



Société Géologique du Nord



Alain BLIECK & Jean-Pierre DE BAERE dir.

ANNALES

Tome 19 (2^{ème} série)
parution 2012



SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Extraits des Statuts

La Société Géologique du Nord a pour objet de concourir à l'avancement de la Géologie en général (Sciences de la Terre s. l.), et plus particulièrement de la Géologie des régions du nord de la France et de l'Europe. La Société se réunit plusieurs fois dans l'année. Elle publie des *Annales* mises en vente selon un tarif établi par le Conseil d'administration. Les sociétaires bénéficient d'un tarif préférentiel. Le nombre des membres de la Société est illimité. Pour en faire partie, il faut s'être fait présenter dans l'une des séances par deux membres de la Société (« parrains ») et y avoir été proclamé membre.

Extraits du Règlement Intérieur

Les *Annales* et leurs suppléments éventuels constituent le compte rendu des séances. Seuls les membres ayant acquitté leurs cotisation et abonnement depuis trois années consécutives peuvent publier aux *Annales*. L'ensemble des notes présentées au cours d'une même année, par un auteur, ne peut dépasser le total de 8 pages, une planche photo étant comptée pour 2 pages ½ de texte. Le Conseil d'administration peut, par décision spéciale, autoriser la publication de notes plus longues. Les notes originales (texte et illustrations) communiquées à la Société et destinées aux *Annales* doivent être remises au secrétariat le jour même de leur présentation.

Avertissement

La Société Géologique du Nord ne peut en aucun cas être tenue pour responsable des actes ou des opinions de ses membres.

Diffusion des articles des *Annales*

La SGN n'imprime plus de tirages à part sur papier de ses articles. Ceux-ci sont diffusés sous forme électronique pdf (Portable Document Format) aux conditions définies par le Conseil d'administration :

- pour un auteur membre de la SGN : pdf gratuit (sous réserve que l'auteur se sera acquitté des frais de dépassement au cas où l'article ferait plus de 8 ou 10 pages) ;
- pour un 1^{er} auteur non-membre : pdf gratuit (sous réserve que l'auteur se sera acquitté des frais de publication appliqués aux non-membres).

Pour toute autre personne désirant acquérir un article des *Annales*, il lui sera fourni au format pdf contre la somme de 20 € TTC (tarif réduit de 10 € TTC pour un étudiant sur présentation d'un justificatif).

Cotisations et Abonnements (2012)

	QUALITÉ	COTISATION	ABONNEMENT aux Annales	TOTAL
France et Union Européenne.	Personnes physiques	10 € T.T.C.	25 € T.T.C.	35 € T.T.C.
Autres Pays	Personnes physiques	10 € T.T.C.	30 € T.T.C.	40 € T.T.C.
Tous Pays	Personnes morales	50 € T.T.C.	50 € T.T.C.	100 € T.T.C.

Abonnement des étudiants sur présentation d'un justificatif : 50% de réduction.

Abonnement des non-membres : FRANCE : 50 € T.T.C. — Union Européenne : 50 € H.T. — Autres Pays : 50 € H.T.

Sont en vente au Siège de la Société :

Annales de la Société Géologique du Nord

La vente s'effectue par tomes entières aux prix suivants, jusqu'à épuisement du stock. Seuls les fascicules thématiques sont en vente séparément (voir ci-dessous).

Chaque Tome (dans la limite de disponibilité des anciens numéros).....	10 € par Tome
La série complète des <i>Annales</i> (dans la limite de disponibilité des anciens numéros).....	120 €

Tables générales des *Annales* et des *Mémoires de la Société Géologique du Nord*

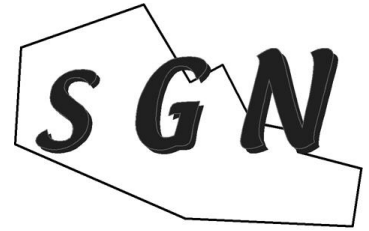
Table 1 (Tomes I à XX), Table 2 (Tomes XXI à XXX), Table 3 (Tomes XXXI à XL), Table 4 (Tomes XLI à LXXIX), Table 5 (Tomes LXXX à CIX).....	8 € par Table
---	---------------

Fascicules thématiques des *Annales de la Société Géologique du Nord*

Ecorché géologique infra-mésozoïque, in : <i>Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France</i> , par C.F.P.(M.), COPESEP & S.N.P.A. (Ann. SGN, LXXXV (3), 1965).....	15 €
<i>Géologie du Nord de la France</i> (Ann. SGN, LXXXIX (1), 1969).....	10 €
<i>Rapport des Travaux du Centenaire 1870-1970</i> (Ann. SGN, XC (4), 1970, publié 1971).....	15 €
<i>Rupture des roches et massifs rocheux</i> (Ann. SGN, XCV (3), 1975).....	10 €
<i>Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale</i> (Ann. SGN, XCVI (4) et XCVII (1), publié 1977).....	15 €
<i>Apports récents à la géologie du Gondwana</i> (Ann. SGN, XCVII (4), 1977, publié 1978).....	15 €
<i>Géologie de l'Europe, du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens</i> (Ann. SGN, XCIX (1), 1979, publié 1980).....	20 €
<i>Géologie appliquée aux problèmes d'énergie et de matières premières</i> (Ann. SGN, CII (2), 1982).....	10 €
<i>Tectonique cassante en distension et coulissement</i> (Ann. SGN, CIII (2-3), 1983, publié 1984).....	20 €
<i>Aspects de la géologie de l'Ardenne, hommage au Professeur Beugnies</i> (Ann. SGN, CV (2), 1985, publié 1986).....	10 €
<i>Paléozoïque supérieur continental</i> (Ann. SGN, CVI (2), 1986, publié 1987).....	15 €
<i>Actualisation de quelques thèmes géologiques – Conférences</i> (Ann. SGN, CVI (4), 1986, publié 1988).....	10 €
<i>Aspects de la géologie du Gondwana</i> (Ann. SGN, CVII (1), 1987, publié 1988).....	10 €
<i>Géologie et aménagement régional</i> (Ann. SGN, CIX (1-2), 1989, publié 1990).....	15 €
<i>Le Nord et son environnement géologique</i> (Ann. SGN, 2e série, 2 (1), publié 1993).....	10 €
<i>Le Jurassique du Boulonnais</i> (Ann. SGN, 2e série, 4 (4), 1996).....	8 €
<i>Séance spécialisée sur les bassins houillers du nord de la France et du sud de la Belgique</i> (Ann. SGN, 2e série, 5 (1), 1997).....	8 €
<i>Dossier consacré au Dévonien de l'Ougarta (Sahara occidental, Algérie)</i> (Ann. SGN, 2e série, 5 (2), 1997).....	8 €
<i>La craie : objet géologique, réservoir, matériau et paysage</i> (Ann. SGN, 2e série, 5 (3) et 5 (4), 1997).....	15 €
<i>Colloque Artois-Brabant</i> (Ann. SGN, 2e série, 6 (2), 1998).....	8 €
<i>North Gondwana Mid-Palaeozoic Bioevent / Biogeography patterns in relation to crustal dynamics (IGCP 421, Isfahan)</i> (Ann. SGN, 2e série, 7 (1) et 7 (2), 1999).....	15 €
<i>2e Journées Nationales du Patrimoine Géologique</i> (Ann. SGN, 2e série, 7 (4), 2000).....	15 €
<i>New systematic and palaeobiogeographic data from the Palaeozoic of Central Iran</i> (Ann. SGN, 2e série, 8 (2), 2000).....	8 €
<i>The Cambrian and Lower Ordovician of the southern Montagne Noire (Languedoc, France) – A synthesis for the beginning of the new century</i> (Ann. SGN, 2e série, 8 (4), 2001).....	8 €
<i>Centenaire du Musée Gosselet</i> (Ann. SGN, 2e série, 10 (2-3), 2003).....	15 €
<i>Dossier spécial : Stratigraphie du Paléozoïque</i> (Ann. SGN, 2e série, 11 (4), 2005).....	8 €

Pour toute commande, s'adresser au Secrétariat de la SGN : Université Lille 1 – Sciences et Technologies, UFR des Sciences de la Terre (SN5), F-59655 Villeneuve

d'Ascq cedex (France) Université Lille 1
(* Tous les prix sont indiqués T.T.C. (TVA 5.50% incluse).



Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 19 (2^{ème} série)
parution 2012

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 2012-2014 —

<i>Présidente d'honneur</i>	M ^{lle} Denise BRICE
<i>Président</i>	M. Alain BLIECK
<i>Premier Vice-Président</i>	M. Francis MEILLIEZ
<i>Seconds Vice-Présidents</i>	M. José LEPLAT M. Bruno MISTIAEN
<i>Secrétaire</i>	M. Fabien GRAVELEAU
<i>Secrétaire-adjoint</i>	M. Olivier AVERBUCH
<i>Trésorier</i>	M. Thierry OUODOIRE
<i>Bibliothécaire</i>	M. Christian LOONES
<i>Directeur de la Publication</i>	M. Jean-Pierre DE BAERE
<i>Conseillers</i>	M. Francis AMÉDRO M. Patrick AUGUSTE M ^{me} Claire DERYCKE M. Bernard QUESNEL M. Francis ROBASZYNSKI M. Patrick SCHRAEN
<i>Site Web</i>	
<i>Administrateur</i>	M. Alain BLIECK
<i>Webmestre</i>	M. Pascal CIURLIK

CONSEIL SCIENTIFIQUE et ÉDITORIAL

— 2012-2014 —

Le Conseil Scientifique et Editorial est composé des membres du Bureau en exercice de la Société (Président, Premier Vice-président, deux Seconds Vice-présidents, Secrétaire, Secrétaire-adjoint, Trésorier, Bibliothécaire, Directeur de la Publication) et des six Conseillers extérieurs suivants :

Jean-François DECONINCK (Université de Bourgogne, Dijon)
Patrick DE WEVER (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris)
Christian DUPUIS (Université de Mons, Belgique)
Rémy GOURVENNEC (CNRS, Université de Brest)
Jean SOMME (Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq)
Johan YANS (Facultés Universitaires N.-D. de la Paix, Namur, Belgique)

Adresse URL du site Web :

<http://geosystemes.univ-lille1.fr/sgn.php>

LISTE DES RAPPORTEURS DES ARTICLES DU TOME 19

AMEDRO Francis (S.G.N. – Conseiller)	FIELTIZ Werner (Université d'Heidelberg – Allemagne)
ATTEIA Olivier (E.G.I.D. – Université de Bordeaux 3)	GEENINC K Sarah (M.E.T. Direction de la Géotechnique, Liège – Belgique)
BALLEVRE Michel (Université de Rennes)	GOEMAERE Eric (Service Géologique – Belgique)
BERREHOUC Géraldine (Ville de Lille – Service Risques)	GOURVENNEC Rémy (Université de Bretagne occidentale, S.G.N. - Comité scientifique et éditorial)
BLIECK Alain (C.N.R.S., S.G.N. – Président)	GUYETANT Gaëlle (Conservatoire d'Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais)
BRICE Denise (I.S.A. Université catholique – Lille, S.G.N. – Présidente d'Honneur)	LIMONDIN Nicole (Laboratoire de Géographie Physique, C.N.R.S. - Bellevue)
BULTYNCK Pierre (Université de Leuven – Belgique)	MARIN Béatrice (Université de Reims)
CLABAUT Philippe (Géologue consultant – Géologie littorale et marine, Océanologie)	MEILLIEZ Francis (Université Lille 1, SGN – Vice-président)
CORNEE Annie (M.N.H.N. Dépt. Histoire de la Terre – Paris)	MISTIAEN Bruno (I.S.A. Université catholique – Lille, S.G.N. – Vice-président)
COULON Hervé (C.E.T.E. Nord-Picardie – Laboratoire Régional de Lille)	MORZADEC Pierre (Université de Rennes)
DE BAERE Jean-Pierre (S.G.N. – Directeur de la publication)	MOTTEQUIN Bernard (Université de Liège – Belgique)
DE WEVER Patrick (M.N.H.N. Dépt. Histoire de la Terre – Paris, S.G.N. - Comité scientifique et éditorial)	NICAISE Dominique (Centre Scientifique et Technique de la Construction – Belgique)
DREESEN Roland (V.I.T.O. – Belgique)	OUODOIRE Thierry (Musée d'histoire naturelle de Lille)
DUPUIS Christian (Faculté Polytechnique de Mons – Belgique, S.G.N. - Comité scientifique et éditorial)	TOURNEUR Francis (A.S.B.L. « Pierres et Marbres de Wallonie» – Belgique)
EGOROFF Grégoire (M.N.H.N. Dépt. Histoire de la Terre – Paris)	ROBASZYNSKI Francis (Polytech Mons – Belgique, S.G.N. – Conseiller)
FEIST Raimund (C.N.R.S., Université de Montpellier 2)	YANS Johan (Facultés Universitaires N.-D de la Paix, Namur – Belgique, S.G.N. - Comité scientifique et éditorial)
FELLER Christian (I.R.D. – Montpellier)	

A N N A L E S
D E L A

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

Société fondée en 1870 et autorisée par arrêtés en date des 3 Juillet 1871 et 28 Juin 1873

Secrétariat : **Société Géologique du Nord**

Université Lille 1, UFR des Sciences de la Terre, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex

Tél. 03 20 43 41 40 (président) - C.C.P. Lille 52-47 Y

AVANT-PROPOS : GeoReg 2011 et vie de la Société

Actes du Forum GeoReg (2011)

par Alain BLIECK, président 2010-2014 & Patrick AUGUSTE, conseiller 2012-2014

A n'en pas douter, l'année 2011 a été marquée par l'organisation et la tenue du Forum GeoReg du 23 au 27 octobre 2011 dans les locaux de l'Université Lille 1 (UFR Sciences de la Terre et Polytech'Lille). Sous-titré « **Géosciences des régions de France et des pays environnants** », c'était le **1^{er} Forum de la Fédération Française des Géosciences (FFG)**. Organisé en partenariat avec Geologica Belgica, GeoReg a réuni un peu plus de 200 participants (165 inscrits et une quarantaine d'étudiants en auditeurs libres pour l'atelier métiers) de 10 pays différents (France, Belgique, Luxembourg, Grande-Bretagne, Portugal, Allemagne, Espagne, Norvège, Algérie, Maroc) et a comporté les sessions suivantes :

- une journée de terrain pré-Forum sur le thème des matériaux de construction dans la ville de Lille « *Géologie en Lille* » (dimanche 23) ;
- une session d'accueil le dimanche 23 en soirée dans l'UFR Sciences de la Terre de l'Université Lille 1 ;
- trois journées de sessions en salle dans les locaux de Polytech'Lille, à Villeneuve d'Ascq ;
- une session de clôture du Forum le mercredi 26 en soirée dans l'UFR Sciences de la Terre de l'Université Lille 1 ;
- une journée de terrain post-Forum sur le thème de « *Bernissart et ses iguanodons* » en Belgique (jeudi 27).

Les sessions ont couvert les thèmes suivants : géosciences des régions françaises, des régions des pays environnants, géologie appliquée, patrimoine, médiation-vulgarisation et une session sur le patrimoine géologique européen (ProGEO). Parallèlement se sont tenus trois ateliers : matières organiques des sols, des sédiments et des roches ; géo-archéologie ; métiers des géosciences.

De nombreuses associations et institutions se sont jointes à nous pour cette organisation : l'Université Lille 1 (UFR des sciences de la Terre et Polytech'Lille), le CNRS (*via* la FRE 3298 Géosystèmes et la Délégation régionale Nord - Pas-de-Calais et Picardie), le Conservatoire d'Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais (CENNPC), l'Association des Etudiants en Géosciences de l'Université Lille 1 (AGEOL), le Forum Départemental des Sciences (FDS - CG59), le Musée d'Histoire Naturelle de Lille (Ville de Lille), la Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (MRES), l'Université Catholique de Lille – Groupe ISA, les Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix – Département de Géologie à Namur (Belgique), l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (Museum) à Bruxelles, l'Institut National de Recherches Archéologiques Préventives (INRAP), le Muséum National d'Histoire Naturelle – Département Histoire de la Terre à Paris, l'association européenne de protection du patrimoine géologique ProGEO, l'International Union of Geological Sciences (IUGS) – Geoheritage Task Group, l'Association Française pour l'Etude du Sol (AFES) et l' Association Française pour l'Etude du Quaternaire (AFEQ). Les entreprises et institutions suivantes nous ont aidés financièrement : la FRE 3298 Géosystèmes, l'Université Lille 1 (Bonus Qualité Recherche), l'Institut National de Recherches Archéologiques Préventives (INRAP), le Conservatoire d'Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais (CENNPC), le Groupe ISA, la Fédération Française des Géosciences (FFG), Total S.A., le Groupe Carrières du Boulonnais (Pas-de-Calais), Pierres et Marbres de Wallonie ASBL (Belgique), l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), le Conseil Général du Département du Nord (CG59) et le Conseil Régional du Nord – Pas-de-Calais. Les sociétés CV Associés et Total ont également coordonné l'atelier "métiers" du mercredi avec le concours de l'AGEOL et de la section « Jeunes » de la Société Géologique de France (SGF). Enfin Durabilis - magazine de l'environnement et du développement durable, la Royal Geological Society of Cornwall (Grande-Bretagne) et l'Association Paléontologique Française étaient partenaires du Forum.

