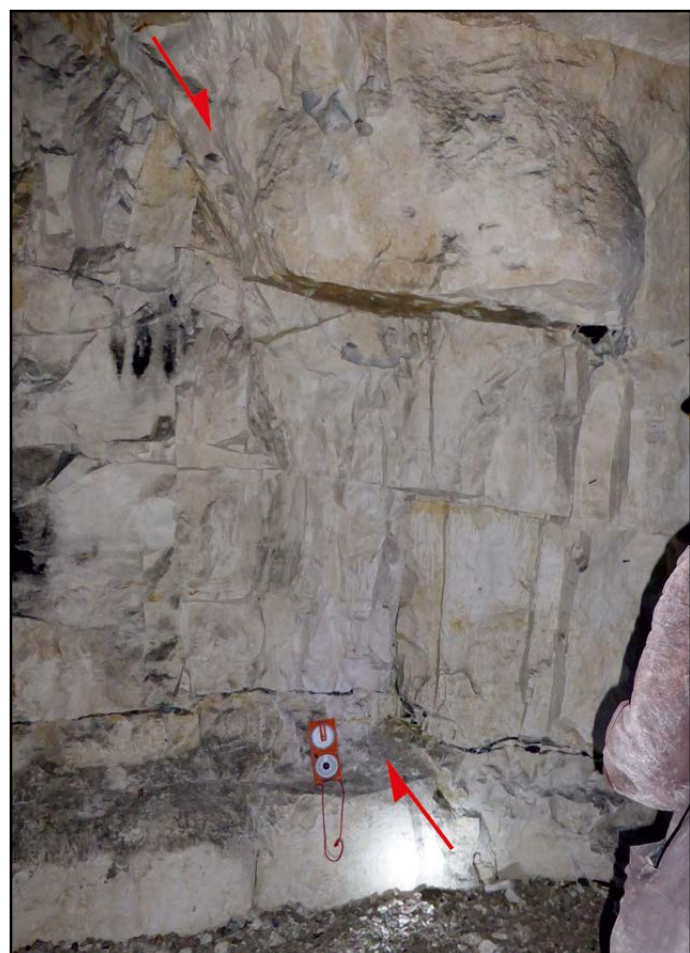


Fig. 13. Exemple de faille normale (az. 108°, pendage 66°N) visible dans le pilier 2F dans la carrière Blenheim. Les flèches rouges soulignent le passage de la faille. Noter le décalage décimétrique du lit de silex tabulaire en bas à droite de la boussole.

Fig. 13. Example of normal fault (N 108°E, dip 66°N) visible in the pillar 2F. The red arrows indicate the trace of the fault. Note the decimetric throw of the tabular flint level, near the compass.

Les critères permettant de déterminer le sens de mouvement sur les plans de failles ont été décrits par de nombreux auteurs depuis Vialon *et al.* (1976), ceux utilisés ici – pratiquement les seuls existants dans les craies coniaciennes d'Arras – sont les zones striées et abritées et les traces d'objets striateurs. Les plans de failles, même quand ils sont très plats comme c'est le cas ici, présentent cependant de petites irrégularités de surface, celles qui sont en amont du mouvement du compartiment manquant sont striées par le frottement alors que celles situées en aval sont protégées et ne présentent pas de stries (fig. 14A et 15A). Il arrive également que des objets plus durs que la surface du plan de faille – dans le cas présent,

il peut s'agir de petits morceaux de silex – marquent cette surface par des rainures plus ou moins prononcées, on les trouve parfois à l'extrémité de ces rainures mais la plupart du temps, ils ont disparu lors du dégagement des surfaces (fig. 14B et 15B)

