

BULLETIN D'INFORMATION DES GEOLOGUES DU **P** **BASSIN DE** **P** **A** **R** **I** **S**



TRIMESTRIEL
Volume 52 - N° 3



SEPTEMBRE 2015

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Le *Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris* publie en français ou éventuellement en anglais, en allemand, en espagnol ou en italien pour les non-francophones, des articles originaux de référence, d'intérêts général ou régional traitant de la géologie du Bassin parisien et de ses marges, ou d'un autre bassin sédimentaire en comparaison avec le Bassin parisien.

Les manuscrits sont examinés par deux rapporteurs.

Les opinions émises par les auteurs dans leurs articles n'engagent que leur propre responsabilité.

Les délais de parution, depuis la date de réception du manuscrit jusqu'à la publication de l'article, sont de l'ordre de 6 mois.

Présentation des manuscrits

Ils doivent comprendre dans l'ordre suivant :

1. le titre en français ;
2. le titre en anglais ;
3. les noms des auteurs précédés de leur prénom(s) en entier ;
4. un bref résumé informatif, de 200 mots au plus, en français ;
5. la liste de mots-clés (7 au maximum), en français ;
6. un bref résumé informatif, de 200 mots au plus, en anglais (ou éventuellement en allemand, en espagnol ou en italien) ;
7. la liste de mots-clés (7 au maximum), en anglais ;
8. en note infrapaginale de la première page, l'adresse des auteurs ainsi que leur organisme d'appartenance ;
9. le texte de l'article (*ne pas justifier à droite les manuscrits et ne pas mettre de traits d'union en fin de ligne*) ; les unités utilisées seront conformes au système international (SI) ; la première fois qu'apparaissent les sigles, ils sont précédés de leur développement et se mettent alors entre parenthèses, ensuite le sigle seul est utilisé (employer les majuscules à bon escient) ; *Exemple* : Centre national de la recherche scientifique (CNRS)
10. les points cardinaux s'écrivent avec une minuscule lorsqu'ils sont employés comme substantifs (le vent du nord), avec une majuscule lorsqu'ils sont un point de l'espace (le Sud de la France) ; on écrit également ONO-ESE, N090°-100°, à 1/50 000 ou au 50 000^e, 1 234 (sans point entre les milliers et les centaines) ; les citations sont toujours écrites en *italique* ; les notes infrapaginales devront être évitées ;
11. remerciements si nécessaire ;
12. la liste des références classées par ordre alphabétique des noms des auteurs chacun étant suivi des initiales des prénoms, puis de l'année de parution, du titre de l'article cité, du nom abrégé de la revue (utiliser les abréviations traditionnelles), du tome, des première et dernière page de référence ;
Exemples :
BIGNOT G., CURRY D. et POMEROL Ch. (1997) - Le dossier Sélandien. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, vol. 34, n°2, p. 3-11.
LECOINTRE G. (1947) - La Touraine. *In* Géologie de la France, Herman éd., 250 p.
Appel des références dans le texte :...(Lecointre, 1947 ; Bignot *et al.*, 1997). G. Bignot *et al.* (1997) ont décrit...
Tout appel d'auteur dans le texte doit être référencé dans la bibliographie et tout titre contenu dans la bibliographie doit être appelé dans le texte ;
13. la légende des tableaux et des figures en français et en anglais en respectant les conventions internationales en vigueur ;
14. les tableaux et les figures en format A4 doivent pouvoir supporter une réduction (lettrage supérieur à 2 mm et inférieur à 6 mm) ; les originaux sont envoyés à l'association sur support papier blanc ou calque après l'acceptation définitive de la note ; les photographies, numérotées indépendamment des figures, peuvent être montées en *planches* de format A4 ;
Toutes les figures doivent être appelées dans l'ordre logique de numérotation dans le texte : (fig. 3 et 4) ; indiquer au crayon dans la marge du cours du texte, l'emplacement souhaité des illustrations.

Les auteurs peuvent envoyer par courrier postal leur texte (en WORD) et leurs figures (en format JPEG ou PDF) sur CD, accompagné d'un tirage sur papier blanc des figures et des tableaux, avec le numéro d'ordre au dos de chaque document. Ils peuvent également et de préférence, envoyer leurs documents par courrier électronique (les fichiers ne doivent pas cependant dépasser la taille d'un Mo), aux adresses suivantes :

jlorenz@wanadoo.fr - nicole.santa@orange.fr et patrick.thommen@orange.fr

On consultera avec profit un code typographique et le manuel :

DAVID L. (1984) - Géoécriture ou l'art d'écrire la Géologie. Manuels et méthodes, BRGM éd., 150 p.



BULLETIN D'INFORMATION DES GÉOLOGUES DU BASSIN DE PARIS

2015 - Volume 52 - N° 3 - Septembre
Publication trimestrielle

Cotisation et abonnements :

Membres ordinaires :

Cotisation : _____ 8 €
Cotisation et abonnement : _____ 43 €

Personnes morales :

Cotisation : _____ 16 €
Abonnement : _____ 70 € 86 €

Abonnement par les non-membres : 60 €

Rédaction et Administration :

Tour 56-55 E5 4 place Jussieu
F-75252 PARIS cedex 05
SIRET 328 440 664 00014 Code APE 221 E
IBAN : FR41 2004 1000 0107 7174 1E02 092
CCP Paris 7 717 41 E
www.agbp.fr association.agbp@gmail.com

Rédacteurs : Nicole SANTARELLI et Patrick THOMMEN

BUREAU ET CONSEIL DE L'ASSOCIATION

Président	Anne DUPERRET
Vice-Présidents	Patrick GAVIGLIO Jean-Paul FIZAINE
Secrétaire	Marie-José ROULET
Trésoriers	Jean-Claude PORCHIER Jean-Pierre GELY
Conseillers	Guy BENHAMOU Pierre-Yves COLLIN Renée DAMOTTE Marc DURAND Jocelyne FRANJOU Bertrand GENAULT Edouard HEISCH Jean-Claude KÖENIGUER Laurence LE CALLONNEC Lise LEROUX Jean-Pierre MALFAY Florian MIQUELIS Jean-Claude PLAZIAT Yann SAMSON Nicole SANTARELLI Patrick THOMMEN Sara VANDYCKE Robert WYNS

Comité de Lecture : Pascal BARRIER
Jean-Paul DEROIN
Olivier DUGUE
François GUILLOCHEAU
Franck HANOT
Adolf MULLER
Rory N. MORTIMORE
Bernard POMEROL
Francis ROBASYNSKI
Robert WYNS



LE PROJET GÉOLOGIE ET GRANDE GUERRE (GGG)

De 1914 à 1918, le front de l'Ouest traversa les différentes formations géologiques du Bassin parisien, depuis les Flandres jusqu'à sa bordure vosgienne. Il était donc naturel que l'Association des Géologues du Bassin de Paris apporte sa contribution aux commémorations du Centenaire dans ses domaines de compétence.

L'étude des rapports entre la géologie et la guerre a donné lieu à de nombreuses publications dans les années de l'après-guerre. Le rôle du relief et de la nature des roches, les problèmes de drainage des ouvrages militaires et de l'approvisionnement des troupes en eau ont été relatés dans de nombreux ouvrages qui font toujours référence.

Après une baisse d'intérêt dans les années trente, le thème connaît un renouveau, notamment en relation avec les champs de bataille récents. Cent ans après le premier conflit mondial, de nouvelles thématiques sont abordées comme les dommages à l'environnement toujours observables aujourd'hui sur l'ancienne ligne de front.

Dans ce nouveau contexte, l'AGBP a lancé un programme d'études intégrant les acquis des géologues témoins de la Grande Guerre et les préoccupations les plus récentes.

Ce programme est ponctué par l'organisation de journées d'étude, la première étant celle dont il est rendu compte dans ce bulletin thématique. Les suivantes se dérouleront de la Champagne à Verdun en 2016 et sur le front des Vosges en 2017.

Les débats accompagnant ces journées enrichiront un ouvrage de synthèse, intitulé « Géologie et Grande Guerre », qui développera de manière plus large les différents aspects de la géologie et de l'intervention des géologues dans le conflit.

L'ouvrage, destiné à un large public, sera réalisé par un groupe de travail constitué au sein de l'AGBP, avec la participation d'équipes universitaires et d'organismes impliqués dans l'étude et la sauvegarde des sites de guerre d'intérêt géologique.

Tous ceux qui travaillent sur ce thème et souhaitent apporter leur contribution sont bienvenus, quel que soit leur statut.



LES CARRIÈRES SOUTERRAINES D'ARRAS : GÉOLOGIE, ARCHÉOLOGIE ET HISTOIRE

THE UNDERGROUND QUARRIES AT ARRAS: GEOLOGY, ARCHEOLOGY AND HISTORY

par Françoise BERGERAT¹, Alain JACQUES², Sara VANDYCKE³, Francis AMÉDRO⁴, Francis ROBASYNSKI⁵ et Ophélie FAÏ⁶

Résumé

Les carrières souterraines d'Arras représentent un patrimoine exceptionnel tant géologique qu'archéologique et historique. La craie y a été exploitée depuis l'Antiquité et on suit l'évolution des modes et lieux d'extraction jusqu'à la période moderne. Lors de la 1^{re} Guerre Mondiale, les carrières arrageoises ont été reliées entre elles par un réseau de tunnels et aménagées en vue de l'offensive d'avril 1917. Plusieurs centaines d'inscriptions, de graffitis, de sculptures y ont été laissées. Leurs relevés, en association avec l'étude des archives militaires, permettent de retracer l'histoire de l'aménagement de ces carrières et leur rôle primordial lors de la Bataille d'Arras. Les coupes lithostratigraphiques réalisées dans ces carrières sont corrélables avec les coupes de référence du Boulonnais et du Kent et placent la craie d'Arras dans la partie supérieure du Coniacien. Les travaux d'aménagement réalisés en 1916-1917 ainsi que ceux effectués pour en transformer une partie en un «circuit de mémoire» qui a été ouvert en 2008, ont dégagé les piliers de roche laissés en place lors de l'exploitation de la craie et une cartographie des grands accidents tectoniques a pu être réalisée. Les fractures sont extrêmement bien organisées et ont largement guidé l'exploitation souterraine. L'agencement se fait, pour l'essentiel, selon deux familles directionnelles N 105°-125° (diaclasses et quelques failles normales) et N 160°-180° (décrochements senestres).

Mots-clés : Artois, Bataille d'Arras, Coniacien, Craie, Fracturation, Guerre 14-18, Paléo-contraintes.

Abstract

The underground quarries of Arras represent an exceptional geological, archaeological and historical heritage. The chalk has been extensively quarried since Roman times and we show the evolution of extraction methods and locations until the modern age. During the First World War, the Arras underground quarries have been connected by a network of tunnels and were arranged as shelters in order to discretely and safely conveying troops to the front, before the attack of April 1917. Hundreds of inscriptions, graffiti, and sculptures have been left there. Associated with the study of military archives, they allow to trace the history of the installation of these quarries and their key-role in the Battle of Arras. The lithostratigraphic sections made in these quarries are correlatable with reference sections from the Boulonnais and Kent areas and allow to locate the Arras chalk in the upper part of the Coniacian. The development works realized in 1916-1917, as well as those made to transform part of the quarries in a "Memorial Tour" opened in 2008, left the rock pillars free, thus mapping of major tectonic accident has been made possible. The faults and joints are extremely well-organized and they largely guided chalk exploitation. The fracturing pattern includes essentially two directional families 105°-125° (joints and some normal faults) and 160°-180° (left-lateral strike-slip faults).

Keywords : Artois, Battle of Arras, Chalk, Coniacian, Fracturing, Paleostresses, 14-18 War.

(1) Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS, Institut des Sciences de la Terre de Paris (ISTeP), 4 place Jussieu 75005 Paris, France – francoise.bergerat@upmc.fr

(2) Service Archéologique d'Arras, 77 rue Baudimont, 62000 Arras, France – serv.archeologie.arras@wanadoo.fr

(3) FNRS - Université de Mons, Faculté Polytechnique, Génie Minier, 20 place du Parc, B-7000 Mons, Belgique – Sara.VANDYCKE@umons.ac.be

(4) 26 rue de Nottingham, 62100 Calais et Université de Bourgogne, UMR 6282, Biogéosciences, 6 Boulevard Gabriel 21000 Dijon, France – francis.amedro@free.fr

(5) Université de Mons, Faculté polytechnique, Département Mines-Géologie, 9 rue de Houdain, B-7000 Mons, Belgique – Francis.ROBASZYNSKI@umons.ac.be

(6) KULeuven, Afdeling Geologie, Celestijnenlaan 200 E, B-3001 Heverlee, Belgique – Ophelie.FayGomord@ees.kuleuven.be

La cité d'Arras remonte à l'Antiquité (*Nemetacum*) et s'est surtout développée au Moyen Âge grâce à l'Abbaye Saint-Vaast. Une grande partie de la ville a été construite en craie à partir de carrières souterraines ouvertes dans la craie blanche coniacienne des environs de la cité d'alors et dont l'exploitation s'est poursuivie jusqu'au XVII^e siècle en s'étendant au sud et à l'est de la ville.

D'un point de vue archéologique, les carrières arrageoises offrent ainsi une vision des modes d'exploitation de la craie depuis la période romaine. A cet aspect s'ajoute un point de vue historique non négligeable puisque les carrières d'Arras ont été aménagées et utilisées pendant les deux dernières guerres, pour accueillir les troupes alliées (guerre de 14-18) et comme abris anti-aériens (guerre de 39-45) et surtout parce que cet important réseau souterrain fut au cœur de la stratégie menée par les troupes du Commonwealth dans l'offensive du printemps 1917 et a joué un rôle particulièrement important lors de la bataille d'Arras.

D'un point de vue géologique, Arras est située à l'extrémité orientale des collines de l'Artois (fig. 1). A l'autre extrémité de celles-ci, la boutonnière de Paléozoïque au cœur de l'anticlinal

du Boulonnais-Weald a localement permis l'examen des relations entre le substrat varisque et sa couverture sédimentaire, suggérant la réactivation progressive du front de chevauchement varisque et son contrôle sur la distribution des bassins et leur soulèvement ultérieur au Tertiaire (e.g. Mansy *et al.*, 2003). Plus à l'est, ce contrôle des structures du socle sur les terrains sus-jacents est moins bien contraint car les structures paléozoïques et mésozoïques sont enfouies ou masquées par les limons quaternaires. L'Artois présente peu d'affleurements naturels continus et les structures régionales, en particulier les accidents tectoniques, ont été reconnus essentiellement grâce aux travaux miniers (Gosselet, 1908 ; Bouroz, 1956, 1962), aux forages (Minguely, 2007) et à la géophysique : profils sismiques (e.g. Minguely, 2007 ; Minguely *et al.*, 2010), anomalies gravimétriques (e.g. Everaerts et Mansy, 2001 ; Mansy *et al.*, 2003), prospection électrique (Verbeeck *et al.*, 2011 ; Camelbeeck *et al.*, 2012) ainsi que, plus ponctuellement, à l'occasion d'exploitations à ciel ouvert et de travaux (Gosselet, 1908), de recherche d'eau (Gosselet, 1910) ou de fouilles archéologiques (Colbeaux *et al.*, 1981). Les carrières souterraines constituent également une source d'informations (Viré, 1920 ; Leplat, 1973) malheureusement beaucoup d'entre elles sont maintenant inaccessibles.

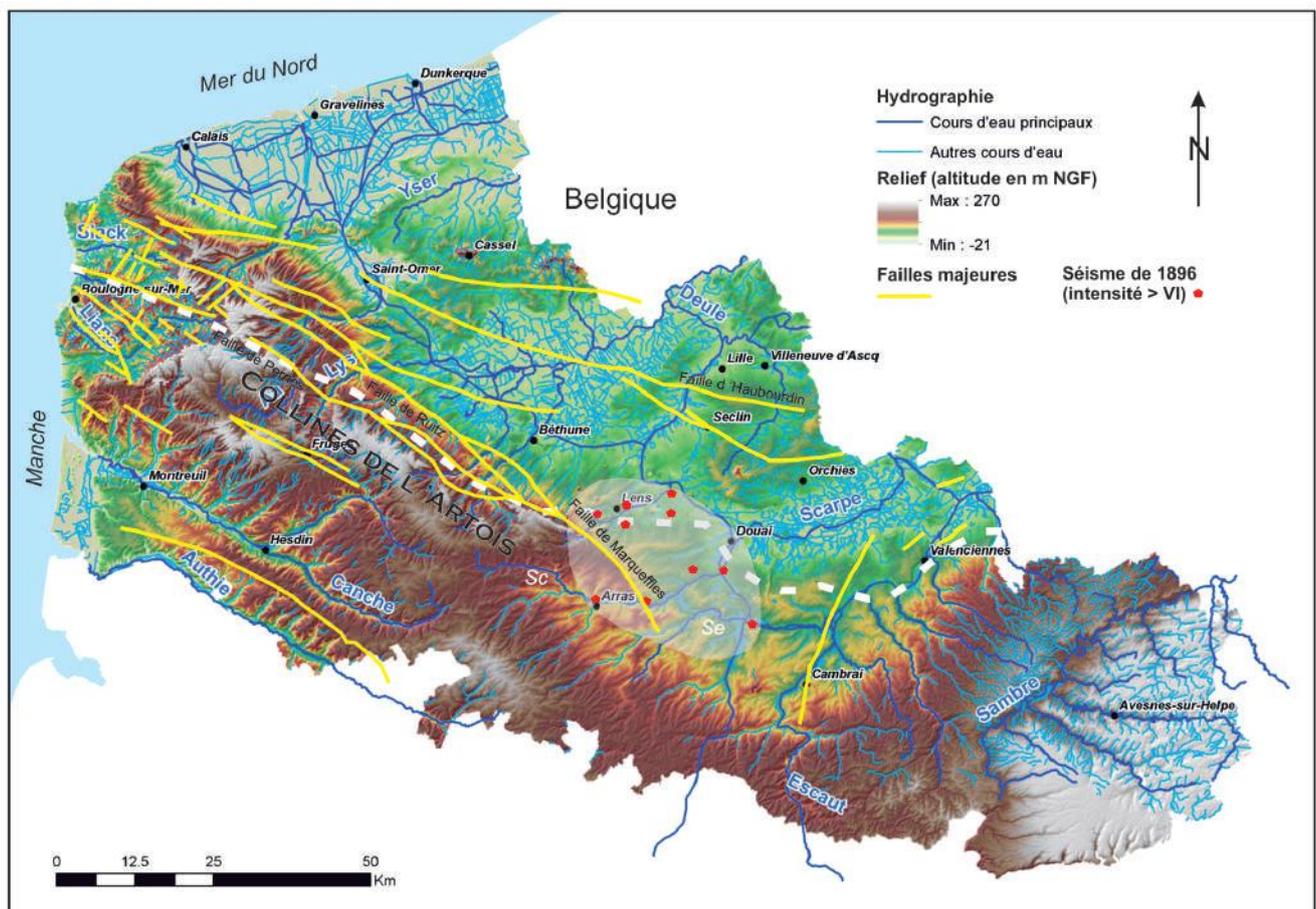


Fig. 1 : Grands traits géomorphologiques et géologiques du Nord-Pas de Calais.

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 épicertrale du séisme de 1896, d'après Camelbeeck *et al.*, 2007.

Fig. 1 : Main geomorphological and geological features of Nord-Pas de Calais, 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 Camelbeeck *et al.*, 2007.

Tant par leur accès relativement aisé que par l'existence de documents d'archive, les carrières d'Arras présentent donc une opportunité exceptionnelle d'étudier de façon pluridisciplinaire un patrimoine remarquable autant du point de vue géologique que sous ses aspects archéologique et historique. Ces divers aspects ne sont pas indépendants les uns des autres: la présence prégnante de la craie - matériau relativement facile à creuser - dans toute la région éclaire le développement des exploitations souterraines ; l'existence d'une fracturation importante et bien réglée explique la géométrie régulière des carrières et, par là même, la facilité d'aménagement pour y installer les troupes alliées; en retour, les plans établis par l'armée anglaise nous permettent d'y cartographier avec précision le réseau de fractures. C'est pourquoi archéologie, géologie et histoire seront, dans le présent article, entremêlées. Après avoir replacé Arras dans un cadre structural général, on présentera successivement le bassin carrier d'Arras et l'étude stratigraphique de la craie dans les carrières, puis l'histoire de l'exploitation souterraine et le rôle de ces carrières durant le premier conflit mondial de 14-18, et enfin l'analyse de la tectonique cassante qui a pu y être effectuée.

CONTEXTE STRUCTURAL.

Le trait morpho-structural fondamental du Nord - Pas-de-Calais est le bombement anticlinal 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 NO-SE. Il constitue une limite majeure tant sur le plan géologique que géomorphologique (collines de l'Artois) entre la plaine de Flandres au nord et le plateau picard au sud (fig. 1). Cet anticlinal dissymétrique, à flanc sud doux et flanc nord plus redressé, est affecté, dans la couverture mésozoïque, de failles longitudinales classiquement liées au rejeu inverse de failles tardi-hercyniennes. Sauf dans le Boulonnais où elles sont en partie visibles en surface (Averbuch *et al.*, 2001), ces failles sont surtout connues grâce aux forages et aux profils sismiques. Sur les cartes géologiques existantes (*e.g.* Lacquement *et al.*, 2004) elles sont dessinées avec une direction moyenne N 110° à l'ouest, dans le Boulonnais, puis s'infléchissent vers le N 130° en allant vers l'est (fig. 1). Si le Boulonnais et l'Artois peuvent être considérés comme intimement liés, les corrélations entre les failles de ces deux régions sont cependant malaisées à établir, l'ensemble représentant plutôt un système d'accidents se relayant de façon complexe d'ouest en est (Everaerts et Mansy, 2001; Minguely, 2007).

Ces failles, à fort pendage vers le sud, ont été interprétés par Bouroz (1956) comme des accidents très redressés recoupant la Faille du Midi (*i.e.* le chevauchement frontal varisque) puis, plus récemment, comme des accidents se raccordant en profondeur aux chevauchements varisques (Mansy *et al.*, 2003; Minguely *et al.*, 2010) formant ainsi des failles listriques localisant ponctuellement de petits demi-grabens remplis de sédiments fluviaux stéphano-permiens. Cette configuration indique une réactivation systématique de la rampe du chevauchement frontal varisque en faille normale au cours du Stéphano-Permien (inversion tectonique négative). Le décalage inverse observé pour les niveaux transgressifs du Crétacé moyen-Eocène inférieur révèle l'existence d'une autre réactivation (positive), au Tertiaire (Minguely *et al.*, 2010). Pour certains auteurs, ce rejeu ne serait pas purement inverse mais inclurait une composante décrochante (Auffret et Colbeaux, 1977; Mansy *et al.*, 2003).

La topographie des collines de l'Artois ainsi que l'altitude des niveaux sédimentaires de couverture sont ainsi contrôlées par l'activité d'un réseau de failles en relais, induisant systématique-

ment le soulèvement du bloc sud et un découpage du flanc nord en compartiments de plus en plus abaissés dans cette direction. La zone de chevauchement frontal varisque apparaît ainsi comme une discontinuité mécanique majeure d'échelle crustale ayant localisé la déformation dans le domaine Artois-Boulonnais depuis le Carbonifère supérieur.

Parmi les failles du système de failles de l'Artois, la plus orientale et la plus proche d'Arras est la faille de Marqueffles (Gosselet, 1908) dont on trouve des traces jusque dans le Quaternaire dans le site archéologique de Biache-Saint-Vaast (Colbeaux *et al.*, 1981) et qui est probablement encore active à l'heure actuelle. En effet un séisme important s'est produit dans ce secteur le 2 septembre 1896 à 21h 12, suivi de deux répliques, à 22h 15 et autour de minuit. Cette séquence sismique a occasionné des dommages considérables dans la vallée de la Scarpe, entre Arras et Douai (Kusman *et al.*, 2010). La zone épicertrale probable (fig. 1) comprend les villages de Vimy, Farbus, Vitry-en-Artois, Biache-Saint-Vaast et Fampoux. 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). Une prospection géophysique récemment entreprise sur l'escarpement de Vimy a confirmé l'existence d'une faille entre Vimy et Farbus et des arguments existent pour la prolonger encore à l'est de cette localité (Camelbeeck *et al.*, 2012; Verbeeck *et al.*, 2011).

LE BASSIN CARRIER D'ARRAS.

Comme de nombreuses villes du nord de la France, Arras a exploité son sous-sol pour extraire la « pierre calcaire », c'est à dire ici la craie coniacienne. Depuis l'Antiquité, les habitants ont trouvé les matériaux nécessaires à la construction de leur habitat dans le sous-sol. Au Moyen Âge, ces matériaux sont réservés à l'édification des édifices religieux ou à la construction des fortifications. Au XVI^e siècle, l'emploi de cette pierre se généralise et engendre la création de nombreuses et vastes carrières. Cette utilisation massive de la craie est à l'origine de la prolifération des cavités dans le sous-sol arrageois en particulier au sud-est de la ville (fig. 2).

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 est recherché. Cet arc carrier se développe vers l'est sur plus de deux kilomètres, en suivant les routes de Cambrai et Bapaume, qui constituent également des axes de transport pour alimenter notamment les chantiers de constructions urbains.

ÉTUDE STRATIGRAPHIQUE DES CARRIÈRES D'ARRAS.

Comment se repérer au sein de la craie à silex du Nord de la France ?

Une grande partie du sous-sol du Nord de la France est constituée de craie à silex dont l'attribution stratigraphique varie du Turonien supérieur au Santonien et 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. Il s'agit d'une craie blanche, fine, tendre et traçante dans les deux tiers supérieurs de l'étage Coniacien et dans le Santonien tandis que le Turonien supérieur et la partie inférieure du Coniacien sont caractérisés par la présence de nom-

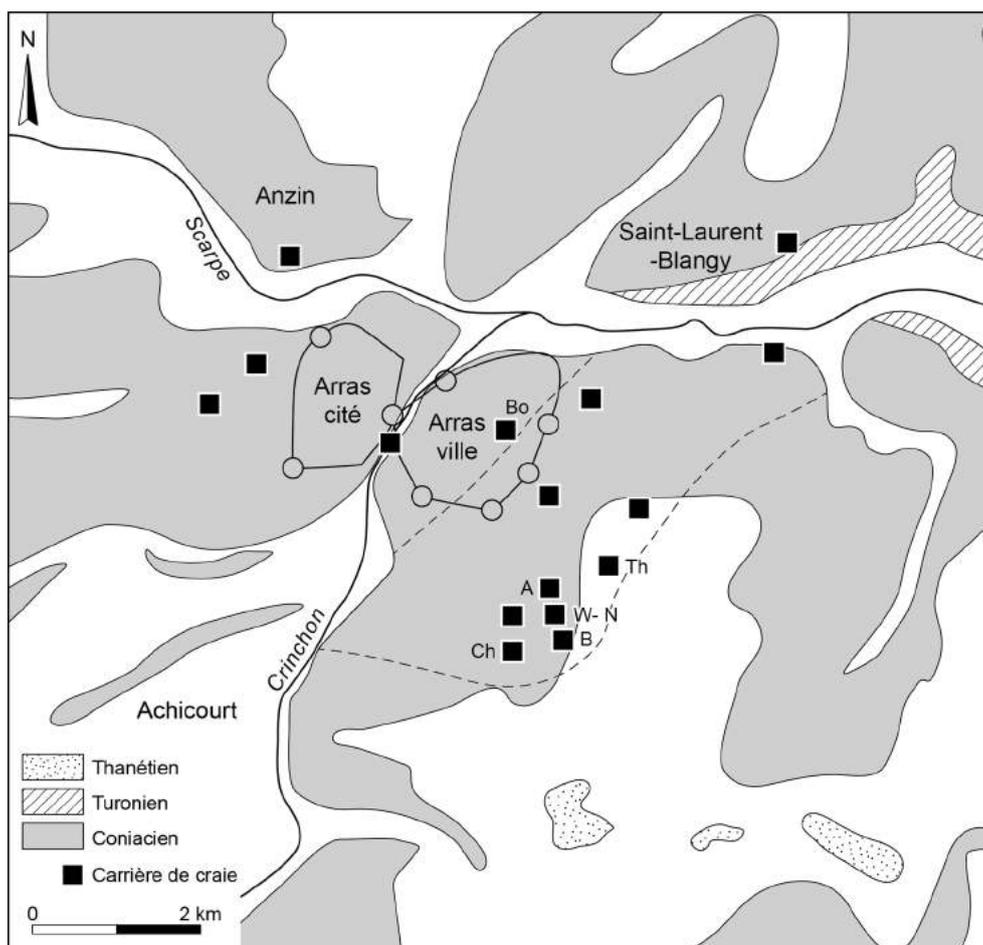


Fig. 2 : Arras et les carrières de craie dans leur environnement géologique.

L'arc carriér arrageois est figuré par le trait en tireté. Carrières citées dans le texte : Auckland (A), Blenheim (B), les Boves (Bo) Christchurch (Ch), Nelson (N), Thompson (Th), Wellington (W).