Les objectifs de GeoReg étaient les suivants :

- Organiser le 1^{er} forum de la Fédération Française des Géosciences (FFG) dédié à l'ensemble des géosciences (géo-archéologie, géodésie-géophysique, géographie, géologie, géologie du Quaternaire, géomorphologie, géotechnique, hydrogéologie, karstologie, paléontologie, pédologie, etc.) : <http://e.geologie.free.fr/>

- Revitaliser les géosciences des régions de France et des pays environnants en associant de façon constructive les spécialistes des milieux « académiques » (universités, CNRS, etc.), des établissements publics industriels et commerciaux (BRGM, IFREMER, IFPEN, Andra, etc.), des milieux de la recherche appliquée publique et privée (hydrogéologues, carriers, bureaux d'étude, etc.), des milieux industriels (Total, Areva, etc.), des musées et centres de culture scientifique, technique, industrielle, artistique, et des associations (professionnels et amateurs) : géologie et géographie régionales *s.l.*, leurs applications dans les régions, leurs développements et leurs implications environnementales et sociétales ...

- Instaurer de nouvelles collaborations entre « académiques » et professionnels (praticiens) ainsi qu'entre ceux-ci et les professionnels des milieux culturels, les autres publics visés étant les enseignants et les étudiants.

L'excursion pré-Forum « Géologie en Lille » (dimanche 23 octobre 2011) a réuni 26 personnes. Les sessions en salle étaient réparties de la façon suivante : Session SP1 "*Thèmes actuels de recherche en Géosciences des régions de France*" (lundi 24 octobre), Session SP2 "*Géosciences des régions voisines de la France*" (lundi 24 et mardi 25 octobre), Session SP3 "*Géotechnique, géologie appliquée, hydrogéologie, pédologie, matériaux, pollutions*" (mardi 25 octobre), Session SP4a "*Patrimoine géologique et géographique*" (mardi 25 et mercredi 26 octobre), Session SP4b "*Médiation, vulgarisation, histoire de la géologie*" (mercredi 26 octobre), et Session SP5 ProGEO (groupe Europe du SW) "*Patrimoine géologique, 20 ans après la déclaration de Digne : résultats et défis*" (mercredi 26 octobre). Les ateliers se tenaient en parallèle : Atelier A1 AFES - FFG « *Stockage et protection des matières organiques dans les sols, les sédiments et les roches* » (lundi 24 octobre), Atelier A2 AFEQ - CNRS - INRAP « *Géosciences et défis de l'archéologie* » (mardi 25 octobre) et Atelier A3 : atelier FFG des étudiants sur le thème de la rédaction de CV et de lettre de motivation (mercredi 26 octobre). L'ensemble a produit 73 communications orales, 30 posters + les panneaux de Réserves Naturelles de France (RNF - amenés par le CENNPC), 98 résumés (il y avait quelques résumés pour 1 communication orale et 1 poster). L'excursion post-Forum « Bernissart et ses iguanodons » (jeudi 27 octobre 2011) a réuni une trentaine de personnes.

Douze stands d'exposition ont été tenus pendant toute la durée du Forum par les associations et entreprises suivantes :

- Musée d'Histoire Naturelle de Lille + Université Catholique de Lille + Université Lille 1 sur le thème des collections de géologie-paléontologie,
- Fédération Française Amateur de Minéralogie et Paléontologie (FFAMP),
- Association Française pour l'Etude du Quaternaire (AFEQ),
- Unité de Recherche GEGENAA "Groupe d'Etude sur les Géomatériaux et Environnements Naturels, Anthropiques et Archéologiques" (Université de Reims),
- Beta Analytic (laboratoire privé de datation radiocarbone),
- La Cave aux Coquillages (animation grand public sur le site fossilifère lutétien de Fleury-la-Rivière (51) de l'entreprise viticole Champagne Legrand-Latour),
- Association Française pour l'Etude du Sol (AFES),
- Société Géologique de France,
- Bruker (entreprise privée d'instrumentation scientifique),
- Société Géologique de France - section Géole,
- Pierres et Marbres de Wallonie ASBL (association de promotion des produits carriers de Wallonie),
- Société Géologique du Nord + Conservatoire d'Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais + Société Géologique et Minéralogique de Bretagne + Union Française des Géologues.

Le lundi 24 octobre en soirée était organisée une visite commentée des fresques géologiques murales de l'ancien Institut de Géologie de la faculté des sciences de l'Université de Lille, par M. Francis MEILLIEZ, Vice-président de Lille 1, dans les locaux de la Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (MRES) à Lille, en présence de son directeur M. Xavier GALAND ; suivie d'une réception au Musée d'Histoire Naturelle de Lille en présence de Mmes Judith PARGAMIN, directrice, et Catherine BULKE, Conseillère Municipale déléguée à l'Action culturelle, et de M. Thierry OUDOIRE, conservateur ; suivie du dîner de gala. Le mardi 25 octobre en soirée, les congressistes ont eu droit à une visite de l'exposition "*Ma terre première*" au Forum Départemental des Sciences, à Villeneuve d'Ascq, en présence de Mme Catherine LEFRANÇOIS (programmation) ; suivie d'une table ronde sur le thème "*Energie : faut-il se mettre au régime ?*" animée par Luc HOSSEPIED (journaliste, modérateur), Pascal BRETON (Total, pétrole), Xavier GUILLAUD (Ecole Centrale, énergies renouvelables), Céline PAROTTE et Nicolas ROSSIGNOL (Université de Liège, aspects sociologiques du problème).

En termes d'objectifs scientifique et associatif, le but a été atteint puisque ce forum a effectivement mis en relation les "académiques", les "praticiens", les médiateurs et animateurs, les conservateurs, les amateurs ... en géosciences. Il a réuni des participants provenant de 10 pays différents dont 8 européens, avec bien entendu une majorité de Français et un fort contingent de Belges (tant Flamands que Wallons – env. ¼ du total). En termes d'objectif chiffré, nous visons un effectif de participants de l'ordre de 100 à 200, avec une moyenne autour de 150 à 180. Le but a donc été atteint puisque le total des participants dépasse 200. A en juger par les courriels positifs reçus depuis la fin de GeoReg, dont quelques lettres officielles envoyées du Muséum national d'histoire naturelle au président de l'Université Lille 1, au directeur de Polytech Lille et au directeur de l'UFR Sciences de la Terre, l'organisation de GeoReg, grâce en particulier à l'aide physique et logistique apportée tant par les personnels de l'université (UFR, Polytech, FRE 3298 du CNRS) que par les étudiants de l'AGEOL, a été un succès. Sur le plan régional, ce forum a été l'occasion pour la Société Géologique du Nord, qui est LA seule association professionnelle de géologues au nord de Paris, de montrer sa vigueur retrouvée. Engagée depuis 2006 dans un processus de redynamisation avec ouverture sur le monde des carriers, des amateurs, des enseignants du secondaire, des étudiants d'université ..., cette société savante qui existe depuis

1870 a (re)fait la preuve de sa capacité à réunir les géoscientifiques français et étrangers autour de thèmes fédérateurs, et en particulier autour de la géologie régionale, un secteur d'études désormais souvent négligé, voire dévalorisé, par les instances nationales d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur. Il y a là un créneau à occuper. Le bilan de GeoReg a été présenté devant le Comité Grand Lille le 16 décembre 2011. GeoReg a fait l'objet d'une discussion avec le Prof. Manfred BRIX, de la Ruhr-Universität Bochum (RFA), intéressé par notre démarche et membre de l'association allemande de géologie (Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften – DGG) qui vient de mettre sur pied un groupe de travail sur ce thème. Le créneau des géosciences régionales a donc probablement un avenir au moins européen ...

Certaines des communications qui ont été présentées pendant le Forum font l'objet d'**articles publiés dans le présent tome des Annales**. Un *Mémoire de la Société Géologique du Nord* (volume XVII dédié à l' "Histoire de la Société Géologique du Nord et des sciences de la Terre dans le Nord – Pas-de-Calais") est également prévu dans la suite de ce travail. Enfin, la revue *Quaternaire*, revue de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire, publiera les actes de l'atelier A2 « *Géosciences et défis de l'archéologie* ». Les publications suivantes, produites au moment du Forum, sont disponibles à la SGN sur simple demande ou sur son site Web (<http://geosystemes.univ-lille1.fr/sgn.php?page=forum>) :

BLIECK, A., AUGUSTE, P. & DERYCKE, C. coord. 2011 : GeoReg — Forum de la Fédération française des géosciences : Géosciences des régions de France et des pays environnants (Villeneuve d'Ascq, 23-27 oct. 2011). Programme & résumés : xii + 135 p. ; Villeneuve d'Ascq.

MISTIAEN, B. & BRICE, D. 2011 : "De l'Université catholique de Lille à l'Hospice Comtesse : ce que nous disent les pierres." In : Forum GeoReg, 23 octobre 2011, livret-guide : 48 p., illustré.

YANS, J., GODEFROIT, P. & SPAGNA, P. 2011 : "Bernissart et les iguanodons – Hautrage-Bernissart-Brussels". Excursion Forum GeoReg 2011, jeudi 27 octobre 2011, 11 p., 6 fig. + annexes (4 articles).

Le tome 19 des *Annales* comporte également une série de 5 articles de géologie et de paléontologie, hors GeoReg : un article de P. BUDIL *et al.* sur un trilobite particulièrement bien conservé du Dévonien du Bassin de Prague (République tchèque), un article de P. SARTENAER sur un nouveau brachiopode du Dévonien du Massif armoricain, un article de K. FARKI *et al.* sur la série triasico-liasique de l'Oued N'fikh (Meseta côtière, Maroc) ainsi qu'une courte note de K. EL AMARI *et al.* à propos de l'article de NFISSI *et al.* paru dans le tome 18 des *Annales*, suivie de la réponse de S. NFISSI *et al.* Enfin, la 6^e Table générale des éditions de la Société est publiée en même temps que ce volume-ci des *Annales* ; elle concerne les *Annales* [1^{ère} série : Tomes C (1980) à CIX (1989), et 2^{ème} série : Tomes 1 (1991-1992) à 19 (2012)], les *Mémoires* [Tomes XIII (1963) à XVI (1983)] et les *Publications* [Tomes 1 (1977) à 33 (2005)].

Vie de la société en 2012

par Alain BLIECK, président 2010-2014

Nous désirons renouer avec une pratique ancienne qui consistait à présenter, en avant-propos de chaque tome des *Annales*, un compte-rendu des activités de la Société Géologique du Nord. Le dernier compte-rendu de ce type a été publié en 1998 dans le tome 6 de la 2^{ème} série, fascicule 1, sous la présidence de Francis ROBASZYNSKI.

Le président et les membres du Conseil d'administration ont participé à trois **réunions du Conseil** (13 février, 9 mai et 1^{er} octobre 2012) ainsi qu'à une réunion restreinte de ce Conseil le 26 septembre. Le président et un conseiller, T. OUDOIRE, ont représenté la Société à l'**Assemblée générale de la Fédération Française des Géosciences**, à Paris, le 14 juin. Le président a participé en tant que co-organisateur et conférencier au **4^e Symposium Cuvier** sur le thème « *Fossiles, Evolution, Mouvement* », à Montbéliard (Doubs) du 8 au 11 octobre – une manifestation parrainée par la Société. T. OUDOIRE a également représenté la Société au **colloque « Géopatrimoine, un lustre d'inventaires en France »** du 9 au 12 octobre à Digne-les-Bains (Alpes-de-Haute-Provence). Au cours de l'Assemblée générale du 9 mai 2012 ont été élus plusieurs nouveaux membres, ce qui amène le nombre de membres actuels à 91 (voir la liste des membres imprimée à la fin de ce tome-ci des *Annales*). Le Conseil d'administration a été renouvelé par un vote de l'AG pour la période 2012-2014 ; sa composition est détaillée en page 2.

Les activités scientifiques et de formation ont porté sur les événements suivants :

- trois sorties de terrain : dans le Boulonnais le 17 mars sur le thème de « l'érosion de la Baie de Wissant » avec la société des Amis de Wissant (dirigée par F. AMEDRO) ; dans le Boulonnais le 14 avril sur « Le Jurassique terminal du Boulonnais » (dirigée par J.-F. DECONINCK, Université de Bourgogne) ; sur le Tertiaire des Flandres, en Belgique le 22 septembre (dirigée par N. VANDENBERGHE, Katholieke Universiteit Leuven) ; les comptes-rendus et livret-guide de ces sorties sont accessibles en ligne à l'adresse suivante : <http://geosystemes.univ-lille1.fr/sgn.php?page=excursions> ;

- une séance spécialisée sur l'histoire de la Société au cours de l'Assemblée générale du mercredi 9 mai ; y ont été présentées les communications orales suivantes :

- dans la cage du grand escalier de l'ancien Institut de géologie de la Faculté des sciences de Lille (actuels locaux de la MRES) : MEILLIEZ F., AMEDRO F. & OUDOIRE T. : Un patrimoine géologique à préserver : les fresques de l'ancienne Faculté des Sciences de Lille ;

- en salle : BLIECK A. *et al.* : Introduction - Eléments pour une histoire de la Société Géologique du Nord et des sciences de la Terre dans le Nord – Pas-de-Calais ; MATRION A. : Les financements de la Faculté des Sciences de Lille par les compagnies minières : un simple échange de bons procédés ? ; CUVELIER J. : La SGN et les femmes ; CHARVET J. : La période dinaro-

hellénique de la SGN ; AUGUSTE P., SOMME J. & VALLIN L. : Le rôle de la SGN et de ses publications dans l'évolution des connaissances sur le Quaternaire ;

- suivie d'une communication orale de P. SARTENAER sur : *Meduanarostrum*, un nouveau genre et Meduanarostridae, une nouvelle famille de rhynchonellides (Brachiopodes) du Praguien moyen du Massif Armoricain (nord-ouest de la France) ;

- deux conférences générales à la MRES, Lille : une de J. YANS (FUNDP Namur) sur « *Les Iguanodons de Bernissart ressuscités ! Résultats de nouvelles recherches sur le célèbre site à fossiles* », le 6 juin ; une de P. AUGUSTE (CNRS) sur « *Néandertal dans le nord de la France : l'Homme de tous les climats* » le 14 novembre ;

- F. MEILLIEZ & A. BLIECK ont animé quatre visites guidées des fresques géologiques murales de la MRES au cours des Journées du Patrimoine des 15 et 16 septembre 2012 ;

- encadrement d'une sortie de terrain le 4 octobre, organisée par F. MEILLIEZ, pour deux classes de 1^{ère} du lycée Mansart de St-Cyr L'Ecole (Yvelines) : du Boulonnais à la Flandre et à l'Artois ;

- coordination des manifestations du festival de géologie co-organisé par le Palais de l'Univers et des Sciences (PLUS) de Cappelle-la-Grande (Nord) (I. APPORA) et le Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais (G. GUYETANT) : exposition et cycle de conférences et de sorties de terrain pour le grand public en avril-mai 2013 ; la SGN est partenaire de ces manifestations.

La Société a été fortement impliquée dans des actions portant sur le **patrimoine géologique** :

- trois réunions de la Commission Régionale du Patrimoine Géologique (CRPG) / IRPG à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), à Lille : 19 mars, 24 avril et 23 octobre 2012 (O. AVERBUCH, Y. BATTIAU-QUENEY, A. BLIECK, D. BRICE, J.-P. COLBEAUX, G. GUYETANT coord., G. LEMOINE, C. LOONES, T. OUDOIRE, ...) ;

- représentants SGN pour la concertation GT-SCAP géodiversité-biodiversité (GT-SCAP = Groupe de travail pour la Stratégie nationale de Création d'Aires Protégées terrestres métropolitaines ; T. OUDOIRE, C. LOONES) ;

- représentants SGN pour les opérations Grand Site National et Parc Naturel Marin (site des 2 Caps) (O. AVERBUCH, Y. BATTIAU-QUENEY) ;

- assemblée générale de l'AVDG (carrière du Griset, Boulonnais) (D. BRICE, B. MISTIAEN, C. LOONES, A. BLIECK, B. HUBERT) ;

- implication dans un projet d'aménagement pour le grand public des anciennes carrières de craie de Loos - Emmerin - Haubourdin (C. LOONES, G. BERREHOUC ...) ;

- réunions du Comité consultatif de gestion (CCG) de la Réserve Naturelle Nationale de Vireux-Molhain (Ardennes, 14 février 2012) et du CCG de la Réserve Naturelle Régionale de Cléty (Pas-de-Calais, 18 avril 2012) ;

- visite des anciennes carrières de craie des Peupliers et des Plombs à Abscon (Nord), gérées par le Conseil général du département du Nord (CG59) (F. MEILLIEZ & A. BLIECK) le 30 août ;

- visite du site du Mont Noir (hydrogéologie) le 26 octobre, également dans le cadre d'une collaboration avec le CG59 (F. MEILLIEZ & A. BLIECK) ;

- signature avec le Muséum national d'histoire naturelle (Paris) d'une convention pour la coordination par F. AMEDRO et la rédaction du livre « *Stratotype Turonien* » de la collection « *Patrimoine géologique* » (dirigée par P. DE WEVER).



Quelques membres du Conseil d'administration de la SGN en compagnie du guide de la sortie de terrain du 14 avril 2012 sur le Jurassique supérieur des falaises du Boulonnais (de gauche à droite : Jean-Pierre De Baere, Francis Amédro, Jean-François Deconinck, Alain Blieck, Olivier Averbuch et Francis Robaszynski) sur la digue de Wimereux (Pas-de-Calais).

Etre informé et devenir membre

Pour être informé, obtenir le programme des activités et devenir membre, il suffit soit d'envoyer votre adresse par courrier postal à : Société Géologique du Nord, Université Lille 1 – Sciences et Technologies, Sciences de la Terre-SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex ; soit de transmettre votre adresse courriel au président en exercice : alain.blieck@univ-lille1.fr ; soit de consulter le site Web de la SGN : <http://geosystemes.univ-lille1.fr/sgn.php>. Les tarifs de cotisation et abonnement figurent en page II de couverture. Pour devenir membre, veuillez remplir et signer le bulletin d'adhésion téléchargeable sur le site Web de la SGN.