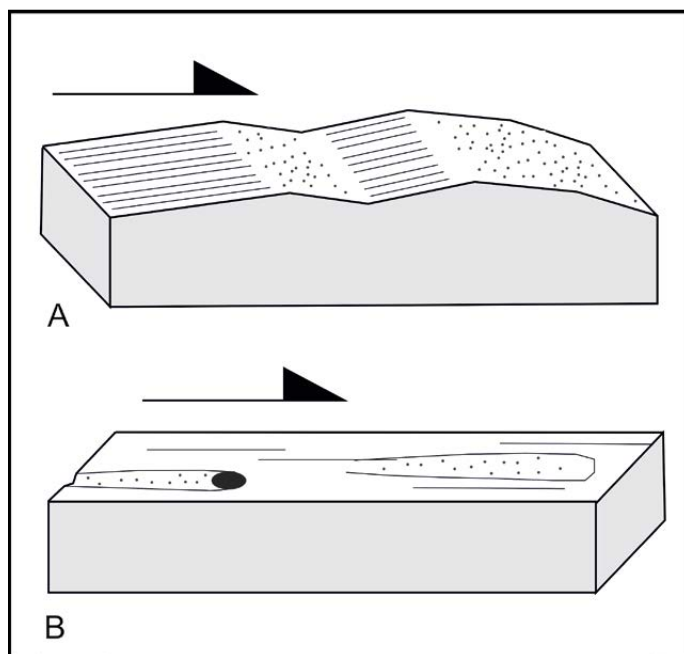


Fig. 14. Représentation schématique de critères de sens de mouvements, reconnus sur les plans de failles dans la craie coniacienne d'Arras. A : critère des zones lissées (striées) et abritées. B : critère des traces d'objets striateurs. Les flèches indiquent, pour chaque critère, le mouvement du compartiment manquant. Voir le texte pour explications plus détaillées.

Fig. 14. schematic representation of criteria for the sens of motions, recognized on the fault planes in the Coniacian chalk of Arras. A: criterion of smoothed (straited) and sheltered zones. B: criterion of traces of striating objects. The arrows indicate, for each criterion, the motion of the missing compartment. See the text for more detailed explanations.

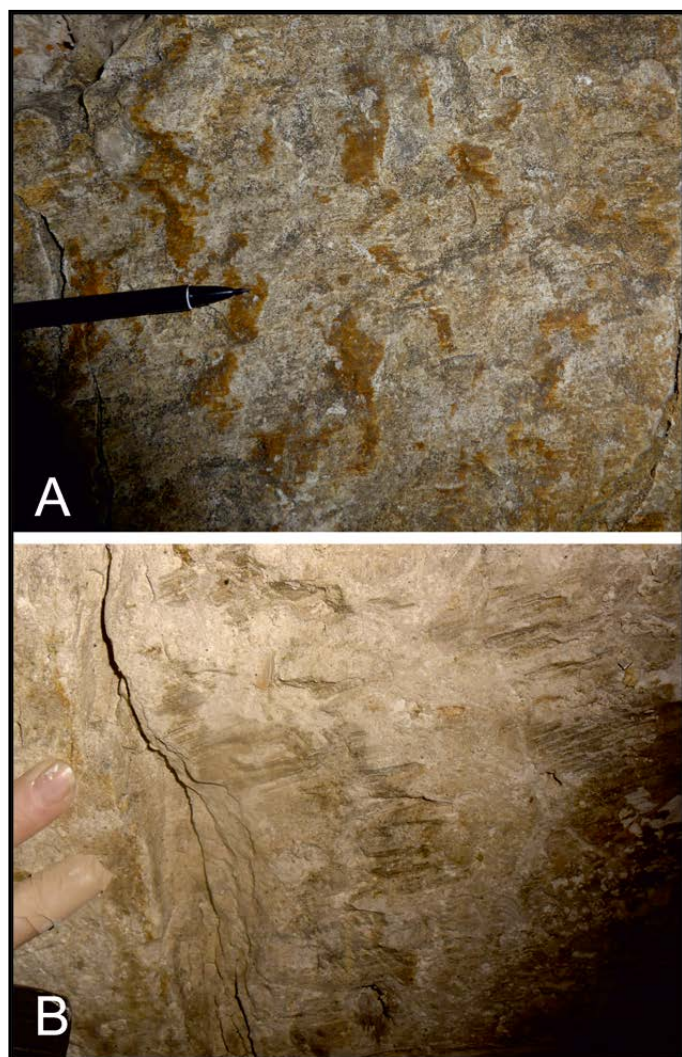


Fig. 15. Exemples de critères de sens de mouvements reconnus sur des miroirs de décrochements dans la craie coniacienne d'Arras. A : critère des zones lissées et abritées. B : critère des traces d'objets striateurs. Sur les deux exemples, le compartiment manquant s'est déplacé vers la droite ; il s'agit donc de décrochements senestres.

Fig. 15. Examples of criteria for the sense of motions recognized on strike-slip fault planes in the Coniacian chalk of Arras. A: criterion of smoothed and sheltered areas. B: criterion of traces of striating objects. In both examples, the missing compartment has moved to the right; these are therefore left-lateral strike-slip faults.

Les directions de fractures (405 failles et diaclases mesurées ; fig. 11B) se distribuent en deux familles, autour des azimuts 110° et 170° , avec une prépondérance visible de la famille 110° : 49 % des fractures ont un azimut compris entre 100° et 125° et 15 %, un azimut compris entre 165° et 180° . Près de 65 % des fractures appartiennent ainsi aux deux familles principales. Le reste des mesures est, comme dans les autres carrières, assez dispersé.