Fig. 2 : Arras and the chalk quarries in their geological setting.

The Arras quarry arc is illustrated by the dashed line. Quarries cited in the text : Auckland (A), Blenheim (B), les Boves (Bo) Christchurch (Ch), Nelson (N), Thompson (Th), Wellington (W).

breux bancs durcis (*hardgrounds*). Ces *hardgrounds* sont associés à une diminution du taux de sédimentation et à des phénomènes de diagenèse précoce, résultant en une cimentation précoce des sédiments crayeux. Pendant longtemps, se repérer au sein de la craie à silex était resté un exercice difficile en raison de la monotonie apparente des faciès. Les « assises » successives à *Micraster breviporus*, à *Micraster cortestudinarium* et à *Micraster coranguinum* utilisées au XIX^e et durant la première partie du XX^e siècle (*e.g.* Barrois, 1878; Gosselet, 1881; Delattre, 1969) étaient des divisions très larges aux limites souvent imprécises. Le développement de la micropaléontologie a apporté dans les années 1970 un outil de corrélation plus fiable grâce à la définition et à l'utilisation de biozones, principalement de foraminifères.

Une nouvelle méthode de corrélation très précise élaborée durant les trente dernières années existe aujourd'hui : la stratigraphie événementielle. Le principe de la stratigraphie événementielle 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 soit par une particularité lithologique (niveaux marneux de teinte sombre, bentonites,

hardgrounds, lits de silex à *Thalassinoides*, à *Paramoudras* ou particulièrement développés...), 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 la craie à silex 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 et Smith (1982), Bailey *et al.* (1983), Mortimore (1983, 1986), Robinson (1986), Jenkins *et al.* (1994) et Mortimore *et al.* (2001). Les travaux ultérieurs d'Amédéo et Robaszynski (2001, 2006 a, b) ont révélé la continuité de ces niveaux-repères depuis le sud-est de l'Angleterre jusque dans la région lilloise en passant par le Boulonnais et l'Artois. La figure 3 résume la succession des litho- ou bio-événements reconnus de part et d'autre de la Manche.

Le sous-sol d'Arras : la craie à silex coniacienne.

Au XIX^e siècle, Gosselet (1881) attribuait cette craie au Sénonien et plus précisément à la zone à *Micraster coranguinum*. Peut-on être plus précis aujourd'hui ? La succession lithologique

a été étudiée dans deux anciennes carrières souterraines: la carrière Auckland (faubourg de Ronville, fig. 2) et les « Boves », carrière située sous la place des Héros, au cœur de la ville (fig. 2). La figure 4 présente la suite lithologique visible dans ces deux carrières.

Les Boves.

La coupe, haute de 6,25 m, montre dans les 4 m inférieurs une craie blanche, fine, traçante entrecoupée de lits de silex noirs décimétriques en rognons et dans les 2,25 m supérieurs, une craie blanche comparable à la précédente mais contenant moins de silex. La principale particularité de cette coupe est la présence de trois lits centimétriques de silex tabulaires noirs, 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 galeries. Un test d'échinide appartenant à l'espèce *Micraster coranguinum* (Leske) a été observé à mi-hauteur de la coupe.

La carrière Auckland.

La présence d'un escalier remontant à la surface et dont la voûte est en partie non maçonnée permet d'observer la craie sur une hauteur de 13 m. L'ancienne carrière souterraine recoupe uniquement les 2,70 m inférieurs de la coupe. On observe ici aussi une craie blanche, tendre, fine et traçante, mais la succession lithologique est un peu différente de celle décrite dans les Boves. Un lit de silex tabulaire noir, à cortex gris-blanc, épais de 2 cm, est présent à 0,40 m au-dessus du plancher de la carrière. Jusqu'au niveau 5,20 m, la craie est entrecoupée de lits de silex en rognons noirs, décimétriques, avec à 2,70 m un lit plus épais et plus dense de gros silex dont certains atteignent 30 cm de longueur. Au-dessus du niveau 5,20 m, les silex deviennent moins fréquents, deux lits ayant simplement été observés respectivement aux niveaux 8,20 m et 9,00 m. Quatre niveaux riches en fragments d'inocérames (*Platyceramus*) existent dans l'intervalle compris entre 7,40 m et 13,00 m. De nombreuses éponges limonitiques sont également présentes à 10,20 m.

En résumé, la coupe montre un lit de silex tabulaire, puis un intervalle entrecoupé de lits de silex en rognons et enfin de la craie contenant relativement peu de silex, mais incluant des niveaux riches en fragments d'inocérames et en éponges. En tenant compte de ces observations, le lit de silex tabulaire repéré à la base de la carrière *Auckland* est corrélé avec le lit de silex tabulaire le plus élevé visible dans les Boves et ce faisceau de trois lits de silex tabulaires est interprété comme représentant les *Hope Point Marls* définis dans le Kent par Gale et Smith (1982). De façon comparable à ce que l'on observe dans le Boulonnais (Amédéo et Robaszynski, 2001, 2006b), les niveaux marneux sont oblitérés par une silicification. On se trouve dans la partie supérieure de l'étage Coniacien, à la base de la zone d'échinides à *Micraster coranguinum*.

L'EXPLOITATION DE LA CRAIE A ARRAS.

La période antique.

Dans la ville romaine, des carrières sont les premiers indices de l'occupation du site d'Arras ; les témoignages les plus anciens concernant l'exploitation de la craie sont fournis par des puits d'extraction retrouvés à la périphérie du Rond-point Baudimont. Cet ensemble de puits délimite de façon très précise le noyau de la ville antique que l'on peut estimer à environ 3 ha. Le mobilier

archéologique relevé dans les niveaux d'utilisation suggère une période d'activité entre les années -10 et +20 de notre ère.

Les carrières sont percées dans les couches crayeuses à une profondeur moyenne de 10 m, à partir de puits toujours circulaires d'un diamètre d'environ 1,20 m. Quant aux installations de surface, la présence de trous de pieux autour des puits suppose l'installation de treuils pour la descente du personnel et la remontée des matériaux. De profondes ornières suggèrent également une intense activité liée au transport de ces derniers.

Dans le courant du 1^{er} siècle, ce mode d'extraction sera relayé par des carrières à ciel ouvert exploitées par gradins successifs. Ces carrières, d'environ 100 mètres de diamètre, ont fonctionné dès le 1^{er} siècle, probablement 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.

La période médiévale.

Le Haut Moyen Âge n'a pas laissé de traces probantes d'une activité extractive. Il faut attendre les X^e et XI^e siècles et se déplacer vers la ville médiévale en plein essor à cette période, pour retrouver d'autres témoignages d'exploitation de la craie. Les méthodes d'extraction sont identiques à celles mises en place à l'époque romaine, à savoir une exploitation verticale par puits qui aboutissent, à une profondeur d'environ 12 mètres, à des galeries d'extraction de 2,50 m de hauteur, qui suivent les fractures tectoniques, leur conférant ainsi un tracé très irrégulier, mais n'atteignant jamais la nappe phréatique.

L'aménagement pour l'ouverture au public d'un circuit souterrain sous la place des Héros à Arras est à l'origine des recherches entreprises en 1981 qui ont mis en évidence, dans une galerie obstruée depuis le XVII^e siècle, un puits d'extraction de craie et un front de taille (fig. 5).

Le front de taille montre l'empreinte des blocs arrachés à la paroi, dont les dimensions semblent régulières (1,10 m sur 0,50 m). Sur certains blocs, encore en place, des traces d'outils sont observées.

Le puits avait une triple fonction : accès pour les hommes, acheminement des matériaux et réserves d'eau ; il descend en effet sous le niveau du banc d'extraction pour aboutir à la nappe phréatique. Cette dernière section comblée à l'aide des rebuts de production, a livré un mobilier archéologique qui permet de situer la période d'activité de ce puits au X^e siècle. La partie haute du puits présente une forme circulaire (1,30 m de diamètre) alors que le fond est rectangulaire, probablement pour en permettre le cuvelage.

Peu de réalisations nécessitant l'emploi de la pierre nous sont connues pour cette époque, cependant la muraille et la tour toutes proches, repérées place du Théâtre en 1872, montrent l'utilisation de blocs de craie de moyen appareil dans leur construction. La fortification qualifiée, au moment de la découverte, de castrum gallo-romain, ceint en fait le noyau pré-urbain du X^e siècle. Elle limite l'abbaye Saint-Vaast et ses premiers faubourgs, et vient remplacer l'enceinte érigée entre 883 et 887 pour se prémunir contre les invasions scandinaves.

L'extension vers l'est de la ville à partir du X^e siècle, le long des axes principaux est peut être la cause de la fermeture de ces carrières, qui furent relayées par les puits du XI^e siècle aperçus au cours des fouilles de la Grand Place.

ARRAS

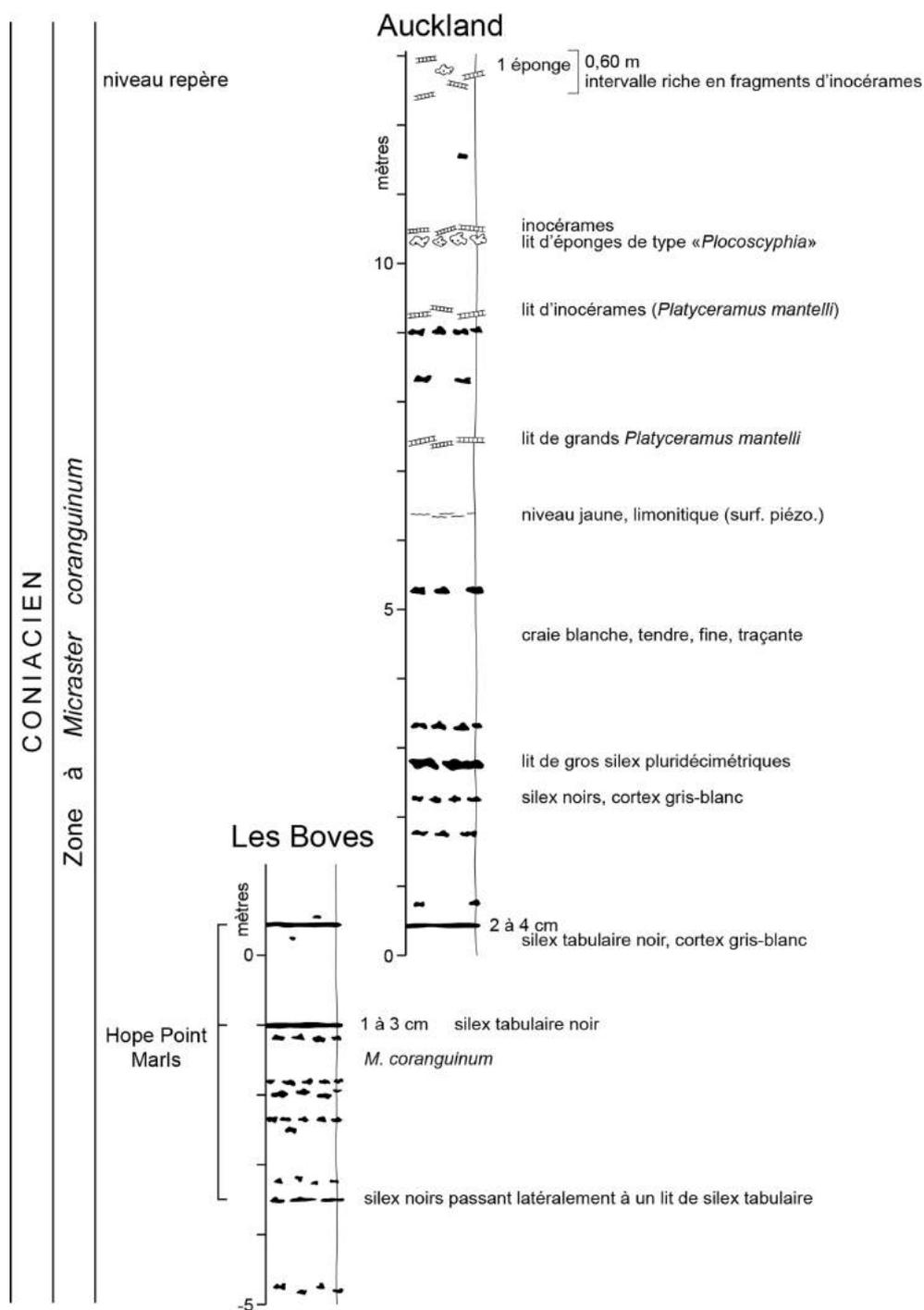


Fig. 4 : Coupe lithologique de la craie à silex coniacienne d'Arras.

Les Hope Point Marls, oblitérés, sont remplacés par de minces lits de silex tabulaires. On se trouve dans la partie inférieure de la zone d'échinides à *Micraster coranguinum*.

Fig. 4 : Lithological section of the Coniacian chalk with cherts of Arras.

The Hope Point Marls, smeared, are replaced by thin beds of tabular flints, The section is located in the lower part of the Echinoidea zone *Micraster coranguinum*.

Les figures 6 et 7 illustrent le mode d'exploitation par «chambres et piliers» qui apparaît à la fin du Moyen Âge et se développe dans le bassin carrier d'Arras jusqu'à la fin du XVII^e siècle.

La période moderne.

Le plus souvent, nous avons à faire à des exploitations ponctuelles, surtout présentes dans les faubourgs sud et est de la ville. De ce fait, malgré leur grand nombre, attesté par les textes et les observations archéologiques, leur lecture reste extrêmement difficile dans le paysage actuel.

Des carrières de craie aux dimensions importantes ont été observées, sous les quartiers Ronville et Saint-Sauveur, dans la partie est de la ville actuelle. La méthode employée dans ces carrières est celle dite «à piliers de réserve» qui consiste à laisser en place des colonnes de pierres à distance régulière destinées à soutenir le ciel des salles d'extraction. Après l'extraction, subsistait ainsi un réseau plus ou moins régulier de galeries et de piliers, d'où le nom, aussi utilisé, d'exploitation par chambres et piliers tournés (fig. 7).

Malgré l'imprécision du tracé des contours des piliers dans les plans disponibles (archives anglaises conservées au service archéologique municipal d'Arras), l'alignement de ceux-ci suivant une direction principale moyenne N 110° apparaît très clairement; deux autres directions, N 165° et N 30°, plus discrètes, sont également identifiables (fig. 8). Comme il est très probable que les carriers aient extrait la roche en s'aidant des fractures naturelles présentes dans celle-ci, l'examen de ces plans fournit une première indication sur le canevas structural régional.

La période contemporaine.

Le développement des quartiers suburbains le long des routes de Cambrai et de Bapaume a entraîné l'abandon des exploitations de craie, mais ces dernières seront réoccupées au cours de la Première Guerre Mondiale quelques mois avant l'offensive du 9 avril 1917. En effet, pour éviter les grandes hécatombes sur-

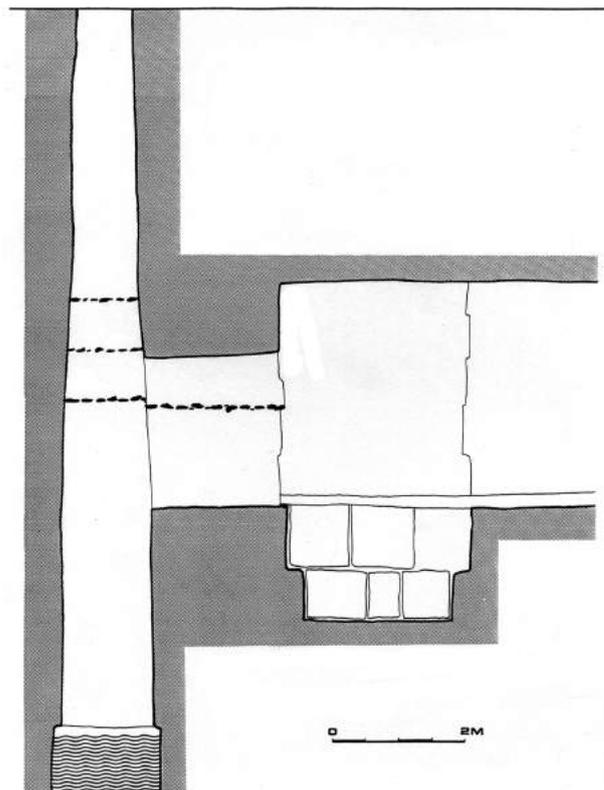


Fig. 5 : Vue en coupe d'un puits d'extraction, d'une galerie et de son front de taille, sous la place des Héros à Arras.

Fig. 5 : Section of an extraction well and a gallery under the *place des Héros*, in Arras.

venues au cours des batailles de Verdun et de la Somme l'année précédente, l'état-major britannique va élaborer un plan ambitieux intégrant ces carrières dans un vaste réseau souterrain (en-



Fig. 6 : Exploitation médiévale de la craie à Arras.

A : Exemple de pilier tourné dans les carrières de Ronville ; B : Galerie d'accès à la carrière Thompson (angle de la rue du Temple et de la rue de Saint-Quentin).

Fig. 6 : Medieval underground quarries of the Arras Chalk.

A: Example of a pillar in the Ronville quarries; B: Corridor access to the Thompson quarry (corner of Temple and Saint-Quentin streets).

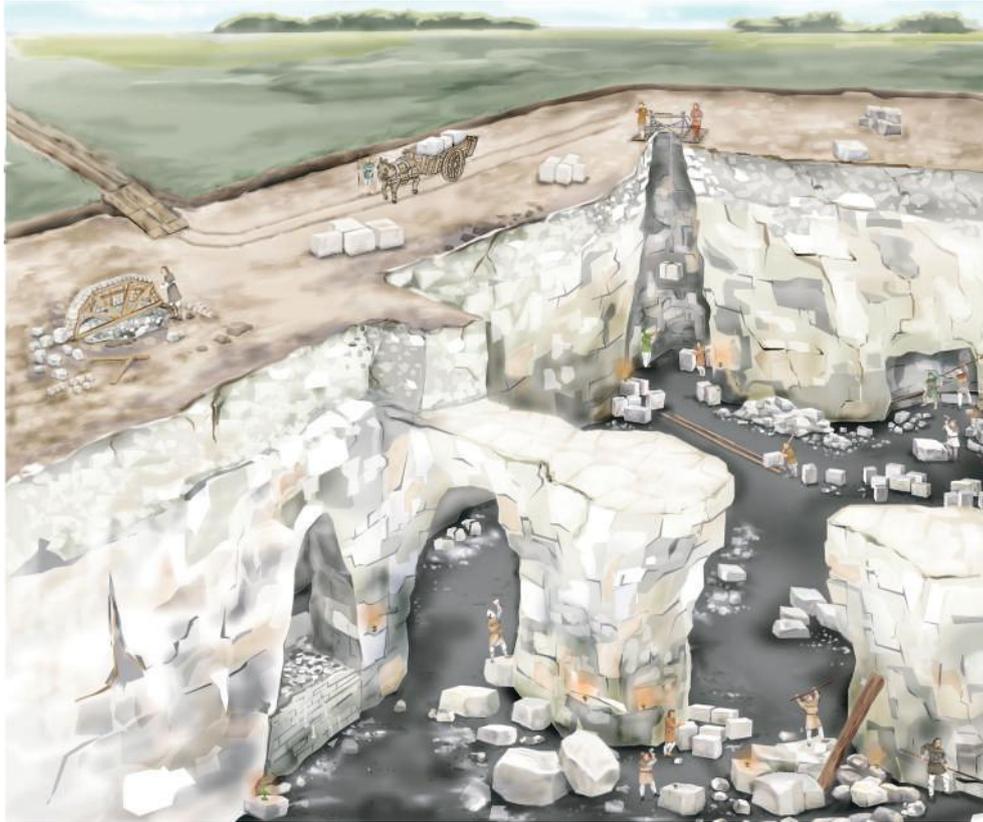


Fig. 7 : Essai de restitution d'une carrière souterraine de craie en cours d'exploitation au Moyen Âge (© M.Redouane/SAM Arras).
La couche supérieure, non exploitée, n'est pas dessinée afin de montrer les galeries et piliers de l'exploitation.

Fig. 7 : Attempt of rendition of a chalk underground quarry, during quarrying, in Middle-Age (© M.Redouane/SAM Arras).
The no quarried upper part is not drawn, in order to show the galleries and the pillars of the exploitation.

viron 20 km) où on pourra concentrer les troupes en grand nombre sans attirer l'attention de l'adversaire et qui permettra aux troupes de surgir à quelques dizaines de mètres devant les premières lignes ennemies (cf. infra, la planification des offensives de 1917).

Au milieu des années 30, les rumeurs persistantes d'une nouvelle guerre avec l'Allemagne décidèrent les autorités locales à aménager en abris de la Défense passive les carrières localisées dans le quartier de la gare, puis celles des faubourgs. Ces abris seront surtout utilisés par les habitants des quartiers de la gare, en particulier en mai 1940 et lors des bombardements anglo-américains de 1944 (fig. 9).

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

La planification des offensives de 1917

Lors de la conférence de Chantilly, le 16 novembre 1916, les états-majors alliés décident des grandes orientations militaires de 1917 : le général français Joffre et le général anglais Haig jettent les bases d'une action commune pour rompre le front allemand. Dans la droite ligne des combats d'Artois de 1915 et pour tirer parti de l'avance anglaise en Picardie, le général en chef Joffre préconise Arras comme pivot de la future offensive du printemps. Toutefois, des changements importants seront apportés au programme initial avec l'arrivée de Nivelle, le 15 décembre 1916, au haut commandement français. Celui-ci entérine le choix d'Arras pour une opération préliminaire compte tenu de la valeur stra-

tégique de cette ville située directement sur le front de l'Ouest. De plus, l'impact hautement symbolique que pourrait revêtir le désenclavement d'une ville de cette importance n'a pas échappé

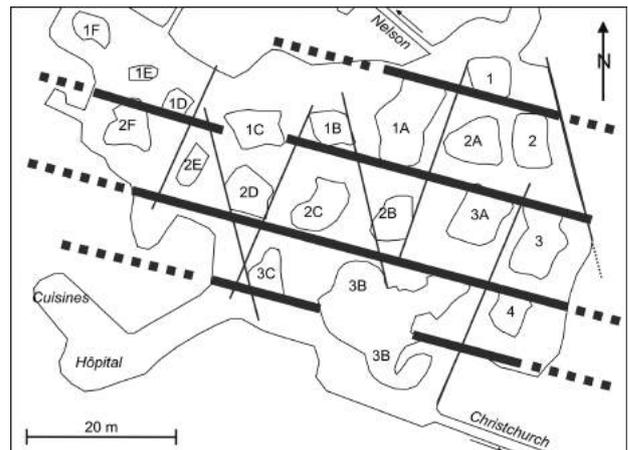


Fig. 8 : plan de la carrière Blenheim (d'après les archives anglaises ; voir localisation précise en fig. 12) montrant les alignements de piliers laissés en place lors de l'exploitation.

Les principales directions structurales utilisées lors de l'exploitation (alignements de piliers) sont soulignées par les traits rectilignes noirs.

Fig. 8 : Map of the Blenheim Quarry (from English archives, see accurate location Fig. 12) showing the alignment of the pillars left in place during the exploitation.

The major structural directions, used during the quarrying (pillars alignment), are highlighted by straight black lines.

au généralissime, récent vainqueur de la bataille de Verdun. La ville d'Arras située en zone britannique fut ainsi pressentie pour être la base de départ d'une offensive de diversion. Cette action combinée avec une attaque d'envergure dans le secteur français, au chemin des Dames, devait attirer les troupes de réserve allemandes. L'offensive d'Artois est alors confiée au haut commandement britannique en la personne du maréchal Haig. Les stratèges anglais, avec à leur tête le général Allenby, allaient rapidement percevoir l'intérêt de faire d'Arras la base de départ de leurs attaques. Le site convenait parfaitement à la concentration discrète de troupes et à leur hébergement sans attirer l'attention des Allemands. Le lieu de la bataille était dès lors fixé et l'objectif serait la prise des villes de Cambrai et de Douai.

Les travaux d'aménagement et les préparatifs de l'offensive de printemps 1917.

C'est à l'occasion d'un programme de recherches sur les carrières d'extraction de pierres exploitées pendant le Moyen Âge à Arras que l'attention des archéologues a été attirée par les nombreux témoignages laissés par le passage de soldats britanniques entre 1916 et 1918 dans ces souterrains (fig. 10). Plusieurs centaines de graffitis ont été relevés, inscriptions, noms, prières, sculptures, dessins, etc. (Desfossés *et al.*, 2008). L'étude des archives réalisée conjointement au travail de terrain, a révélé que ces lieux avaient fait l'objet d'un aménagement dans la perspective de l'offensive du printemps 1917. C'était les premiers pas vers la redécouverte d'une histoire oubliée : la Bataille d'Arras (Girardet *et al.*, 2003).

Les travaux réalisés pour relier les égouts et caves du centre ville aux carrières des faubourgs de Saint-Sauveur et de Ronville, et pour les aménager vont nécessiter près de six mois de pénibles labeurs dans le sous-sol arrageois. Ils commencèrent à la fin de



Fig. 9 : Voûtes de confortation en briques réalisées dans les années 40 dans la carrière Blenheim.

Fig. 9 : Brick strengthening arches made in the 40s in the Blenheim Quarry.

l'année 1916. Pour effectuer ces travaux, l'état-major fit appel aux tunneliers néo-zélandais (*New Zealand Engineers Tunnelling Company*) déjà en place pour des travaux de sape dans le cadre de la guerre des mines. Les équipes de sapeurs néo-zélandais seront régulièrement renforcées, en particulier, par le 9^e bataillon des *Scottish Rifles*, le 28 novembre, et par le 6^e des *King's Own Borderers*, le 30 novembre, ces derniers étant prélevés dans les rangs de la 27^e brigade de la 9^e division. Au milieu du mois de décembre, les hommes du 17^e bataillon du *West Yorkshire Regiment* sont également affectés à cette mission.

Le journal de marche des tunneliers néo-zélandais nous permet de suivre les grandes étapes de l'aménagement des carrières. Le réseau se divise en deux grandes branches parallèles. L'une



Fig. 10 : Indications d'orientations peintes sur les parois et piliers : Latrines pour les officiers et directions des carrières Nelson et Wellington (A), les flèches rouges indiquant les WC sont des inscriptions de 1940 ; Emplacement des cuisines (B) ; Inscriptions gravées par les soldats néo-zélandais (maoris) (C), ceux du corps expéditionnaire britannique (BEF : *British Expeditionary Force*) (D) et ceux des forces armées canadiennes (RHC : *Royal Highland Regiment of Canada*) (E). Toutes les photographies ont été prises dans la carrière Blenheim, sauf la « D » qui provient de la carrière Auckland.

Fig. 10 : Indications of orientation painted on the gallery walls and pillars : Latrines for officers and directions towards Nelson and Wellington quarries (A), red arrows indicating WC date from 1940 ; Location of the kitchens (B) ; Inscriptions engraved by New-Zealand (maoris) soldiers (C), by BEF (British Expeditionary Force) (D) and by the RHC (Royal Highland Regiment of Canada) (E). All pictures were taken in the Blenheim Quarry, except the picture D, which was taken in Auckland Quarry.

située sous la route de Cambrai dans le faubourg Saint-Sauveur et la seconde dans le faubourg Ronville sous la route de Baupaume. Les premiers travaux sont consacrés à la connexion des différentes carrières entre elles (fig. 11). Puis à la mise en sécurité des lieux, c'est-à-dire le boisage systématique des points faibles. Les arbres nécessaires sont abattus dans la forêt de Le Cauroy et préparés à la scierie de Frévent. Au début du mois de janvier, les gros travaux de terrassement en direction des lignes ennemies sont achevés. L'électrification du réseau commence le 15 janvier 1917 dans la cave Nelson. Pour améliorer la circulation des hommes dans ce labyrinthe, les orientations sont peintes à même les murs à partir du 24 janvier (fig. 10). Le transport des matériaux et de la nourriture est facilité à compter du 25 du même mois avec la mise en place de voies ferrées de 60 cm (fig.11). Parallèlement à ces installations, des travaux sont également entrepris dans la ville. Les caves de la Grand Place sont reliées entre elles le 2 février. L'entrée principale du réseau dite « Porte de fer » située au 3 de la rue du Saumon est réalisée le 14 février.



Fig. 11 : Galerie creusée par les tunneliers néo-zélandais en 1916. On aperçoit au sol les traces de l'implantation des rails de la voie ferrée de 60 cm.

Fig. 11 : Gallery dug by the New-Zealand tunnelers in 1916. Traces of rails implantation from the 60cm- railroad can be observed on the floor.