La SGN il y a 50 ans et aujourd'hui

Tome LXXXII de 1962

« En ce temps-là » le siège social de la Société était sis au 23 de la rue Gosselet à Lille, dans les locaux de l'Institut des sciences naturelles de la Faculté des sciences de l'Université de Lille (actuellement Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités – MRES). Le Conseil d'administration était composé comme suit :

Président d'honneur à vie :	M. Pierre PRUVOST
Président :	M. Jacques CHALARD
Premier Vice-Président :	M. Jean POLVECHE
Vice-Présidents :	Mme Simone DEFRETIN & Mgr. Georges DEPAPE
Secrétaire :	M. Michel WATERLOT
Secrétaire adjoint :	M. Jacques PAQUET
Trésorier :	M. L'Abbé Gilbert TIEGHEM
Délégué aux publications :	M. Paul CELET
Archiviste-Bibliothécaire :	M. Antoine BONTE
Conseillers :	Melle Dorothee LE MAITRE, MM. P. DUMON, Alexis BOUROZ, Jean RICOUR, Paul CORSIN & Charles DELATTRE

La Société s'était réunie 8 fois au cours de l'année précédente. Elle avait accueilli 31 nouveaux membres. Le nouveau président déplorait le manque de rentrées financières (cotisations) et le besoin de chercher des subventions extérieures. La bibliothèque de la Société, située au rez-de-chaussée du 23 rue Gosselet, nécessitait rangement et remise en état. Les *Annales* étaient subventionnées par le Centre national de la recherche scientifique (CNRS). La Société comportait 266 membres (en 1961) dont 4 à perpétuité (MM. Charles BARROIS, C.E. BARROIS, Jean BARROIS et Jules GOSSELET) et 14 à vie (MM. Etienne ASSELBERGHS, G. BAECKEROOT, P. COMTE, Charles DEHAY, Pierre DOLLE, Paul FOURMARIER, M. FRIANT, E. FRIEDEL, P. GENY, A. GROSJEAN, René MARLIERE, R. PETIT, Pierre PRUVOST, Gérard WATERLOT).

En 1962, la Société s'est réunie 9 fois : à l'Assemblée générale du 10 janvier au cours de laquelle ont été renouvelés les membres du Conseil d'administration et présentées des communications orales ; puis au cours de 7 séances de communications orales (7 février, 7 mars, 4 avril, 2 mai, 6 juin, 7 novembre et 5 décembre) ; enfin lors de la Réunion extraordinaire du 3 juin sur le terrain dans la région de Valenciennes (visite de la « descenderie » des Houillères sous la conduite de J. CHALARD, Président). La Société a publié 23 articles dans le tome LXXXII des *Annales* (4 fascicules), dont 4 signés par des femmes (Josiane CARETTE, Michèle CARO-MONIEZ, Francine LAURENTIAUX-VIEIRA et Irène DEVOS). Les articles portaient sur les sujets suivants : stratigraphie (6 articles), pétrographie (5 dont 4 sur des roches du Houiller dont 3 sur les tonsteins), paléontologie (8 dont 5 sur des fossiles du Houiller), tectonique (5 dont 3 sur l'Espagne), géologie appliquée (1 d'Antoine BONTE à propos de « La liaison France-Angleterre : tunnel ou pont ? »), hydrogéologie (1 article) [le total excède le nombre de 23 parce que trois articles sont répertoriés dans plusieurs rubriques de la table des matières]. A la fin de son discours de prise de fonction, le nouveau président J. CHALARD avait émis un souhait : « que la Société soit en mesure prochainement de reprendre la publication de ses *Mémoires*, interrompue depuis la guerre, et dont la magnifique collection, par la qualité des travaux publiés et le renom de leurs auteurs, a tant contribué, dans le passé, à son rayonnement. »

En dehors du fait que la Société a perdu une grande partie de son effectif depuis cette année-là (effectif qui est en cours de restauration) et qu'elle ne tient plus depuis longtemps ses réunions mensuellement, plusieurs des préoccupations de l'époque sont étrangement d'actualité : le manque de ressources financières et la nécessité d'attirer des « sponsors », le souci d'entretenir correctement la bibliothèque (désormais entièrement confiée à la gestion professionnelle du Service Central de Documentation de l'Université Lille 1), le souci de reprendre la publication des *Mémoires* (et éventuellement des *Publications* aujourd'hui). Par contre les grands domaines scientifiques de la géologie (on dit « géosciences » aujourd'hui pour faire moderne, mais ce terme recouvre exactement le contenu sémantique du mot géologie) ont peu changé en dehors du fait que très peu d'articles d'aujourd'hui portent sur le Houiller (désormais appelé Pennsylvanien dans l'échelle stratigraphique internationale). Les *Annales de la SGN* sont essentiellement dévolues à ce qui s'appelle géologie sédimentaire, un terme redevenu à la mode après avoir été éclipsé dans les instances d'évaluation nationales, voire internationales : cartographie, stratigraphie, biostratigraphie, sédimentologie, pétrologie sédimentaire, paléontologie, modélisation des bassins, etc. Essentiellement ne signifie pas uniquement puisque les *Annales* publient régulièrement des articles de tectonique, de géologie appliquée, d'hydrogéologie ... comme il y a 50 ans. Par contre, l'évolution des 30 dernières années en matière de publication a été contraignante pour les « petites » revues comme les *Annales*. Classée en rang C par les instances d'évaluation du Comité National de la Recherche Scientifique au début des années 1980, notre revue a bien failli disparaître, comme l'ont fait plusieurs autres revues régionales (*Sciences Géologiques* à Strasbourg, *Géologie Méditerranéenne* à Marseille, *Bulletin de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne* devenu *Hercynica* à Rennes, ...). Elle ne s'est maintenue que par l'opiniâtreté de quelques-uns de nos membres qui lui trouvent encore un intérêt et, disons le, une mission à remplir.

Une partie de cette mission est dans le rôle régional de la Société et, en particulier, dans son action en faveur du patrimoine géologique, un chantier récent des sciences géologiques (même si ce chantier a été ouvert beaucoup plus tôt de l'autre côté de la Manche). La Société est en relation avec plusieurs structures de la région qui ont à gérer des sites géologiques d'intérêt patrimonial (Conservatoire d'Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais, Conseil Général du Département du Nord, EDEN 62) ou qui exposent au public des objets issus de tels sites [Musée d'Histoire Naturelle de Lille, Palais de l'Univers et des



L'ancienne bibliothèque de l'Institut de Géologie (Institut des sciences naturelles de la Faculté des sciences, 23 rue Gosselet, Lille) où se tenaient les réunions de la SGN. Photo de M. Jean-Marie Dezwarte prise en 2011 dans les actuals locaux de la Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (MRES).

Sciences à Cappelle-la-Grande (PLUS), musée de l'Association pour le Développement, la Recherche et l'Etude en matière de Minéralogie, Archéologie et Paléontologie (ADREMAP) à Grande-Synthe, Forum Départemental des Sciences à Villeneuve d'Ascq, Muséum National d'Histoire Naturelle à Paris (MNHN)]. En matière de stratigraphie, la Société a passé une convention avec le MNHN pour la coordination par F. AMEDRO et la rédaction du livre « *Stratotype Turonien* » de la collection « *Patrimoine géologique* » dirigée par P. DE WEVER (co-édition MNHN-Biotopie-BRGM). L'objectif majeur du renouveau de la SGN passe donc par une réimplantation régionale forte. Même si le nom de la Société évoque plutôt le département du Nord, nous savons que son action s'étend bien au delà du Nord, à toute la région Nord – Pas-de-Calais, à la Picardie, aux Ardennes (le département du même nom mais aussi le massif ardennais dans son ensemble) et à d'autres parties frontalières de la Belgique. La récente sortie sur le terrain guidée par M. le Prof. Noël VANDENBERGUE (Katholieke Universiteit Leuven) sur le « Tertiaire » de Flandre ouvre de nouveaux horizons à une collaboration transfrontalière qui n'a jamais cessé (voir le compte-rendu de cette excursion à l'adresse URL suivante : <http://geosystemes.univ-lille1.fr/sgn.php?page=excursions>). L'analyse de la Table générale des matières n° 6 qui va être mise en ligne à la fin de l'année permettra de constater qu'il y a bien continuité dans les actions de la Société et que les écrits anciens renferment quantité de données sous-exploitées ...

Alain BLIECK

EXTENSION D'UN NIVEAU REPÈRE RICHE EN *INOCERAMUS CRIPPSI* [BIVALVE] DANS LE CÉNOMANIEN BASAL DU BASSIN ANGLO-PARISIEN

Distribution of a marker bed with abundant Inoceramus crippsi [bivalve] in the early Cenomanian of the anglo-Paris basin

par Francis AMÉDRO (*), Bertrand MATRION (**), Rodolphe TOUCH (***) & Jean-Marie VERRIER (****)

(Planches I à IV)

Résumé. — Un horizon d'abondance de l'espèce *Inoceramus crippsi* Mantell, 1822, associée à l'huître *Rastellum carinatum* (Lamarck, 1806) et aux ammonites *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe, 1855) et *S. schlueteri* Hyatt, 1903, existe à la base des craies cénomaniennes dans le bassin anglo-parisien. Sa continuité est démontrée depuis les falaises des côtes de la Manche jusqu'aux départements de l'Aube et de la Marne. Ce niveau repère, daté par les ammonites de la zone à *Mantelliceras mantelli* et plus précisément de la sous-zone à *Sharpeiceras schlueteri*, est situé juste au-dessus des niveaux transgressifs de base du Cénomaniens. Il est aisément reconnaissable sur le terrain et dans les sondages et très utile pour effectuer des corrélations précises au sein du bassin.

Abstract. — An horizon with abundant inoceramid *Inoceramus crippsi* Mantell, 1822, together with the oyster *Rastellum carinatum* (Lamarck, 1806) and the ammonites *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe, 1855) and *S. schlueteri* Hyatt, 1903, occurs in the early Cenomanian chalks of the anglo-Paris basin. Its continuity is demonstrated from the channel coastal sections to the Aube and Marne departments. This marker bed, dated from the *Mantelliceras mantelli* zone and precisely from the *Sharpeiceras schlueteri* subzone, is located just above the transgressive Cenomanian beds. It is easily recognisable in boreholes and outcrops and very useful to propose precise correlations over large distances through the basin.

Mots clés : bassin anglo-parisien, Cénomaniens inférieur, craie marneuse, niveau repère, *Inoceramus crippsi*

Keywords : anglo-Paris basin, Lower Cenomanian, Chalk Marl, marker bed, *Inoceramus crippsi*

I. — INTRODUCTION

Les levés lithologiques détaillés effectués dans les falaises de Folkestone (UK) et du cap Blanc-Nez (F) à l'occasion des travaux préparatoires à la réalisation du Tunnel sous la Manche ont révélé l'existence de 19 niveaux repères dans la succession des 75 à 80 m d'épaisseur de craies cénomaniennes du Kent et du Boulonnais (Gale, 1989 ; Amédro, 1993, 1994 ; Jenkyns *et al.*, 1994 ; Amédro et Robaszynski, 1999). Certains de ces niveaux repères sont caractérisés soit par une particularité lithologique, minéralogique ou sédimentologique (présence de grains de quartz et de glauconie, de bentonites, de niveaux marneux sombres, de bancs crayeux indurés, de hardgrounds, de structures lamellaires de craie rêche...), soit par l'abondance d'un macrofossile (horizons riches en inocérames, en petits brachiopodes, en huîtres...). La continuité de ces niveaux repères à travers le détroit du Pas-de-Calais a servi à situer avec précision l'avancement des

tunneliers dans la couche de « Craie bleue » imperméable, du Cénomaniens inférieur à moyen, lors du percement des galeries du Tunnel sous la Manche, côté France (Amédro, 1994).

Les événements sédimentaires et bio-écologiques décrits dans les craies cénomaniennes du Kent et du Boulonnais ont été identifiés depuis dans les falaises du Sussex et de l'île de Wight au sud-est de l'Angleterre (Gale, 1995 ; Jarvis *et al.*, 2001 ; Mortimore *et al.*, 2001) comme dans celles du Bec de Caux dans le nord-ouest de la France (Amédro et Robaszynski, 2001a,b), mais aussi en Allemagne dans le bassin de Münster (Kaplan *et al.*, 1998) et en Basse-Saxe (Gale, 1995 ; Ernst *et al.*, 1996). La grande extension géographique de ces niveaux repères connus dans au moins deux bassins sédimentaires leur confère un intérêt particulier. Dans de nombreux cas, il s'agit de changements rapides de hauteur du niveau marin, c'est-à-dire d'événements eustatiques. Dans d'autres cas, il peut s'agir d'événements volcaniques (éruptions à caractère explosif entraînant le dépôt

(*) 26, rue de Nottingham, 62100 Calais et Université de Bourgogne, UMR 5561, CNRS Biogéosciences, 6 bd Gabriel, 21000 Dijon. E-mail : francis.amedro@free.fr

(**) 26, avenue Jules Guesde, 10150 Pont Sainte-Marie

(***) 20, rue Roger Martin du Gard, 10440 La Rivière de Corps

(****) 5, chemin de Derrière, 10100 Crancey

de cendres très fines à l'origine de bentonites), cyclostratigraphiques (variations des paramètres orbitaux de la Terre induisant le développement d'alternances particulières de niveaux marneux et de bancs crayeux) ou bio-écologiques. Tous ces événements définissent des lignes-temps très fines en regard des zones macro- ou micropaléontologiques beaucoup plus étendues dans le temps. Aussi leur usage comme outils de corrélation est très intéressant dans la mesure où il permet un repérage rapide et précis dans les successions sédimentaires. Il s'agit de la stratigraphie événementielle dont les concepts ont été développés dans les craies du nord-ouest de l'Allemagne par Ernst *et al.* (1983).

Si la stratigraphie événementielle a été appliquée avec succès dans la partie nord du bassin anglo-parisien pour corréler les craies cénomaniennes du Kent, du Sussex, de l'île de Wight, du Boulonnais et du Bec de Caux, qu'en est-il dans le reste du bassin ? Les recherches entreprises depuis près de deux décennies dans le département de l'Aube ont permis de retrouver tous les niveaux repères du Cénomaniens moyen et supérieur et de démontrer leur continuité à travers une large bande centrale du bassin (Amédéo *et al.*, 1994, 1997 ; Amédéo et Robaszynski, 1999). En revanche, la rareté des affleurements dans les faciès plus marneux du Cénomaniens inférieur a empêché de poursuivre les investigations vers le bas. Ce manque d'information est en partie comblé aujourd'hui. Trois affleurements éphémères localisés dans les environs de Troyes et de Brienne-le-Château dans le département de l'Aube ainsi qu'un sondage implanté à 18 km au nord-est de Vitry-le-François dans le département de la Marne (Fig. 1) viennent en effet d'attester la présence des premier, second et troisième niveaux repères décrits dans les falaises de la Manche, soit du bas vers le haut : un niveau transgressif de base contenant de la glauconie disséminée,

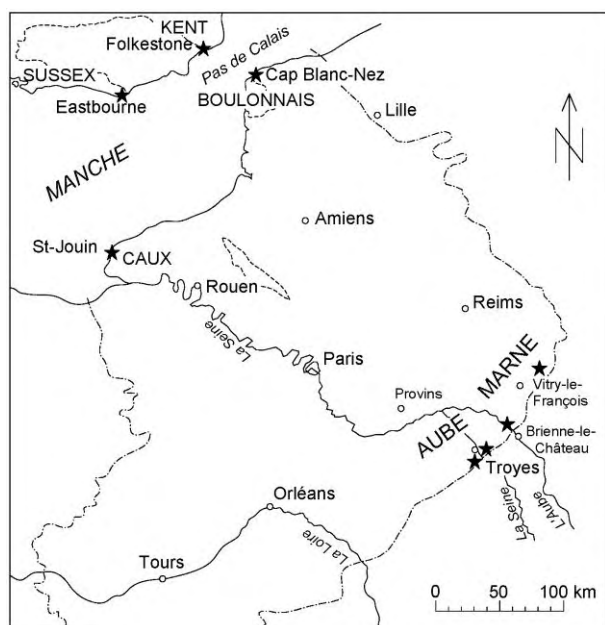


Fig. 1. — Situation des coupes citées dans le bassin anglo-parisien.

Fig. 1. — Position of sections discussed in the anglo-Paris basin.

quelques mètres plus haut un horizon plurimétrique caractérisé par l'abondance du mollusque bivalve *Inoceramus crippi* Mantell associé à une huître : *Rastellum carinatum* (Lamarck) et à deux espèces d'ammonites : *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe) et *S. schlueteri* Hyatt et enfin, quelques mètres encore au-dessus, un niveau contenant des grains de quartz. Il s'agit respectivement des niveaux repères R1, R2 et R3 d'Amédéo (1994). Cette découverte est intéressante dans la mesure où elle révèle une histoire bio-sédimentaire commune dès le Cénomaniens inférieur d'une vaste aire allant des falaises de la Manche jusqu'à la bordure SE du bassin anglo-parisien.

II. — L' HORIZON RICHE EN *INOCERAMUS CRIPPI* DANS LA COUPE DE RÉFÉRENCE DU CAP BLANC-NEZ (PAS-DE-CALAIS)

La figure 2 illustre la suite lithologique de la partie inférieure, argileuse et imperméable, des craies cénomaniennes affleurant dans les falaises du cap Blanc-Nez, c'est-à-dire de la « Craie bleue » dans laquelle a été creusé le Tunnel sous la Manche avec, en regard, l'ensemble des niveaux repères décrits par Amédéo (1993, 1994). Son examen montre la superposition de 3 niveaux repères dans les 5 m inférieurs de la coupe, soit par ordre ascendant les niveaux :

R1 : craie glauconieuse verte à nodules phosphatés plus ou moins remaniés à la base ; épaisseur : 2 m ;

R2 : horizon riche en *Inoceramus crippi* (espèce illustrée Pl. I et Pl. II, Fig. 1 à 3) situé à cheval sur la moitié supérieure de la craie glauconieuse du niveau repère R1 et la base de la craie marneuse sus-jacente ; épaisseur : 1,90 m ;

R3 : marne franchement bleue, incluant à la base des grains fins de glauconie et du quartz disséminé ; épaisseur : 0,70 m.