Les nombreux plans subméridiens portent les traces, en général très bien conservées, d'un jeu senestre mais aucun jeu conjugué dextre n'a pu être observé. Les plans d'az. 100° - 130° sont, comme dans les autres carrières, généralement très redressés et sont, pour l'essentiel, des diaclases et pour le

reste des failles normales. Une discussion s'engage sur l'âge et les relations entre les différentes familles de fractures... la question reste ouverte !

La visite se termine enfin dans la **carrière Wellington** où un guide nous retrace les aspects historiques liés à la « Grande Guerre » (Première Guerre mondiale). Il aurait été dommage de ne faire que de la géologie dans ces sites. Les participants vigilants ont pu y reconnaître au passage les lits de silex ainsi que les failles et diaclases vus dans les autres carrières au fil de la journée. Un film retraçant les étapes de la bataille d'Arras conclut cette visite.

La dispersion des participants a lieu à 17 heures, en attendant de se retrouver pour une future autre excursion.

Remerciements : Les paragraphes concernant l'histoire de l'exploitation et de l'utilisation des carrières d'Arras, de l'Antiquité aux conflits mondiaux du XX^e siècle, sont largement redevables aux travaux d'Alain Jacques et Mathieu Béghin (service archéologique municipal d'Arras). Merci à Patrick Auguste (université de Lille) qui nous a renseigné sur l'origine du terme « boves ». Et enfin tous nos remerciements à Pascal Loosfelt (office du tourisme d'Arras) pour son aide dans la préparation logistique de l'excursion.

BIBLIOGRAPHIE

Les * marquent les articles ou ouvrages permettant d'en savoir plus sur les aspects géologiques et extra-géologiques des carrières d'Arras.

AMÉDRO F. & ROBASZYNSKI F. (2001). – Les craies à silex du Turonien au Santonien du Boulonnais (France) au regard de la stratigraphie événementielle. Comparaison avec le Kent (U.K.). *Géologie de la France, Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Orléans, 4 : 39-56.

AMÉDRO F. & ROBASZYNSKI F. (2006). – Les craies à niveaux durcis du Turonien supérieur-Coniacien inférieur du Nord de la France (Boulonnais, Artois, environs de Lille) : un essai de corrélation à l'aide de la stratigraphie événementielle. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, 29 (2^e série) : 123-135.

AMÉDRO F., ROBASZYNSKI F. & MATRION B. (2006). – Les craies santoniennes de la région de Saint-Omer (Nord de la France). Comparaison avec le Boulonnais et le Kent. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, 29 (2^e série) : 107-121, pl. 10.

ANGELIER J. (1989). – Tectonique cassante et néotectonique. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 112, 2 : 283-307.

ANGELIER J. (1990). – Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress - III. A new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophysic Journal International*, Oxford, 103 : 363-376.

ANGELIER J. & BERGERAT F. (1983). – Systèmes de contrainte en extension intracontinentale. *Bull. Centr. Rech. Expl. Prod. Elf-Aquitaine*, 7 : 137-147.