Avant la fin de ce mois, on assiste à la connexion des caves de la Petite Place. Pour répondre aux besoins élémentaires des hommes, des cuisines sont aménagées ainsi que plusieurs antennes médicales. L'approvisionnement en eau des cuisines et des lavoirs est assuré par des canalisations ou des puits. Les latrines pour officiers et hommes du rang sont installées dans chaque salle. Sans satisfaire pleinement aux règles sanitaires en usage dans l'armée anglaise pour l'installation d'un campement provisoire, les carrières d'Arras offraient cependant une grande sécurité malgré la proximité du front et un relatif confort aux hommes avant leur montée aux lignes. La fin du mois de mars voit l'achèvement de ces travaux souterrains, les plus importants jamais réalisés par l'armée britannique dans ce domaine. Le 3 avril 1917, un premier bataillon peut utiliser les galeries et passer de la Grand Place aux carrières du quartier Saint-Sauveur. A partir de ce moment, la présence des troupes combattantes qui se succèdent dans les sous-sols arrageois est toujours de courte durée.

La bataille d'Arras, 9 avril 1917.

Le réseau de carrières à la veille de la Bataille d'Arras.

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 tunnel Saint-Sauveur est de 2 000 hommes et de 9 400 dans les cantonnements souterrains de Ronville. Pour rendre ces lieux plus familiers aux troupes qui séjournent dans cette véritable cité souterraine, mais également pour rendre hommage à leurs concepteurs qui avaient œuvré dans des conditions souvent difficiles, les différents secteurs de ce cantonnement sont baptisés de noms de villes d'où ils étaient originaires (fig. 12). Le réseau est constitué de deux artères principales, la branche Saint-Sauveur est dévolue aux Écossais de la 9^e division avec des noms tels que Carlisle et Glasgow ou aux membres de la 35^e division avec Manchester, Liverpool ou Chester. La branche Ronville qui devient la sphère exclusive des tunneliers néo-zélandais à compter du 12 février 1917, est entièrement dotée de noms de villes néo-zélandaises. Il faut ici remarquer une certaine similitude entre la disposition topographique de ces appellations et la position géographique de ces villes dans les îles néo-zélandaises (de Russell au nord à Bluff au sud).

Le Jour J.

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 surgissent dès l'aube à quelques mètres de la 1^{re} ligne allemande. Profitant de l'effet de surprise, ils atteignent rapidement leur objectif avec des pertes relativement faibles. Ne bénéficiant plus de cette protection des souterrains, les jours suivant verront les pertes humaines s'intensifier pour atteindre le chiffre terrible d'une moyenne de 4 000 morts par jour. Au nord du front de la Bataille d'Arras, la première armée britannique constituée des quatre divisions canadiennes sous les ordres du général Horne s'élance à l'assaut de la colline de Vimy. La maîtrise de cette crête permettra à la 3^e armée du général Allenby de progresser en direction de Douai, important nœud de communication. Cette armée à également comme objectif le village de Monchy-le-Preux qui commande l'accès à la vallée de la Scarpe et qui risque d'entraver la marche en direction de Cambrai, autre centre important dans le système militaire allemand. La 5^e armée du général Gough, placée au sud du dispositif offensif, a pour tâche la prise du village de Bullecourt, point d'appui stratégique intégré dans la ligne Hindenburg. Les deux premiers jours de la Bataille d'Arras furent

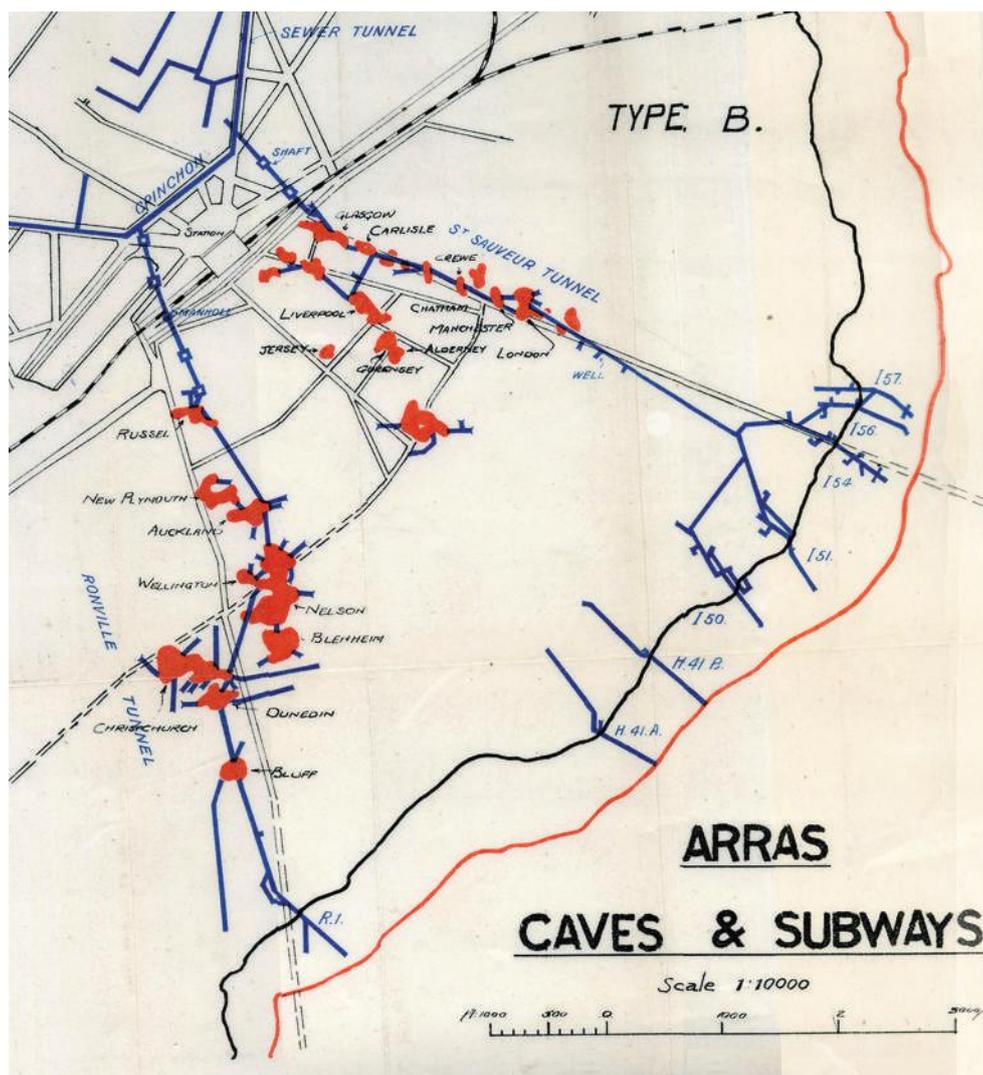


Fig. 12 : Plan des réseaux de Ronville et de Saint-Sauveur (Secretary Institution of Royal Engineers, 1922).

Fig. 12 : Map of the Ronville and Saint-Sauveur networks (Secretary Institution of Royal Engineers, 1922).

couronnés de succès avec la prise des villages de Thélus, Farbus, Saint-Laurent-Blangy, Feuchy, Athies, Fampoux ainsi que Tilloyles-Mofflaines et Neuville-Vitasse. La conquête de la colline de Vimy va placer sous le feu de l'artillerie anglaise les villages de Givenchy-en-Gohelle, Vimy, Willerval et Bailleul-Sire-Berthoult, entraînant ainsi leur abandon par les Allemands. Le village et la colline de Monchy-le-Preux sont investis, après d'âpres combats, dans le courant du 11 avril. Le lendemain, Wancourt et Héninel tombent également entre les mains des troupes alliées. Cette avance rapide oblige les Allemands à une retraite stratégique sur leur 2^e ligne de défense. Mais avec l'arrivée d'importants renforts, de vigoureuses contre-attaques sont lancées dès le 14 avril et enrayent l'offensive britannique. La brèche du premier jour effectuée avec de faibles pertes n'a pu être exploitée. La bataille s'enlise dans des actions locales. Dans le même temps, l'offensive principale réalisée au Chemin des Dames connaît un cuisant échec. Malgré ces revers, le Field Marshall Haig poursuit son action sur une ligne Gavrelle – Roeux – Guémappe - Fontaine-les-Croisilles. Ces attaques destinées à retenir un maximum de soldats ennemis pour soulager les Français, sont également rendues nécessaires pour la création d'un nouveau front cohérent et défendable.

Un bilan mitigé.

Le bilan de la Bataille d'Arras, qui s'est déroulée du 9 avril au 17 mai, n'est cependant pas négligeable, au-delà des 20 000 allemands faits prisonniers et de la saisie d'un important stock d'armes. Le gain de terrain a permis le recul de la zone de combat sur une profondeur d'une dizaine de kilomètres et le désenclavement de la ville d'Arras qui subissait des bombardements depuis octobre 1914. Il faut toutefois pondérer ce succès ponctuel par les pertes qu'il a engendrées dans les effectifs alliés. Un peu plus de 150 000 hommes ont été mis hors de combat durant les mois d'avril et mai 1917. Le total des pertes, du côté allemand, est plus difficile à évaluer faute de sources fiables, mais peut être estimé à 120 000. La grande offensive allemande de mars 1918 reprendra le terrain durement acquis au printemps 1917.

L'arrivée des troupes allemandes aux portes d'Arras provoqua la réutilisation du réseau souterrain qui servira de base de départ à l'avancée canadienne lors de l'offensive de la fin du mois d'août 1918. Après la guerre, l'armée britannique assura la fermeture des accès.

ANALYSE DES DÉFORMATIONS CASSANTES DANS LES CARRIÈRES DE RONVILLE ET LES BOVES.

On a vu ci-dessus (fig. 8) que les plans des carrières, malgré leur imprécision, suggéraient que l'exploitation avait dû être largement guidée par les fractures naturelles, tectoniques, de la craie. L'exploitation par chambres et piliers offre par ailleurs l'avantage de pouvoir observer ces fractures dans toutes les directions et ainsi de ne pas minimiser ou au contraire exagérer la prédominance d'une direction par rapport à une autre, comme c'est souvent le cas dans les carrières à ciel ouvert. Une étude détaillée des 4 carrières accessibles (Auckland, Wellington, Nelson et Blenheim) dans le faubourg de Ronville (fig. 12) a permis de cartographier et de mesurer avec précision ces fractures, ainsi que d'en caractériser les mécanismes.

La carrière Wellington.

La carrière Wellington est la plus importante en taille des quatre carrières étudiées et aussi celle qui présente la meilleure accessibilité, une grande partie ayant été aménagée en circuit touristique (Jacques et Mortier, 2008). Un plan exact en a, par ailleurs, été établi au moment de son aménagement, ce qui a permis un report précis des plans de fractures majeurs. Seule la partie centrale n'a pu être cartographiée en raison des murets ou tas de déblais qui en empêchent l'accès.

Les relevés effectués dans cette carrière montrent que les côtés des piliers sont très souvent constitués par des plans de fractures (failles ou diaclases) corroborant ainsi l'hypothèse d'une exploitation de la roche largement guidée par la fracturation tectonique existante (fig. 13, 14A et 15A).

Les fractures mesurées (561 failles et diaclases) se répartissent en deux familles bien marquées, ESE-ONO et subméri-dienne, caractérisées par des plans qui peuvent être suivis sur plusieurs dizaines de mètres aussi bien horizontalement que verticalement, et une troisième famille moins significative car plus dispersée en direction et moins développée en nombre et en taille, NE-SO à ENE-OSO (fig. 14B).

On est frappé par l'extrême homogénéité directionnelle des deux familles principales : 29% des fractures ont un azimut compris entre 105° et 125°, et 31% un azimut compris entre 160° et 180°. Ainsi 60% des fractures appartiennent à des familles azimutales dont la dispersion est inférieure à 20°. Une troisième famille, faiblement représentée (13% des mesures), peut être distinguée, plus dispersée en direction entre les azimuts 40° et 75° (fig. 14B)

Les plans N160°-180° sont sub-verticaux (96% ont un pendage entre 80° et 90°) et portent très fréquemment des traces de mouvement décrochant (40% des plans de cette famille). Pour la majorité de ces plans, le sens senestre est indiscutable et les *pitches* (angle entre la strie et l'horizontale sur le plan de faille) varient entre 0° et 25° (fig. 15 et 16A-B). Dans l'ensemble de la carrière, seuls deux plans potentiellement conjugués ont été suspectés, un plan N108°- 59°S portant deux familles de stries dont les *pitches* sont 86°W (jeu probablement normal) et 0° et un plan N110°-90° avec une strie dont le *pitch* est de 5°N. Cependant les sens sur ces plans ne sont pas déterminables; si les stries décrochantes étaient dextres, elles pourraient correspondre au jeu antithétique de celui des failles senestres submériennes, mais il est toutefois délicat de se fonder sur ces seuls plans peu concluants pour définir une famille conjuguée. Quoiqu'il en soit

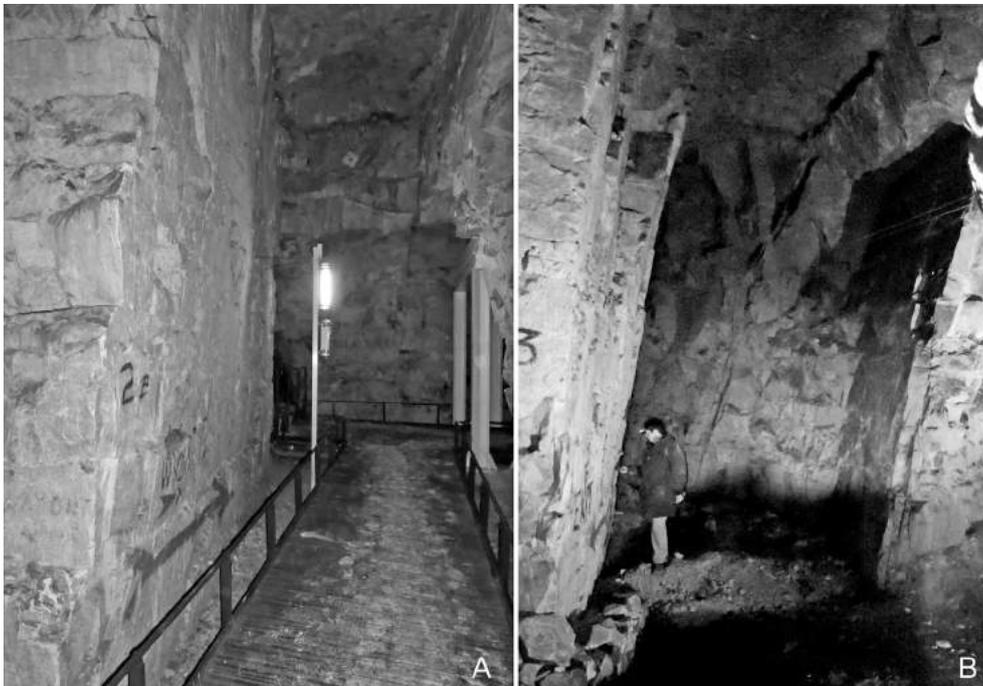


Fig. 13 : Exemples de fractures formant les côtés des piliers dans la carrière Wellington.

A: Diaclase (az. 112°, subverticale) sur un côté du pilier 2B; B: Failles normales (az. 100° à 105°, pendage 75°N) sur le côté du pilier 3 et la paroi de la carrière.

Fig. 13 : Examples of fractures shaping the sides of the pillars in the Wellington Quarry.

A. Joint (az. 112°, subvertical) on one side of the pillar 2B; B. Normal faults (az. 100° to 105°, dip 75°N) on a side of pillar 3 and on the wall of the quarry.

la direction de σ_1 varie peu si on inclut ou non les décrochements supposés dextres dans le calcul (fig. 16C).

L'état de contrainte lié à cette famille de décrochements senestres subméridiens ne peut être caractérisé avec précision non seulement en raison de l'absence (ou non certitude) de la famille conjuguée, mais aussi à cause de la trop grande régularité directionnelle des décrochements senestres. Le régime tectonique correspondant est globalement en compression NO-SE/extension NE-SO.

Les plans N 105°-125° présentent des pendages généralement forts, 90% d'entre eux étant compris entre 75° et 90° (fig. 17A), Cette famille de plans comprend à la fois des diaclases, sans mouvement apparent, de vraies failles normales mais ne por-

tant que rarement une striation, et probablement des « joints hybrides » *sensu* Hancock (1985). Les stries, quand elles existent sur les failles, sont *dip-slip* (suivant la ligne de plus grande pente) et caractérisent un état de contrainte en extension NNE-SSO (fig.17B). Les rejets verticaux sont la plupart du temps impossibles à estimer car les niveaux repères sont rares. Les lits de rognons de silex sont trop irréguliers pour pouvoir mesurer les faibles rejets, seuls les décalages des lits de silex tabulaires autorisent des mesures exactes (fig.17C). Les rejets mesurés dans ces cas là sont de l'ordre de la dizaine de centimètres.

Les autres plans mesurés dans la carrière ont, pour l'essentiel, des directions comprises entre N 40° et N 75° (fig. 14B). Il s'agit presque toujours de plans d'extension limitée, que ce soit hori-

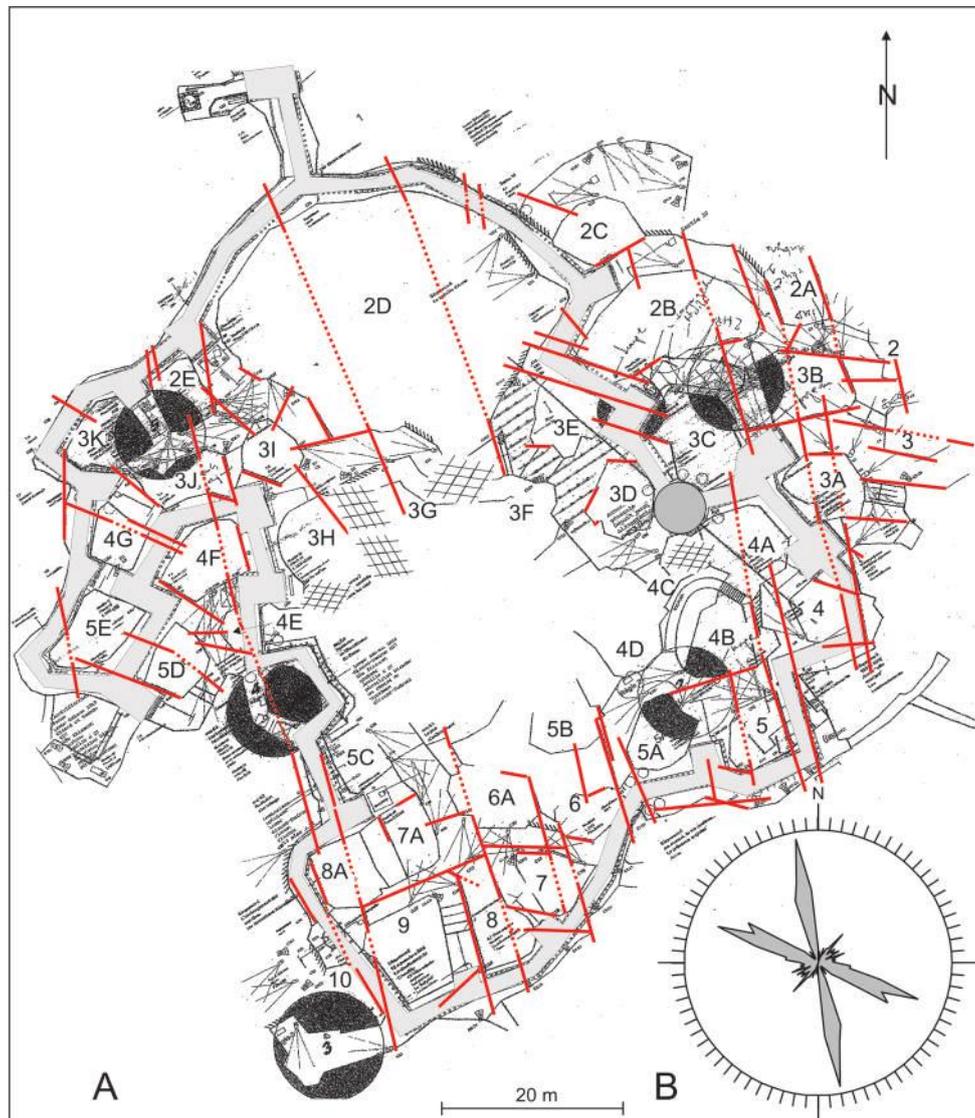


Fig. 14 : Carte des plans de fracture pluri-métriques à pluri-décamétriques (en rouge) relevés dans la carrière Wellington (A) et rosace directionnelle de l'ensemble des 561 fractures (failles et diaclases) mesurées (B).

Plan de la carrière : Ville d'Arras, direction des services techniques. Le tracé et le cercle en grisé représentent le parcours touristique et l'ascenseur. Les hachures entrecroisées indiquent les murets et/ou tas de déblais.

Fig. 14 : Map of plurimetric to pluri-decametric fracture planes (in red) measured in the Wellington Quarry (A) and rose diagram of the 561 fractures measured (faults and joints) (B).

Map of the quarry from the Technical Service Branch of the town of Arras. The shaded delineation and circle represent the touristic tour and the elevator, respectively. Cross hatchings indicate low-wall or pile of debris.

zontalement ou verticalement. Aucune strie n'y a été observée à l'exception de deux plans N54° - 66°N et N70°-70°S portant des stries normales.

C'est dans la carrière Wellington que les observations et les mesures ont été les plus nombreuses, grâce d'une part à l'accès aux piliers facilité par le cheminement mis en place et d'autre part à l'existence d'un plan précis de toute la partie accessible au public. Des trois carrières étudiées situées au nord (Auckland) et au sud (Nelson, Blenheim), seule la plus méridionale, Blenheim, offre des conditions d'observations et de mesures comparables à celles de Wellington. La carrière Auckland est plus petite et certaines parties sont inaccessibles à cause des déblais accumulés. La carrière Nelson est d'une taille similaire à celle de Wellington, mais de nombreux piliers y sont dégradés, surtout en partie basse (e.g. fig. 6) et souvent les plans plurimétriques ne sont mesurables qu'en visée, en haut des piliers ou au ciel de la carrière. Enfin, l'approximation des tracés des plans anglais disponibles dans ces trois carrières, a parfois gêné l'établissement de relevés cartographiques aussi précis que dans la carrière Wellington.

La carrière Auckland.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, on ne présente pas ici une cartographie complète de la fracturation. Néanmoins 272 plans de failles et diaclases ont été mesurés dans l'ensemble de la carrière ainsi que dans le couloir entre celle-ci et Wellington et les 3 escaliers des sorties 5, 6 et 7.

Comme dans la carrière Wellington, deux familles se distinguent nettement et comprennent tous les plans plurimétriques observables dans la carrière : 30% des mesures sont comprises dans l'intervalle N 100°-130° et 15% dans celui N 160-175°. La troisième famille existe également, avec des azimuts de 20° à 85° ; elle semble comporter deux pics distincts à N 25° (7% des mesures) et N 75° (12% des mesures) (fig. 18A).

Les plans subméridiens, subverticaux, montrent fréquemment des traces d'un mouvement décrochant senestre; là encore l'absence de décrochements conjugués dextres est flagrante, un seul plan d'azimut 113° porte des traces d'un mouvement possiblement dextre, mais dont les stries sont peu nettes. En toute rigueur, l'état de contrainte, globalement en compression NO-SE/extension SO-NE, ne peut être caractérisé avec une bonne précision (fig. 18B), en raison de la faible dispersion azimutale des failles, même en tenant compte du plan supposé dextre dans le calcul du tenseur.

Les plans N 100°-130° représentent pour l'essentiel des diaclases, seuls 11% d'entre eux sont probablement de réelles failles normales avec un plongement de 60° à 70° et 6% seulement portent des stries *dip-slip* (fig. 19). L'état de contrainte calculé indique une direction d'extension N 27° (fig. 18C). Une zone broyée de même direction a également été observée dans les couloirs des sorties 5 et 6 (cf. infra, observations complémentaires).

La carrière Nelson.

Il a été difficile, là aussi, de dessiner une carte complète des plans majeurs, cependant 307 mesures de fractures ont été effectuées dans la totalité de cette carrière.

Comme dans les autres carrières décrites ci-dessus, deux familles sont clairement identifiables et représentent 67% de l'ensemble des mesures : N 100°-130° (44%) et N 165°-180° (23%), le reste des mesures est très dispersé et ne permet pas de caractériser une autre famille notable (fig. 20A).

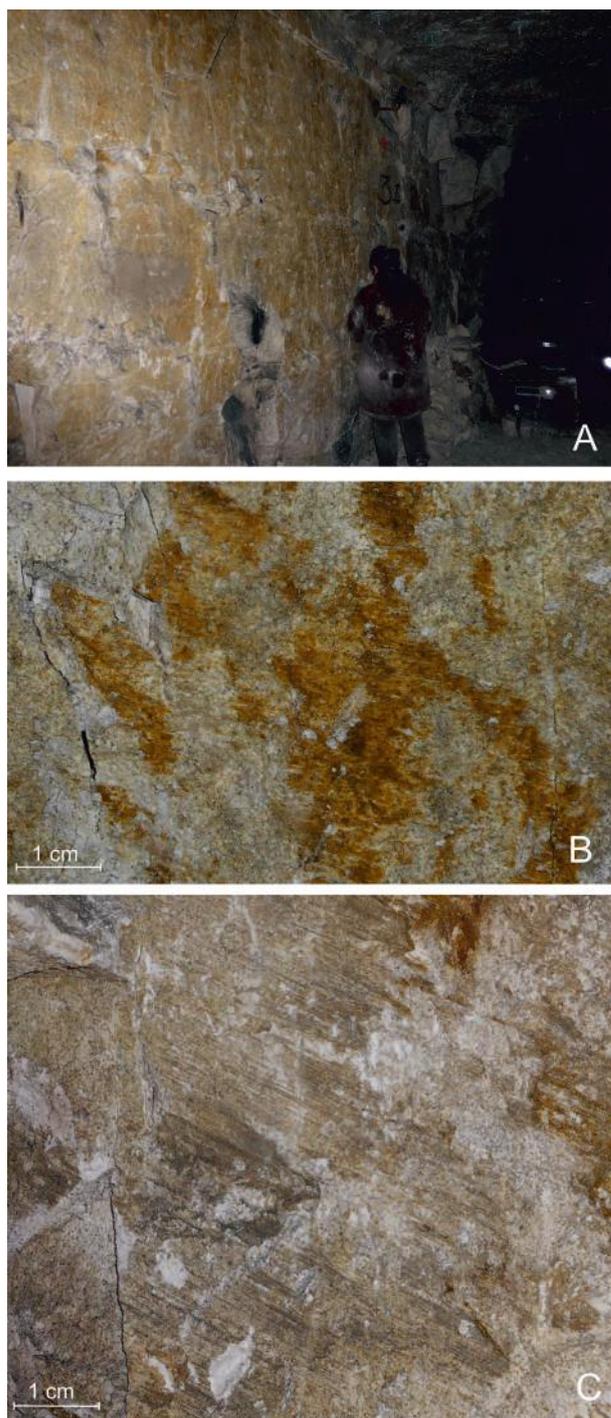


Fig. 15 : Exemples de décrochements senestres dans la carrière Wellington.

A : Plan d'az. 160°, subvertical formant un des côtés du pilier 3B ; B : Détail des stries sur un plan d'az. 165°, subvertical sur le pilier 2D, l'alternance de zones lissées (striées) et rugueuses indique un mouvement senestre ; C : Détail des stries sur un plan N174°-82°E, sur la paroi en face du pilier 5E, les traces laissées par des objets striateurs indiquent un mouvement senestre.

Fig. 15 : Examples of left-lateral strike-slip faults in the Wellington Quarry.

A : Subvertical fault plane of az. 160°, forming one side of the pillar 3B ; B : Detail of the striae on a subvertical plane of az. 165°, on the pillar 2D, alternation of striated and rough zones indicates a left-lateral motion ; C : Detail of the striae on a plane N174°-82°E, wall of the quarry close to the pillar 5E, the traces left by striating objects indicate a left-lateral motion.

Les jeux senestres sont clairs sur les plans subméridiens, aucun jeu conjugué dextre n'a pu être observé, tout au plus peut-on supposer un tel mouvement sur deux plans d'azimuts 118° et 122° qui portent des stries subhorizontales mais dont le sens n'est pas déterminable. Là encore l'état de contrainte, globalement en compression NO-SE/extension SO-NE, est caractérisé avec une faible précision (fig. 20B).

La famille de plans N 100°-130° est représentée quasi exclusivement par des diaclases. Il faut cependant noter que ceci est peut-être un artéfact dû au fait qu'il n'a pas été possible de mesurer les pendages des plans pris en visée au ciel de la carrière, pas plus que de déterminer leur éventuel sens de mouvement. Cependant deux vraies failles normales (portant des stries) ont été relevées sur les piliers, d'azimuts 100° et 108° et plongeant vers le nord. L'une d'elles montre clairement un décalage de quelques centimètres d'un lit de silex tabulaire.

La carrière Blenheim.

Le bon état de la carrière et sa taille permettent d'effectuer un relevé *quasi* exhaustif des fractures majeures, plurimétriques, même si les plans anglais disponibles sont assez grossiers (fig. 21A). L'exploitation y a été particulièrement bien réglée, les côtés des piliers sont très fréquemment des plans de fractures (fig. 22A) de même que les parois rocheuses en limite de la carrière sont fréquemment constituées par des plans remarquablement réguliers sur de grandes distances (fig. 22B et 23).