Le caractère global des événements R1 et R3 connus dans le bassin anglo-parisien, mais également en Allemagne du Nord dans le bassin de Münster et en Basse-Saxe, au Mangyshlak, en Crimée et en Inde, conduit à interpréter ces deux niveaux repères riches en glauconie comme la base des Intervalles Transgressifs des deux premières séquences eustatiques de 3^e ordre du Cénomaniens (Robaszynski *et al.*, 1998 ; Gale *et al.*, 1999, 2002 ; Amédéo et Robaszynski, 2001a). La richesse en éponges (*Exanthesis labrosus*), huîtres (*Rastellum carinatum*, espèce dont un exemplaire est illustré Pl. II, Fig. 4), pectinidés (*Merklina aspera*), inocérames (*I. crippi*), ammonites cosmopolites (*Sharpeiceras laticlavium*, *S. schlueteri*, *Mantelliceras mantelli*, *M. cantianum*...) dans l'événement R2, c'est-à-dire dans l'horizon riche en *I. crippi*, permet également de placer ce dernier dans un contexte transgressif suivant les critères définis par Robaszynski *et al.* (1994, 1998). Ce niveau repère pourrait représenter la partie supérieure de l'intervalle transgressif de la première séquence eustatique de 3^e ordre du Cénomaniens. À noter que l'horizon riche en *I. crippi* a été repéré pour la première fois dans le bassin anglo-parisien à l'occasion de l'étude des sondages du Tunnel sous la Manche et, conjointement pour la partie terrestre de l'ouvrage, dans les falaises du cap Blanc-Nez (Amédéo, 1994).

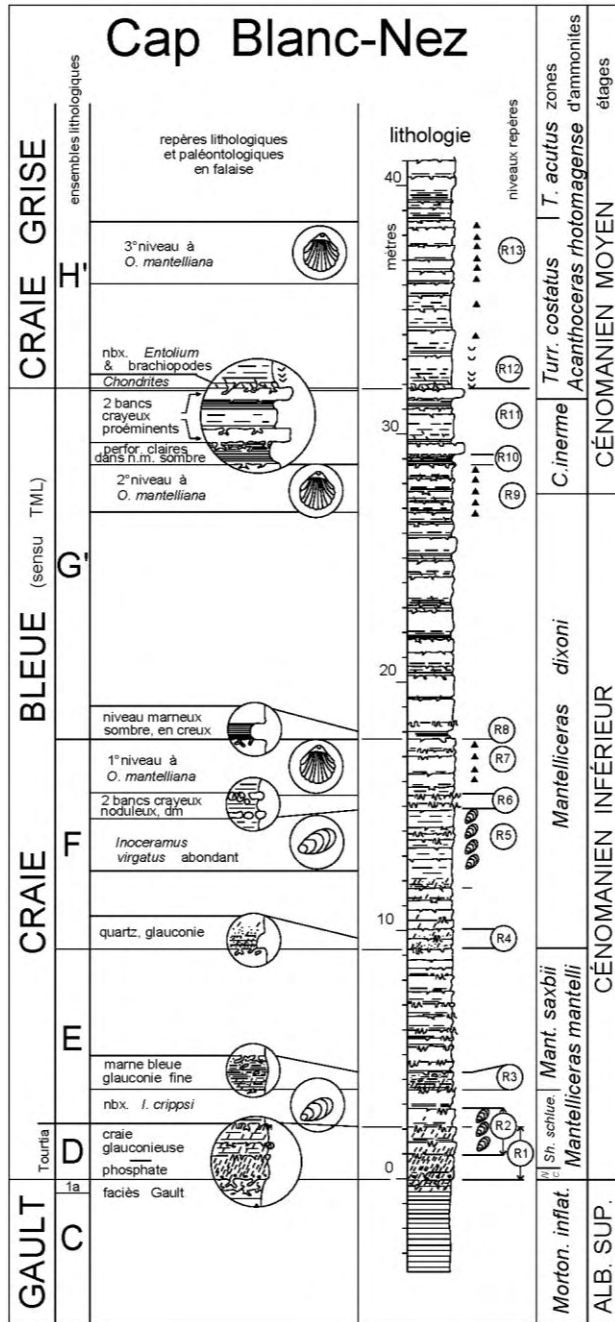


Fig. 2. — Les niveaux repères du Cénomanien inférieur visibles dans les falaises crayeuses du Cap Blanc-Nez, d'après Amédéo (1993, 1994). [La légende des figurés lithologiques est indiquée dans la figure 4].

Fig. 2. — The marker beds in the Lower Cenomanian chalks of the Boulonnais along the cliff section of Cap Blanc-Nez, following Amédéo (1993, 1994).

III. — L' HORIZON RICHE EN *I. CRIPPSI* DANS LES DÉPARTEMENTS DE L'AUBE ET DE LA MARNE

La localisation géographique des affleurements et sondages cités dans le texte est indiquée dans la figure 3.

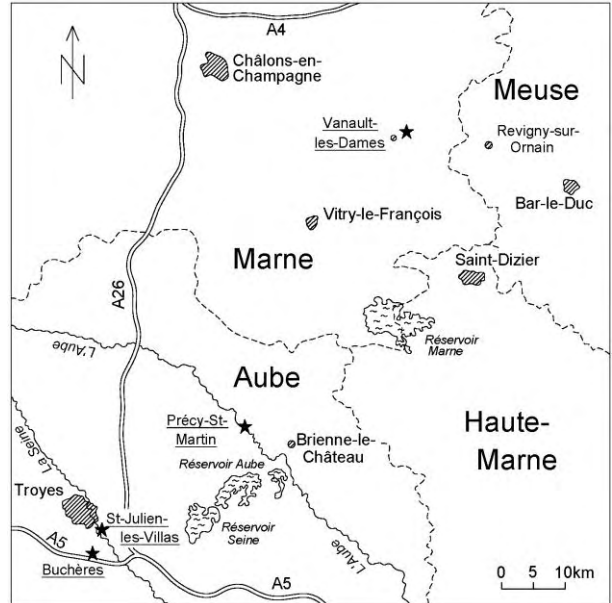


Fig. 3. — Carte de situation du secteur étudié.

Fig. 3. — Location of the studied sections.

1) Département de l'Aube

L'horizon riche en *Inoceramus crippii* affleure dans les berges de la rivière Aube à 7 km à l'ouest de Brienne-le-Château, sur le territoire de la commune de Précy-Saint-Martin. Il vient également d'être reconnu de manière éphémère à l'occasion de travaux de génie civil en deux localités limitrophes de l'agglomération troyenne : Saint-Julien-les-Villas et Buchères.

Précy-Saint-Martin ; berges de la rivière Aube immédiatement en aval du barrage hydroélectrique ; coordonnées Lambert zone 1 : x = 755,40 ; y = 1081,67. Les niveaux de basses eaux laissent apparaître sous le recouvrement quaternaire et sur quelques décimètres de hauteur une craie marneuse grise remplie d'empreintes d'*Inoceramus crippii* Mantell, accompagnées de fréquentes ammonites : *Schloenbachia varians* (J. Sowerby) (les plus communes), *Hyphoplites falcatus* (Mantell) et *Sharpeiceras* sp.

Saint-Julien-les-Villas ; pont de la rocade Est de Troyes situé en bordure du canal de restitution du réservoir Seine ; coordonnées Lambert : x = 732,30 ; y = 1064,37. Le creusement des fondations du pont a mis au jour une marne crayeuse grise riche en *I. crippii* et *S. varians*.

Buchères ; parc logistique de l'Aube ; coordonnées Lambert : x = 729,90 ; y = 1059,82. Les travaux de terrassement préliminaires à la construction des bâtiments ont mis au jour sur plusieurs centaines de m² une craie marneuse grise, dépourvue de glauconie, mais très fossilifère. La macrofaune comprend d'innombrables *Inoceramus crippii*, des huîtres : *Rastellum carinatum* (Lamarck), des pectinidés : *Merklinia aspera* (Lamarck), des ammonites : *Schloenbachia varians* [abondantes], *Sharpeiceras lat clavium* (Sharpe), *S. schlueteri* Hyatt, *Mantelliceras mantelli* (J. Sowerby),

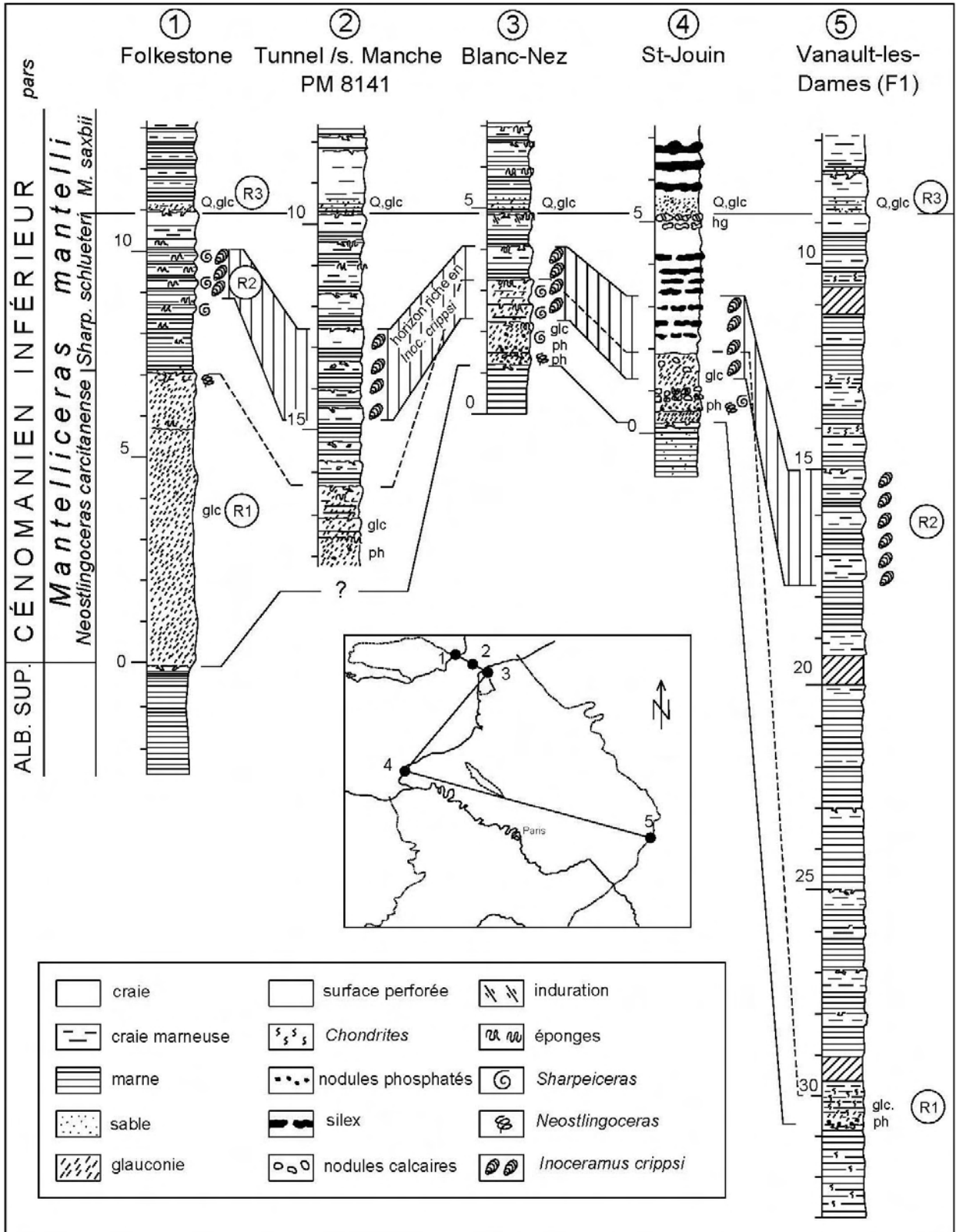


Fig. 4. — Corrélation de quelques coupes représentatives dans le Cénomanién basal du bassin anglo-parisien montrant la continuité et l'isochronisme de l'horizon repère riche en *Inoceramus crippei*. 1 : Kent, 2 : Pas-de-Calais, 3 : Boulonnais, 4 : Bec de Caux, 5 : département de la Manche ; q, glc, ph = quartz, glauconie, phosphate.

Fig. 4. — Correlation of some key sections in the Lowermost Cenomanian of the Anglo-Paris basin showing the continuity and the isochronism of the marker bed containing abundant *Inoceramus crippei*. 1 : Kent, 2 : Strait of Dover, 3 : Boulonnais, 4 : Bec de Caux, 5 : Manche Department.

Mantelliceras cantianum Spath, *Sciponoceras roto* Cieslinski, *Hypoturrilites gravesianus* (d'Orbigny), des gastéropodes, des éponges : *Exanthisis labrosus* (T. Smith), *Stauronema carteri* Sollas et des brachiopodes : *Monticlarella rectifrons* (Pictet).

2) Département de la Marne

L'institution interdépartementale des barrages-réservoirs de la Seine a projeté dans les années 1990 la construction d'un quatrième réservoir destiné à écrêter les crues de la Seine à Paris, en plus des réservoirs Marne, Seine et Aube déjà réalisés. L'implantation de ce réservoir, nommé « Lac des Côtes de Champagne », était envisagée à peu près à mi-chemin entre Vitry-le-François et Revigny-sur-Ornain. Le projet fut ensuite abandonné et les sondages de reconnaissance forés dans la craie marneuse du Cénomaniens inférieur et les argiles albiennes à faciès Gault ont été entreposés à l'air libre sur un site de stockage à Eclaron (Haute-Marne), simplement recouverts de bâches en plastique qui, au fil du temps, se sont déchirées. Dans la plupart des cas, sous l'action des agents atmosphériques, les carottes de sondages sont devenues de la boue. Néanmoins, quelques caisses situées à la base des palettes ont été préservées de l'altération, dont le sondage F1 décrit ici.

Vanault-les-Dames (sondage F1 du projet de Lac des Côtes de Champagne)

Sondage implanté en 1995 sur le territoire de la commune de Vanault-les-Dames à 23 km au NE de Vitry-le-François. Coordonnées Lambert zone 1 : x = 780,00 ; y = 1130,45 ; altitude 131,8 m. Levé lithologique (FA, BM, RT) réalisé en 2009.

La suite lithologique recoupée par le sondage est illustrée dans la figure 4.

0 à 1,60 m : formations superficielles quaternaires ;

CÉNOMANIEN INFÉRIEUR

1,60 m à 8,80 m : intervalle à dominante crayeuse, gris-beige, constitué de cycles épais de 1 m à 1,50 m, débutant à la base par des niveaux pluridécimétriques de marne grise riche en traces fossiles de type *Chondrites* et passant vers le haut à des bancs métriques de craie marneuse gris-beige. Le taux de CaCO₃ varie de 49 à 57 % dans les niveaux marneux et de 64 à 70 % dans les bancs de craie marneuse. La limite supérieure des cycles est soulignée par une surface perforée comportant des *Thalassinoides*. Les niveaux marneux des trois cycles inférieurs sont riches en quartz et contiennent des grains de glauconie fine, disséminés. En tenant compte de la suite lithologique recoupée dans le reste du sondage, la position géométrique de ce niveau riche en quartz suggère qu'il s'agit du **niveau repère R3** d'Amédéo (1994). De la macrofaune est présente sur toute la hauteur de l'intervalle, avec une plus grande fréquence entre les niveaux 5,20 m à 8,80 m. Le matériel recueilli comprend surtout des lamellibranches : *Inoceramus crippi* Mantell, *Entolium orbiculare* (J. Sowerby), *Pycnodonte* sp. et des ammonites : *Schloenbachia* sp. ;

8,80 m à 30,60 m : intervalle à dominante marneuse, gris-bleu. Les cycles, épais de 1 à 2 m, débutent par de larges niveaux de marne gris sombre (34 à 44 % de CaCO₃) et se

terminent par des bancs pluridécimétriques de marne crayeuse gris pâle (55 à 58 % de CaCO₃), limités au sommet par une surface perforée. Le niveau marneux le plus inférieur, observé entre 29,70 m et 30,60 m, est intensément bioturbé par des *Chondrites* et contient un peu de glauconie inframillimétrique ainsi que quelques nodules centimétriques de phosphate beige, friable, à sa limite inférieure, immédiatement au-dessus d'une surface perforée. Il s'agit du **niveau repère R1** d'Amédéo (1994) qui souligne la base des successions cénomaniennes dans la plus grande partie, peut-être même dans la totalité, du bassin de Paris. Les récoltes de macrofaune varient considérablement suivant les niveaux, ce qui conduit à distinguer 4 intervalles :

- 8,80 m à 15,05 m : macrofaune rare avec *Monticlarella rectifrons* (Pictet) à 9,15 m, *Inoceramus crippi* à 12,70 m et *Schloenbachia* sp. à 14,55 m ;

- 15,05 m à 17,60 m : macrofaune très abondante avec, sur toute la hauteur de l'intervalle, plusieurs dizaines de spécimens d'*Inoceramus crippi* (**niveau repère R2 riche en I. crippi** d'Amédéo, 1994) associés à quelques ammonites : *Hypoturrilites* cf. *tuberculatus* (Bosc) à 15,20 m, *Schloenbachia varians* (J. Sowerby) à 15,50 m, 16,10 m, 16,20 m, 17,25 m, 17,40 m et *Mantelliceras mantelli* (J. Sowerby) à 16,40 m ;

- 17,60 m à 26,50 m : macrofaune occasionnelle avec *I. crippi* à 18,50 m, 19,80 m et 24,60 m, *Gryphaeostrea* sp. à 19,40 m et *Schloenbachia* sp. à 25,60 m ;

- 26,50 m à 30,60 m : macrofaune de nouveau abondante avec une association cette fois dominée par la présence de nombreuses ammonites appartenant à l'espèce *Schloenbachia varians* (17 exemplaires recueillis sur toute la hauteur de l'intervalle), associés à *I. crippi* (5 ex. collectés à 27,10 m, 28,90 m, 30,10 m) et *Gryphaeostrea* sp. (à 30,20 m et 30,50 m) ;

ALBIEN TERMINAL (« VRACONNIEN »)

30,60 m à 39,40 m (fin du sondage) : marne gris pâle, compacte, contenant 33 à 35 % de CaCO₃, parsemée dans sa partie supérieure de quelques traces fossiles de type *Chondrites* et avec deux passées plus carbonatées (42 % de CaCO₃) à 33,00 m-33,30 m et 34,10 m-34,60 m. La macrofaune est rare et seuls quelques *Entolium orbiculare* ont été découverts à 32,40 m, 34,50 m et 36,30 m, accompagnés à 32,40 m et 34,80 m par deux rhynchonelles à côtes fines attribuées à l'espèce *Orbirhynchia parkinsoni* Owen. [L'attribution de cet intervalle au Vraconnien est justifié par la microfaune de foraminifères - Travaux en cours avec Chantal Bourdillon (Le Mans)].