- AUFFRET, J.-P. & COLBEAUX, J.-P. (1977). – Étude structurale du Boulonnais et son prolongement sous-marin en manche orientale. *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, **19** : 1047-1055.
- AVERBUCH O., MANSY J.L. & LAMARCHE J. (2001). – Déformations tardi-paléozoïques au front septentrional de la chaîne varisque : l'exemple des massifs paléozoïques du Boulonnais (N France). *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **9** (2) : 13-24.
- BAILEY H.W., GALE A.S., MORTIMORE R.N., SWIECKI A. & WOOD C.J. (1983). – The Coniacian-Maastrichtian stage boundaries of the United Kingdom, with particular reference to southern England. *Newsletters on Stratigraphy*, Stuttgart, **12** : 19-42.
- * BÉGHIN M. & BERGERAT F. avec la collaboration de JACQUES A. (2021). – Les carrières de craie médiévale-modernes de Welling-ton et de Blenheim (Arras, Pas-de-Calais) : bilan et perspectives de la prospection thématique. *Revue du Nord - Archéologie de la Picardie et du Nord de la France*, **103** : 163-185.
- * BERGERAT F., JACQUES A., VANDYCKE S., AMÉDRO F., ROBASZYNski F. & FAY O. (2015). – Les carrières souterraines d'Arras : géologie, archéologie et Histoire. *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris*, **52** (3) : 3-26.
- * BERGERAT F., AMÉDRO F., JACQUES A. & ROBASZYNski F. (2018). – L'Artois, des crêtes très convoitées. In 14-18, la Terre et le Feu. Géologie et géologues sur le front occidental, BERGERAT F. (dir.), co-édition AGBP- COFRHIGÉO -SGN, *Mémoire hors-série de l'Association des Géologues du Bassin de Paris*, **10** : 117-143.
- BEVAN, T.G. & HANCOCK, P.L. (1986). – A Late Cenozoic regional fracture system in southern England and northern France. *Journal of the Geological Society of London*, **143** : 355-362.
- BOUROZ A. (1956). – Contribution à l'étude des failles épicrotées de l'Artois. – *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **76** : 51-62.
- BRIQUET A. (1920). – Turonien supérieur et Sénonien inférieur dans le Nord de la France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **44** : 1-11.
- CAMELBECK T., VANNESTE K., ALEXANDRE P., VERBEECK K., PETERMANS T., ROSSET P., EVERAERTS M., WARNANT R. & VAN CAMP M. (2007). – Relevance of active faulting and seismicity studies to assess long term earthquake activity in Northwest Europe, between the Lower Rhine Embayment and the North Sea. In Continental Intraplate Earthquakes: Science, Hazard, and Policy Issues. *Geological Society of America*, S. STEIN & S. MAZZOTTI eds, Special Paper **425** : 193-224.
- COLBEAUX J.P., SOMMÉ J. & TUFFREAU A. (1981). – Tectonique quaternaire dans le Nord de la France : l'apport du gisement paléolithique de Biache-Saint-Vaast. *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Quaternaire*, **18** (3-4) : 183-192, doi : 10.3406/quate.1981.2098.
- DELATTRE Ch. (1969). – Notice de la Carte géologique au 1/50 000 Arras. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Orléans, **24** : 1-7.
- GALE A. S. (1996). – Turonian correlation and sequence stratigraphy of the Chalk in southern England. In HESSELBO S.P. & PARKINSON D.N. eds, Sequence Stratigraphy in British geology. *Geological Society of London, Special publication*, **103** : 177-195.
- GALE A.S., BATENBUR G.S., COCCIONI R., DUBICKA Z., ERBA E., FALZONI F., HAGGART J., HASEGAWA T., IFRIM C., JARVIS I., JENKYNs H., JUROWSKA A., KENNADY W.J., MARON M., MUTTONI G., PEARCE M., PETRIZZO M.-R., PREMOLI-SILVA I., THIBAUT N., VOIGT S., WAGREICH M. & WALASZCZYK I. (2023). The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Campanian Stage at Bottacione (Gubbio, Italy) and its auxiliary sections : Seaford Head (UK), Bocieniec (Poland), Postalm (Austria), Smoky Hill, Kansas (USA) and Tepayac (Mexico). *Episodes*, **46** : 451-490.
- GALE A.S. & KENNEDY W.J. (2002). – Introduction. In SMITH A.B. & BATTEN D.J. eds, Fossils of the Chalk. *Palaeontological Association, Field Guides to Fossils*, **2** : 1-26.
- GALE A.S. & SMITH A.B. (1982). – The paleobiology of the irregular echinoids *Infulaster* and *Hagenowia*. *Palaeontology*, London, **25** : 11-52.
- GALE A.S., YOUNG J.R., SHACKLESTON N.J., CROWHURST S.J. & WRAY D.S. (1999). – Orbital tuning of Cenomanian marly chalk succession towards a Milankovitch time-scale for the Late Cretaceous. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, **357** : 1815-1829.
- * GIRARDET J.M., JACQUES A. & LETHO DUCLOS J.L. (2003). – Somewhere on the Western Front. Documents d'Archéologie et d'Histoire du XX^e siècle, **8**, 1-185.
- GOSSELET J. (1881). – Esquisse Géologique du Nord de la France et des Contrées voisines. 2^e fascicule, Terrains secondaires, Lille, Imprimerie Liégeois-Six, 169-277.
- GOSSELET J. (1900). – Excursion géologique à Arras et aux environs. Compte rendu par M. J. Gosselet. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **29** : 49-53.
- GOSSELET J. (1910). – Notes d'excursion sur le feuille d'Arras. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **39** : 139-166.
- GOSSELET J. (1911). – Les Assises Crétaciques et Tertiaires dans les fosses et les sondages du Nord de la France. Fascicule 3 : région de Béthune. Imprimerie nationale, Paris, 1-183.
- GREIMA A.J. & KEANE T.M. (2007). – Dictionnaire du Moyen Français : la langue de la Renaissance de 1340 à 1611. Éd. Larousse, Paris, 736 p.
- * JACQUES A. & DAVY A. (dir.) (1986). – Arras-Nemetacum et la partie méridionale de la cité des Atrébates., Catalogue d'exposition, 28 mai – 19 août 1986, Musée des Beaux-Arts, Arras, 1-175.
- * JACQUES A. & MORTIER I. (2008). – La carrière Wellington. Mémorial de la Bataille d'Arras, 9 avril 1917. Éd. Office du Tourisme d'Arras, 1-47.
- JENKYNs H.C., GALE A.S. & CORFIELD R.M. (1994). – Carbon- and oxygen-isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its palaeoclimatic significance. *Geological Magazine*, London, **131** : 1-34.