Comme dans la carrière Wellington les directions de fractures (405 failles et diaclases mesurées ; fig. 21B) se distribuent en deux familles, autour de N 110° et de N 170°, avec ici une prépondérance certaine de la famille N 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, avec cependant, un petit pic à N 20°-35° représentant 5% des mesures. La surabondance des fractures ESE-ONO par rapport à celles subméridiennes est peut-être due au fait que, à Blenheim plus que dans les autres carrières, l'exploitation a été très nettement guidée par cette famille ce qui en favorise *de facto* la visibilité.

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. L'état de contrainte est, ici encore, globalement en compression NO-SE/extension SO-NE (fig. 24A-B).

Les plans N 100°-130 sont, comme dans les autres carrières, généralement très redressés et sont, pour l'essentiel, des diaclases. Une seule faille normale, d'az. 108° et plongeant vers le nord, a pu être observée (fig. 24C).

Les Boves.

Aucune faille n'a pu être identifiée en tant que telle dans les Boves où les conditions d'observations des plans de fractures sont mauvaises en raison du développement d'algues vertes sur la craie, dû aux conditions d'éclairage des carrières. Les 41 fractures mesurées indiquent deux directions principales : NO-SE, avec 61 % des directions de fractures comprises entre N 130° et N 145°, et ENE-OSO avec 12% de celles-ci, entre N 50° et N 65° (fig. 25A). La famille subméridienne n'est pas présente, en revanche il existe des fractures de direction ESE-ONO. En raison du nombre de fractures mesurées, il est difficile de tirer des conclusions de cette sous-représentation des directions si mar-

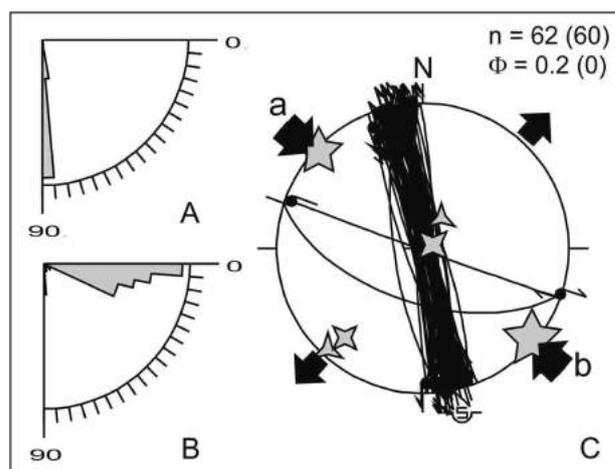


Fig. 16 : Analyse des décrochements de la carrière Wellington.

A : Diagramme de valeurs des pendages des 172 plans d'az. 160° à 180° mesurés ; B : Diagramme de valeurs des *pitches* ; C : Population des décrochements et détermination du tenseur moyen des contraintes. La direction de la contrainte principale maximale σ_1 ne varie pratiquement pas suivant que l'on inclut (a) ou non (b) dans le calcul les décrochements dextres (σ_1 respectivement 133° et 130°). 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, quand il est connu, 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), intermédiaire (σ_2) et minimale (σ_3); grosses flèches noires : directions de compression et/ou d'extension. 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 utilisées pour le calcul (n).

Fig. 16 : Analysis of strike-slip faulting in the Wellington Quarry.

A : Dip values diagram of the 172 planes of az. 160° to 180° measured; B : pitch values diagram ; C : Population of strike-slip faults and determination of the average stress tensor. The trend of the principal maximal stress σ_1 practically does not vary if the right-lateral strike-slip faults are included (a) or not (b) in the computation (σ_1 : 133° et 130°, respectively). Used inversion method : 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 are directions 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.

quées dans les carrières de Ronville. La grande majorité des fractures sont subverticales : 80% d'entre elles ont un pendage compris entre 80° et 90° (fig. 25B). La quasi verticalité des fractures observées laisse à penser que celles-ci représentent pour l'essentiel des diaclases.

Observations complémentaires.

La grande majorité des fractures se présentent sous la forme de plans uniques et généralement extrêmement réguliers (e.g. fig. 22). Elles se groupent parfois en couloirs de largeur métrique à plurimétrique, comprenant plusieurs plans parallèles espacés de 10 à 50 cm, parfois légèrement ouverts et remplis d'argiles (fig. 26A).

Les plans décrochants de la famille N 160°-180° sont systématiquement recouverts d'une très fine pellicule argileuse jaune

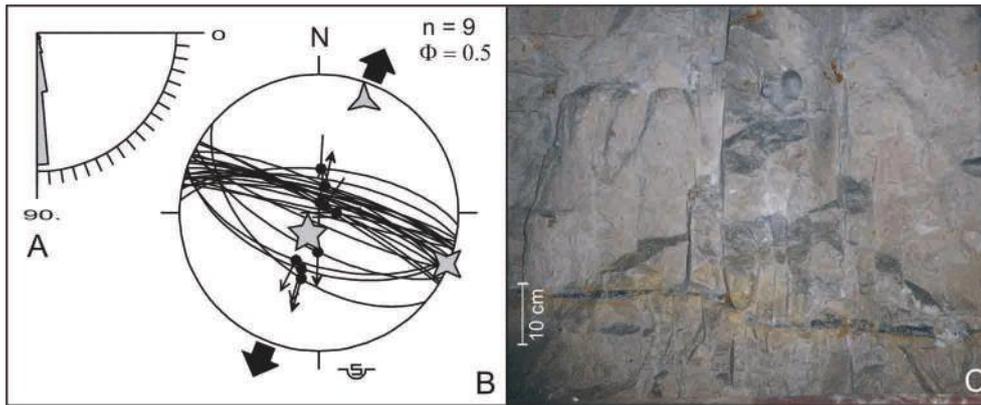


Fig. 17 : Analyse des failles normales et diaclases de la carrière Wellington.

A : Diagramme de valeurs des pendages des 155 fractures (failles normales et diaclases) d'az. 105° à 125° mesurées ; B : Population des vraies failles normales et détermination du tenseur moyen des contraintes. La direction de la contrainte principale minimale σ_3 est N 22°. Légende du diagramme, voir Fig. 16 ; C : Faille normale très redressée d'az. 110° à pendage 80° à 85°S, décalant d'une dizaine de centimètres un niveau de silex tabulaire, pilier 5D.

Fig. 17 : Analysis of normal faulting and joints in the Wellington Quarry.

A : Dip values of the 155 fracture planes measured (normal faults and joints) of az. 105° to 125° ; B : Population of true normal faults and determination of the average stress tensor. The trend of the principal minimal stress σ_3 is N22°. Diagram caption, see Fig. 16 ; C : Very steep normal fault of az. 110°, dip 80° to 85°S, shifting of ten centimeters a tabular flint level, pillar 5D.

(e.g. fig. 15), ce qui est plus rarement le cas des plans de la famille N 105°-125°, du moins en ce qui concerne les diaclases.

Enfin, il arrive très occasionnellement que certaines failles soient largement ouvertes et remplies d'argiles ocre et de débris de craie (fig. 26B-C), traduisant l'existence d'un épisode tectonique extensif postérieur au jeu décrochant ou normal.

L'analyse des différents remplissages et enduits argileux est actuellement en cours.

DISCUSSION TECTONIQUE.

Un total de 1715 failles et diaclases ont été mesurées dans l'ensemble des 4 carrières de Ronville (incluant aussi les couloirs

reliant ces carrières et la petite carrière située au sud-ouest de la carrière Wellington) et dans les Boves. Les observations effectuées mettent en évidence deux familles directionnelles importantes (fig. 27A) :

- ✓ une famille N 105°-125°, correspondant à 36% des plans mesurés et représentant un ensemble de grands décrochements senestres,
- ✓ une famille N 160°-180°, correspondant à 21% des plans mesurés et comprenant de très nombreuses et longues diaclases ainsi que des failles normales. Les plans de cette famille, et principalement ceux des failles normales, plongent préférentiellement vers le sud (fig. 27B)

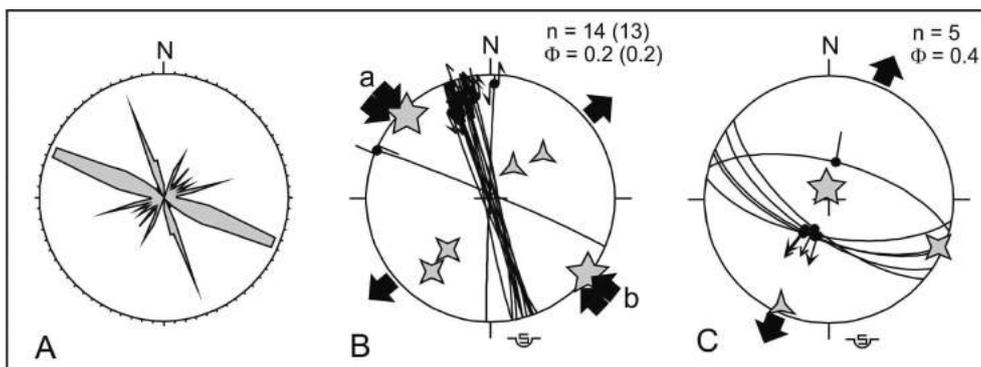


Fig. 18 : Analyse des fractures de la carrière Auckland.

A : Rosace directionnelle des 272 fractures (failles et diaclases) mesurées ; B : Population des décrochements et détermination du tenseur moyen des contraintes. La direction de la contrainte principale maximale σ_1 varie de N 135° à N 128° suivant que l'on inclut (a) ou non (b) le décrochement dextre dans le calcul ; C : Population des failles normales et détermination du tenseur moyen des contraintes. La direction de la contrainte principale minimale σ_3 est N 22°. Légende des diagrammes, voir Fig. 16.

Fig. 18 : Analysis of fracturing in the Auckland Quarry.

A : Rose diagram of the 272 fracture planes measured (faults and joints) ; B : Population of strike-slip faults and determination of the average stress tensor. The trend of the principal maximal stress σ_1 varies from 135° to 128° if the right-lateral strike-slip faults are included (a) or not (b) in the computation ; C : Population of normal faults and determination of the average stress tensor. The trend of the principal minimal stress σ_3 is N 22°. Diagram caption, see Fig. 16.

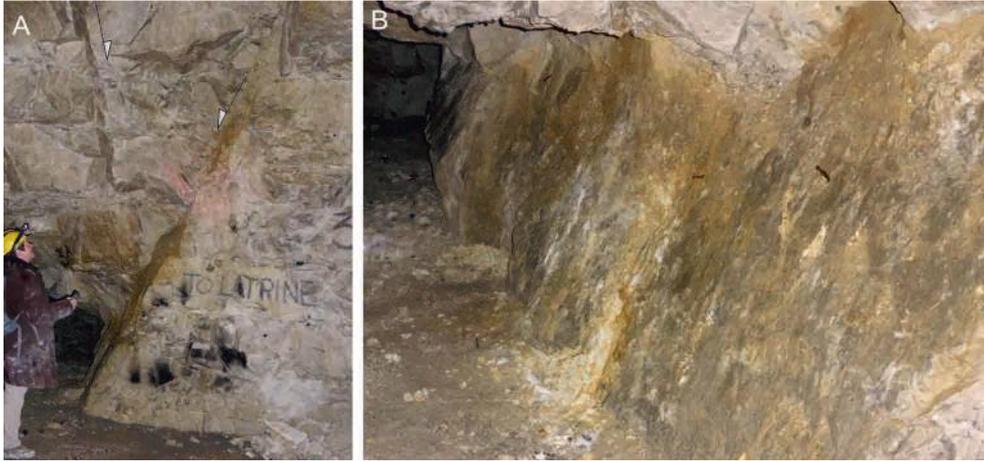


Fig. 19 : Exemple de faille normale dans la carrière Auckland.

A : Plan normal N114°-64°S, pilier 3A. Noter en haut à gauche la présence d'un plan pseudo-conjugué plongeant vers le nord; B: Détail des stries *dip-slip* sur le plan de faille.

Fig. 19 : Example of a normal fault in the Auckland Quarry.

A : Normal fault N114°-64°S, pillar 3A. Note in the upper-left part of the photograph the existence of a pseudo-conjugate plane dipping to the North ; B: Detail of *dip-slip* striae on the normal fault plane.

Les autres fractures (43% des plans) sont beaucoup plus dispersées en direction, elles représentent essentiellement des diaclases et sont en général peu développées spatialement (de dimension généralement métriques). Même si on est, localement, tenté de distinguer une troisième famille, l'analyse de l'ensemble des mesures montre qu'en fait elles se répartissent dans toutes les directions, elles sont toutefois un peu plus nombreuses dans le quart nord-est que dans le quart sud-ouest.

Il convient aussi de noter que les plans majeurs, qui peuvent être suivis dans les carrières sur une ou plusieurs dizaines de mètres (voire une centaine de mètres) sont représentés quasi exclusivement par les deux directions principales (cf. fig. 14A et 21A).

Régimes de contrainte et chronologie.

Les traces de mouvement portées par les failles révèlent l'existence d'au moins deux régimes tectoniques bien marqués:

- ✓ un régime décrochant, représenté par des couloirs de décrochements senestres subméridiens et caractérisé par un état de contrainte grossièrement en compression NNO-SSE/extension OSO-ENE,
- ✓ un régime extensif, marqué par des failles normales conjuguées ESE-ONO, mais aussi par d'abondantes diaclases, et caractérisé par un état de contrainte en extension NNE-SSO.

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.

L'analyse des recouvrements de fractures, quand il est possible de les observer dans les piliers ou au ciel de carrière, indique parfois – mais pas systématiquement – un recouvrement des plans ESE-ONO par les plans subméridiens. Le report des accidents les plus importants sur le plan de la carrière Wellington (fig. 14A) semble montrer également une continuité spatiale plus importante des plans subméridiens. Il faut toutefois noter que les plans N 105°-125° étant majoritairement des diaclases, le fait

qu'ils ne traversent pas les plans N 160°-180° n'est pas une preuve de leur antériorité, ils peuvent en effet leur être postérieurs et venir buter contre eux. Par ailleurs, dans la carrière Blenheim, ces mêmes plans ESE-ONO se suivent sur des distances équivalentes à celles des plans subméridiens (fig. 21A). En fait, le plus souvent, dans l'ensemble des 4 carrières étudiées, les plans des deux familles se coupent sans qu'aucun décalage ne soit observé et sans que l'une des familles viennent se terminer contre l'autre. Il est donc, au final, impossible d'établir une chronologie relative à partir des recouvrements de fractures.

Par ailleurs, les superpositions de stries sur les fractures sont extrêmement rares - nous n'avons pu en observer que 9 sur les

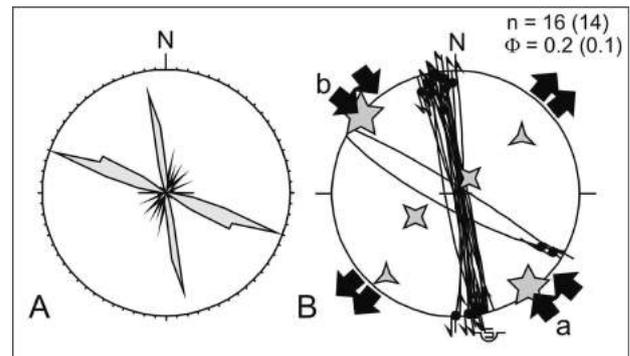


Fig. 20 : Analyse des fractures de la carrière Nelson.

A : Rosace directionnelle des 307 fractures (failles et diaclases) mesurées ; B : Population des décrochements et détermination du tenseur moyen des contraintes. Légende du diagramme, voir Fig. 16. La direction de la contrainte principale maximale σ_1 varie de N 142° à N 130° suivant que l'on inclut (a) ou non (b) dans le calcul les décrochements dextres.

Fig. 20 : Analysis of fracturing in the Nelson Quarry.

A : Rose diagram of the 307 faults and joints measured ; B : Population of strike-slip faults and average stress tensor. Diagram caption, see Fig. 16. The trend of the principal maximal stress σ_1 varies from 142° to 130° if the supposed right-lateral strike-slip faults are included (a) or not (b) in the computation.

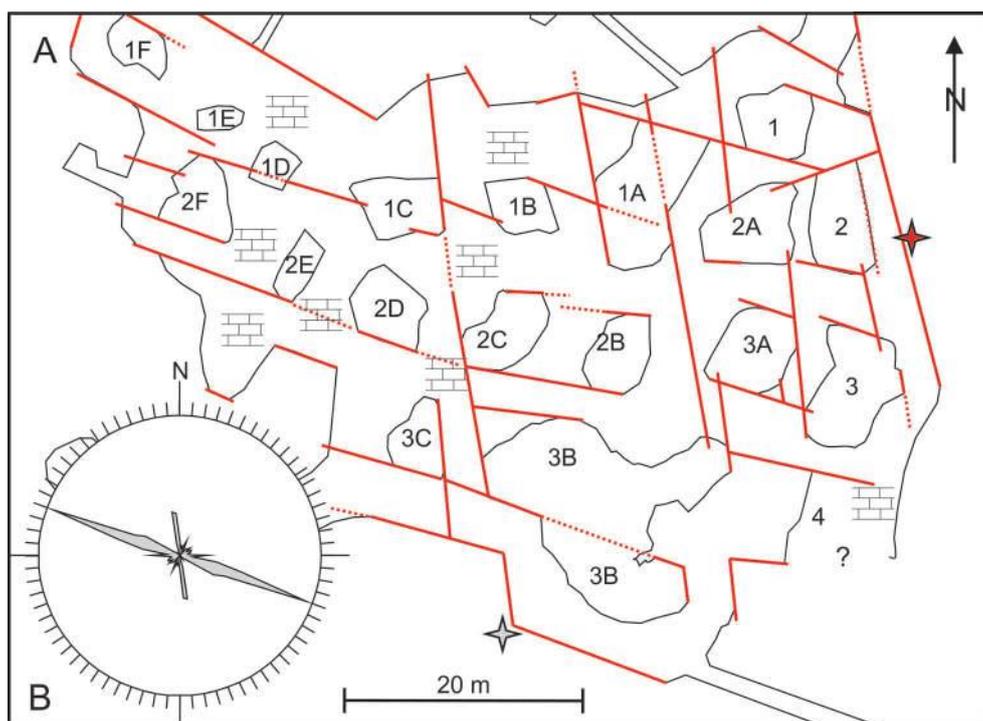


Fig. 21 : Carte des plans de fracture pluri-métriques à pluri-décamétriques (en rouge) relevés sur les parois et les piliers et au toit (en visée) de la carrière Blenheim (A) et rosace directionnelle de l'ensemble des 405 fractures (failles et diaclases) mesurées (B).

Le plan 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 « brique » indiquent des zones où il est impossible de suivre les fractures à cause des maçonneries de confortation. Les plans marqués par une étoile grise sont ceux montrés dans la figure 22B, celui marqué par une étoile rouge est celui représenté dans la figure 23.

Fig. 21 : 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 map has been slightly modified where it was poorly drawn and where the fracture planes clearly formed the sides of the pillars or 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 marked by a grey star are those of the figure 22B, the one marked by a red star is represented on figure 23.

200 plans striés mesurés dans l'ensemble des carrières étudiées - et elles ne sont pas concluantes.

Enfin, il convient de noter que les plans N 160°-180° constituent nettement une famille de décrochements senestres mais qu'il n'est jamais observé de famille dextre conjuguée, or celle-ci, conformément aux propriétés mécaniques de la craie (angle de frottement interne ~ 30°, e.g. Goodman, 1989) devrait avoir une direction proche de ESE-ONO.

Si les diaclases N105°-125° 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 NO-SE/extension NE-SO, or ceci n'a pas été observé. On pourrait hypothétiquement envisager que ces plans ont bien joué en décrochements dextres, mais sans porter de stries ; cependant on a vu que 39% des plans de la famille subméridienne présentaient une striation, il serait surprenant que la famille ESE-ONO n'en porte quasiment jamais (7 plans avec des stries horizontales, dont le sens est très peu net, sur un total de 590 plans N105°-125°, soit 1%).

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.

Relations avec les failles régionales.

Alors que, sur les cartes géologiques, dans la couverture mésozoïque, les failles sont orientées N 110°-120° dans le secteur du Boulonnais, elles adoptent une direction N 130°-135° dans le secteur de l'Artois (fig. 1). Par ailleurs, contrairement à la presque totalité des collines de l'Artois où les failles de couverture suivent le tracé de la Faille du Midi (e.g. failles de Pernes et de Ruitz), dans la région au nord d'Arras, le tracé de la Faille du Midi ne correspond plus à la direction des failles de l'Artois. La faille de Marqueffles, en particulier, est dessinée avec une direction NO-SE sur les diverses cartes géologiques (fig. 1; Minguely, 2007 : carte des isobathes du toit des niveaux cénomaniens).

Parmi les carrières étudiées, seules les Boves montrent clairement des fractures de direction NO-SE (fig. 25), cependant le faible nombre de mesures ne permet pas d'en tirer de conclusions significatives. Les mesures faites dans les carrières de Ronville indiquent l'existence d'un réseau de fractures bien marqué de direction ESE-ONO. Celui-ci est par ailleurs en assez bon accord avec les directions ESE-ONO à E-O des principaux cours d'eau à l'ouest et à l'est d'Arras : la Scarpe et la Sensée (Sc et Se sur fig. 1). Ceci tendrait à montrer que le système de fractures globalement orienté N 110°-120° plus à l'ouest, existerait encore avec cette même direction vers l'Est, même s'il n'y est plus exprimé par des accidents majeurs.



Fig. 22 : Exemples de plans subverticaux parfaitement réguliers dans la carrière Blenheim. A : deux côtés du pilier 3A. A droite : diaclase d'az. 108°, à gauche : plan décrochant d'az. 176° ; B : paroi de la carrière, en face du pilier 3B. A droite : plan décrochant d'az. 175°, à gauche : diaclase d'az. 110° (voir localisation Fig. 21).

Fig. 22 : Examples of subvertical planes highly regular in the Blenheim Quarry. A : Two sides of the pillar 3A. On the right : joint of az. 108°, on the left : strike-slip fault of az. 176° ; B : wall of the quarry, close to the pillar 3B. On the right : strike-slip fault of az. 175°, on the left : joint of az. 110° (see location Fig. 21).

Il est également à noter que les accidents importants de cette famille directionnelle sont considérés dans la littérature comme étant liés à l'inversion tectonique de l'Artois et ayant un jeu inverse avec, pour certains auteurs, une certaine composante dextre (cf. infra, comparaison avec le Boulonnais). Un tel jeu inverse ou inverse-dextre n'a pas été décelé sur les plans observés dans les carrières d'Arras.

Les fractures N 160°-180°, si bien développées dans les carrières de Ronville, ne correspondent à aucune direction notable sur les cartes, ni dans la géologie, ni dans l'hydrographie.

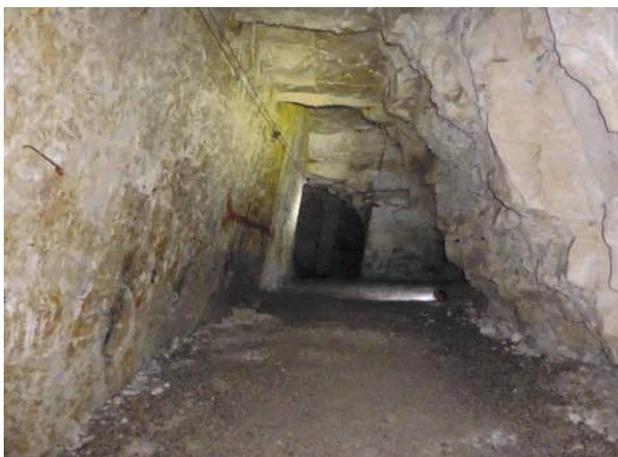


Fig. 23 : Exemple d'un plan décrochant N170°-80°E formant toute la paroi est (à gauche) de la carrière Blenheim (voir localisation Fig. 21).

Fig. 23 : Example of a strike-slip fault N 170°-80°E forming all the eastern wall of the Blenheim Quarry (see location Fig. 21).

Enfin la direction NNE-SSO à ENE-OSO, marquée dans les carrières par des failles ou des diaclases d'extension plus limitée, est en revanche une direction qu'on retrouve régionalement, en particulier dans l'hydrographie du secteur avec les affluents de la Scarpe et de la Sensée, en rive gauche au sud d'Arras (fig.1).

Comparaison avec le Boulonnais.

Le secteur d'Arras correspond à la partie la plus orientale de la structure majeure que constitue le bombement anticlinal Boulonnais-Artois, la partie occidentale de celui-ci étant représentée par le Boulonnais (fig. 1). En Artois, le Crétacé supérieur est directement discordant sur le socle paléozoïque, le Jurassique existe seulement dans le Boulonnais où ses dépôts sont clairement contrôlés par la réactivation des structures varisques (Mansy *et al.*, 2003 ; Minguely, 2007). On considère classiquement qu'à partir de l'Aptien, dans tout le secteur Boulonnais-Artois, le rifting jurassique-écétacé inférieur fait place à une large subsidence thermique qui continue à affecter la sédimentation jusqu'à la fin du Crétacé. Cependant des failles normales E-O à SE-NO ont été observées dans le Crétacé supérieur par exemple à proximité de la faille de Sangatte et de la flexure de Landrethun : dans le Cénomano-Turonien au Grand Blanc Nez et dans le Santonien de la carrière d'Helfaut (Colbeaux *et al.*, 1993 ; Vandycke et Bergerat, 1992 ; Bergerat et Vandycke, 1994), de même que de l'autre côté de la Manche, dans le Kent, dans le Santonien à S' Margaret's at Cliffe et à Deal (Bergerat et Vandycke, 1994). Ces failles ont été attribuées à deux épisodes tectoniques différents : un épisode extensif N-S et un épisode extensif NE-SO, liés, pour le premier, à la phase de subsidence thermique crétacée (Bergerat et Vandycke, 1994) et, pour le second, à une extension d'âge mio-pliocène décrite également par Bevan et Hancock, (1986) dans une grande partie du sud de l'Angleterre et assez généralisée à cette époque dans le nord-ouest européen.

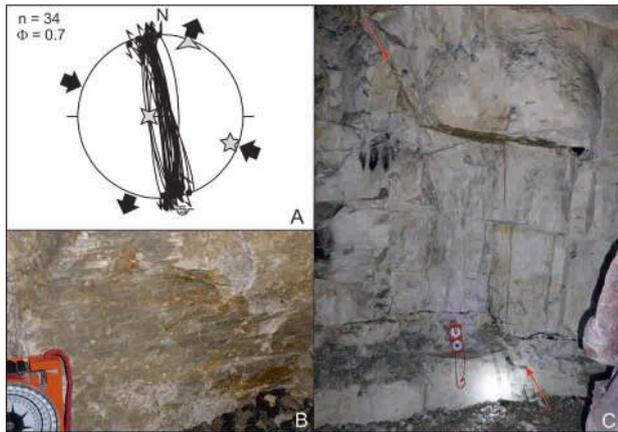


Fig. 24 : Observations et analyse des failles de la carrière Blenheim.
 A : Population des décrochements et détermination du tenseur moyen des contraintes. La direction – mal contrainte - de la contrainte principale maximale σ_1 est N 111°. Légende du diagramme, voir Fig. 16. B : Stries senestres sur un décrochement d'az. 168° formant un côté du pilier 1A. C : Faille normale N108°-66°N visible dans le pilier 2F. 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. 24 : Observations and analysis of faulting in the Blenheim Quarry.
 A : Population of strike-slip faults and determination of the average stress tensor. The (poorly constrained) direction of the principal maximal stress σ_1 is N111°. Caption of the diagram, see Fig. 16. B : left-lateral striae on a strike-slip fault of az. 168° forming one side of the pillar 1A. C : Normal fault N 108°-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.

Il convient de noter que les failles normales de direction NO-SE du Boulonnais présentent fréquemment un enduit argileux et sont souvent associées à de nombreuses diaclases de même direction (Bergerat et Vandycke, 1994), deux caractéristiques qui les font ressembler aux failles ESE-ONO d'Arras.

L'inversion tectonique cénozoïque est caractérisée dans le Boulonnais par une direction de compression globalement N-S. Elle se marque différemment suivant les roches affectées: les calcaires jurassiques montrent des structures tectoniques variées: plis, failles inverses et décrochements, alors que la craie est affectée uniquement par des systèmes de décrochements conjugués (Mansy *et al.*, 2003).

Une comparaison avec les secteurs situés à l'aplomb de la Faille du Midi plus à l'est, tel le bassin de Mons (Vandycke et Bergerat, 1989 ; Vandycke *et al.*, 1992) et plus généralement avec les autres bassins de la craie dans le nord-ouest européen (*e.g.* Vandycke, 2002) dépasserait du cadre du présent article et fera l'objet d'un travail ultérieur.

Hypothèses sur la chronologie des épisodes tectoniques.