En définitive, parmi les quatre localités où l'horizon riche en *Inoceramus crippi* a été observé dans les départements de l'Aube et de la Marne, une seule permet de décrire de façon détaillée la succession lithologique : le sondage F1 du « Lac des côtes de Champagne » situé dans la Marne sur le territoire de Vanault-les-Dames. L'horizon à *I. crippi* mesure ici 2,55 m d'épaisseur et sa limite inférieure est située 13,00 m au-dessus de la base de l'étage Cénomaniens. La macrofaune livrée par les carottes de sondage dans le niveau repère comprend, en plus de nombreux *I. crippi*, des ammonites : *Schloenbachia varians* (fréquent), *Mantelliceras mantelli* et *Hypoturrilites* cf. *tuberculatus*. Si aucune coupe n'a pu être

levée dans les trois affleurements de l'Aube en raison de la faible profondeur des fouilles, en revanche de nombreux fossiles ont été récoltés avec, en plus des espèces déjà citées, des éponges : *Exanthesis labrosus*, *Stauronema carteri*, des brachiopodes : *Monticlarella rectifrons*, des gastéropodes, des pectinidés : *Merklinia aspera*, des huîtres : *Rastellum carinatum*, et surtout des ammonites : *Mantelliceras cantianum*, *Sharpeiceras laticlavium*, *S. schlueteri*, *Sciponoceras roto* et *Hypoturrilites gravesianus*.

IV. — DATATION PAR LES AMMONITES

La zonation d'ammonites actuellement en usage dans le Cénomanien du nord-ouest de l'Europe résulte essentiellement des travaux de Kennedy (1969, 1971), Wright & Kennedy (1981, 1984), Gale & Friedrich (1989), Robaszynski *et al.* (1998) et Kaplan *et al.* (1998). En ce qui concerne le Cénomanien inférieur, deux zones sont reconnues, soit du bas vers le haut la zone à *Mantelliceras mantelli*, elle-même divisée en trois sous-zones, successivement à *Neostlingoceras carcitanense*, à *Sharpeiceras schlueteri*, à *Mantelliceras saxbii* et la zone à *Mantelliceras dixonii*.

La récolte de *Sharpeiceras schlueteri* Hyatt et *S. laliclavium* (Sharpe) dans l'horizon riche en *Inoceramus crippsi* dans le Kent (Gale & Friedrich, 1989), le Boulonnais (Barrois, 1878 ; Amédéo, 1986 ; Amédéo & Robaszynski, 1999), le Bec de Caux (Juignet, 1974) et l'Aube permet dans toutes ces régions d'attribuer de façon précise le niveau repère à la sous-zone à *Sharpeiceras schlueteri*. L'horizon riche en *I. crippsi* peut être considéré comme un éco-événement isochrone au sein du bassin anglo-parisien, à l'échelle de la sous-zone à *S. schlueteri*.

Plusieurs exemplaires de *Sharpeiceras*, ammonites aisément reconnaissables, même pour des non spécialistes, par la présence de côtes simples et droites portant des tubercules ombilicaux, latéraux, ventro-latéraux internes et externes saillants, sont illustrés dans les planches III et IV.

V. — CORRÉLATION À TRAVERS LE BASSIN ANGLO-PARISIEN

La figure 4 présente une corrélation dans les craies de la base du Cénomanien inférieur du bassin anglo-parisien (Kent, Pas-de-Calais, Boulonnais, Bec de Caux et Marne). Pour chaque région, les travaux utilisés sont les suivants :

- Kent (Folkestone) : Gale et Friedrich (1989), Jenkyns *et al.* (1994) ;
- Pas-de-Calais (Tunnel sous la Manche) : Amédéo (1994) ;
- Boulonnais (cap Blanc-Nez) : Amédéo (1993, 1994), Amédéo & Robaszynski (1999, 2001a) ;
- Bec de Caux (Saint-Jouin) : Juignet (1974), Owen (1996) ;
- Département de la Marne (Vanault-les-Dames) : ce travail.

La comparaison des coupes amène plusieurs remarques.

- L'horizon R2 riche en *Inoceramus crippsi* est continu depuis le SE de l'Angleterre jusqu'aux départements de la Marne et de l'Aube. Il est probable que des recherches ultérieures puissent élargir son extension à l'ensemble du bassin anglo-parisien.

- Il définit une ligne de corrélation très fine et permet un repérage précis dans les successions marno-crayeuses du Cénomanien basal.

- Le niveau repère R2, daté par les ammonites de la sous-zone à *Sharpeiceras schlueteri*, est situé juste au-dessus des niveaux transgressifs de base R1 du Cénomanien caractérisés à l'échelle du bassin anglo-parisien par la présence de glauconie et de phosphate. En appréciant la position géométrique des niveaux repères R1 et R2, on peut mettre en évidence des variations du taux de sédimentation suivant les régions ainsi qu'un diachronisme des niveaux glauconieux. Dans le Kent, le Pas-de-Calais (Tunnel sous la Manche) et le département de la Marne, les niveaux repères R1 et R2 sont bien séparés. En revanche dans le Boulonnais et le Bec de Caux, de la glauconie existe jusqu'à mi-hauteur de l'horizon d'abondance en *I. crippsi*, entraînant un chevauchement des niveaux repères. Le diachronisme de la craie glauconieuse à travers le Pas-de-Calais, depuis les falaises de Folkestone jusqu'au cap Blanc-Nez est illustré dans la figure 5.

- Enfin et à l'inverse de ce que l'on observe dans le Boulonnais et le Bec de Caux, l'enregistrement sédimentaire apparaît exceptionnellement épais dans le département de la Marne, l'intervalle allant de la base des formations cénomaniennes au niveau repère R3 mesurant 3,60 m au cap Blanc-Nez, 5 m à Saint-Jouin, 11 m à Folkestone et jusqu'à 21,80 m à Vanault-les-Dames ! Au Cénomanien inférieur, comme précédemment à l'Albien, l'ensemble Marne-Aube appartenait à l'aire la plus subsidente du bassin (Mégnien coord., 1980).

À noter que les forages du programme « Craie 700 » réalisés en 1999 en carottage continu près de Provins dans la Brie, et en particulier le forage 702 de Sainte-Colombe qui a atteint l'Albien à la profondeur de 687,20 m, n'ont pas permis d'identifier clairement l'horizon à *I. crippsi* abondant. L'espèce est signalée par Pomerol (2000) au niveau 668,15 m, soit 19,05 m au-dessus de la limite Albien-Cénomanien, dans une position stratigraphique sensiblement comparable à ce que l'on observe dans le sondage de Vanault-les-Dames, mais la récolte d'un seul spécimen n'est pas significative. La présence du niveau repère est vraisemblable dans les sondages de Provins, mais la cohérence de la craie n'a probablement pas permis d'extraire la totalité des fossiles présents dans les carottes.

VI. — CONCLUSION

Un horizon d'abondance du mollusque bivalve *Inoceramus crippsi* Mantell, 1822 est décrit dans le Cénomanien basal du bassin anglo-parisien, depuis les falaises du SE de l'Angleterre jusqu'aux départements de l'Aube et de la Marne en France. Cet éco-événement est daté par les ammonites de la zone à *Mantelliceras mantelli* et plus précisément de la sous-zone à *Sharpeiceras schlueteri*. Il est aisément reconnaissable sur le terrain et dans les sondages et il définit une ligne de corrélation très fine par rapport aux

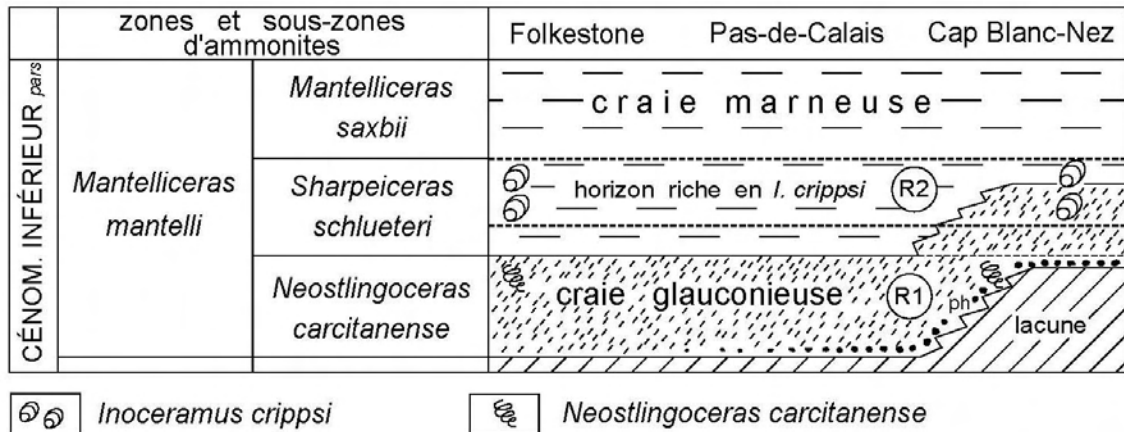


Fig. 5. — Représentation schématique du diachronisme de la craie glauconieuse (niveau repère R1) à travers le détroit du Pas-de-Calais (d'après Amédéo, 1994, modifié).

Fig. 5. — Diagrammatic representation of the Glauconitic Marl across the Strait of Dover (following Amédéo, 1994).

zones macro- ou micropaléontologiques classiques, beaucoup plus longues.

La découverte de ce niveau repère dans l'Aube et la Marne comme dans le Kent, le Sussex, le Boulonnais et le Bec de Caux révèle une histoire bio-sédimentaire commune dès le Cénomaniens inférieur d'une vaste aire allant des falaises de la Manche à la bordure SE du bassin anglo-parisien. D'un autre côté, l'horizon riche en *I. crippei* est proche de la limite Albien-Cénomaniens. En appréciant sa position géométrique par rapport aux niveaux glauconieux, transgressifs, de base du Cénomaniens, il devient possible de mettre en évidence un diachronisme de ces derniers comme cela a été fait à travers le détroit du Pas-de-Calais lors de la réalisation du Tunnel sous la Manche. Le même raisonnement permet également d'identifier des aires plus ou moins subsidentes au sein du bassin et met par exemple en évidence un enregistrement sédimentaire exceptionnellement épais dans le département de la Marne à la base du Cénomaniens.

Remerciements. — Francis Robaszynski de la Faculté Polytechnique de Mons (B) et Johan Yans de la FUNDP à Namur (B) ont accepté de relire ce manuscrit en y apportant des remarques constructives. Francis Rollin de l'Institution interdépartementale des Barrages-Réservoirs du Bassin de la Seine nous a réservé le meilleur accueil sur le site de stockage des carottes des sondages de reconnaissance du projet de « Lac des côtes de Champagne » à Eclaron (Haute-Marne). Thierry Oudoire, conservateur des collections de géologie du Musée d'Histoire naturelle de Lille, a réalisé la photographie de la plaque d'inocérames de la planche 1. Enfin Jean-Claude Moffroy (Troyes) et Gérard Pierre (Isle-Aumont) nous ont prêté plusieurs *Sharpeiceras* de leur collection. Qu'ils en soient tous chaleureusement remerciés.

Dépôt du matériel. — Les spécimens illustrés font partie de la collection Francis Amédéo (FA) et des collections de l'Association Géologique Audoise (AGA), Bertrand Matrion (BM), Jean-Claude Moffroy (JCM), Gérard Pierre (GP) et Jean-Marie Verrier (JMV). La collection FA est déposée au Musée d'Histoire naturelle de Lille, la collection BM va être déposée à l'Université de Bourgogne à Dijon, les autres devraient l'être au Musée d'Histoire naturelle de Troyes.

BIBLIOGRAPHIE

- AMÉDRO F. (1986). — Biostratigraphie des craies cénomaniennes du Boulonnais par les ammonites. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 105, 159-167.
- AMÉDRO F. (1993). — La lithostratigraphie et les biofaciès : des outils de corrélation dans les craies cénomaniennes du détroit du Pas-de-Calais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2, 2^e série, 73-80.
- AMÉDRO F. (1994). — Corrélations dans les craies cénomaniennes traversées par le Tunnel sous la Manche (côté France). *Bull. Soc. Géol. Normandie et Amis Muséum du Havre*, 81, 11-44.
- AMÉDRO F., COLLETÉ C., FRICOT C. et ROBASYNSKI F. (1994). — Extension inter-régionale de niveaux repères dans les craies cénomaniennes du bassin anglo-parisien (Boulonnais, Aube, Kent). *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 31, 2, 3-8.
- AMÉDRO F. et ROBASYNSKI F. (1999). — Les craies cénomaniennes du Boulonnais. Comparaison avec l'Aube (France) et le Kent (Royaume Uni). *Géologie de la France, B.R.G.M.*, 2, 33-53, 2 pls.
- AMÉDRO F. et ROBASYNSKI F. (2001a). — Les craies cénomaniennes du Cap Blanc-Nez (France) au regard de la stratigraphie événementielle. Extension géographique de niveaux repères du bassin anglo-parisien (Boulonnais, Kent, Normandie) à l'Allemagne du Nord. *Bull. Soc. Géol. Normandie et Amis Muséum du Havre*, 87, 9-29, 3 pls.
- AMÉDRO F. et ROBASYNSKI F. (2001b). — Événements sédimentaires et bioécologiques dans les craies du Boulonnais : des repères pour des corrélations précises intra- et inter bassins. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 8, 159-171.
- AMÉDRO F., ROBASYNSKI F., COLLETÉ C. et FRICOT C. (1997). — Les craies du Cénomaniens-Turonien de l'Aube et du Boulonnais : des événements litho- et biosédimentaires communs. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 5, 2^e série, 189-197.
- BARROIS Ch. (1878). — Mémoire sur le Terrain Crétacé des Ardennes et des régions voisines. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 5, 227-487.