- KUSMAN D., LAMBERT J., ALEXANDRE P. & CAMELBEECK T. (2010). – Le séisme du 2 septembre 1896 dans la vallée de la Scarpe. L'apport scientifique d'une enquête parue à l'époque dans Ciel et Terre. *Ciel et Terre*, **126** (2) : 34-41.
- LAMOLDA M.A. & HANCOCK J.M. (1996). – The Santonian Stage and substages. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, **66** (supplément) : 95-102.
- LAMOLDA M.A., PAUL C.R., PERYT D. & PONS J.M. (2014). – The Global Boundary Stratotype and Section Point (GSSP) for the base of the Santonian Stage, « Cantera de Margas », Olazagutia, northern Spain. *Episodes*, **37** (1): 1-13.
- MANSY J.-L., MANBY G.M., AVERBUCH O., EVERAERTS M., BERGERAT F., VAN VLIET-LANOÉ B., LAMARCHE J. & VANDYCKE S. (2003). – Dynamics and inversion of the Mesozoic Basin of the Weald-Boulonnais area: role of basement reactivation. *Tectonophysics*, **373** : 161-179.
- MINGUELY B. (2007). – Caractérisation géométrique 3-D de la couverture sédimentaire méso-cénozoïque et du substratum varisque dans le Nord de la France : apports des données de sondages et des données géophysiques. *Thèse de l'Université des Sciences et Technologies de Lille*, Lille, 230 p.
- MINGUELY B., AVERBUCH O., PATIN M., ROLIN D., HANOT F. & BERGERAT F. (2010). – Inversion tectonics at the northern margin of the Paris basin (northern France): new evidence from seismic profiles and boreholes interpolation in the Artois area. *Bulletin de la Société géologique de France*, **181** (5) : 429-442.
- MORTIMORE R.N. (1983). – The Stratigraphy and sedimentation of the Turonian-Campanian in the Southern Province of England. *Zitteliana*, Munchen, **10** : 27-41.
- MORTIMORE R.N. (1986). – Stratigraphy of the Upper Cretaceous White Chalk of Sussex. *Proceedings of the Geologists' Association*, London, **97** : 97-139.
- MORTIMORE R.N., WOOD C.J. & GALLOIS R.W. (2001). – British Upper Cretaceous Stratigraphy. *Geological Conservation Review Series*, **23**, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 1-558.
- ROBASZYNSKI F. & AMÉDRO F. (2003). – Le Crétacé du Nord de la France : évolution des concepts et aspects nouveaux depuis Jules Gosselet. *Annales de la Société Géologique du Nord*, Lille, **10** (2^e série) : 163-181.
- ROBINSON N. D. (1986). – Lithostratigraphy of the Chalk Group of the North-Downs, Southeast England. *Proceedings of the Geologists' Association*, London, **97** : 141-170.
- VANDYCKE S. (2002). – Palaeostress records in Cretaceous formations in NW Europe: extensional and strike-slip events in relationships with Cretaceous-Tertiary inversion tectonics. *Tectonophysics*, **357** : 119-136.
- VIALON P., RUHLAND M. & GROLIER J. (1976). – Éléments de tectonique analytique. Masson éd., Paris, 118p.
- WALASZCZYK I., ČECH C., JARVIS I., KENNEDY W.J., LEES J.A., LODOWSKI D., PEARCE M., PERYT D., SAGEMAN B., SCHIÖLER P., TODES J., ULICNY D., VOIGT S., WIESE F., LINNERT C., PÜTTMAN T. & TOSHIMITSU S. (2022). – The Global Boundary Stratotype Section (GSSP) for the base of the Coniacian Stage (Salzgitter-Salder, Germany) and its auxiliary sections (Ślupia Nadbrzezna, central Poland, Střeleč, Czech Republic and El Rosario, NE Mexico). *Episodes*, **45** : 181-220.