En prenant en compte l'ensemble des informations disponibles (données recueillies dans les carrières d'Arras et observations dans l'ensemble Boulonnais-Artois), plusieurs hypothèses peuvent être envisagées :

- ✓ L'antériorité du régime extensif. Cette supposition serait cohérente avec une extension qui perdurerait pendant tout ou partie de la subsidence thermique du Crétacé supérieur, comme cela a été proposé dans le Boulonnais (Bergerat and Vandycke, 1994) et ailleurs dans le nord-

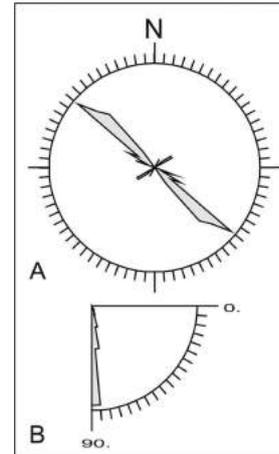


Fig. 25 : Analyse des fractures des Boves.
 A : Rosace directionnelle des 41 fractures mesurées; B : Diagramme de valeurs de pendage des fractures.

Fig. 25 : Analysis of fracturing in the Boves Quarry.
 A : Rose diagram of 41 measured planes; B : Dip values diagram.

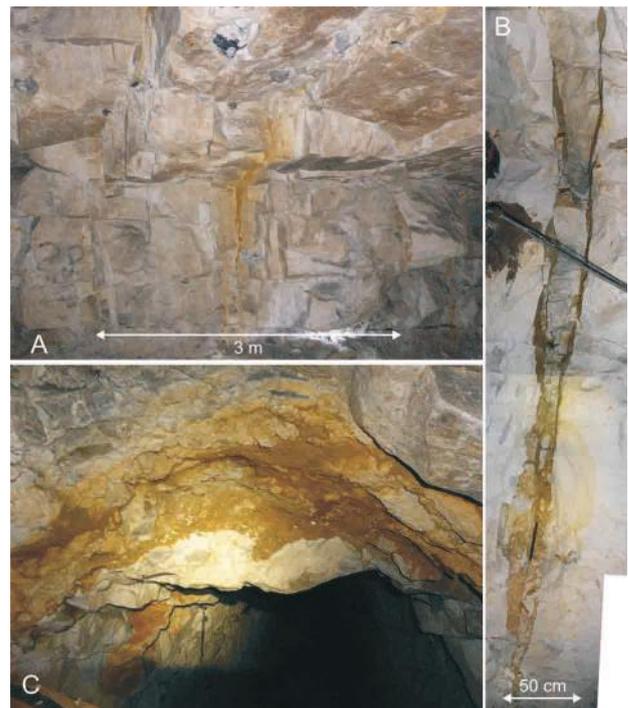


Fig. 26 : Zones de fractures.
 A : Exemple d'un couloir de fracturation de 3 m de large et de direction ESE-ONO dans le pilier 2D de la carrière Nelson ; B : Exemple d'une zone de faille ouverte subméridienne dans l'escalier, carrière Nelson ; C : Exemple d'une zone de faille de direction ESE-ONO et de 1,5 m de large, au plafond dans le tunnel de la sortie 5, carrière Auckland.

Fig. 26 : Fracturing zones.
 A : Example of a fractured ESE-WNW trending zone (width : 3 m) in the pillar 2D of the Nelson Quarry ; B : Example of submeridian open fracture in the stair, Nelson Quarry ; C : Example of a ESE-WNW trending faulted zone (width : 1,5 m) at the top of the exit tunnel 5, Auckland Quarry.

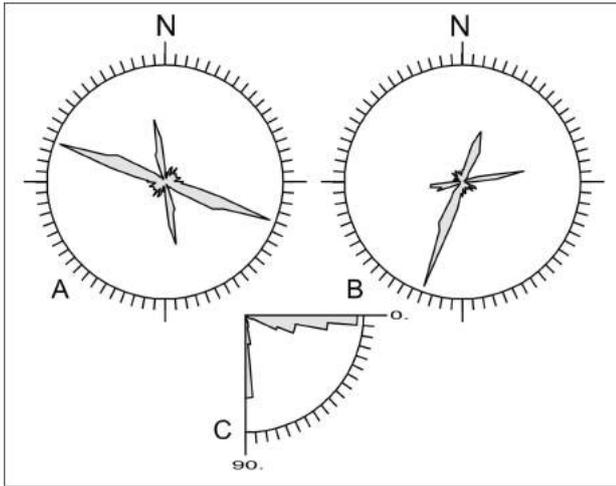


Fig. 27 : Analyse de l'ensemble des fractures mesurées dans les carrières de Ronville et les Boves.

A : Rosace directionnelle des 1715 fractures mesurées (failles et diaclases) ; B : Rosace des directions de plongement des 1715 fractures ; C : Diagramme de valeurs des *pitches* des 200 plans mesurés portant des stries indiquant le sens du mouvement.

Fig. 27 : Analysis of the total population of fracture planes measured in the Ronville and les Boves quarries.

A : Rose diagram of the 1715 fracture planes measured (faults and joints) ; B : Rose diagram of the dip trends of the 1715 planes ; C : Pitch values diagram of the 200 planes for which the striae indicate the sense of motion.

ouest européen (Vandycke, 2002). Les mouvements décrochants senestres subméridiens postérieurs pourraient alors être attribués à la période d'inversion tertiaire marquée dans la craie, ici comme dans le Boulonnais, par des décrochements et non par des failles inverses. Cependant l'absence de rejeux dextres des plans ESE-ONO pourtant nombreux et bien orientés, laisse planer un doute sur le bien-fondé de cette hypothèse.

✓ L'antériorité du régime décrochant. Toujours dans l'hypothèse où ce dernier correspondrait à la phase d'inversion tectonique tertiaire, l'événement distensif NNE-SSO serait alors un épisode tectonique tardif, correspondant peut-être à la phase mio-pliocène décrite en Angleterre par Bevan et Hancock (1986) et responsable de structures majeures telles que le fossé du Rhin inférieur (*Lower Rhine Embayment*) dans le nord-ouest européen, avec des réactivations jusqu'à l'Actuel (e.g. Hinzen, 2003). L'âge récent du jeu normal des failles ESE-ONO serait également en bon accord avec le fait que cette direction est 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. L'analyse en termes de tenseur de contraintes de l'ensemble des plans senestres subméridiens et des plans normaux ESE-ONO, indique une contrainte principale minimale σ_{Hmin} (σ_3) de direction N 23° et une contrainte principale maximale σ_{Hmax} (σ_1 ou σ_2) de direction N 114° (fig. 28). Le rapport de forme (Φ), proche de 1, de l'ellipsoïde des contraintes (ellipsoïde de révolution « en galette » autour de l'axe σ_3) indique des magnitudes similaires pour les contraintes σ_1 et σ_2 , c'est-à-dire une permutation facile entre ces deux

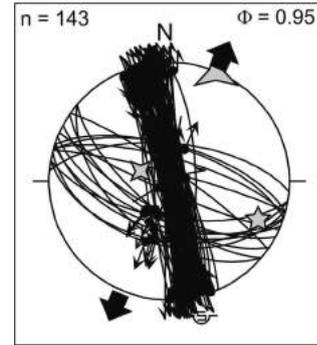


Fig. 28 : Population des décrochements N160°-180° et des failles normales N105°-125° dans l'ensemble des carrières de Ronville. Détermination du tenseur moyen des contraintes. Légende du diagramme, voir Fig. 16.

Fig. 28 : Total population of N160°-180° strike-slip faults and N105°-125° normal faults in the Ronville quarries, and average stress tensor. Diagram caption, see Fig. 16.

axes (Angelier et Bergerat, 1983). Cette hypothèse permet d'expliquer à la fois l'absence de mouvements dextres sur les plans ESE-ONO et l'absence de relations chronologiques nettes ou les quelques chronologies relatives contradictoires observées, celles-ci correspondant alors aux alternances d'épisodes décrochants ou extensifs, en fonction des permutations σ_2/σ_3 au cours d'une même phase tectonique. L'existence de telles permutations a été démontrée dans des contextes tectoniques variés, sur des périodes courtes (e.g. Hippolyte *et al.*, 1992) et même au cours d'une même séquence sismique (e.g. Garcia *et al.*, 2002).

Aucun argument chronologique ne permettant de favoriser la première ou la deuxième hypothèse, l'existence d'une seule phase tectonique, caractérisée par une contrainte principale horizontale σ_3 NNE-SSO, semble être la plus raisonnable, dans l'état actuel de nos connaissances. L'absence de rejeux observables sur les plans de failles, tant décrochants que normaux, ou sur les diaclases, laisse à penser qu'il s'agit d'une tectonique récente, probablement syn- et/ou post-Miocène.

CONCLUSION.

Les recherches sur l'histoire de l'exploitation et les modes d'extraction de la craie arrageoise font depuis longtemps l'objet d'études. Mais c'est surtout depuis la construction de la ligne TGV Nord dans les années 1990 et les fouilles réalisées à cette occasion, que l'archéologie de la Grande Guerre n'a cessé de se développer dans la région Nord – Pas-de-Calais. Elle est dorénavant entrée dans le champ classique de l'archéologie et permet de reconstituer et comprendre le quotidien des troupes françaises et alliées. Dans ce cadre, l'exploration des carrières du sud d'Arras a occasionné la découverte d'un nombre impressionnant de témoignages laissés par les alliés entre 1916 et 1918, tant formels (marques d'orientations permettant de se diriger dans les carrières) qu'informels (sculptures, dessins, graffitis etc. laissés par les soldats). Cette étude de terrain menée conjointement avec une étude des archives a permis de raconter l'histoire de l'aménagement de ces carrières et des régiments qui s'y sont succédé et de mettre en relief le rôle décisif qu'elles ont eu dans la bataille d'Arras au printemps 1917.

Les deux coupes relevées dans les Boves et dans la carrière Auckland ont permis d'établir un log litho-stratigraphique sur une hauteur d'une vingtaine de mètres. Elles montrent en particulier un faisceau de 3 lits de silex qui, en tenant compte de l'ensemble des autres observations, a pu être interprété comme l'équivalent des *Hope Point Marls* du Kent. La coupe est ainsi située dans la partie supérieure du Coniacien (base de la zone à *Micraster coranguinum*). L'application de la stratigraphie événementielle a permis d'effectuer une corrélation précise dans les craies du Coniacien entre le Kent, le Boulonnais et l'Artois. Pour la première fois, il est devenu possible d'avoir une idée exacte de la position stratigraphique des coupes visibles dans les carrières souterraines de la ville d'Arras.

Une cartographie des failles et diaclases a pu être réalisée dans les carrières du faubourg de Ronville illustrant la géométrie de la facturation dans la craie, inconnue jusque là en raison de la quasi-absence d'affleurements dans la région. La grande régularité du réseau de fractures a été mise en évidence avec près de 60% des plans mesurés appartenant à deux familles directionnelles extrêmement bien organisées : N 105°-125° et N 160°-180°. Les plans subméridiens montrent très fréquemment des traces de mouvement senestre caractérisant un épisode décrochant dans un état de contrainte en compression globalement NO-SE/extension NE-SO. Les failles normales *dip-slip*, quoique de faible rejet, caractérisent un état de contrainte en extension NNE-

SSO, marqué également et surtout par d'abondantes diaclases. Une seule et même phase tectonique, caractérisée par une direction d'extension NNE-SSO et probablement récente, pourrait expliquer l'ensemble des fractures observées. Il est à noter que, comme dans le Boulonnais, aucune faille inverse ne marque l'inversion cénozoïque ; ceci tout comme l'abondance des diaclases liées à l'état de contrainte en extension, dénote, ici comme dans d'autres secteurs du nord de la France, de Belgique ou du sud de l'Angleterre, le comportement mécanique particulier de la craie en réponse aux contraintes tectoniques.

Remerciements. Nous sommes reconnaissants à l'Office du Tourisme d'Arras de nous avoir autorisé l'accès aux Boves et à la carrière Wellington. Nous remercions particulièrement Isabelle Pilarowski, Pascal Loosfelt, François Serrure et toute l'équipe de la carrière Wellington pour leur cordialité et leur aide. Nos remerciements vont également à l'hypermarché Leclerc pour nous avoir permis de travailler dans la carrière Auckland.

Pour l'interprétation des références aux couleurs dans les légendes des figures ou dans le texte, le lecteur est renvoyé à la version pdf de cet article.

For the interpretation of references to colors in the figure captions or in the text, the reader is referred to the pdf version of this article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMÉDRO F. et ROBASZYNSKI F. (2001) – Les craies à silex du Turonien au Santonien du Boulonnais (France) au regard de la stratigraphie événementielle. Comparaison avec le Kent (UK). *Géologie de la France*, B.R.G.M., vol. 4, p. 39-56.
- AMÉDRO F. et ROBASZYNSKI F. (2006a) – Les craies santoniennes de la région de Saint-Omer (Nord de la France). Comparaison avec le Boulonnais et le Kent (U.K.). *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 13, 2^{esér.}, p. 107-121, pl. 10.
- AMÉDRO F. et ROBASZYNSKI F. (2006b) – 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. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 13, 2^{esér.}, p. 123-135.
- 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. *Geophys. J. Int.*, vol. 103, p. 363-376.
- ANGELIER J. et BERGERAT F. (1983) – Systèmes de contrainte en extension intracontinentale. *Bulletin du Centre de Recherche Exploration et Production Elf-Aquitaine*, vol. 7, p. 137-147.
- AUFFRET, J.-P. et COLBEAUX, J.-P. (1977) – Etude structurale du Boulonnais et son prolongement sous-marin en manche orientale. *Bull. Soc. géol. Fr.*, vol. 19, p. 1047-1055.
- AVERBUCH O., MANSY J.L. et LAMARCHE J. (2001) – Déformations tardi-paléozoïques au front septentrional de la chaîne varisque : l'exemple des massifs paléozoïques du Boulonnais (N France). *Ann. Soc. géol. Nord*, vol. 9, n° 2, p. 13-24.
- BAILEY H.W., GALE A.S., MORTIMORE R.N., SWIECKI A. et WOOD C.J. (1983) – The Coniacian-Maastrichtian stage boundaries of the United Kingdom, with particular reference to southern England. *Newsletters Stratigr.*, vol. 12, p. 19-42.
- BARROIS Ch. (1878) – Mémoire sur le Terrain crétacé des Ardennes et des régions voisines. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 5, p. 227-487.
- BERGERAT F. et VANDYCKE S. (1994) – Palaeostress analysis and geodynamical implications of Cretaceous –Tertiary faulting in Kent and the Boulonnais. *J. Geol. Soc. London*, vol. 151, p. 439– 448.
- BEVAN, T.G. et HANCOCK, P.L. (1986) – A Late Cenozoic regional fracture system in southern England and northern France. *J. Geol. Soc. London*, vol. 143, p. 355– 362.
- BOUROZ A. (1956) – Contribution à l'étude des failles épicrotacées de l'Artois. – *Ann. Soc. géol. Nord*, vol. 76, p. 51-62.
- BOUROZ A. (1962) – Contribution à l'étude de la structure du bassin houiller du Boulonnais. *Ann. Soc. géol. Nord*, vol. 82, p. 27-37.
- CAMELBEECK T., VANNESTE K., ALEXANDRE P., VERBEECK K., PETERMANS T., ROSSET P., EVERAERTS M., WARNANT R. et 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. Geol. Soc. America*, S. Stein & S. Mazzotti Ed., Special Paper 425, p. 193-224.
- CAMELBEECK T., VERBEECK K., LECOCQ T., VANNESTE K., SÉBRIER M., BERGERAT F., JOMARD H., BAIZE S., COLBEAUX J.-P. et VANDYCKE S. (2012) –The recent activity of the Marqueffles fault (Artois). *In: Moving Plates and Melting Icecaps. Processes and Forcing Factors in Geology. 4TH International Geologica Belgica Meeting*, Bruxelles, 11-14 septembre 2012, volume de résumés, 1 p.
- COLBEAUX J.P., AMÉDRO F., BERGERAT F., BRACQ P., CRAMPON N., DELAY F., DUPUIS C., LAMOUROUX C., ROBASZYNSKI F., SOMMÉ J., VANDYCKE S. et VIDIER J.P. (1993) - Un enregistreur des épisodes tectoniques dans le Bassin de Paris : le Boulonnais. *Bull. Soc. géol. Fr.*, vol. 164, n°1, p. 93-102.

- COLBEAUX J.P., SOMMÉ J. et 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*, vol. 18, n° 3-4, p. 183-192, doi : 10.3406/quate.1981.2098.
- DESFOSSÉS Y., JACQUES A. et PRILAUX G. (2008) – L'Archéologie de la Grande Guerre. Ed. Ouest France – Inrap, 127 p.
- DELATTRE Ch. (1969) – Les grands traits géologiques de l'Artois. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 89, p. 79-90.
- EVERAERTS M. et MANSY J.L. (2001) – Le filtrage des anomalies gravimétriques; une clé pour la compréhension des structures tectoniques du Boulonnais et de l'Artois (France). *Bull. Soc. géol. Fr.*, vol. 172, n° 3, p. 267-274.
- GALE A.S. et SMITH A.B. (1982) – The paleobiology of the irregular echinoids *Infulaster* and *Hagenowia*. *Palaeontology*, t. 25, p. 11-42.
- GARCIA S., ANGELIER J., BERGERAT F. et HOMBERG C. (2002) – Tectonic analysis of an oceanic transform fault zone revealed by fault-slip data and earthquake focal mechanisms: the Husavik-Flatey Fault, Iceland. *Tectonophysics*, vol. 344, p. 157-174.
- GIRARDET J.M., JACQUES A. et LETHO DUCLOS J.L. (2003) – Somewhere on the Western Front. *Documents d'Archéologie et d'Histoire du XX^e siècle*, n° 8, 185 p.
- GOODMAN R. E. (1989) – Introduction to Rock mechanics. 2^{ème} éd., John Wiley & Sons Ed., 262 p.
- GOSSELET J. (1881) – Esquisse géologique du Nord de la France et des Contrées voisines. 2^e fascicule. Terrains secondaires, p. 169-277 ; planches : pl. 8 à 21.
- GOSSELET J. (1908) – Note sur quelques failles communes aux terrains crétaciques et houillers de l'Artois. – *Ann. Soc. géol. Nord*, vol. 37, p. 80-109.
- GOSSELET J. (1910) – Coupe de la faille de Marqueffles, à Vimy, par M. Montaigne. *Ann. Soc. géol. Nord*, vol. 39, p. 82-83.
- HANCOCK P. (1985) – Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology*, vol. 7, p. 437 to 457.
- HINZEN K.G. (2003) - Stress field in the Northern Rhine area, Central Europe, from earthquake fault plane solutions. *Tectonophysics*, vol. 377, p. 325-356.
- HIPPOLYTE J.-C., ANGELIER J. et ROURE F. (1992) – Les permutations de contraintes dans un orogène: exemple des terrains quaternaires du sud de l'Apennin. *C. R. Acad. Sc.*, Paris t. 315, p. 89-95.
- JACQUES A. et MORTIER I. (2008) – La carrière Wellington. Mémorial de la Bataille d'Arras, 9 avril 1917. Ed. Office du Tourisme d'Arras, 47 p.
- JENKYN H.C., GALE A.S. et CORFIELD R.M. (1994) – Carbon- and oxygen-isotope stratigraphy of the English Chalk and Italian Scaglia and its palaeoclimatic significance. *Geol. Mag.*, vol. 131, p. 1-34.
- KUSMAN D., LAMBERT J., ALEXANDRE P. et 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*, vol. 126, n° 2.
- LACQUEMENT F., BARCHI P. et QUESNEL F. (2004) – Carte géologique harmonisée de la région Nord – Pas-de-Calais. Rapport BRGM/RP-53484-FR, 188 p.
- LEPLAT J. (1973) – Les cavités souterraines de la craie dans le nord de la France. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, vol. 63, p. 29-56.
- MANSY J.-L., MANBY G.M., AVERBUCH O., EVERAERTS M., BERGERAT F., VAN VLIET-LANOÉ B., LAMARCHE J. et VANDYCKE S. (2003) – Dynamics and inversion of the Mesozoic Basin of the Weald-Boulonnais area: role of basement reactivation. *Tectonophysics*, vol. 373, p. 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. et 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. *Bull. Soc. géol. Fr.*, vol. 181, n° 5, 429-442.
- MORTIMORE R. N. (1983) – The Stratigraphy and sedimentation of the Turonian-Campanian in the Southern Province of England. *Zitteliana*, vol. 10, p. 27-41.
- MORTIMORE R. N. (1986) – Stratigraphy of the Upper Cretaceous White Chalk of Sussex. *Proc. Geol. Ass.*, vol. 97, p. 97-139.
- MORTIMORE R.N., WOOD C.J. et GALLOIS R.W. (2001) – British Upper Cretaceous Stratigraphy. *Geological Conservation Review Series*, 23, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 558 pp.
- RAWSON P.F., DHONDT A.V., HANCOCK J.M. et KENNEDY W.J. edit. (1996) – Proceedings « Second International Symposium on Cretaceous Stage Boundaries » Brussels 8-16 September 1995. *Bull. Inst. Royal Sc. Nat. Belgique*, Sc. Terre, vol. 66-suppl., 117 pp.
- ROBINSON N.D. (1986) – Lithostratigraphy of the Chalk Group of the North Downs, southeast England, *Proc. Geol. Ass.*, vol. 97, p. 141-170.
- SECRETARY INSTITUTION OF ROYAL ENGINEERS (1922) – Work of Royal Engineers in the European War, 1914-19 - Work in the field under the Engineer-in-chief, B.E.F. - Geological Work on the Western Front. W. and J. Mackay & Co Ltd, Chatham, 71 p., 8 pl. hors-texte.
- VANDYCKE S. (2002) – Palaeostress records in Cretaceous formations in NW Europe: extensional and strike-slip events in relationships with Cretaceous-Tertiary inversion tectonics. *Tectonophysics*, vol. 357, p. 119-136.
- VANDYCKE S. et BERGERAT F. (1989) - Analyse microtectonique des déformations cassantes dans le Bassin de Mons. Reconstruction des paléo-champs de contraintes au Crétacé-Tertiaire. *Ann. Soc. géol. Belgique*, vol. 112, n° 2, p.469-478.
- VANDYCKE S. et BERGERAT F. (1992) – Tectonique de failles et paléo-contraintes dans les formations crétacées du Boulonnais (France). Implications géodynamiques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, vol. 163, n° 5, p. 553-560.
- VANDYCKE S., BERGERAT F. et DUPUIS C. (1991) - Meso-Cenozoic faulting and inferred paleostresses of the Mons basin (Belgium). *Tectonophysics*, vol. 192, p.261-271.
- VERBEECK K., LECOCQ T., VANNESTE K., KUSTERS D., CAMELBEECK T., SÉBRIER M., BERGERAT F., JOMARD H., BAIZE S., COLBEAUX J.P., TESNIÈRE C. et VANDYCKE S. (2011) - Earthquake and Fault Activity in Northern France. *GeoReg*. Forum de la Fédération française des Géosciences, Lille, 23-27 octobre 2011, volume de résumés, p. 22.
- VIRÉ A. (1920) - Les Souterrains-refuges du Pas-de-Calais. *Bulletin de la Société préhistorique de France*, t. 17, n° 8-9, p. 189-208, doi : 10.3406/bspf.1920.7525.



LA GÉOLOGIE DU FRONT OCCIDENTAL DE LA GRANDE GUERRE DES FLANDRES À LA CHAMPAGNE

JOURNÉES D'ÉTUDE DE PRINTEMPS – 29 AU 31 MAI 2014

par Franck HANOT¹, Françoise BERGERAT², Jean-Pierre GÉLY³, Jean Claude PORCHIER⁴, Joséphine VICELLI¹

Résumé

Ces journées, qui se sont déroulées de la plaine des Flandres aux monts de Champagne, ont reçu le label de la mission du Centenaire. Elles font partie d'un programme d'études plus vaste qui inclura la totalité de la ligne de front, jusqu'aux Vosges.

L'objectif de ces journées de terrain était d'illustrer le rôle de la géologie dans les opérations militaires de la Grande Guerre, et de montrer quelques exemples d'apports à la connaissance du sous-sol dus aux travaux du génie, les forages hydrologiques en particulier.

Abstract

This field trip from the Flanders plain to the Hills of Champagne, has been awarded the label of the *Mission du Centenaire*. It is a part of a program which will include all the frontline, from Flanders to the Vosges.

The aim of this trip was to illustrate the role of geology in the military operations of the Great War, and to show some examples of the contributions to the knowledge of geological features made by military engineering works, hydrological drillings in particular.

LA GÉOLOGIE ET LA GUERRE

La géologie et la guerre apparaissent comme intimement liées, le terrain étant leur dénominateur commun.

Cette notion de terrain définit l'échelle tactique. « *L'étude du terrain permet la synthèse des différents composants de la géographie classique comme les éléments géologiques, topographiques et climatiques dont la connaissance se révèle indispensable pour conquérir, exploiter et aménager un espace réduit. Sur le plan militaire, le terrain renvoie donc à la pratique de la tactique. Sa dimension limitée à une surface restreinte facilite l'étude des opérations militaires localisées, permet de mesurer l'influence des éléments géographiques et de définir une position offensive ou défensive* » (Boulanger, 2002).

Le terrain joue un rôle à tous les niveaux de la guerre : les grands traits structuraux comme les cuestas et les failles les plus importantes modèlent des reliefs qui vont déterminer la stratégie au niveau des nations, les éléments topographiques mineurs comme les collines, les vallées et les ravines vont établir la tactique au niveau des batailles, la nature de la roche et l'hydrologie vont conditionner le quotidien du soldat et favoriser ou non ses offensives, sa protection ou son repos.

Le niveau stratégique correspond à ce que le général allemand Erich von Falkenhayn, chef de l'état-major général et ministre de la Guerre, avait appelé « la forteresse France ». L'histoire géologique du Bassin parisien a fait que Paris est protégé par une série d'escarpements de cuestas, qui sont autant de marches d'escaliers qu'un assaillant venu de l'est doit franchir. A ces cuestas s'ajoutent d'autres éléments topographiques orientés nord-sud, comme la vallée de la Meuse et le Fossé rhénan, qui sont autant d'obstacles qu'un envahisseur venu de l'est doit surmonter.

(1) CDP Consulting, 7 boulevard Chanzy, 41000 Blois. – f.hanot@cdpconsulting.fr, j.vicelli@cdpconsulting.fr

(2) Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS, Institut des Sciences de la Terre de Paris (ISTeP), 4 place Jussieu 75005 Paris, France – francoise.bergerat@upmc.fr

(3) Sorbonne Universités - LAMOP - UMR 8589 CNRS, Paris 1, 17 rue de la Sorbonne 75005 Paris – jeanpierre.gely91@gmail.com

(4) Association des Géologues du bassin de Paris – jeanclaude.porchier@ponts.org .

Le dispositif de côtes concentriques du Bassin parisien, (avec leurs fronts et buttes-témoins et les entailles créées par les percées cataclinales des rivières) a été à la base de l'implantation du système de fortifications Séré de Rivières mis en place de 1874 à 1918. Les côtes dominant les plaines à l'est ont permis l'établissement de places fortes et les percées ont constitué des « trouées », points de passage obligés pour l'envahisseur, débouchant sur des places fortes de seconde ligne destinées à arrêter son avancée.

À l'est, les Allemands ont essayé de se faufiler entre la cuesta de la Moselle et les Vosges par la Trouée de Charmes, où ils ont été défaits, comme il était prévu dans les plans de l'état-major français (24 au 26 août 1914). Ils ont ensuite attaqué le Grand Couronné, ensemble de buttes-témoins qui protègent Nancy à l'est, où ils ont également été défaits (4 au 13 septembre 1914). L'artillerie légère de campagne (canon de 75), facilement déplacée et positionnée dans ce paysage de collines a montré sa supériorité. Celle-ci lui sera contestée plus tard dans la guerre de tranchées qui imposait l'emploi de l'artillerie lourde sur des positions enterrées et protégées. À la suite de ces victoires françaises, la partie orientale du front s'est stabilisée de Nancy aux Vosges jusqu'à la fin de la guerre.

Incapables de forcer les défenses géomorphologiques de la France à l'est, les Allemands ont attaqué par la plaine de Belgique, en totale violation de sa neutralité. Comme le rapporte Johnson (1917), la résistance héroïque et inattendue des Belges (voir l'arrêt 1 : Le Boyau de la Mort) avait fait en partie échouer cette manœuvre, mais l'Allemagne avait néanmoins réussi à déplacer un nombre considérable d'hommes à une vitesse incroyablement rapide à travers les paysages plats de la France du nord. Les armées alliées étaient menacées par ce mouvement et pour échapper à la manœuvre d'enveloppement lancée par Von Kluck depuis la Belgique et le nord de la France, le contingent britannique s'était replié vers le sud jusqu'à la vallée de l'Oise, premier obstacle suffisamment important pour arrêter les poursuivants, donner une marge de manœuvre réelle à l'armée en repli et lui offrir une sécurité temporaire.