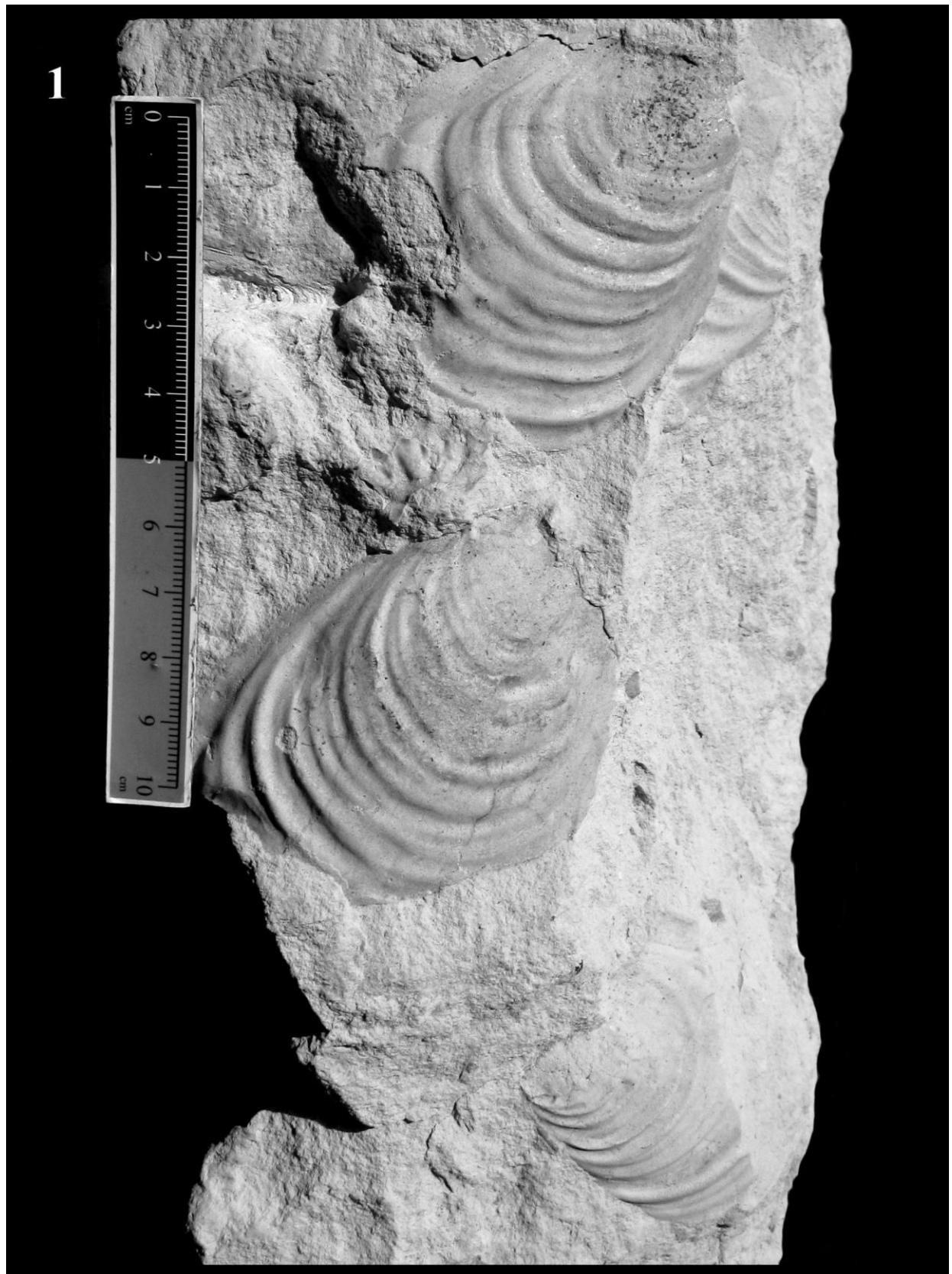
- ERNST G., NIEBUHR B., WIESE F. et WILMSEN M. (1996). — Facies development, Basin dynamics, Event correlation and Sedimentary cycles in the Upper Cretaceous of selected areas of Germany and Spain. *Göttinger Arb. Geol. Paläont.*, 3, 87-100.
- ERNST G., SCHMID F. et SEIBERTZ E. (1983). — Event-Stratigraphie im Cenoman und Turon von NW-Deutschland. *Zitteliana*, 10, 531-554.
- GALE A.S. (1989). — Field Meeting at Folkestone Warren, 29th november, 1987. *Proc. Geol. Ass.*, 100, 73-82.
- GALE A.S. (1995). — Cyclostratigraphy and correlation of the Cenomanian stage in Western Europe. *Geol. Soc.*, spec. public. 85, 177-195.
- GALE A.S. et FRIEDRICH S. (1989). — Occurrence of the ammonite genus *Sharpeiceras* in the Lower Cenomanian Chalk Marl of Folkestone. *Proc. Geol. Ass.*, 100, 80-82.
- GALE A.S., HANCOCK J.M. et KENNEDY W.J. (1999). — Biostratigraphical and sequence correlation of the Cenomanian successions in Mangyshlak (W. Kazakstan) and Crimea (Ukraine) with those in southern England. *Bull. Inst. Royal Sc. Nat. Belg.*, Sci. Terre, 69-suppl. A, 67-86, 2 pls.
- GALE A.S., HARDENBOL J., HATHWAY B., KENNEDY W.J., YOUNG J. et PHANSALKAR V. (2002). — Global correlation of Cenomanian (Upper Cretaceous) sequences: Evidence for Milankovitch control on sea level. *Geol. Soc. America*, 30, 4, 291-294.
- HYATT A. (1903). — Pseudoceratites of the Cretaceous. *Monogr. U.S. Geol. Surv.*, 44, 351 p., 47 pls.
- JARVIS I., MURPHY A.M. et GALE A.S. (2001). — Geochemistry of pelagic and hemipelagic carbonates: criteria for identifying systems tracts and sea-level change. *Journ. Geol. Soc., London*, 158, 685-696.
- 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.*, 131, 1-34.
- JUIGNET P. (1974). — La transgression crétacée sur la bordure orientale du Massif armoricain- Aptien, Albien, Cénomaniens de Normandie et du Maine. Le stratotype du Cénomaniens. Thèse Univ. Caen, 810 p., 28 pls.
- KAPLAN U., KENNEDY W.J., LEHMANN J. et MARCINOWSKI R. (1998). — Stratigraphie und Ammonitenfaunen des westfälischen Cenoman. *Geol. Paläont. Westf.*, 51, 236 p., 36 pls.
- KENNEDY W.J. (1969). — The correlation of the Lower Chalk of South-East England. *Proc. Geol. Ass.*, 80, 459-560, pls 15-22.
- KENNEDY W.J. (1971). — Cenomanian ammonites from Southern England. *Palaeontology, Spec. Pap.*, 8, 133 p., 64 pls.
- LAMARCK J.B. de (1806). — Suite des mémoires sur les fossiles des environs de Paris. *Ann. Mus. Hist. nat. Paris*, 8, 166 p.
- MANTELL G. (1822). — The fossils of the South Downs; or illustrations of the geology of Sussex. 327 p., 42 pls, London.
- MÉGNIE C. coord. (1980). — Synthèse géologique du bassin de Paris. Atlas. *Mém. Bur. Rech. Géol. Min.*, 103, 54 pls.
- MORTIMORE R.N., WOOD C.J. et GALLOIS R.W. (2001). — British Upper Cretaceous Stratigraphy. *Geol. Conserv. Review Ser.*, 23, 558 p.
- OWEN D.R. (1996). — Sequence stratigraphic correlation in the Cenomanian of Western Europe. Ph. D. Univ. London, 151 p.
- POMEROL B. (2000). — Le forage de Sainte-Colombe (702): description lithologique. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, 37, 2, 27-32.
- ROBASZYNSKI F., CARON M., AMÉDRO F., DUPUIS C., HARDENBOL J., GONZALEZ DONOSO J.-M., LINARES D. & GARTNER S. (1994). — Le Cénomaniens de la région de Kalaat Senan (Tunisie centrale) : litho-biostratigraphie et interprétation séquentielle. *Rev. Paléobiologie*, 12, 2, 351-505, 24 pls.
- ROBASZYNSKI F., GALE A.S., JUIGNET P., AMÉDRO F. et HARDENBOL J. (1998). — Sequence stratigraphy in the upper Cretaceous series of the Anglo-Paris basin : exemplified by the Cenomanian stage. *SEPM Spec. public.*, 60, 363-386.
- SHARPE D. (1853-1857). — Description of the fossil remains of Mollusca found in the Chalk of England. I, Cephalopoda. *Palaeontogr. Soc. Monogr.*, London, 68 p., 27 pls.
- WRIGHT C.W. & KENNEDY W.J. (1981). — The Ammonoidea of the Plenus Marls and the Middle Chalk. *Palaeontogr. Soc. Monogr.*, London, 148 p., 32 pls.
- WRIGHT C.W. & KENNEDY W.J. (1984). — The Ammonoidea of the Lower Chalk. Part I. *Palaeontogr. Soc. Monogr.*, London, 126 p., 40 pls.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE I

EXPLANATIONS OF PLATE I

Le niveau repère riche en *Inoceramus crippsi* Mantell, 1822 à l'affleurement au cap Blanc-Nez. Plaque montrant plusieurs empreintes d'*I. crippsi* [à coquille large, aplatie ou légèrement convexe, ornée de rides régulières et largement espacées], coll. FA, cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais), niveau repère R2 (base de l'ensemble lithologique E), Cénomaniens inférieur, zone à *Mantelliceras mantelli*, sous-zone à *Sharpeiceras schlueteri*.

Marly chalk with moulds of Inoceramus crippsi Mantell, 1822 [shell broad, flattened or slightly convex, ornamented with regular and widely spaced ridges], FA coll., cap Blanc-Nez (Pas-de-Calais), marker bed R2 (base of the lithological unit E), Lower Cenomanian, M. mantelli zone, S. schlueteri subzone.



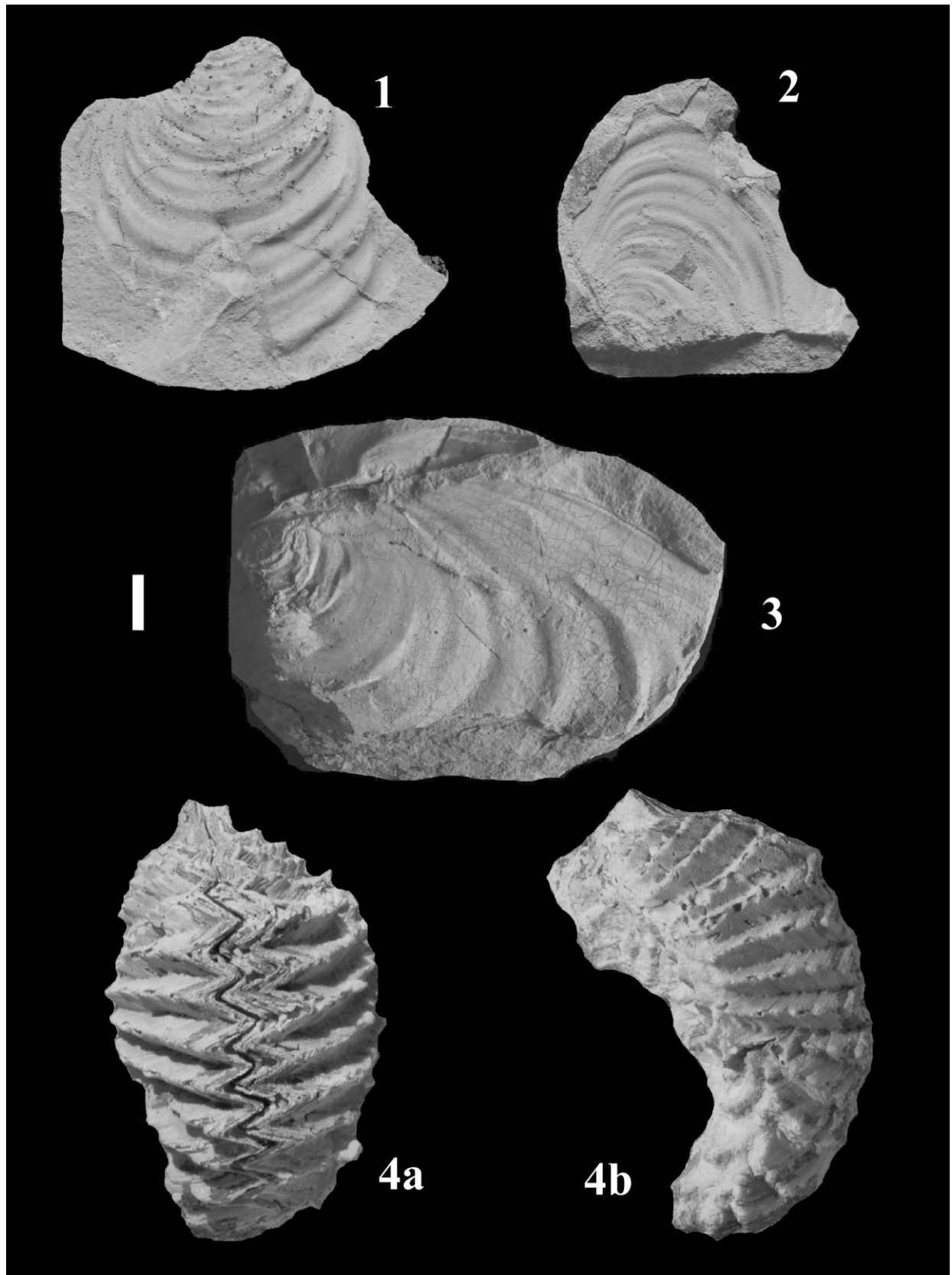
EXPLICATIONS DE LA PLANCHE II
EXPLANATIONS OF PLATE II

Fig. 1, 2, 3. — *Inoceramus crippsi* Mantell, 1822 [à coquille large, aplatie ou légèrement convexe, ornée de rides régulières et largement espacées], coll. AGA, du sondage F1 de Vanault-les-Dames (Marne) ; fig. 1: du niveau 17, 40 m ; fig. 2: du niveau 17, 50 m ; fig. 3 du niveau 16, 30 m ; Cénomaniens inférieur, zone d'ammonite à *Mantelliceras mantelli*, sous-zone à *Sharpeiceras schlueteri* (barre d'échelle = 1 cm).

Fig. 1, 2, 3. — *Inoceramus crippsi* Mantell, 1822 [shell broad, flattened or slightly convex, ornamented of regular and widely spaced ridges], AGA coll., borehole F1 at Vanault-les-Dames (Marne); fig. 1: from level 17, 40 m; fig. 2: from level 17, 50 m; fig. 3: from level 16, 30 m; Lower Cenomanian, *Mantelliceras mantelli* ammonite zone, *Sharpeiceras schlueteri* subzone (scale bar = 1 cm).

Fig. 4. — *Rastellum carinatum* (Lamarck, 1806) [à coquille arquée, ornée de côtes fortes et présentant un bord ventral en zigzag très caractéristique], coll. BM, travaux du parc logistique de l'Aube à Buchères (Aube) ; Cénomaniens inférieur, zone à *M. mantelli*, sous-zone à *S. schlueteri* (barre d'échelle = 1 cm). 4a- vue ventrale, 4b- valve droite.

Fig. 4. — *Rastellum carinatum* (Lamarck, 1806) [shell arched, with strong ribs and characteristic ventral zig-zag], BM coll., outcrops in the logistic park of Aube at Buchères (Aube); Lower Cenomanian, *M. mantelli* zone, *S. schlueteri* subzone (scale bar = 1 cm). 4a- ventral view, 4b- right valve.



EXPLICATIONS DE LA PLANCHE III

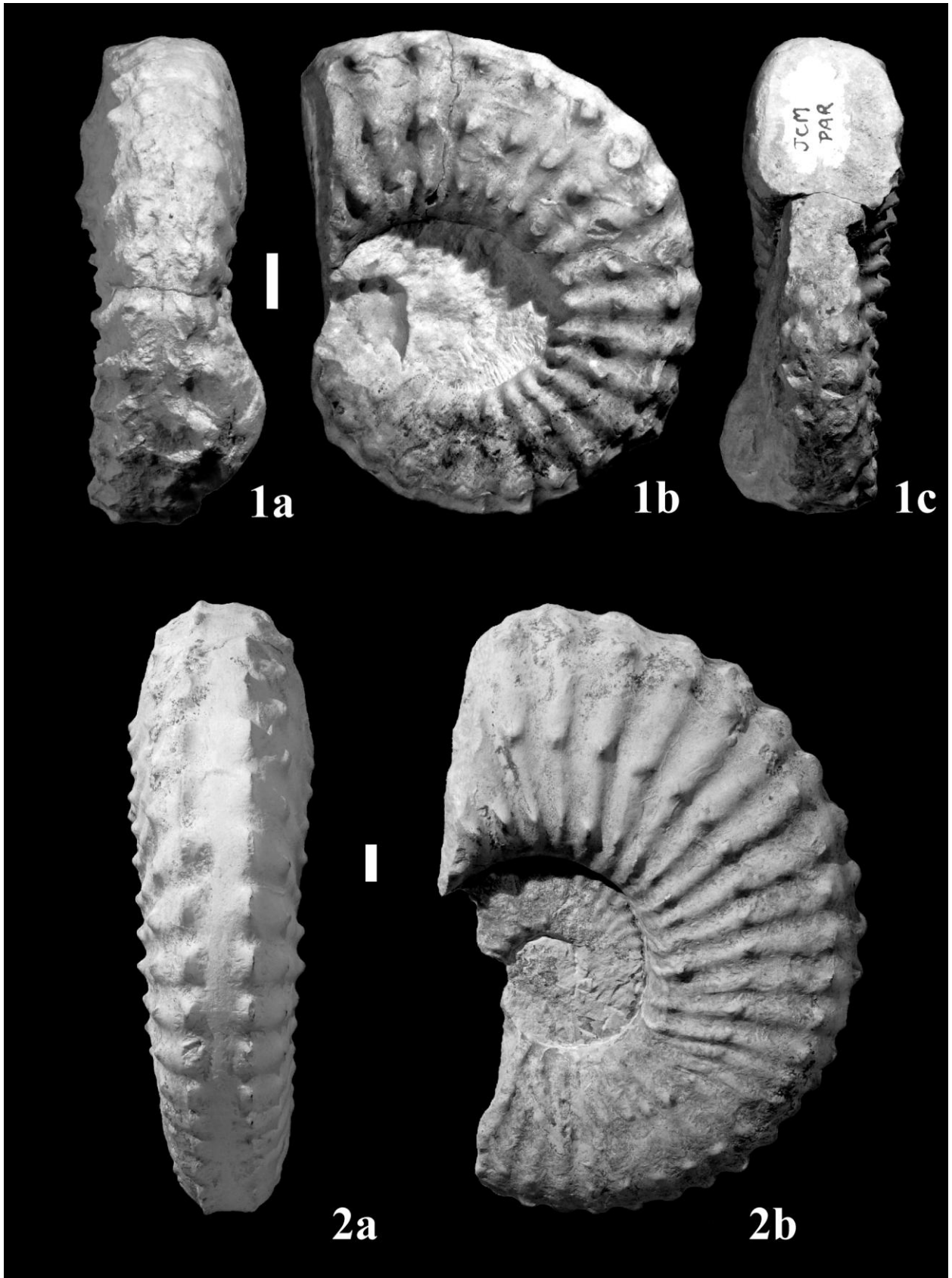
EXPLANATIONS OF PLATE III

Fig. 1. — *Sharpeiceras schlueteri* Hyatt, 1903 [à enroulement très évolutive, section du tour polygonale, légèrement plus haute que large et côtes simples, robustes, assez espacées, au nombre d'environ 14 par $\frac{1}{2}$ tour, portant chacune des tubercules ombilicaux, latéraux, ventro-latéraux internes et externes saillants], coll. JCM, travaux du parc logistique de l'Aube à Buchères (Aube); Cénomaniens inférieur, zone à *M. mantelli*, sous-zone à *S. schlueteri* (barre d'échelle = 1 cm). 1a, c- vues ventrales, 1b- vue latérale.

Fig. 1. — *Sharpeiceras schlueteri* Hyatt, 1903 [very evolutive coiling, polygonal section slightly higher than wide, coarse and spaced ribs, typically simple (about 14 per half whorl), bearing umbilical, lateral, inner and outer ventrolateral tubercles], JCM coll., outcrops in the logistic park of Aube at Buchères (Aube); Lower Cenomanian, *M. mantelli* zone, *S. schlueteri* subzone (scale bar = 1 cm). 1a, c- ventral views, 1b- side view.