Pendant ce temps, les Français avaient reculé sur une ligne Paris-Verdun, préparant ce qui serait plus tard la bataille de la Marne et, deux ans plus tard, celle de Verdun. On ne décrira pas ici la bataille de la Marne, en fait de la Marne et de ses affluents, l'Ourcq, le Petit Morin, et le Grand Morin. Les combats décisifs ont eu lieu dans la basse plaine de Champagne, à l'est de la cuesta tertiaire d'Île-de-France, que le Petit Morin pénètre après s'être étalé dans les marais de Saint-Gond sur la craie campanienne. Il s'écoule ensuite directement vers l'ouest à travers une vallée encaissée dans la plate-forme tertiaire. C'est le long de cette importante barrière est-ouest que la victoire de la Marne s'est décidée.

Von Kluck vaincu fut toutefois capable de retirer ses forces jusqu'à la vallée de l'Aisne, qui a constitué jusqu'à la fin de la guerre un obstacle militaire majeur.

Entrée dans le plateau par une percée cataclinale près de Reims, la rivière coule vers l'ouest pour rejoindre l'Oise à Compiègne. Sur une soixantaine de kilomètres, sa vallée entaille le plateau du Calcaire grossier lutétien, ses parois abruptes surplombant un lit plat sur lequel la rivière, étroite mais profonde, poursuit un cours sinueux.

Dans le rebord du plateau, de grandes carrières et de vastes galeries et salles souterraines ont été laissées par l'exploitation du Calcaire grossier pour la construction (voir les arrêts 8 et 9).

Les Allemands ont profité de cette barrière défensive naturelle pour mettre fin à leur repli et organiser leur résistance. Les assauts des Alliés, qui devaient affronter à la fois l'ennemi et l'Aisne en crue, furent repoussés, le front allait se stabiliser jusqu'en mars 1918, et la guerre des tranchées allait commencer. Le soldat allait être confronté aux difficultés liées à la nature du sous-sol et à son hydrologie pour le creusement des tranchées, des abris et des mines.

RAPPEL HISTORIQUE SOMMAIRE.

On trouvera le récit du déroulement des opérations dans l'abondante littérature historique publiée sur la Grande Guerre. Pour situer les sites visités, on rappellera seulement ci-dessous les principales phases de la guerre illustrées par l'itinéraire suivi pendant ces journées.

L'année 1915 voit les offensives françaises de l'Artois (Notre-Dame de Lorette, Vimy...) et de Champagne (ossuaire de Navarin). Pendant ce temps, les Allemands emploient les gaz pour la première fois à Ypres. Plus à l'ouest se déroulent les combats de Vauquois (Argonne), des Eparges et les combats pour la possession du Hartmannswillerkopf (Vosges).

L'année 1916 est celle de Verdun, mais, sur notre itinéraire, c'est celle de la bataille de la Somme, qui commence par l'explosion de la mine de la Boisselle (*Lochnagar Crater*) en juillet.

En 1917, les Allemands se replient sur des positions préparées sur la ligne Hindenburg. Le mois d'avril voit l'offensive britannique dans le secteur d'Arras et la prise de la crête de Vimy par les Canadiens, pendant que se déroule l'offensive Nivelle sur le Chemin des Dames et les monts de Champagne. En novembre commence la bataille de Cambrai où, pour la première fois, chars et avions sont associés de manière significative à l'offensive.

L'année 1918 voit la poursuite de ces combats jusqu'à l'offensive générale alliée de septembre sur l'ensemble du front puis l'armistice.

Parmi d'autres, plusieurs lieux emblématiques ont été visités :

- *La basse plaine quaternaire des Flandres volontairement inondée pour faire obstacle à l'avancée allemande ;*

- *La Flandre tertiaire, caractérisée par un sol argileux et la guerre des mines ;*

- *Les collines d'Artois où, depuis la crête de Vimy, on domine de façon remarquable le bassin minier du Nord – Pas-de-Calais, trait géomorphologique du plat pays qui s'explique par des accidents profonds ;*

- *Arras, l'une des rares villes situées sur la ligne du front ouest. Son architecture remarquable reconstruite à l'identique après la guerre fut alimentée aux 17^e et 18^e siècles par des carrières souterraines creusées sur place dans une craie de grande qualité. Réaménagées à partir de novembre 1916 par des mineurs néo-zélandais, elles servirent de dernier cantonnement à de nombreux jeunes Britanniques lors de la bataille d'Arras en avril et mai 1917.*

- *Le site de la bataille de Cambrai, objet d'une fouille archéologique de sauvegarde pour le char de Flesquières ;*

- *Les souterrains de la ville haute de Laon ;*

- *Une « creute » de l'Aisne ;*

- *Les monts de Champagne.*

Les figures 1 et 2 replacent notre itinéraire sur la carte topographique et sur la carte géologique au millionième du BRGM.

LA GÉOLOGIE MILITAIRE.

Bien que, notamment depuis les campagnes de Bonaparte, le rôle de la géologie dans la conduite des opérations militaires ait été évoqué, notamment par Johann Samuel von Gruner (ou Groner) en 1826, il n'en était guère question au début de la Grande Guerre, les états-majors prévoyant une guerre courte et faisant entièrement confiance à la vaillance de leurs troupes et à la qualité de leurs artilleries respectives.

On citera toutefois *La Guerre et la géologie*, par le colonel don Angel Rodriguez de Quijano y Arroquia, publié en français en 1876, et qui analyse le rôle de la géologie dans plusieurs conflits, et notamment dans la défaite française de 1870.

Du côté allemand, le Dr. Walter Kranz (1873-1953), géologue et officier du Génie avait relevé l'importance du contexte géologique pour la planification des opérations, spécialement la mise en place des défenses, l'approvisionnement en eau et la guerre des mines, trois thèmes que l'on retrouvera lors de la Grande Guerre. La publication en 1913 de son travail novateur sur la géologie militaire dans la revue technique de guerre allemande est une pierre miliare dans le développement de cette branche totalement nouvelle de la géologie appliquée.

Du fait de la durée de la guerre, les premiers essais sur la géologie et la géographie physique paraissent avant la fin des combats. Ils seront suivis de synthèses dans les années de l'après-guerre. Dans sa thèse, Nicolas Ginsburger (2010) décrit l'évolution des idées et les controverses qui ont eu lieu dans les années 1914 à 1921.

Le premier à publier sur le sujet semble avoir été Douglas W. Johnson (1917), suivi d'Herbert E. Gregory (1918), William B. R. King (1919) et Alfred H. Brooks (1920).

Les analyses très pertinentes et documentées d'Alfred H. Brooks seront portées à la connaissance du public français en 1926 par Yves Milon dans le Bulletin de la Société Scientifique de Bretagne, où Yves Milon résumera également l'ouvrage majeur du capitaine Villate : *Les conditions géographiques de la guerre* (1925).

William B. R. King (1919, 1920, 1921), L. Dudley Stamp (1919), A. Briquet (1920) publieront ensuite des articles de géologie pure sur les couches du nord de la France que la guerre leur avait donné l'occasion d'étudier.

Au début de la guerre, personne ne s'attendait à ce qui allait suivre et aux avancées scientifiques et techniques que le conflit allait engendrer, et encore moins au rôle que jouerait la géologie. Les écoles militaires ne faisaient qu'une place très modeste à l'enseignement de la géologie, même si les officiers français savaient utiliser et interpréter une carte géologique.

Les armées des différents camps firent appel à la géologie par nécessité et en raison d'une guerre qui s'avéra rapidement être une guerre de position. Les Français avaient l'avantage de bien connaître le terrain puisque la presque totalité du front occidental était située sur le sol français. Les moyens mis en œuvre furent différents en fonction des armées mais les buts principaux étaient, comme l'avait prévu W. Kranz, de répondre aux besoins en eau des troupes et de satisfaire à la demande du génie dans le cadre des travaux souterrains, abris et mines.

La guerre des mines commence en 1915 par deux explosions sous les tranchées britanniques. Le lieutenant-colonel John Norton-Griffiths recrute immédiatement le plus possible de mineurs du nord de l'Angleterre qu'il récupère auprès de l'infanterie régulière pour former les premières compagnies de tunneliers (*Tunnelling Companies*) au sein des *Royal Engineers*. Le nombre de compagnies atteindra le chiffre de 25 en 1916 faisant appel aux sapeurs canadiens, australiens et néo-zélandais, la plupart étant spécialistes de ce genre d'activité dans le civil (ce qui ne se passa pas en France, où les mineurs contribuèrent à l'effort national dans les mines ou reçurent, comme ce fut également le cas pour les géologues, des affectations sans rapport avec leur savoir-faire). Leur premier champ d'opération fut les Flandres où le major Norton-Griffiths put mettre en œuvre son expérience acquise dans le percement des conduites d'égouts de Londres, notamment le *clay-kicking*, consistant pour un homme couché sur le dos sur une planche inclinée à creuser l'argile en poussant une bêche des deux pieds. Le *clay-kicking* permettait de creuser 8 m par jour alors que les Allemands ne creusaient que 2 mètres. Les premières mines britanniques explosent au tout début de 1916 sous *Hill 60* près de Zillebeke (arrêt 2).

Côté français les unités Mascart-Dessoliers chargées des travaux souterrains voient leur origine à Amiens en août 1915. Ces unités œuvreront début 1916 dans la Somme avec pour mission de préparer 450 abris. Elles interviendront entre 1917 et 1918 dans le cadre de l'offensive du Chemin des Dames pour aménager les carrières souterraines (les *creutes*) reconquises et pour le percement de tunnels.

En 1915, l'Etat-major allemand décide la création d'une compagnie de *Pioniers* par régiment d'infanterie. Ces compagnies deviendront progressivement indépendantes. Elles seront au nombre de 50 en 1917 et seront chargées des travaux de mines et de la construction des abris profonds.

Autrichiens et Allemands avaient créé des corps de géologues de guerre, les *Krieggeologen*. Les premiers affrontèrent dans les Dolomites les Italiens qui, de leur côté, s'appuyaient sur des conseillers civils. A la fin de la Grande Guerre, les Autrichiens et Allemands employaient près de 300 géologues militaires.

Les journées de printemps nous ont fait parcourir en trois jours le front occidental, des Flandres à la Champagne.

LES FLANDRES.

Arrêt 1 – Le Boyau de la Mort à Dixmude (Belgique).

La géologie au niveau du front belge, peut être divisée en trois domaines :

- un cordon dunaire actuel dans le secteur de Nieuport où ont été creusés de nombreux tunnels peu profonds ;
- une zone quaternaire de polders jusqu'à Dixmude dans laquelle il est impossible d'établir des ouvrages profonds ;
- une vaste plaine argileuse (Argiles d'Ypres) parsemée de promontoires argilo - sableux, sièges de nombreux tunnels percés dans des conditions très difficiles en raison de la géologie (fig. 3).

Après leur recul à Anvers puis à Gand, les Belges durent se replier en arrière de l'Yser, afin de former, avec les alliés franco-britanniques, un front continu s'étendant jusqu'à la mer et défendre ce qui restait du territoire belge. Le 12 octobre, le roi des Belges Albert 1^{er} décide que l'armée belge livrera sur l'Yser sa bataille pour arrêter l'envahisseur. L'Yser et la ville de Dixmude

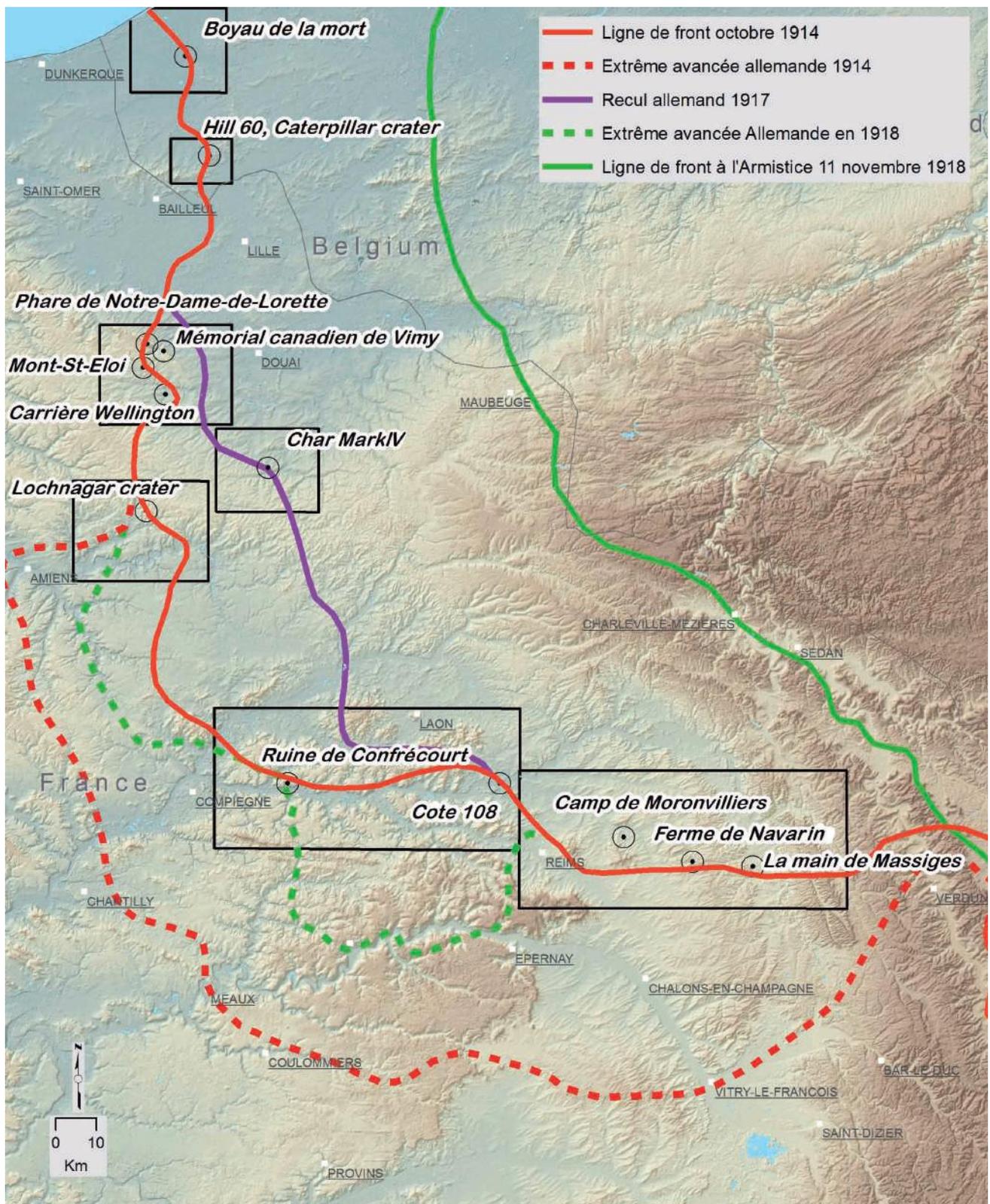


Fig. 1 : L'itinéraire des journées d'étude de printemps sur la carte topographique. © CDP Consulting.
 Fig. 1 : The itinerary of the spring field days, on the topographical map.

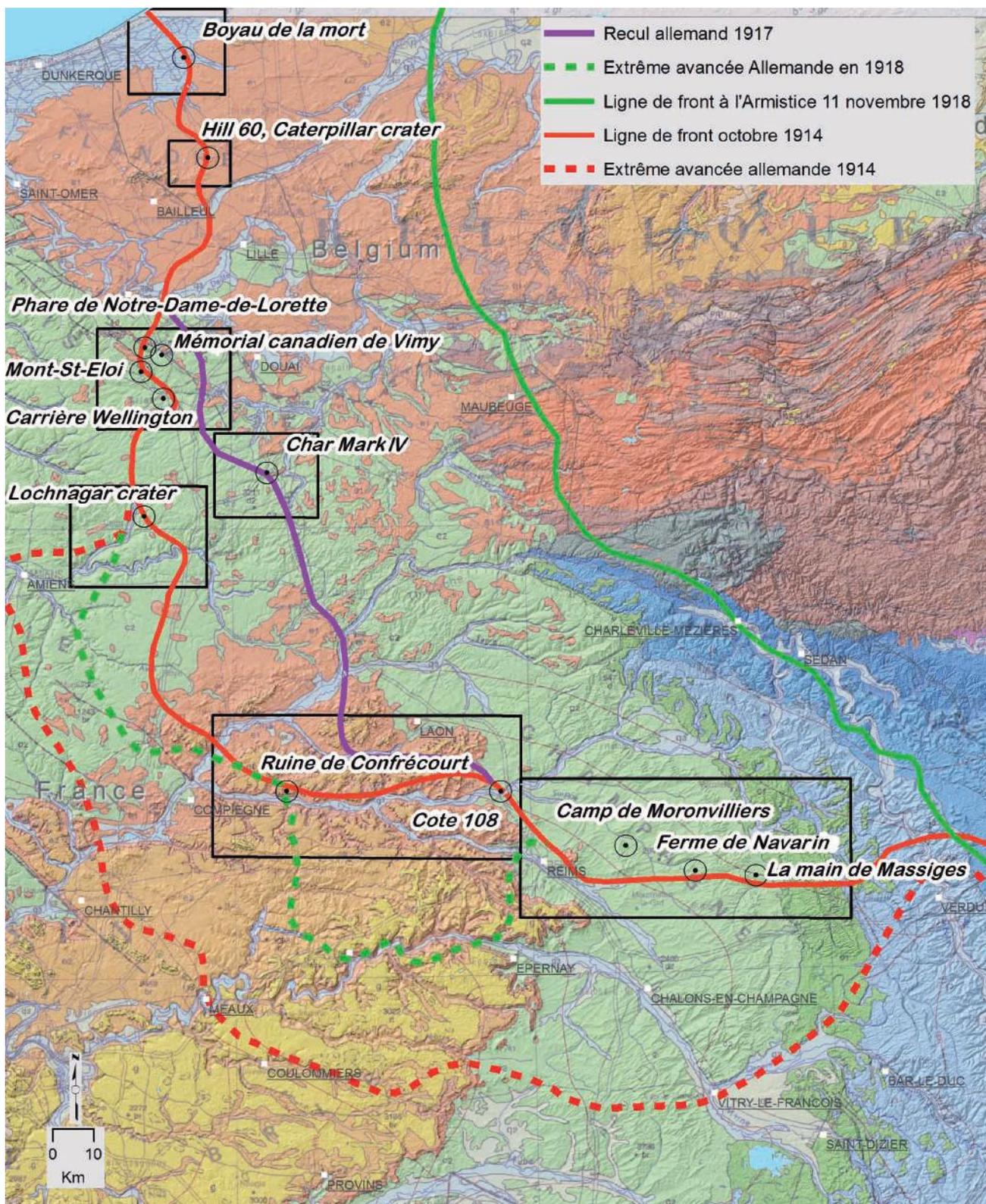


Fig. 2 : L'itinéraire des journées d'étude de printemps sur la carte géologique au millionième. BRGM éd. © CDP Consulting.

Fig. 2 : The itinerary of the spring field days, on the geological map at 1:1 million.

furent, dès octobre 1914, le lieu de durs combats au cours desquels les Belges et les Français, parmi lesquels la brigade de fusiliers marins de l'amiral Ronarc'h, arrêterent l'avance allemande au prix de lourds sacrifices.

Pour faire face à la supériorité numérique allemande, les Belges vont inonder en plusieurs phases, du 21 octobre au 1^{er} novembre, l'espace de polders compris entre l'Yser et le chemin de fer de Nieuport à Dixmude.

Dans cet espace qui est par endroits au-dessous du niveau de la mer, il est impossible de creuser. Les tranchées ne furent donc pas creusées dans le sol mais construites de nuit en empilant sacs de sable, bois, terre et matériaux divers.

Sur la digue qui longe la rive gauche de l'Yser, le Boyau de la Mort était une tranchée de combat, doublée d'une tranchée de soutien. C'est aujourd'hui le dernier élément conservé du front belge de la Première Guerre Mondiale.

Position la plus septentrionale du front sur l'Yser dans le secteur de Dixmude, le Boyau de la Mort était devenu un enjeu vital, pour les Belges comme pour les Allemands, qui n'ont pas cessé d'y renforcer leur dispositif. Afin de stopper les attaques nocturnes des Allemands, les Belges font sauter en octobre 1915 la digue séparant l'Yser des polders déjà inondés en 1914. L'eau sépare les postes avancés belges et allemands. C'est après cette opération qu'est créée la tranchée de soutien et qu'est installée une voie ferrée de 40 cm pour le transport des matériels lourds (des wagonnets sont visibles à l'entrée du site).

Courant 1916 on construit, à l'entrée du Boyau de la Mort, la Redoute du Cavalier, construction à cheval sur la tranchée existante qui surplombe de plusieurs mètres la plaine environnante. C'est un vrai fort de sacs de sable sur deux niveaux, position imprenable qui contribue très largement au blocage définitif du front dans ce secteur.

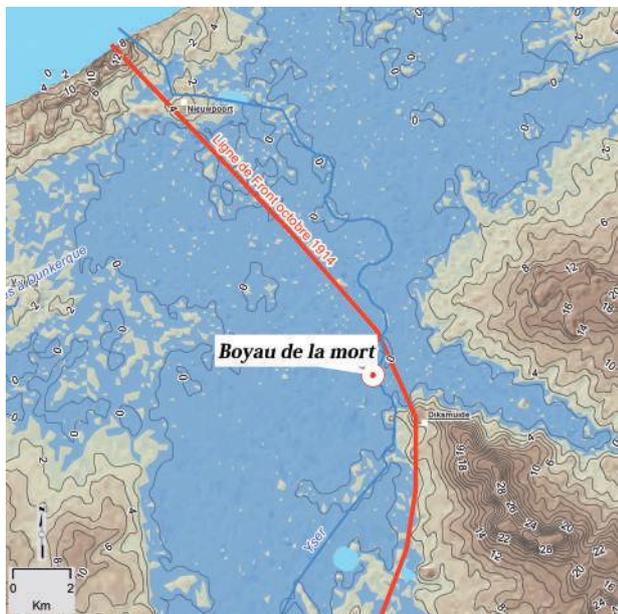


Fig. 3 : Carte topographique des environs du Boyau de la Mort. L'altitude de la plaine de l'Yser avoisine le niveau de la mer. Les buttes tertiaires sont les « pointements » d'une paléotopographie constituée d'argiles et de sables. © CDP Consulting.

Fig. 3 : Topographic map in the vicinity of the Trenches of Death. The elevation of the plain of Yser is close to the sea level. The Tertiary hills are the remains of a palaeotopography consisting in clays and sands.

Avant même la fin de la guerre, le tourisme des champs de bataille commença. Le Boyau de la Mort fera partie des sites conservés. C'est le seul qui survivra, dans ce secteur, à la Deuxième Guerre Mondiale. Il est entretenu par le Touring Club de Belgique et l'Armée.

Les tranchées étaient constituées de bois et de sacs de sables qui ont commencé à se dégrader rapidement. Le Boyau a été ré-aménagé dès 1924 : le chemin de halage a été rendu à la navigation, et les sacs de sable ont été remplacés par des sacs de béton. Le site a été classé en 1992. Son aspect actuel accueillant, gazonné et fleuri (fig.4), ne rend pas compte de l'horreur que l'on ressent sur les photos d'époque des panneaux explicatifs.

Arrêt 2 – Hill 60 et Caterpillar Crater (Belgique).

Au sud de Dixmude les terrains quaternaires disparaissent et laissent à découvert les argiles d'Ypres, stratotype historique de l'étage Yprésien. Elles sont surmontées de quelques buttes de terrains plus récents d'âge panisélien (Éocène moyen) comme le mont Kemmel (156 m) dont le géologue de l'armée britannique L. Dudley Stamp publiera en 1919 la carte géologique dans les Annales de la Société Géologique du Nord.

Les batailles d'Ypres se sont déroulées en quatre actes :

- la période du 19 octobre au 22 novembre 1914 qui clôt la « course à la mer » et fait suite à l'inondation de la plaine ;

- la période du 22 au 25 mai 1915 marquée par l'attaque des Allemands qui tentent à nouveau de prendre la ville d'Ypres, utilisant les gaz pour la première fois ;

- la période du 31 juillet au 10 novembre 1917, connue sous le nom de Bataille de Passendale (ou Passchendaele) et qui débute par l'explosion de dix-neuf mines alliées dans le secteur de Messines ;

- la période du 9 au 29 avril 1918, qui correspond à la dernière offensive allemande dite « offensive de la Lys », marquée pour les Français par l'enfer du Mont Kemmel. Les Allemands seront finalement repoussés au-delà de l'Escaut par les troupes belges soutenues par les Britanniques et les Français.

Le front belge s'est positionné dans la plaine des Flandres dont l'altitude avoisine le niveau de la mer, mais sur laquelle se détachent les collines hautes de quelques dizaines de mètres qui surplombent la ville d'Ypres. La guerre de position installée sur ces reliefs imposa rapidement le recours aux mines. Les tunnel-



Fig. 4 : Le Boyau de la Mort. © J.-Cl. Porchier.

Fig. 4 : The Trenches of Death.

lers britanniques se heurtèrent à la difficulté des alternances tertiaires d'argile et de sables parfois fluants et gorgés d'eau (sables de Kemmel) et comprirent rapidement la nécessité de recourir à la géologie.

Dans la région de Messines, les sables de Vlierzele non saturés en eau se présentent sous forme d'alternances avec des argiles faciles à creuser. Ce sont les Français qui creusèrent les premiers tunnels dans le secteur de Zillebeke en 1914. Sous-jacents, les sables de Kemmel saturés en eau ne pouvaient être traversés que grâce à la mise en œuvre de cuvelages étanches. Le but était d'atteindre l'argile plastique bleue yprésienne, étanche mais nécessitant la mise en place de boisages pour éviter le fluage. Dans ce secteur, les Britanniques prirent l'avantage sur les Allemands du fait d'une meilleure compréhension de la géologie.

La Cote 60, habituellement appelée *Hill 60* (fig. 5) est située près du petit village flamand de Zillebeke. Elle a été immortalisée par un film australien (*Beneath Hill 60*) et de nombreuses publications de géologie militaire. Il s'agit en fait d'une élévation artificielle formée de déblais de travaux ferroviaires.

Hill 60 et la *Caterpillar* constituaient la partie nord de la série d'explosions de mines du 7 juin 1917. *Caterpillar* (la chenille) était le nom donné à un amas de déblais sinueux situé au sud de la voie ferrée, à cause de sa ressemblance avec une chenille sur les photos aériennes. La préparation des mines sous les deux collines commence en août 1915, avec l'excavation du *Berlin Tunnel* depuis les lignes britanniques, d'abord par la 175th *Tunnelling Company*, puis par la 3rd *Canadian Tunnelling Company*. Les sapeurs partent de la galerie déjà en place, en direction de *Hill 60* et de *Caterpillar* par une dérivation. La charge sous *Hill 60* (24 tonnes à 27 m de profondeur) est placée en juillet 1916, celle sous la *Caterpillar* (32 tonnes à 30 m) en octobre 1916. La mission de protéger les mines contre une réaction allemande est confiée à la 1st *Australian Tunnelling Company*, qui évite de justesse une contremine à la dernière minute. L'explosion sous *Hill 60* laisse un cratère de près de 60 m de diamètre et de 10 m de profondeur (fig. 6), celle sous la *Caterpillar*, un cratère de 80 m de diamètre, profond de 15 m. La 204^e division allemande perd 687 hommes, tués lors de ces explosions.



Fig. 5 : Carte topographique de *Hill 60* et *Caterpillar Crater*. © CDP Consulting.

Fig. 5 : Topographic map of *Hill 60* and *Caterpillar Crater*.



Fig. 6 : *Caterpillar Crater* aujourd'hui. ©J.-Cl. Porchier.

Fig. 6 : *Caterpillar Crater*.

La guerre des mines a pris une importance qu'elle n'avait eue dans aucune autre guerre, et les géologues ont rendu de grands services. Le succès britannique du lieutenant-colonel Norton-Griffiths est dans une large mesure dû au travail du Colonel T. Edgeworth David et du capitaine William B. R. King, aidés par les travaux des géologues français, et notamment ceux de Jules Gosselet, à qui les géologues britanniques rendront hommage après la guerre. David et King avaient fait une étude détaillée des roches du sous-sol du secteur de Messines où ils avaient identifié deux unités convenant au creusement de tunnels : le « Panisélien » (base du Lutétien) et l'argile de l'Yprésien, recouverts par des sables fortement chargés en eau. La répartition des unités argileuses a été déterminée par corrélation entre les logs des forages réalisés pour l'eau et ceux issus de forages exploratoires dans les zones moins connues.

William B.R. King (1919) raconte qu'après la défaite de Messines les géologues allemands qui occupaient l'université de Lille ont reçu une sévère remontrance de leur général pour ne pas avoir découvert que les Britanniques creusaient sous leurs lignes dans l'Yprésien. Des sanctions ont été prises : retour à Berlin et envoi au front pour les plus jeunes.

Observations de terrain dans le Nord et les Flandres 1914-1918

Les coupes géologiques que constituaient les tranchées n'ont souvent pas pu être exploitées, pour des raisons de sécurité, d'accessibilité et d'éboulements. Toutefois, parmi les avancées scientifiques que le conflit allait favoriser, il y a une meilleure connaissance de la géologie du Nord et des Flandres.

Lors de la première assemblée générale de la Société Géologique du Nord dans Lille libérée, Charles Barrois (1919) pourra déclarer : « C'est ainsi aux Britanniques que sont dus les progrès accomplis de 1914 à 1919 dans la connaissance géologique du Nord de la France. E. David, de Sydney, W. B. R. King, de Cambridge, géologues de l'armée britannique; L. Dudley Stamp, de Londres, officier attaché à cette armée, ont bien voulu transmettre à la Société géologique, pour ses *Annales*, le résultat de leurs importantes observations sur le sol régional, faites en service commandé ».

Le Major Ben Lightfoot, de l'armée britannique, a remis à la société une collection de cartes topographiques du nord de la France, éditées par le *Field Survey Corps*, qui comprend en particulier une série de feuilles à 1/40 000 en courbes de niveau de l'Artois et de la Picardie.

E. David a remis une série des cartes hydrogéologiques du front d'Ypres à 1/10 000, levées par les géologues anglais sous sa direction.

Pendant la guerre les Britanniques ont également observé de nombreux points où l'argile des Flandres est fossilifère. Quelques fossiles notamment *Ostrea multicostrata* provenant des tranchées et des abris, ont été déposés après la guerre au Musée Gosselet. Malheureusement, presque toutes les coupes de l'argile fossilifère exposées par des travaux de retranchement ont été comblées avant d'avoir attiré l'attention d'un géologue et des documents précieux sur la faune de l'argile des Flandres ont été perdus pour la science.

Informé par le capitaine W. B. R. King, L. Dudley Stamp (1920) a publié sur les fossiles trouvés dans l'argile au sud de Messines. Le niveau fossilifère de Ploegsteert, de Bailleul, d'Haizebrouck, etc., marque la base du Lutétien (facies panisélien).

Lors de la bataille de Messines, les sapeurs de la *1st Australian Tunnelling Company* ont creusé des abris sur le versant sud de la cote 63, à 1 km au nord de Ploegsteert, officiellement appelés *Hill 63 Dugouts*, et familièrement par les soldats *The Catcombs*. Les ruines et les débris de ces abris étaient remplis de fossiles quand L. Dudley Stamp les a étudiés peu après la guerre.

L. Dudley Stamp (1919) a également observé de nombreux affleurements, dans des tranchées, trous d'obus et abris, sur le pourtour du mont Aigu et relevé plusieurs coupes.

«Un trou d'obus observé à une altitude de 4 mètres sous le sommet de la colline et à quelques mètres à l'est de ce sommet montrait déjà l'argile d'Assche typique» (Asschien = Priabonien inférieur).

«J'ai constaté la présence du Lédien fossilifère dans un abri sur le côté sud du chemin qui suit l'axe de la colline de l'est à l'ouest» (Lédien = «Auversien», Bartonien inférieur).

Des Français aussi ont décrit cette géologie des tranchées, notamment Abel Briquet qui a publié en 1919 une coupe du mont de Boeschepe et du mont Noir. En observant l'alignement général E-W des collines, il avait déjà émis, bien avant la guerre (Briquet, 1906), l'idée que la tectonique avait joué dans les Flandres un rôle plus important qu'on ne le supposait.

«Les grandes excavations pratiquées pendant la guerre, l'une dans le mont de Boeschepe, l'autre dans le mont Noir, ne sont pas sans intérêt : elles permettent l'observation des terrains qui constituent le sommet des collines, autrement que dans les affleurements minuscules dont on devait se contenter jusqu'ici. L'intérêt de ces coupes porte à la fois sur la structure tectonique et sur la composition stratigraphique des terrains ».

L'ARTOIS ET LE CAMBRÉSIS.

Des Flandres à l'Artois, le paysage change radicalement. D'un plat pays argileux aux rivières indisciplinées qui inondent régulièrement les champs, on passe à un paysage de collines qui seront autant de points à défendre ou à conquérir (fig.7). La surface aride de la craie de l'Artois s'oppose à l'humidité de la plaine argileuse des Flandres. Le paysage monotone d'*openfield* sur la craie, dépourvu d'habitations, à part là où l'habitat est regroupé en hameaux et villages autour des points d'eau, est très différent des champs et prairies bordés d'arbres entre lesquels sont dispersées les maisons flamandes.

Il faut garder à l'esprit qu'une telle différence était plus marquée à l'issue du XIX^e siècle, le paysage ayant été modifié et unifié depuis par un siècle d'évolution des pratiques agricoles.



Fig. 7 : Carte des arrêts 3, 4 et 5 entre Notre-Dame-de-Lorette et Arras. L'orientation de la faille de Marqueffles est parfaitement visible dans la topographie. © CDP Consulting.

Fig. 7 : Topographic map of stops 3, 4 and 5 between Notre-Dame-de-Lorette and Arras. The orientation of the Marquess Fault is well visible in the topography.

La topographie des collines de l'Artois est contrôlée par l'activité d'un réseau de failles en relais, à fort pendage vers le sud : le système de failles de l'Artois, de direction ONO-ESE, provoquant systématiquement le soulèvement du bloc sud et faisant ainsi apparaître la craie (fig.8). Les jeux successifs et l'héritage paléozoïque de ces failles sont connus depuis longtemps (failles « épicrotacées » de Gosselet, 1908) mais leur géométrie en profondeur est moins clairement établie. Elles ont été considérées comme postérieures (et recoupant) les structures majeures du front varisque (*i.e.* la faille du Midi) (*e.g.* Bouroz, 1956). Des études récentes montrent qu'elles semblent se raccorder en profondeur aux rampes des chevauchements majeurs varisques (Minguely *et al.*, 2010) (figure 9).

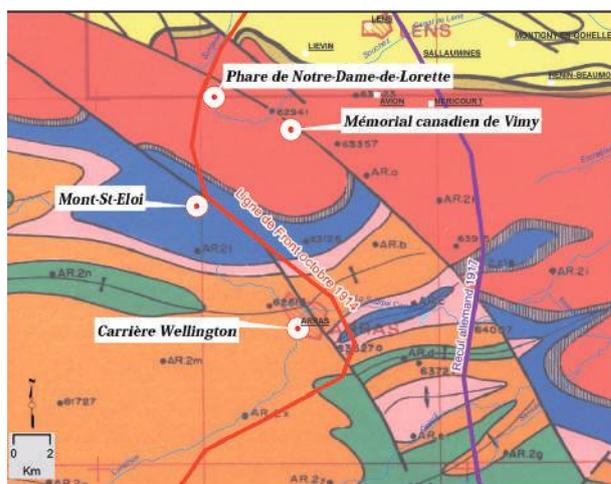


Fig. 8 : La faille de Marqueffles et les champs de bataille de l'Artois (document inédit, Compagnie française des pétroles de Normandie, 1960-1962).

Fig. 8 : The Marquess Fault and the battlefields of Artois.

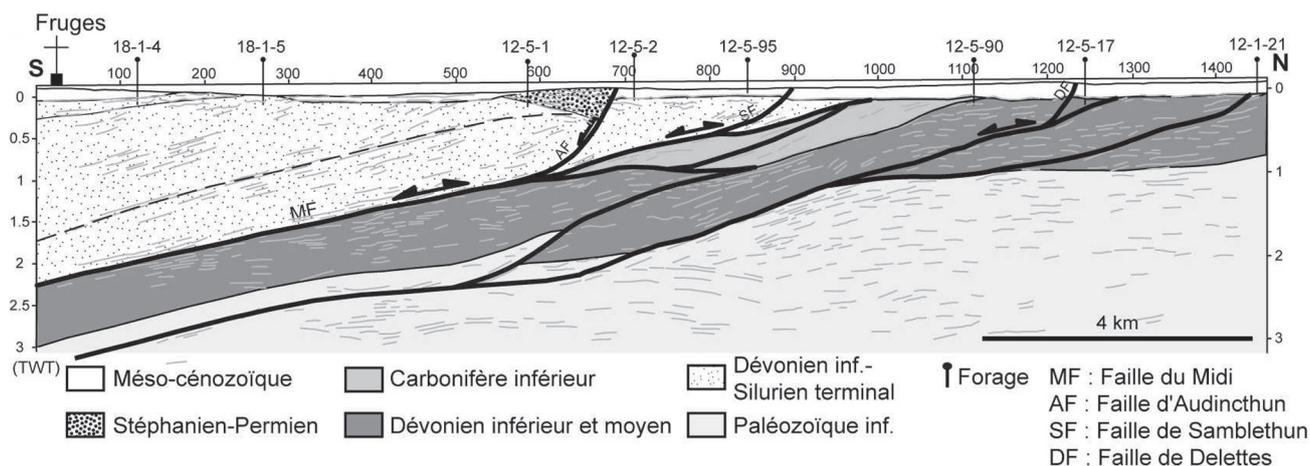


Fig. 9 : Le front varisque et le système de failles de l'Artois (d'après Minguely *et al.* 2010). Interprétation géologique du profil sismique BM84K, situé à une cinquantaine de km à l'ouest d'Arras. L'échelle verticale est en secondes temps-double.

Fig. 9 : The Variscan thrust front and the Artois fault system (after Minguely *et al.*, 2010). Geological interpretation of the BM84K seismic profile located about 50 km west of Arras. Vertical scale in seconds TWT.

La faille de Marqueffles.

Parmi les failles du système de l'Artois, la plus orientale et la plus proche d'Arras est la faille de Marqueffles dont l'activité s'est probablement poursuivie jusqu'à nos jours (fig. 10). Un jeu quaternaire a été suggéré dans le site archéologique de Biache-Saint-Vaast (Colbeaux *et al.*, 1981) et elle est probablement encore active à l'heure actuelle comme le suggère la séquence sismique du 2 septembre 1896 dont la magnitude a été estimée à $4,6 \pm 0,3$ (Kusman *et al.*, 2010). Une prospection géophysique récemment entreprise sur l'escarpement de Vimy a confirmé l'existence d'une faille capable (c'est à dire une faille le long de laquelle il est mécaniquement possible qu'un mouvement soudain se produise), entre Vimy et Farbus (Camelbeeck *et al.*, 2012; Verbeeck *et al.*, 2011).

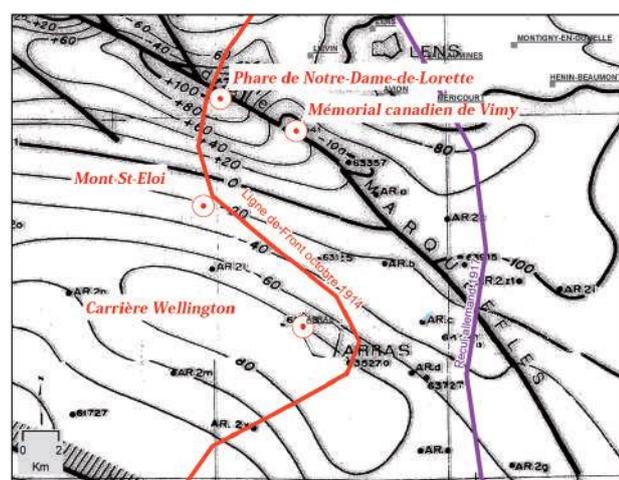


Fig. 10 : Carte des isohypses du toit du Paléozoïque dans la région d'Arras. La faille de Marqueffles crée un décalage de l'ordre de 50 mètres (document inédit, Compagnie française des pétroles de Normandie, 1960-1962).

Fig. 10 : Isohypse map of the Paleozoic in the Arras area. The Marcheilles Fault creates a vertical shift of about 50 meters.

La craie.

Le plus souvent, et en particulier là où il est le plus épais, l'ensemble du Crétacé supérieur du Bassin anglo-parisien est constitué de craie. Mais exception faite de l'étage supérieur du Sénonien qui, la plupart du temps, correspond à de la craie typique, ceci n'est pas vrai partout. Localement l'étage sous-jacent du Turonien peut devenir plus argileux (dièves turoniennes de Picardie et du nord de la France).

La craie draine généralement bien, grâce aux réseaux de fissures qui la traversent, et porte des terrains secs qui favorisent le déplacement des troupes et du matériel. Toutefois, elle contient souvent une certaine quantité d'argile et a subi des altérations, généralement d'âge mio-pliocène, qui font qu'elle est parfois recouverte d'une couche d'argile à silex issue de sa décomposition, qui peut rendre le terrain boueux et le combat difficile.

De Béthune à Saint-Quentin et de Berry-au-Bac à l'Argonne, la craie représente deux segments d'un peu plus de 100 km de front, séparés par environ 80 km de Calcaire grossier lutétien au nord de Paris.

La craie est la formation la plus favorable aux travaux souterrains (abris et mines) car elle peut être creusée avec des outils simples, comme le pic et la pelle, sans recours à des engins bruyants ou des explosifs, et ne réclame que peu d'étayage. Elle présente toutefois l'inconvénient que sa blancheur fait facilement repérer les endroits où des travaux de sape sont en cours et impose de prévoir le camouflage des matériaux extraits. Elle est aussi plus sonore que l'argile : selon Brooks (1920), le bruit du pic s'entend deux fois plus loin.

En outre, la craie contient une nappe aquifère que les sapeurs qui creusaient au-dessus devaient veiller à ne pas perforer.

Arrêt 3 - Notre-Dame de Lorette.

La colline de Notre-Dame de Lorette culmine à 165 mètres d'altitude. Elle doit son nom à un oratoire édifié au XVIII^e siècle par le peintre Florent Guilbert à son retour de pèlerinage à Loreto en Italie, détruit pendant la Révolution et remplacé par une chapelle détruite elle aussi lors des combats de 1914 et 1915. Deux petits cours d'eau, la Saint-Nazaire et le Souchez se jettent l'un

dans l'autre et délimitent les collines de la Gohelle dont Lorette fait partie. La bataille de Lorette dura 12 mois d'octobre 1914 à octobre 1915 et fit plus 100 000 tués et autant de blessés dans chaque camp.

Au total 42 000 soldats reposent dans cette nécropole dont la moitié dans des tombes individuelles et l'autre moitié répartie dans huit ossuaires.

Le plateau de Notre-Dame de Lorette est recouvert par de l'argile à silex, sur une couche épaisse de craie à silex (Sénonien). Parmi les lieux-dits de ce plateau, la « Blanche Voye » fait référence à la blancheur de la craie. En descendant, on rencontre de la craie marneuse (Turonien) dont les bancs ont une teneur en argile variable. Cette craie s'étend vers le nord en surface à travers la plaine de Noulette. Au sud-est de ce hameau, en deux endroits, à la faveur de la faille de Marqueffles, apparaissent les sables glauconieux du « Landénien » (Thanétien).

Le caractère argileux des flancs de la colline rend difficile la progression des troupes. Le 17 décembre 1914, le 21^e Corps de la 10^e Armée échoue dans sa tentative de s'emparer de l'éperon de Notre-Dame de Lorette. « *Les troupes ont peine à sortir de la tranchée, les hommes glissent sur les parapets boueux tout en s'efforçant de les franchir à quatre pattes ; parvenus sur le terre-plein, ils avancent lentement, dérapant sans cesse sur un sol fangeux ; ils sont des cibles faciles pour un ennemi abrité* » (Villate, 1925).

« *Mais quelle boue, quelle horrible boue ! Et quelle angoisse de se demander si, dans ces terrains détrempés, glissants, coupés de trous d'obus et de flaques d'eau, les lignes d'assaut pourraient seulement se mouvoir* ». (Laure, dit Henri-René, 1916).

Villate rapporte que les Allemands avaient établi dans la craie à silex, bien drainée, des abris agréables à habiter, qui furent les centres principaux de la résistance allemande lors de l'offensive française de mai-juin 1915, des obus de 210 étant à peine suffisants pour détruire ces abris. En revanche, les abris creusés plus au nord dans les sables glauconieux ne résistaient pas aux pièces de 105.

Arrêt 4 - La crête de Vimy.

Compte tenu du temps imparti à l'excursion, les observations se sont limitées à l'analyse du paysage, bien que le génie ait fait des travaux souterrains très importants dans ce secteur et qu'il s'y soit déroulé une intense guerre de mines.

Au début de la Grande Guerre, les belligérants disposaient de peu d'équipements pour observer l'ennemi et les militaires suivaient le vieil adage « Qui tient les hauts tient les bas ». La crête de Vimy offrait, vers le sud-ouest, un beau point de vue sur les positions françaises et vers le nord-est, une vue sur la plaine de Douai et ses infrastructures civiles et militaires (fig. 11).

La bataille de Vimy, en avril 1917, résulte d'une importante planification de la part des Canadiens. L'hiver 1916 est passé à renforcer les lignes pour préparer l'assaut. Des raids sont menés ponctuellement pour recueillir des informations tactiques. Une maquette grandeur nature est élaborée afin d'exercer les unités à se déplacer sur la crête. Des cartes sont distribuées aux soldats pour les orienter sur leurs objectifs. De nouvelles techniques acoustiques sont mises en œuvre pour repérer les batteries d'artillerie ennemies. Le stockage du matériel et le commandement avancé sont organisés sous terre : près de dix kilomètres de tunnels sont ainsi aménagés, électrifiés et dotés de latrines, de postes



Fig. 11 : Vue, depuis le Mémorial canadien de Vimy, sur la plaine de Lens et les terrils de Loos-en-Gohelle. © François Duchaussois. Le relief abrupt derrière les arbres correspond sensiblement à l'escarpement de la faille de Marqueffles.

Fig. 11 : View from the Vimy Canadian Memorial: the plain of Lens and heaps of Loos-en-Gohelle. The abrupt relief behind trees more or less corresponds to the scarp of the Marqueffles Fault.

de secours et de citernes d'eau. Le plus long est le tunnel Goodman, mesurant à lui seul 1 720 m. Le tunnel Grange est le seul ouvert au public, à côté du centre d'interprétation. Au total, treize tunnels sont creusés afin de protéger les soldats des bombardements (préparation d'artillerie et tirs de contre-batterie) et de créer un effet de surprise au bénéfice des 9 700 hommes qui les ont empruntés du 5 au 11 avril 1917. De leur côté, les sapeurs-miniers sont chargés de creuser des galeries sous les positions allemandes. Ils y déposeront 14 charges et en feront exploser 5, le 9 avril. Une préparation d'artillerie intense est mise en œuvre plus d'une semaine avant l'assaut, afin de détruire les positions ennemies et éviter de révéler aux Allemands le moment exact de l'attaque.

Les 20 000 Canadiens qui formaient les premières vagues des troupes d'assaut devront circuler sur un terrain remué, boueux, criblé d'entonnoirs et jonché de débris et de barbelés. L'avance des troupes s'est faite derrière un feu d'artillerie appelée « barrage roulant », consistant à exiger des soldats une avancée à intervalles réguliers, synchronisée avec des tirs d'artillerie intenses et minutés. A midi, le 9 avril, ils parviennent à occuper la majeure partie de la colline. Du 9 au 14 avril, les soldats canadiens s'emploient à conquérir le point stratégique de la cote 145, situé à l'extrémité nord de la crête et surnommé *The Pimple* (que l'on traduit habituellement par « le bourgeon », mais que l'on peut traduire par « la pustule » ou « le bouton »). La bataille est meurtrière - plus de 10 600 hommes tués ou blessés - mais l'offensive est une victoire déterminante. Les Allemands sont contraints de battre en retraite 3 km plus loin. Les Alliés se rendent maîtres des hauteurs surplombant la plaine de Douai. La victoire de Vimy constitue une avancée politique historique primordiale pour le premier des dominions de l'Empire britannique. Toutes les divisions canadiennes, autrefois dispersées dans différents régiments, sont réunies en une seule armée et placées pour la première fois sous commandement canadien. Vimy marque le démarrage du sentiment national canadien et soude les différentes provinces au cours des « Cents jours du Canada ».

W.B.R. King (1919) rapporte que, après la prise du *Pimple*, il avait été remarqué que certaines casemates en béton armé (anglais *pillbox*, allemand *Mannschafts Eisenbeton Unterstände*)

contenaient un granulats qui ne provenait pas de Belgique, et encore moins de l'Artois, et ne pouvait qu'avoir été apporté par voie fluviale.

Cet épisode illustre un autre rôle des géologues dans le conflit : l'analyse des matériaux de construction utilisés par l'ennemi. Les Britanniques ont demandé aux géologues du *British Geological Survey* d'analyser des échantillons de béton pris sur les casemates allemandes détruites. Leur expertise a apporté la preuve que ce béton était réalisé avec des graviers du bassin du Rhin, notamment des laves de la région de Niedermendig, dans la partie orientale de l'Eifel. Ces granulats ne pouvaient avoir été apportés en Belgique que par des canaux traversant les Pays-Bas, nation neutre. Une protestation auprès du gouvernement des Pays-Bas en janvier 1918 a mis fin à ce trafic.

Arrêt 5 – Arras, la carrière Wellington.

La bataille d'Arras.

A la fin de l'année 1916, les Alliés décident une offensive de diversion en Artois pour faciliter l'attaque projetée par les Français à l'est. Celle-ci aura lieu en avril 1917.

La présence d'un réseau ancien de carrières souterraines exploitées par « chambres et piliers » dans la craie sous Arras a permis de concentrer les troupes sans attirer l'attention de l'ennemi et de les faire surgir devant ses premières lignes (fig. 12).

L'exploitation souterraine a été largement guidée par le réseau de fractures de la craie (fig. 13). L'agencement de celles-ci se fait, pour l'essentiel, selon deux familles directionnelles N 105°-125° et N160°-180°. La régularité de la fracturation se reflète dans l'alignement de ces piliers, visible sur les plans des archives anglaises conservées au service archéologique municipal d'Arras (fig. 14). Cette organisation régulière a dû être un atout pour l'aménagement de ces cavités en cantonnement.

La 4^e section de tunneliers néo-zélandais, renforcée par plusieurs unités de fantassins, va creuser des tunnels afin de relier entre eux ces souterrains et les aménager pour permettre la concentration de troupes et leur progression sous le no man's land. Des travaux de terrassement, de signalétique, d'électrification et la mise en place de voies ferrées de 60 cm vont être réalisés.



Fig. 12 : Un escalier d'assaut (sortie 10) dans la carrière Wellington à Arras. © F. Bergerat.

Fig. 12 : An assault staircase (exit 10) in the Wellington Quarry in Arras.



Fig. 13 : Grandes fractures verticales formant les côtés de piliers dans la carrière Wellington à Arras. © F. Bergerat.

Fig. 13 : Large vertical fractures forming the sides of pillars in the Wellington Quarry in Arras.

La carrière Wellington fait partie du réseau du faubourg de Ronville, dont les carrières ont été baptisées par les tunneliers néo-zélandais du nom des villes de Nouvelle-Zélande, en suivant plus ou moins leur localisation géographique (de Bluff au sud à Russel au nord, en passant par Blenheim, Nelson, Wellington et Auckland : fig. 14). De nombreux graffiti réalisés par les soldats ainsi que des objets sont toujours visibles dans la carrière Wellington, aménagée pour accueillir le public.

« A la veille de la bataille d'Arras, les caves et carrières pouvaient héberger plus de 24 400 hommes dont 13 000 dans le secteur des places. Deux mille hommes pouvaient être placés dans le tunnel Saint-Sauveur, quant aux cantonnements souterrains de Ronville, 9 400 pouvaient aisément y prendre place. Cette capacité d'accueil convenait largement aux besoins d'une division d'infanterie de l'armée britannique. » (Jacques, 2000).

Le lecteur intéressé par une étude complète des carrières d'Arras (modes d'extraction de la craie, bataille d'Arras, lithostratigraphie, tectonique...) est invité à se reporter à l'article de Bergerat *et al.* (2015) « *Les carrières souterraines d'Arras : géologie, archéologie et histoire* » dans ce même volume.

Arrêt 6 – Archéologie : le char de Flesquières.

La Grande Guerre a longtemps été considérée d'un point de vue essentiellement mémoriel, autour des ossuaires, monuments et autres hommages rendus aux combattants, mais l'étude scientifique des traces de cet épisode de l'histoire de l'Europe est relativement récente.

Dans le nord et l'est de la France, et particulièrement dans les zones de terres labourables remises en culture dans l'immédiat après-guerre, les traces ont été totalement gommées. Seuls quelques sites préservés, comme Vimy ou Hill 60 montrent les cratères et le bouleversement pyrotechnique des sols que Hupy et Schaetzl (2006) ont appelé en anglais *bomburbation*, et qui est beaucoup plus marqué dans les « zones rouges » des forêts de l'Argonne et de Verdun.

Les agriculteurs, malgré des opérations conduites dans les années qui ont suivi la guerre pour récupérer les métaux, trouvent encore régulièrement des obus dans leurs champs. C'est la raison pour laquelle, lors des grands travaux d'aménagement récents

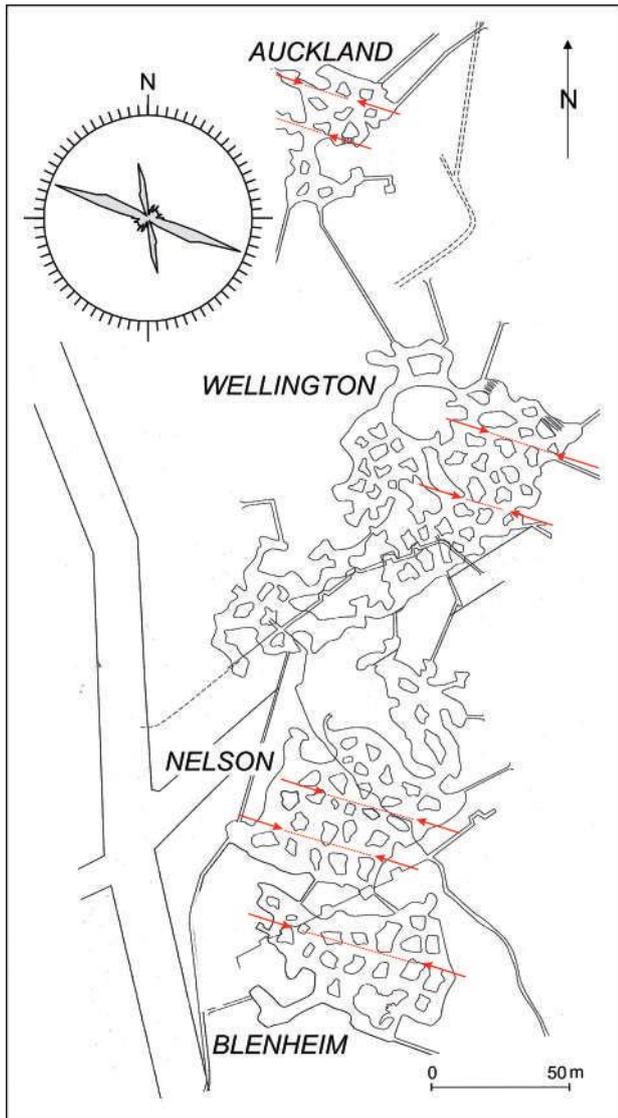


Fig. 14 : Plan d'une partie des carrières et tunnels de Ronville (archives anglaises, service archéologique municipal d'Arras). Les flèches rouges soulignent la direction N110°. En haut à gauche : rosace directionnelle de l'ensemble des 1700 fractures mesurées dans les carrières d'Arras.

Fig. 14 : Map of part of quarries and tunnels in the Ronville suburb (English archives, municipal archaeological department of Arras). The red arrows point out the direction N110°. Top left: Rose diagram of 1700 measured fracture planes in the Arras quarries.

dans le Nord et l'Est de la France, comme le canal Seine-Nord-Europe, les archéologues chargés des fouilles préventives ont d'abord été formés par les services de déminage à la sécurité face aux projectiles non explosés déterrés lors des travaux (Desfossés *et al.*, 2008).

Au début, les archéologues étaient peu préparés à l'étude de ces couches récentes, où la découverte d'un corps provoquait un choc émotionnel que ne provoquaient pas des restes humains plus anciens. Mais, à la suite d'initiatives individuelles au niveau local, ils se sont convaincus que ces niveaux avaient autant d'importance que les couches plus anciennes, antiques ou médiévales. Aux témoignages écrits sur lesquels se fondait notre image du quotidien des soldats, et à une vision de la guerre au travers du

nom des batailles et de la stratégie des chefs, s'est ajoutée une approche scientifique sur les vivants, leur vie quotidienne à la lumière des objets retrouvés, et la façon dont ils ont fait face au traumatisme de la mort de masse et traité les corps, un des thèmes du prix Goncourt 2013 («*Au revoir là-haut*» de Pierre Lemaitre).

La passion du public pour la reconstitution de la vie quotidienne de leurs parents, grands-parents et arrière-grands parents mobilisés ne doit pas faire oublier que l'intérêt de l'approche archéologique de la Grande Guerre a été contesté. En 1997, une table ronde à l'Historial de la Grande Guerre de Péronne a été consacrée à la question «*L'histoire de la Grande Guerre a-t-elle besoin de l'archéologie ?*» (Duménil, 1998). Dans son compte rendu, Anne Duménil décrit les hésitations des archéologues sur le cas des restes d'Alain-Fournier : les fouilles proposées ne s'intégraient ni dans une problématique de recherche antérieurement constituée ni dans la programmation annuelle du Service régional d'archéologie et les archéologues craignaient un «*dévoiement*» et une «*instrumentalisation*» de leur discipline «*à des fins exogènes*».