Fig. 2. — *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe, 1855) [à enroulement évolutive, section du tour rectangulaire et comprimée, côtes simples, fines et denses (environ 21 par $\frac{1}{2}$ tour), portant chacune des tubercules ombilicaux, latéraux, ventro-latéraux internes et externes peu marqués], moule interne de 160 mm de diamètre, coll. GP, travaux du parc logistique de l'Aube à Buchères (Aube), Cénomaniens inférieur, zone à *M. mantelli*, sous-zone à *S. schlueteri* (barre d'échelle = 1 cm). 2a- vue ventrale, 2b- vue latérale.

Fig. 2. — *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe, 1855) [evolutive coiling, rectangular and compressed whorl section, simple ribs, fine and dense (about 21 per half whorl), each bearing umbilical, lateral, inner and outer ventrolateral tubercles], GP coll., outcrops in the logistic park of Aube at Buchères (Aube); Lower Cenomanian, *M. mantelli* zone, *S. schlueteri* subzone (scale bar = 1 cm). 2a- ventral view, 2b- side view.

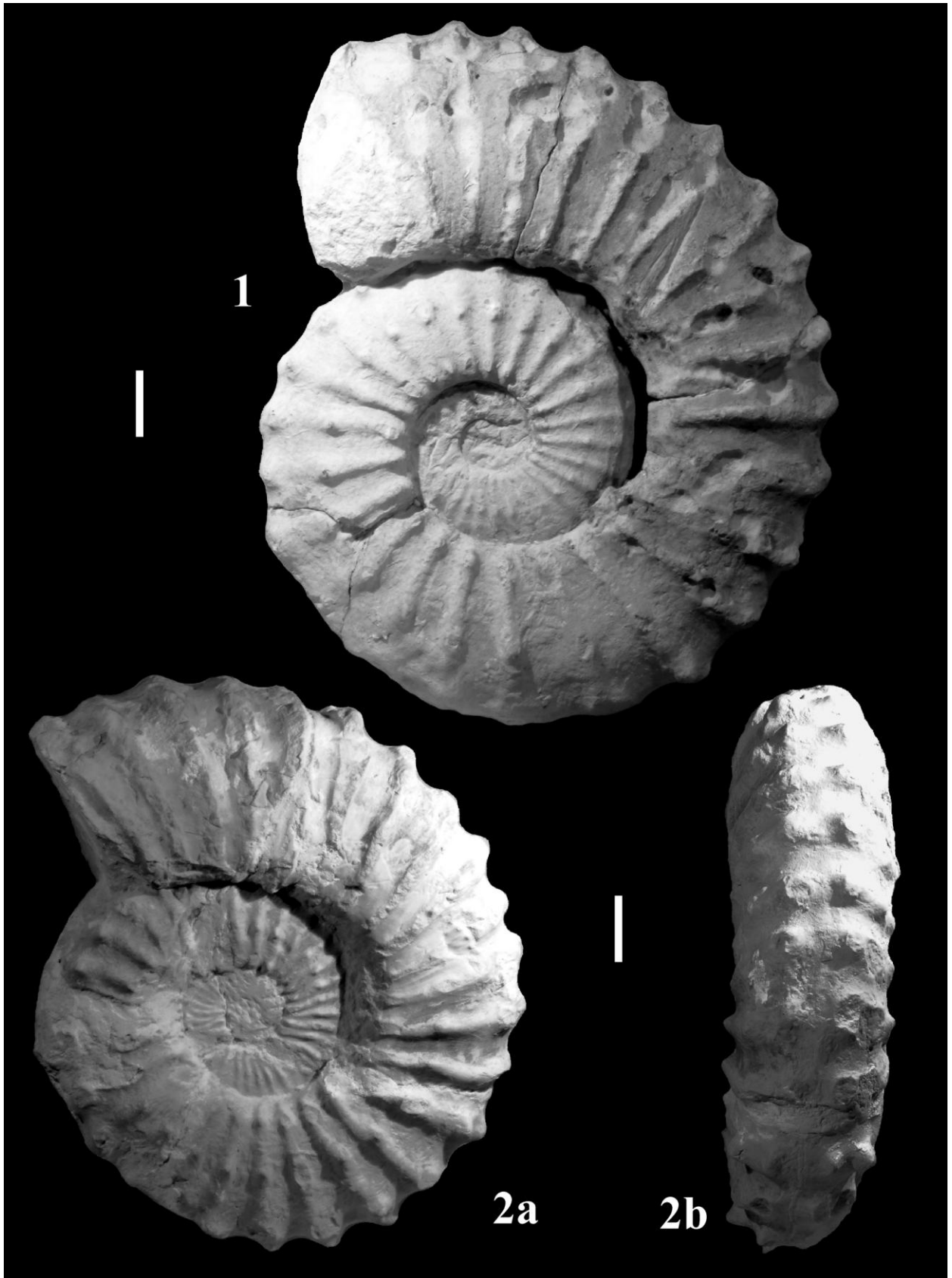


EXPLICATIONS DE LA PLANCHE IV

EXPLANATIONS OF PLATE IV

Fig. 1, 2. — *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe, 1855), spécimens adultes de grande taille (diamètres respectifs de 435 mm et de 390 mm) montrant une diminution de la densité costale sur le dernier tour de spire (environ 17 côtes sur le dernier ½ tour de spire) ainsi qu'un affaiblissement de la tuberculation où seuls persistent les tubercules ventro-latéraux externes; fig. 1 : coll. GP, fig. 2 : coll. JMV; travaux du parc logistique de l'Aube à Buchères (Aube), Cénomaniens inférieur, zone à *M. mantelli*, sous-zone à *S. schlueteri* (barre d'échelle = 4 cm). 2a- vue latérale, 2b- vue ventrale.

Fig. 1, 2. — *Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe, 1855), large adult specimens showing the weakening of the rib density (about 17 ribs on the last half whorl) and tuberculation on the outer whorl where only persist the outer ventrolateral tubercles; fig. 1 : GP coll., fig. 2 : JMV coll.; outcrops in the logistic park of Aube at Buchères (Aube); Lower Cenomanian, *M. mantelli* zone, *S. schlueteri* subzone (scale bar = 4 cm). 2a- side view, 2b- ventral view.



LE GIVÉTIEN DE LA VILLEDÉ-D'ARDIN (SUD DU MASSIF ARMORICAIN, FRANCE) : UNE SÉRIE DISCORDANTE SUR UN SOCLE CADOMIEN ?

The Givetian of the Villedé-d'Ardin (southern Armorican massif, France) : an unconformable series on a Cadomian basement ?

par Pascal BOUTON (*) & Jean Pierre CAMUZARD (**)

Résumé. — Les grès et calcaires givétiens d'Ardin (Deux-Sèvres, France) affleurent à l'extrémité sud-est du Sillon houiller vendéen. Cette faille namuro-stéphanienne est un des grands décrochements crustaux sud-armoricains installés à l'emplacement de la zone de suture varisque entre le Gondwana et la microplaque Armorica. Épaisse d'environ 400 m, la série givétienne s'est déposée sur un domaine stable et peu profond. Elle débute par des conglomérats quartzeux monogéniques et se termine par l'installation d'un récif à tétracoralliaires, stromatopores et brachiopodes (*Stringocephalus*). Ses trilobites (*Dechenella*) constituent l'unique exemple de faune d'affinité morave connu dans le Massif armoricain. Cette affinité plutôt nord-gonwaniennne s'exprime également avec les brachiopodes du Cambrien supérieur (*Billingsella*) de l'Unité voisine de Puyhardy. Le Givétien repose sur une série très déformée, l'Unité de Roc-Cervelle, précédemment attribuée au Cambrien ; il nous paraît aujourd'hui plus logique d'en faire un équivalent du Protérozoïque des Mauges dont la structuration est cadomienne. La seule déformation enregistrée par le Givétien est sa verticalisation lors du serrage qui affecte le bassin du Carbonifère supérieur ; c'est une autre particularité du Givétien, car les dépôts du Paléozoïque inférieur et moyen des unités voisines de Puyhardy et de Chantonnay ont été déformés entre le Dévonien supérieur et le Namurien, c'est-à-dire lors de la phase structurale majeure du Domaine sud-armoricain.

Abstract. — *The Givetian sandstones and limestones of Ardin (Deux-Sèvres, France) outcrop at the south-east ending of the Vendée coal belt. This Namurian-Stephanian fault is one of the great South-Armorican crustal strike-slip faults located on the boundary between the Gondwana and the Armorica microplate. About 400 m thick, the Givetian series has been deposited over a stable and shallow area. It begins with monogenic quartz conglomerates and ends by the establishment of a reef with rugosa, stromatoporoids and brachiopods (Stringocephalus). Its trilobites are the unique example of Moravian affinity fauna known in the Armorican massif. This North Gondwanian affinity appears also with the Upper Cambrian brachiopods (Billingsella) of the neighbouring unit of Puyhardy. The Givetian rests on a very deformed low-grade series, the Roc-Cervelle Unit, which was previously attributed to the Cambrian. But it now seems more logical to correlate it to the Precambrian Mauges series whose structuring is Cadomian in age. The only deformation that the Givetian underwent is its raising during the tightening which affected the Namurian-Stephanian graben; this is another particularity of the Givetian because the deposits of the neighbouring low-grade units of Puyhardy (Upper Cambrian) and Chantonnay (Cambrian to Middle-Upper Devonian) were deformed between the Upper Devonian and the Namurian, that is to say during the major structural stage of the South-Armorican domain.*

Mots clés : Dévonien, Chaîne varisque, zone de suture, paléogéographie, Chantonnay, Domaine sud-armoricain.

Keyword : Devonian, Variscan belt, suture zone, palaeogeography, Chantonnay, South-Armorican domain.

I. — INTRODUCTION

Le Givétien de la Villedé-d'Ardin (Ardin, Deux-Sèvres, ouest de la France) affleure sur la bordure sud du massif hercynien vendéen, prolongement du Massif armoricain au sud de la Loire (Fig. 1 & 2A). Son extension cartographique est modeste (moins de 10 km²) et une partie de l'affleurement est masquée par la couverture jurassique de la bordure

septentrionale du Bassin aquitain (Fig. 2B). Le Givétien est accolé par faille au bassin namuro-stéphanien de Faymoreau, extrémité sud-orientale du Sillon houiller vendéen, accident d'importance crustale. Les séries du Dévonien et du Carbonifère, non métamorphiques, sont encadrées cartographiquement par des formations sédimentaires épimétamorphiques rapportées au Paléozoïque inférieur et peut-être au Protérozoïque (Fig. 2B, 2C & 3).

(*) Oolite Sarl, 102 la Bournaire, 44690 Monnières ; e-mail : oolite.sarl@orange.fr

(**) 32, domaine de la Coqueraine, 14150 Ouisseham ; e-mail : jp.camuzard@orange.fr

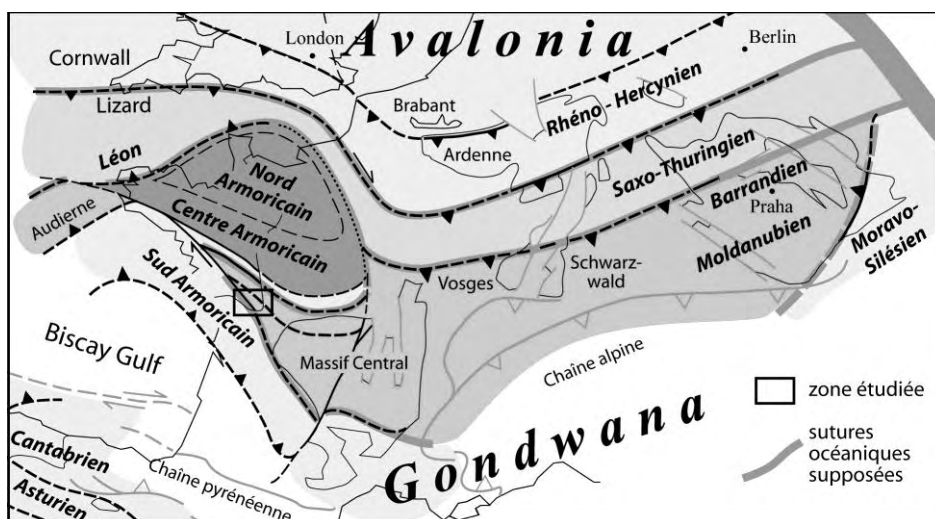


Fig. 1. — Localisation de la zone d'étude dans la Chaîne varisque de l'Ouest de l'Europe (schéma adapté de Ballèvre *et al.*, 2009).

Fig. 1. — Location of the study area in the Variscan belt of Western Europe (sketch adapted from Ballèvre *et al.*, 2009).

1) Cadre géologique

Le Givétien de la Villedé-d'Arدين affleure entre le complexe Les Essarts-Mervent au sud-ouest et le synclinorium de Chantonay au nord-est, c'est-à-dire au droit de la zone de suture varisque entre le Gondwana, représenté par le domaine sud-armoricain, et la microplaque armoricaine (Fig. 1). Il s'agit d'un secteur complexe constitué de terrains sédimentaires et volcaniques peu métamorphiques qui datent du Protérozoïque supérieur (série des Mauges et peut-être Unité de Roc-Cervelle) et du Cambrien au Dévonien moyen à supérieur (Unités de Chantonay, Puyhardy et la Villedé-d'Arدين). Ce domaine a été ensuite dilacéré par les accidents décrochants d'importance crustale du Cisaillement sud-armoricain, dont le fonctionnement et les granitisations associées sont carbonifères. La zone étudiée est prise entre plusieurs de ces failles avec, du nord-est au sud-ouest, les accidents de Secondigny, le Sillon houiller vendéen jalonné de dépôts namuro-stéphaniens (bassin de Faymoreau), enfin l'axe Les Essarts-Mervent. Il est par conséquent délicat de savoir à quelle marge appartenait ce secteur lors de l'ouverture océanique de l'Ordovicien moyen - Océan médio-européen au sens de Matte (2001) et Cartier et Faure (2004). Sa position dans l'édifice structural issu de la collision continentale au Dévonien supérieur est également discutée (Ballèvre *et al.*, 2009). L'idée dominante est de considérer que ce complexe intermédiaire serait allochtone au droit de la suture, dont les jalons métamorphiques de haut grade affleurent dans la région nantaise (série de Champtoceaux) et le long de l'axe Les Essarts-Mervent (Fig. 2A).

2) Éléments de datation

Les calcaires de la Villedé-d'Arدين sont attribués au Givétien depuis Mathieu (1936 ; 1937a) qui a identifié le brachiopode *Stringocephalus burtini* parmi la faune de la Marbrière et de Fontbriand (localité dénommée également le Cimetière-aux-Chiens) (Fig. 3). Auparavant, ils étaient placés selon les auteurs dans le Dévonien ou le Carbonifère. Mathieu avait également récolté - dans les déblais - des coraux dont il

confia l'étude à D. Le Maître. Cette dernière a déterminé 10 espèces de polypiers et 12 espèces de stromatopores qui ont confirmé l'attribution au Dévonien moyen (Le Maître, 1937). Cinq spécimens de *Stringocephalus burtini*, parmi les sept figurés par Mathieu (1937a), provenaient du musée de Poitiers (coll. Sauvaget) ; les deux autres appartenaient à la faculté des sciences de Poitiers (coll. Sauvaget et coll. Welsch). Mathieu décrit en outre un échantillon conservé au musée de la ville de Niort (coll. Ducrocq). Une recherche menée en 2011 avec Denise Brice dans les collections de géologie de l'Université de Poitiers n'a pas permis de retrouver les échantillons du musée de Poitiers, soit qu'ils aient disparu, soit qu'ils n'y aient pas été versés lors de sa fermeture. En revanche, des échantillons et sections polies appartenant au matériel figuré par D. Le Maître ont été découverts dans les collections de l'Université. De nouvelles collectes menées à partir des années 1960 ont montré la richesse du contenu fossilifère (tentaculites, crinoïdes, débris végétaux...). L'âge givétien a été confirmé par la découverte des trilobites *Dechenella rittbergensis* et *D. cf. setosa* (Camuzard *et al.*, 1968, 1969 ; Bouton, 1983).

Si l'âge des calcaires est bien établi, il n'en était pas de même des grès et conglomérats qui leur sont associés cartographiquement (Fig. 3). Mathieu (1937b) les attribuait au Houiller car il considérait qu'ils reposaient en discordance sur le Givétien, notamment dans la carrière de Fontbriand (Fig. 3). L'étude cartographique et structurale détaillée du secteur a montré que cette assise détritique se situe en fait à la base de la série fossilifère de la Marbrière (Bouton, 1983, 1990), ce que proposait déjà Fournier (1888). La succession stratigraphique du Givétien de la Villedé-d'Arدين est donc plus développée que ce qu'envisageait Mathieu (Fig. 4A).