De leur côté, des historiens se sont interrogés sur les apports possibles de l'archéologie à leur discipline, dans un contexte où la documentation est déjà abondante et compte tenu du coût de la mise en œuvre de programmes archéologiques cohérents qui paraissait disproportionné au regard des résultats que les historiens pouvaient en attendre : certains d'entre eux se demandent dans quelle mesure l'archéologie pourrait modifier l'état actuel des connaissances.

Parmi les éclairages que l'archéologie apporte sur la vie quotidienne des combattants, les plus spectaculaires, et de ce fait les mieux connus depuis longtemps, sont l'artisanat de tranchées et les œuvres sculptées ou gravées dans les carrières et abris souterrains, qui vont du simple graffiti à des monuments aux morts ou des chapelles.

Mais l'archéologie a permis de reconstituer des aspects encore mal connus de l'expérience combattante, comme le savoir-faire du soldat et surtout l'alimentation et l'approvisionnement, sur lesquels s'accumulent à présent le plus de données. Les objets et déchets retrouvés permettent de se faire une image plus exacte du ravitaillement en nourriture au quotidien, apportant des éléments qui n'avaient jamais été observés, même sur les photos d'époque.

La visite des carrières souterraines d'Arras a permis de voir de nombreux graffiti, dont certains en langue maori, des ustensiles de cuisine, des boîtes de thés et de biscuits, et de nombreuses jarres SRD (probablement pour *Service Ration Depot*) en grès (fig. 15). Les Tommies lisaient, dit-on «*Soon Runs Dry*» (vite à sec).

La découverte du char (Desfossés *et al.*, 2008).

La découverte du char Mark IV de Flesquières est due à la persévérance d'un passionné de l'histoire de la Première Guerre mondiale, Philippe Gorczynski, qui était persuadé de découvrir un jour un exemplaire complet d'un des chars détruits à la bataille de Cambrai (20 novembre - 7 décembre 1917) et enterré sur place (fig. 16).

Seuls quelques très rares exemplaires de chars de la Première Guerre mondiale subsistent à travers le monde, et ils ont subi depuis de nombreuses transformations : aménagements muséographiques ou pour de nouvelles utilisations comme la formation des équipages. Le char de Flesquières a été conservé en l'état et sa fouille méticuleuse a permis d'observer la présence de caissons de bois contenant pièces détachées, graisseurs et outils, mais



Fig. 15 : Châlit et objets du quotidien des soldats dans la carrière Wellington. © F. Bergerat.

Fig. 15 : Bedstead and objects of the soldiers in the Wellington quarry.

aussi de retrouver des panneaux de signalisation, détails jusqu'alors inconnus. Enfin, ce blindé reste le seul vestige tangible de la bataille de Cambrai et, à ce titre, il a été classé monument historique en 1999 (fig. 17 et 18).

Flesquières et la progression sur la craie sèche.

Parmi les raisons du choix de la région de Cambrai pour la première attaque massive de chars, l'une est géologique : le terrain crayeux, ferme et bien drainé, paraissait mieux adapté aux chars que le terrain argileux des Flandres.

Ce choix eut toutefois des conséquences inattendues à Flesquières, où les fantassins ne purent pas se déplacer à la même vitesse que les chars.

R. Villate (1925) rapporte que « les plus grandes avancées réalisées pendant la guerre le furent dans des contrées calcaires où la perméabilité du sol fait disparaître l'eau rapidement : en Picardie, en Champagne. La bataille du Cambrésis, le 20 novembre 1917, fut livrée sur un terrain crayeux où les chars d'assaut britanniques purent avancer à bonne allure. Ils allaient

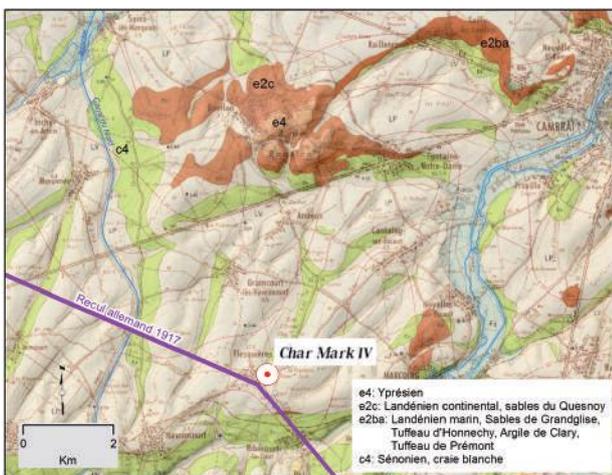


Fig. 16 : Le contexte géologique de la bataille de Cambrai sur fond de carte géologique à 1/50 000° Cambrai n° 36 éd. BRGM. © CDP Consulting.

Fig. 16 : The geological setting of the Battle of Cambrai.

même si vite qu'ils distancèrent l'infanterie et ne furent plus soutenus au moment où ils auraient eu besoin de leurs camarades de combat. Leur arrivée prématurée sur la crête de Flesquières les exposa au tir d'une batterie d'artillerie qui en démolit seize à bout portant ».

Arrêt 7 – Lochnagar crater à La Boisselle.

Contexte géologique.

Cette zone correspond à la craie affleurante et plus précisément aux affleurements du Sénonien. La craie est un aquifère d'importance nationale puisqu'elle couvre un quart du territoire français et que son épaisseur peut atteindre 700 mètres sous la Brie. La nappe est de type libre.

Un programme de forages réalisés sous la direction de William B.R. King avait pour but de reconnaître la tranche utile c'est-à-dire l'aquifère de la craie.

Les sondages exécutés par les armées britanniques dans la craie du nord de la France (King, 1920).

L'exécution de ces sondages était confiée à six sections spéciales (*Boring sections*) du Génie, réparties à raison d'une section pour chacune des 5 armées, la sixième section faisant partie d'un organisme dépendant directement du Grand Quartier Général : l'*Australian electrical mechanical mining and boring company*.

Le système adopté était le forage au trépan, le plus généralement du type du « câble vif » employé en Amérique, méthode admirablement efficace pour l'avancement rapide dans la craie. Mais dans l'argile yprésienne, le maximum de vitesse était obtenu en combinant à la percussion un système d'injection d'eau. Ces méthodes, fort bien adaptées aux besoins de la guerre, avaient toutefois le grand inconvénient de rendre très délicate la détermination géologique des couches traversées, car les seuls échantillons ramenés à la surface l'étaient sous la forme de menues particules empâtées dans une boue résultant du broyage de la roche par le trépan.

Généralement les sondages n'étaient pas surveillés par un géologue au cours de leur creusement, et les documents ont été ordinairement extraits du rapport envoyé au Quartier Général par l'officier commandant la « *Boring section* », qui empruntait les détails au journal de sondage de ses hommes. C'est pourquoi il arrive que l'on trouve indiquée fréquemment, en-dessous de la « craie à silex » la présence d'argile ou marne « avec silex ». Il



Fig. 17 : Le char de Flesquières, présenté par Philippe Gorczynski. ©J.-Cl. Porchier.

Fig. 17 : The battle tank of Flesquières presented by Philippe Gorczynski.



Fig. 18 : Le char de Flesquières. La perte de tout l'avant droit autorise un accès direct au compartiment de combat et permet d'imaginer les conditions de vie des équipages. ©J.-Cl. Porchier.

Fig. 18 : The battle tank of Flesquières. The loss of the front right permits a direct access to the fighting compartment and allows imagining the living conditions of the crews.

n'y a guère de doute que, dans la majorité des cas, les silex observés sont des fragments de « cornus » supérieurs qui, faisant saillie dans le forage, ont été brisés et sont retombés. Aussi William B.R. King a-t-il toujours admis comme limite supérieure des marnes turoniennes la première couche de « marne » ou « argile » rencontrée, sans tenir compte de la présence de silex dans les marnes elles-mêmes.

Une autre remarque doit être faite également pour les sondages effectués dans les régions où la présence de couches phosphatées était connue, comme à Templeux-la-Fosse. Les sondeurs étaient tentés de désigner sous le nom de « phosphates » toute couche ayant une couleur brunâtre et un aspect sableux, même si elle n'était pas phosphatée.

Le diamètre des forages était ordinairement de 6 pouces (environ 15 centimètres) ; quelques-uns faisaient 8 pouces (20 centimètres). Un grand nombre de forages ont été détruits au cours des combats et la plupart de ceux qui sont demeurés intacts ont été abandonnés après retrait des pompes.

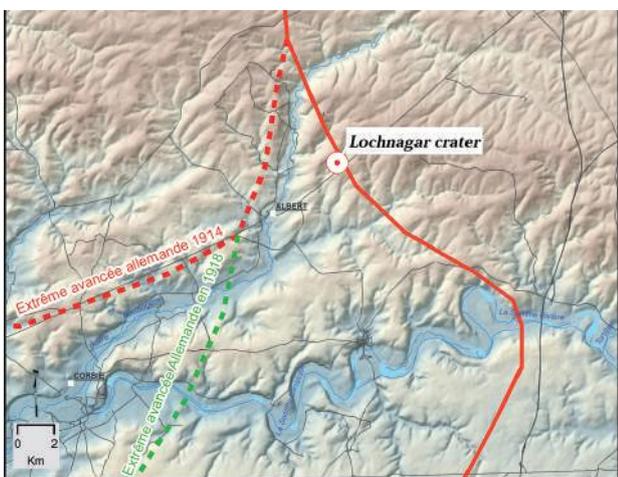


Fig. 19 : Carte topographique du secteur de Lochnagar Crater. © DCP Consulting.

Fig. 19 : Topographic map of the Lochnagar Crater sector.

Pendant la plus grande partie de la période où ces sondages ont été exécutés, William B.R. King a profité constamment des avis et du concours du Lieutenant-colonel T. W. Edgeworth David, de Sydney, pour toutes les questions relatives à l'étude géologique pour ces travaux.

Lors de la séance du 17 décembre 1919 de la Société Géologique du Nord, Charles Barrois exprime la reconnaissance des géologues du Nord au capitaine William B. R. King « *d'avoir soigneusement relevé la coupe des sondages exécutés par le génie anglais dans la région du Nord, et d'en avoir condensé les résultats dans l'intention d'être utile à ceux qu'intéressent la structure du sous-sol et la position des nappes aquifères. A ce point de vue la carte qu'il a dressée, et qui donne la position de ces forages, constitue un document précieux. Les courbes de niveau portées sur cette carte représentent l'altitude de la surface des marnes crayeuses, avec une première approximation* »

Une communication a été faite le 9 mars 1921, par William B. R. King, à la Société Géologique de Londres, dans laquelle il a donné les résultats de ses études les plus récentes sur cette surface, en montrant ses rapports avec la tectonique et l'hydrologie de la région. On trouve résumés dans les pages de ce texte les résultats de 414 forages qui ont été faits en France par les armées britanniques, pour leur alimentation en eau pendant la guerre.

Le cratère de mine de Lochnagar.

La Grande Mine de La Boisselle (Somme), en anglais *Lochnagar Crater*, avait été creusée dans la craie par les *Tunnelling Companies des Royal Engineers* sous un ouvrage allemand appelé le *Schwabenhöhe* (la Colline des Souabes), au sud du village de La Boisselle (fig.19). La mine n'a pas été nommée en référence au lac écossais *Lochnagar* mais en référence à *Lochnagar Street*, rue de Londres dont le nom avait été donné à la tranchée britannique d'où étaient partis les sapeurs. Elle faisait partie d'une série de 19 mines placées sous les lignes allemandes sur la section britannique du front de la Somme. La mine, chargée de 28 tonnes d'ammonal, a explosé à 7 h 28 le 1^{er} juillet 1916, premier jour de la Bataille de la Somme (fig. 20). Le cratère a été pris et tenu par les troupes britanniques mais les attaques sur les flancs de part et d'autre ont été repoussées par les Allemands, sauf sur le flanc à l'extrême droite et au sud de La Boisselle, au nord de l'entonnoir. Le village de La Boisselle ne tombera que quelques jours plus tard.



Fig. 20 : Lochnagar Crater aujourd'hui. © François Duchaussois.

Fig. 20 : The Lochnagar Crater today.

LE LAONNOIS ET LE SOISSONNAIS.

Arrêt 8 – La butte-témoin de Laon.

La ville de Laon a été occupée par les Allemands pendant toute la durée de la guerre.

La butte-témoin de Laon montre la succession : craie sénonienne, sables de Vaux, sables de Bracheux (Thanétien), sables de Cuise (Yprésien), argile de Laon (Yprésien) et Calcaire grossier (Lutétien) qui la couronne.

La ville haute, sur les calcaires lutétiens, est creusée d'anciennes carrières et de galeries militaires dont une partie a été aménagée en circuit pédagogique dans lequel on peut voir la Pierre à Liards, le Calcaire coquillier et le banc à Verrains (*Campanile giganteum*) qui constituent le toit d'une partie des galeries (fig. 21).

La visite, guidée par Denis Montagne, a été suivie d'un vin d'honneur offert par la mairie de Laon dans une redoute du XIX^e siècle. Cette manifestation a permis de goûter le vin effervescent de Craonnelle, produit comme le Champagne avec les cépages chardonnay, pinot noir et pinot meunier, mais qui ne bénéficie pas d'une appellation d'origine contrôlée.

Arrêt 9 – Nouvion-Vingré, les carrières de Confrécourt.

Contexte géologique.

Au plan géomorphologique, le Soissonnais se présente comme un promontoire orienté est-ouest limité au nord par la vallée de l'Ailette et au sud par la vallée de l'Aisne. Les affluents de l'Aisne et de l'Ailette ont profondément érodé les plateaux. L'altitude du plateau décroît du nord vers le sud (de 170 à 150 m) et traduit le pendage général vers le centre du bassin de Paris. Le dénivelé entre le plateau et les fonds de vallée est d'environ 100 m (fig. 22).

Cet entablement est armé par les calcaires du Lutétien, épais d'environ 20 m, qui reposent sur les sables de Cuise (Yprésien) épais d'environ 60 m.

L'absence d'aquifère dans le Lutétien a permis aux Allemands de creuser des tunnels dans les sables de Cuise sous-jacents (Laforgerie et Weiss, 2003). La plupart de ces tunnels ont été creusés sur le flanc nord du Chemin des Dames pour permettre les déplacements rapides des troupes. Il subsiste peu de traces



Fig. 21 : *Campanile giganteum* au toit d'une galerie souterraine de la citadelle de Laon. © François Duchaussois.

Fig. 21 : *Campanile giganteum* at the roof of an underground tunnel of the citadel of Laon.

de ces travaux dont on connaît l'existence surtout par les cartes et documents de l'armée allemande mais qui sont à présent éboulés ou inaccessibles.

Le Lutétien inférieur, épais de quelques mètres, est constitué par la Glauconie grossière et le calcaire à Nummulites.

Le Lutétien moyen (Calcaire grossier) est épais d'une douzaine de mètres. Il a fait l'objet d'une exploitation souterraine en carrière.

Le Lutétien supérieur est constitué par le Calcaire à Cérithes et les Marnes et Caillasses.

Le Lutétien est recouvert de façon sporadique par les Sables de Beauchamp. A sa base se développent de façon discontinue les argiles de Laon épaisses de quelques mètres. Elles génèrent localement dans le Lutétien une nappe libre perchée.

Les creutes du Soissonnais.

Comme on l'a vu plus haut, les Allemands, en retraite après la bataille de la Marne, se sont installés sur le rebord septentrional de la vallée de l'Aisne, où ils ont trouvé de nombreuses carrières que des générations de paysans avaient creusées pour exploiter le Calcaire grossier, et localement appelées « creutes ».

Pour Villate (1925), ces carrières offrent confort et sécurité, si le plafond est assez épais et si des plaques ne risquent pas de se décoller, danger pour lequel l'expertise d'un géologue peut s'avérer utile. L'entrée en est la partie la plus exposée au danger, et les carrières restent vulnérables à des attaques aux gaz que l'ennemi peut toujours faire pénétrer par des diaclases, des fissures ou des puits dus à l'exploitation.

Les carrières ont souvent servi de bases pour l'arrière : réserves, territoriaux, service de santé.

Les belligérants ont laissé de nombreuses traces, gravures et sculptures, qui font participer ces carrières au tourisme de mémoire.

Les carrières de Confrécourt, exploitées d'abord à ciel ouvert puis en galeries souterraines, sont creusées dans les formations du Lutétien moyen exploitées en plusieurs niveaux : Banc de Saint-Leu (Lutétien moyen à *N. variolarius*, miliolites et *Ditrupe strangulata*) et Banc à Verrains (*Campanile giganteum*), à l'étage inférieur de la carrière. Ce dernier forme ici le ciel de carrière et constitue la séparation entre l'étage inférieur et l'étage supérieur, lequel comprend le Vergelé, niveau idéal pour les pierres à bâtir.

Ces carrières ont servi d'abri pour les soldats pendant quatre ans, comme en témoignent les nombreuses gravures et les bas-reliefs (bustes de Marianne, blasons des régiments, autels de chapelles souterraines) sculptés sur les parois de ces carrières de pierre tendre (fig. 23).

LA CHAMPAGNE.

Arrêt 10 – La ferme de Navarin.

Dans cette partie orientale du bassin une érosion intense sans doute d'âge éocène inférieur a fait disparaître au moins 500 m de craie. En effet, cette épaisseur, observable à Reims sous les sédiments tertiaires de la Montagne de Reims ou du Mont Berru, passe à une épaisseur nulle, 50 kilomètres plus à l'est.

Même si la craie paraît homogène, l'érosion a exhumé les niveaux plus compétents créant ainsi un relief de cuesta. Depuis la base, la succession lithologique dans la craie est la suivante : marnes et craie du Cénomaniens (30 m), marnes crayeuses ou Diévenon du Turonien inférieur et moyen (30 m), Craie de Reims du Turonien supérieur (25 m), Craie de Châlons du Coniacien inférieur et moyen (45 m).



Fig. 22 : Carte géologique du Laonnois et du Soissonnais. Assemblage de 4 cartes à 1/50 000 : n° 83 La Fère, n° 84 Laon, n° 106 Soissons, n° 107 Craonne. (© BRGM). Les lignes bordeaux en bas de la carte représentent les lignes de front successives en octobre 1914. © CDP Consulting.

CONCLUSIONS.

Ces trois journées passées sur le front de l'ouest nous ont permis d'illustrer par plusieurs exemples le rôle de la géologie dans le déroulement des opérations militaires.

Les Flandres nous ont montré la difficulté de creuser des abris dans des sols où les eaux souterraines affleurent à faible profondeur, mais aussi l'avantage défensif contre une invasion que peut constituer le recours à l'inondation.

Au sud des Flandres, nous avons vu comment un accident tectonique peut radicalement changer le paysage, comment le changement de lithologie a pu favoriser une guerre de tranchées et de mines, et comment une meilleure connaissance de la géologie locale a pu faciliter ces opérations souterraines.

De la craie de l'Artois à la craie de Champagne, en passant par le Calcaire grossier lutétien, nous avons pu observer divers exemples de l'utilisation de la géologie locale.

D'autres utilisations de la géologie ont concerné l'aptitude des sols à la circulation, notamment avec les premières batailles utilisant les chars, et l'hydrologie, du point de vue de l'approvisionnement en eau potable des troupes et des risques d'inondation des ouvrages souterrains.

Les travaux du génie n'ont pas tous donné lieu à des publications scientifiques. Toutefois, les alliés dont l'engagement et le sacrifice furent immenses, furent précurseurs et firent appel dès le début du conflit à des professionnels des travaux souterrains et à des géologues confirmés et motivés. Certaines de leurs reconnaissances et de leurs synthèses ont fait foi pendant de nombreuses années après la guerre.

Cet itinéraire sera poursuivi de l'Argonne jusqu'au Vosges et fera l'objet de prochaines journées d'étude de l'Association des Géologues du Bassin de Paris.

Remerciements. Nous sommes reconnaissants à la Mission du Centenaire qui a accordé le label « Centenaire » à ces journées d'étude. Nous remercions particulièrement les responsables de sites touristiques (Boyau de la Mort, Carrière Wellington) ou d'associations (association Soissonnais 14-18), la Mairie de Laon et les particuliers (Ph. Gorczynski, D. Montagne) qui nous ont accueillis lors de ces journées. Enfin, notre gratitude va à N. Santarelli pour sa relecture approfondie et ses suggestions.



Fig. 23 : Gravure faite par les soldats dans les carrières de Confrécourt. © F. Bergerat.

Fig. 23 : Stonecutting made by the soldiers in the Confrécourt quarries.

Pour l'interprétation des références aux couleurs dans les légendes des figures ou dans le texte, le lecteur est renvoyé à la version pdf de cet article.

For the interpretation of references to colors in the figure captions or in the text, the reader is referred to the pdf version of this article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROIS Ch. (1919) - La Société géologique du Nord pendant la guerre. *Ann. Soc. Géol. Nord*, tome XLIV, p.XI-XVI.
- BERGERAT F., JACQUES A., VANDYCKE S., AMÉDRO F. ROBAS-ZYNSKI F. et FAÏ O. (2015) - Les carrières souterraines d'Arras : géologie, archéologie et histoire. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, vol. 52, n°3, p. 3-26.
- BOULANGER P (2002) - De la géographie dans l'art militaire, l'Ecole française de géographie militaire (XIX^e-XX^e siècles). *La géographie*, n°1505, p. 37-44.
- BOUROZ A. (1956) - Contribution à l'étude des failles épicrotacées de l'Artois. - *Ann. Soc. Géol. Nord*, vol. 76, p. 51-62.
- BRIQUET A. (1906) – Sur l'origine des collines de Flandre : quelques considérations de tectonique et d'hydrographie. *Ann. Soc. Géol. Nord*, tome XXXV, p. 273.
- BRIQUET A. (1919) - Observations nouvelles sur la géologie des collines de Flandre. *Ann. Soc. Géol. Nord*, tome XLIV, p. 109-115.
- BROOKS A.H. (1920) - The use of Geology on the Western Front, *Professional Paper. 128 D., U. S. A. Geol. Survey*. Washington, p.85-124.
- CAMELBEECK T., VERBEECK K., LECOCQ T., VANNESTE K., SÉBRIER M., BERGERAT F., JOMARD H., BAIZE S., COLBEAUX J.-P. et VANDYCKE S. (2012) - The recent activity of the Marquelles fault (Artois). *4TH International Geologica Belgica Meeting*, Bruxelles, 11-14 septembre 2012. Moving Plates and Melting Icecaps. Processes and Forcing Factors in Geology. vol. de résumés, 1 p.
- COLBEAUX J.-P., SOMMÉ J. et 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*. vol. 18, n°3-4, p. 183-192.
- DESFOSSÉS Y., JACQUES A. et PRILAUX G. (2008) - Archéologie de la Grande Guerre. OUEST-FRANCE – INRAP éd. 127 p.
- DUDLEY STAMP L. (1919) - Note sur la géologie du Mont-Aigu et du Mont-Kemmel. *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. XLIV, p. 115-126.
- DUDLEY STAMP L. (1920) - Un niveau fossilifère de l'Argile des Flandres à Ploegsteert (près Messines). *Ann. Soc. Géol. Nord*, tome XLV, p. 167-174.
- DUMÉNILA. (1998) - La grande guerre a-t-elle besoin de l'archéologie ? *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, n°59, juillet-septembre 1998. p. 153-155.
- GINSBURGER N. (2010) - La guerre, la plus terrible des érosions - Cultures de guerre et géographes universitaires - Allemagne-France-Etats-Unis (1914-1921). Thèse Université Paris Ouest Nanterre-LaDéfense, 1682 p.
- GREGORY H.E. (1918) - Military Geology and Topography. A Presentation of Certain Phases of Geology, Geography and Topography for Military Purposes. Yale University Press, 281 p.
- GROUNER J.S. von (1826) - Verhältnis der Geognosie zur Kriegs-Wissenschaft. *Moll's neue Jahrbücher der Berg- und Hüttenkunde*, Nürnberg, 6 (2), p. 187-233.
- HUPY J.P. et SCHAETZL R.J. (2006) - Introducing «Bomburbation», a Singular Type of Soil Disturbance and Mixing. *Soil Science*, vol. 171, n°11, p. 823-836.
- JACQUES A. (2000) - La Bataille d'Arras. *Document d'Archéologie et d'Histoire du XX^e siècle* - n°5
- JOHNSON D.W. (1917) -Topography and Strategy in the War. Henry Holt and Company, New York, 211 p.
- KING W.B.R. (1919) - Geological work on the Western front. *The Geographical Journal*, vol. 54 n°4, p. 201-221.
- KING W.B.R. (1920) - Résultats des sondages exécutés par les armées britanniques dans le Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, - tome XLV, p. 9-34
- KING W.B.R (1921) - The Surface of the Marls of the Middle Chalk in the Somme Valley and the Neighbouring Districts of Northern France, and the Effect on the Hydrology. *The Quarterly Journal of the Geol. Soc. of London*, vol. 77, p. 135-143, pl. III.
- KRANZ W. (1913) - Militärgeologie. *Kriegstechnische Zeitschrift*, 16, p.464-471.
- KUSMAN D., LAMBERT J., ALEXANDRE P. et 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*, vol. 126, n°2. p. 34-41.
- LAFORGERIE E. et WEISS J.F. (2013) - Les souterrains de la Première Guerre mondiale - du creusement au témoignage - YSEC éd - Tome 1. 2013, 304 p.
- LAURE E. dit Henri-René (1916) - Lorette, une bataille de douze mois - Octobre 1914 – octobre 1915. Perrin et Cie, 265 p.
- MILON Y. (1926) – Applications de la géologie à la guerre moderne. *Bull. Soc. Scient. Bretagne*, tome 3, fasc.1, p. 51-75.
- MINGUELY B., AVERBUCH O., PATIN M., ROLIN D., HANOT F. et 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. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, vol. 181, n°5, p. 429-442.
- QUIJANO Y ARROQUIA A. R. de (1876) - La guerre et la géologie, J. Dumaine éd. 312 p.
- VERBEECK K., LECOCQ T., VANNESTE K. , KUSTERS D., CAMELBEECK T., SÉBRIER M., BERGERAT F., JOMARD H., BAIZE S., COLBEAUX J.-P., TESNIÈRE C. et VANDYCKE S. (2012) - Earthquake and fault activity in northern France. *GeoReg. Forum de la Fédération française des Géosciences*, Lille, 23-27 octobre 2011, vol. de résumés, p.22.
- VILLATE R. (1925) - Les conditions géographiques de la guerre. Étude de géographie militaire sur le Front Français de 1914 à 1918, 350 p. Bibliothèque Géographique, Payot éd. Paris, 350 p.



L'Ossuaire de Navarin à Souain-Perthes-lès-Hurlus (Marne) © JP Gély

Entrée des « carrières du 1^{er} zouave »
ouvertes dans le Lutétien à Berny-Rivière
(Aisne) © JP Gély



Cratère de mine de Wijtschate (Messines).
La mine faisait partie des 19 dont l'explosion
marqua le début de la 3^e bataille d'Arras.
© JP Gély

Association des Géologues du Bassin de Paris
Rédaction et administration
Tour 56 E5
4, place Jussieu
75 252 Paris cedex 05
n° SIRET 328 440 664 00014
IBAN : FR41 2004 1000 0107 7174 1E02 092
CCP PARIS 7 717 41 E
www.agbp.fr

Association loi 1901 reconnue d'utilité publique le 21 juillet 1988.

BULLETIN D'ADHESION

NOM (en capitales) :

Prénom :

Date de naissance :

Titres :

Fonctions :

Adresse internet :

Adresse personnelle :

Adresse à laquelle il faut envoyer le bulletin :

Demande à être reçu membre de l'association des Géologues du Bassin de Paris

MM.....et.....sont chargés de me présenter
signatures des parrains et de l'adhérent

Date :

cotisations et abonnements

Membres ordinaires :

cotisation : 8 euros

cotisation + abonnement : 43 euros

Membres extraordinaires (organismes, laboratoires..)

cotisation : 16 euros

abonnement : 70 euros

SOMMAIRE

BERGERAT (Françoise), JACQUES (Alain), VANDYCKE (Sara), AMÉDRO (Francis), ROBASYNSKI (Francis), FAÏ (Ophélie). – Les carrières souterraines d'Arras : géologie, archéologie et histoire	3
HANOT (Franck), BERGERAT (Françoise), GÉLY (Jean-Pierre), PORCHIER (Jean-Claude), VICELLI (Joséphine). – La géologie du front occidental de la Grande Guerre des Flandres à la Champagne	27

Prix du fascicule : 15 €
CPPAP 05 17 G 85462
Dépôt légal : 3^e trimestre 2015

Directeur de la publication : M. J. ROULET
Achevé d'imprimer sur les presses
de l'imprimerie LAUNAY