3) Relation avec les formations métasédimentaires contiguës et la question de la phase éodévonnienne

Le Givétien non métamorphique est environné par des unités épimétamorphiques qui sont attribuées au Cambrien supérieur (Unité de Puyhardy) et au Cambrien-Dévonien

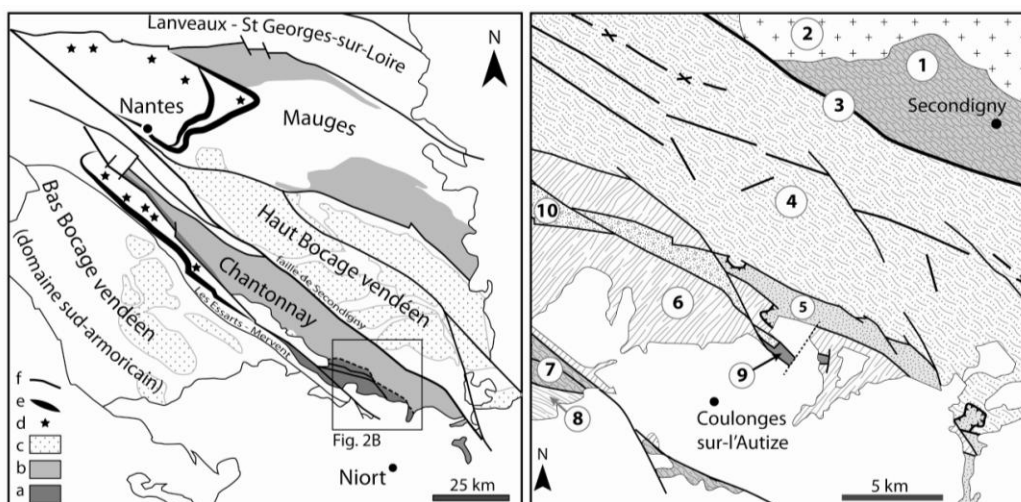


Figure 2A

Figure 2B

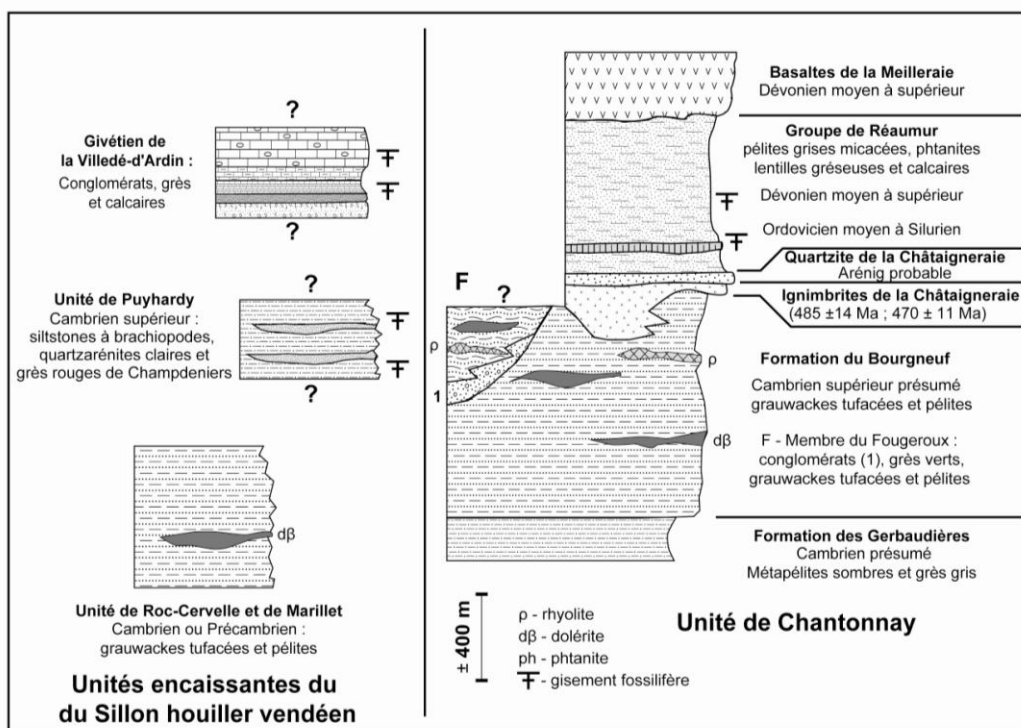


Figure 2C

Fig. 2. — A. - Schéma structural du Massif vendéen. a. Sillon houiller vendéen et unités adjacentes (Roc-Cervelle, Marillet, Puyhardy et Villedé-d'Ardin). b. Dépôts paléozoïques de Chantonnay et des Mauges ; c. Granitoïdes paléozoïques ; d. Ecoligites ; e. Ophiolites ; f. Zone de cisaillement carbonifère ; 2B. - Contexte structural. 1. Série métasédimentaire du Haut-Bocage vendéen (protolite Paléozoïque inférieur possible) ; 2. Granitoïdes carbonifères du Haut-Bocage ; 3. Accident d'importance crustale de Secondigny ; 4. Unité épizonale de Chantonnay (protolite Paléozoïque moyen à supérieur) ; 5. Unité très faiblement métamorphique de Puyhardy, à faune du Cambrien supérieur ; 6. Unité épizonale de Roc-Cervelle et Marillet (protolite Précambrien ou Cambrien) ; 7. Complexe gneissique Les Essarts-Mervent à reliques écoligites ; 8. Unité épizonale du Bas-Bocage vendéen (protolite Paléozoïque inférieur) ; 9. Givétien de la Villedé-d'Ardin ; 10. Bassin houiller namuro-stéphanien de Faymoreau. La couverture jurassique est laissée en blanc ; 2C. - Stratigraphie des unités sédimentaires anté-carbonifères. À l'exception du Givétien de la Villedé-d'Ardin, toutes les formations présentent une schistosité développée en contexte métamorphique épizonal.

Fig. 2. — A. - Structural map of the Massif vendéen. a. Sillon houiller vendéen and neighboring units (Roc-Cervelle, Marillet, Puyhardy and Villedé-d'Ardin). b. Paleozoic deposits of Chantonnay and les Mauges ; c. Paleozoic granitoids ; d. Ecoligites ; e. Ophiolites ; f. Carboniferous shear zones ; 2B. - Structural context. 1. Metasedimentary series of the Haut-Bocage vendéen (possible Lower Paleozoic protolite) ; 2. Carboniferous granitoids of the Haut-Bocage vendéen ; 3. Crustal scale fault of Secondigny ; 4. Epizonal unit of Chantonnay (Cambrian to Middle or Upper Devonian protolite) ; 5. Very low grade unit of Puyhardy, with Upper Cambrian fauna ; 6. Epizonal unit of Roc-Cervelle and Marillet (Precambrian or Cambrian protolite) ; 7. Ecoligite-bearing Les Essarts-Mervent Complex ; 8. Epizonal unit of the Bas-Bocage vendéen (Lower Paleozoic protolite) ; 9. Givetian of la Villedé-d'Ardin ; 10. Namuro-Stephanian coal basin of Faymoreau. The Jurassic cover is left blank ; 2C. - Stratigraphy of the ante-carboniferous sedimentary units. Except the Givetian of la Villedé-d'Ardin, all the formations show a schistosité developed in low grade condition.

moyen à supérieur (Unité de Chantonay) sur des arguments paléontologiques et géochronologiques (Fig. 2C). L'enceinte cartographique du Givétien et du Houiller est l'Unité de Roc-Cervelle-Marillet, qui a été rapportée au Cambrien par corrélation lithostratigraphique avec la formation de Bourgneuf, située à base de la série de Chantonay (Bouton, 1990). Le contraste métamorphique et structural entre le Givétien non métamorphique et ces terrains épimétamorphiques intensément déformés a conduit Ters (1976) à considérer que le Givétien scellait un épisode tectono-métamorphique « éohercynien » dans le sud du Massif armoricain. Cependant des faits nouveaux ont rendu cette interprétation discutable et suscité des interrogations quant à la signification géodynamique du Givétien. En effet, la phase de structuration synschisteuse de l'Unité de Chantonay, située à quelques kilomètres d'Ardin, affecte une série contenant une faune du Dévonien moyen à supérieur (Wyns *et al.*, 1989). Cette déformation intervient dans l'intervalle Dévonien moyen-supérieur – Carbonifère inférieur (Godard *et al.*, 2010) et elle est scellée par la sédimentation namuro-stéphanienne du Sillon houiller vendéen. De fait, il n'a pas été possible jusqu'à présent d'apporter de réponse formelle quant aux relations initiales entre le Givétien et les formations déformées qui l'encadrent. L'allochtonie du Givétien sur son substratum métamorphique a même été envisagée (Bouton, 1990).

4) Objectif de l'article

Le présent article a pour premier objectif de présenter une synthèse des travaux en grande partie inédits réalisés par les auteurs sur la Villedé-d'Ardin (Camuzard, 1972 ; Bouton, 1983, 1990 ; Bouton et Branger, 2007). Il fournit également l'occasion de rediscuter des relations entre le Givétien et les terrains adjacents, ainsi que de sa situation paléogéographique dans la géodynamique varisque.

II. — CONTEXTE CARTOGRAPHIQUE ET STRUCTURAL

Le Givétien affleure selon une lanière NW-SE d'un peu plus de 4 km de longueur pour une largeur maximale d'environ 0,45 km (Fig. 3). Il est recoupé par des failles transverses, dont la plus importante, masquée par le plateau jurassique de la Villedé, décale le Givétien en décrochement apparent senestre. Cet accident conduit à distinguer le compartiment de la Marbrière au nord-ouest et le compartiment de Fontbriand (ou du Cimetière aux Chiens) au sud-est. Le Dévonien disparaît au nord-ouest, à Saint-Laurs, en se biseautant contre la faille sud du bassin namuro-stéphanien de Faymoreau. Le compartiment de Fontbriand est moins étendu puisque le Givétien y est rapidement interrompu par une faille NNE-SSW, accident au-delà duquel aucune occurrence dévonienne n'est connue. Dans les deux compartiments, le contact entre le Givétien et l'enceinte épimétamorphique s'effectue par des failles subverticales, souvent repérées à quelques mètres près, qui n'engendrent pas de déformation notable des couches dévoniennes. Quelques sondages destructifs réalisés à Fontbriand n'ont pas recoupé le contact entre ce dernier et son substratum (Ters, 1980).

Dans le compartiment de la Marbrière, les couches sont subverticales ou fortement inclinées vers le NNE, ce qui permet d'estimer l'épaisseur du Givétien à environ 400 m

(sauf accident tectonique longitudinal non identifié). Les couches dévoniennes s'accordent ainsi avec les assises carbonifères très redressées par les failles bordières du graben houiller. A Fontbriand, l'agencement structural est plus compliqué, avec plusieurs blocs rigides séparés par des failles NW-SE. Un nouveau panneau givétien, pincé entre les grès et conglomérats du Cimetière aux Chiens et les schistes de Roc-Cervelle, a été découvert en 1992 (Fig. 3). Il s'agit d'un calcaire beige bioclastique riche en entroques, avec intercalations de faciès construits à stromatopores. Les compartiments rigides du Givétien sont basculés en zone autour d'un axe N115°E-30NW, axe identique à celui du plissement souple qui affecte les terrains houillers (Fig. 4B). Ceci amène à considérer que le Givétien et le Namuro-Stéphanien ont été déformés conjointement lors de la structuration majeure du bassin houiller, c'est-à-dire après le dépôt du Stéphanien. Le Givétien, exempt de tout métamorphisme, ne possède donc pas de déformation souple ou fragile qui lui soit spécifique (Bouton, 1990). L'Unité de Roc-Cervelle qui constitue l'enceinte cartographique du Dévonien, présente en revanche une schistosité de flux très marquée, globalement subhorizontale, associée à une linéation d'étirement N30°E et à des plis couchés d'axe de même orientation. Cette déformation est acquise dans les conditions du faciès métamorphique des schistes verts.

III. — STRATIGRAPHIE, BIOSTRATIGRAPHIE

1) Succession stratigraphique

La stratigraphie du Givétien de la Villedé-d'Ardin, établie progressivement par Mathieu (1937b), Camuzard *et al.* (1968, 1969), Camuzard (1972), puis Bouton (1983, 1990), comprend cinq formations (Fig. 4A).

a) U1 - conglomérats quartzeux silicifiés

Ce premier terme est un conglomérat contenant des galets quartzeux hétérométriques et une matrice quartzarénitique. Le contenu paléontologique se réduit à quelques débris végétaux mal conservés (oxydés) récoltés dans des grès fins laminés intercalés dans les conglomérats du Cimetière aux Chiens. L'attribution de cette formation au Givétien n'est pas formellement démontrée. Cependant, dans le compartiment de la Marbrière, sa position au mur des Grès jaunes à entroques, à faune du Givétien, indique qu'elle constitue le terme le plus ancien de la série (Fig. 3). Ce n'était pourtant pas l'avis de Mathieu (1937b) qui la rapportait au Carbonifère en se basant sur une supposée similitude de faciès avec le poudingue supérieur de la Verrerie (Stéphanien du bassin houiller de Faymoreau). Un examen détaillé montre qu'il n'en est rien : les galets du Stéphanien, très arrondis, contiennent toujours une faible proportion d'ignimbrites, de phtanites et de gneiss alors que ceux de l'infra-Givétien sont assez peu usés et exclusivement quartzeux. Les mauvaises conditions d'affleurement ne permettent pas de déterminer clairement le milieu de dépôt. Les quelques figures sédimentaires observées évoquent toutefois un contexte fluviatile de haute énergie.

b) U2 - grès jaunes à entroques (environ 30 m)

Cette unité d'une trentaine de mètres d'épaisseur est constituée de quartzarénites décalcifiées jaunes, à empreintes

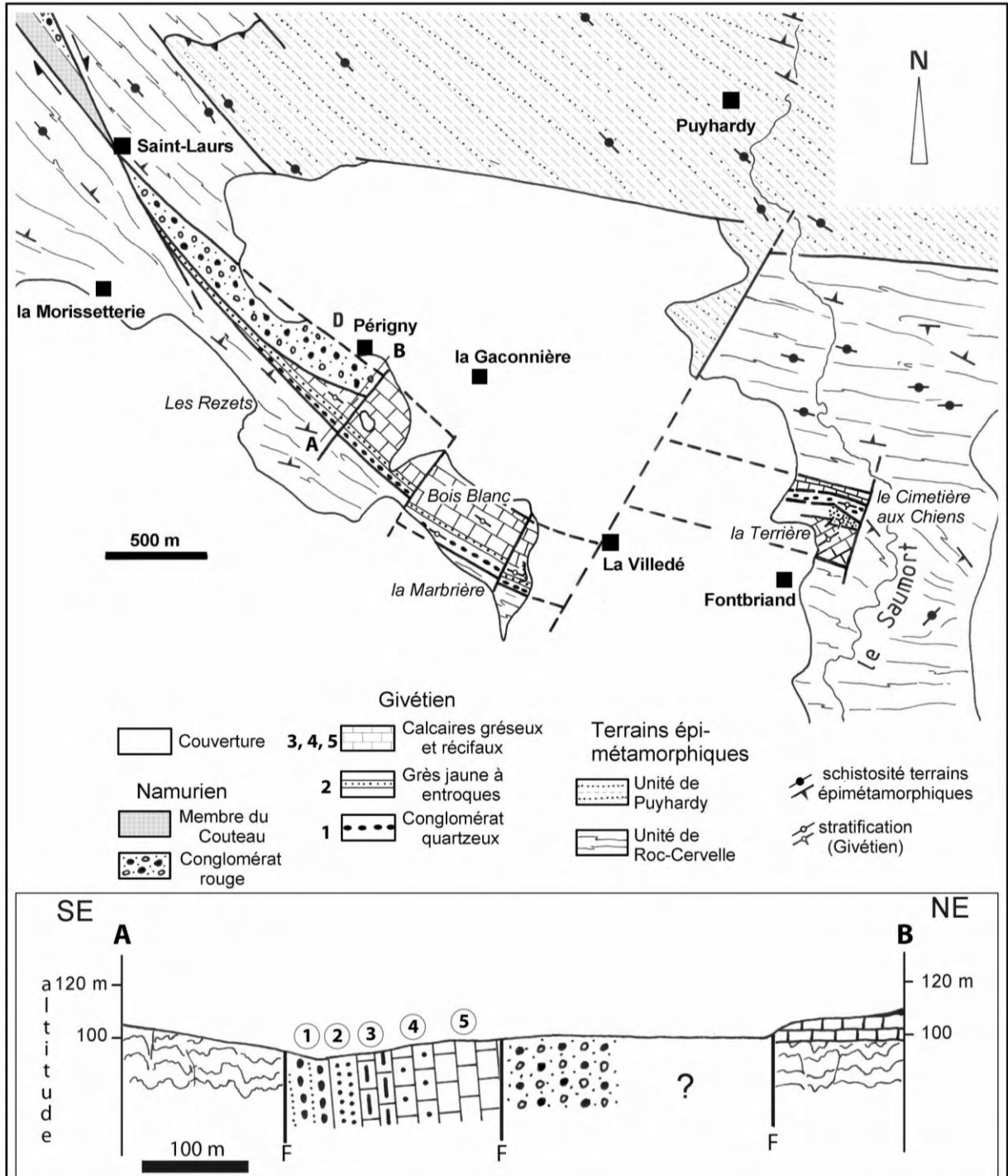


Fig. 3. — Carte détaillée du secteur de la Villedé-d'Ardin et coupe transversale près de Périgny (d'après Bouton, 1990, modifié).

Fig. 3. — Detailed map of the Villedé-d'Ardin area and transversal cross-section near Périgny.

d'entroques et parfois de brachiopodes. Au Cimetière aux Chiens, elle contient des intercalations de conglomérats à graviers quartzeux et de grès fins micacés à trilobites, brachiopodes à valves plates, entroques, tétracoralliaires isolés ou en petites colonies. Son âge est établi par le trilobite *Dechenella* sp. cf. *D. setosa*. Cette unité s'est déposée dans un milieu marin peu profond, de haute énergie, dominé par les apports siliciclastiques.

c) U3 - calcaires argilo-gréseux sombres en bancs décimétriques (environ 40 m)

Bien exposée dans la carrière de la Marbrière, l'unité débute par une vingtaine de mètres de calcaires marneux sombres, riches en matière organique (« calcschistes »), disposés en bancs pluridécimétriques. Des calcaires argileux noirs à miches leur succèdent. La faune est riche et

diversifiée : trilobites, brachiopodes, tétracoralliaires solitaires, tentaculites et pièces d'exosquelettes de poissons que l'on trouve en cortex des miches. L'origine de ces miches n'est pas bien établie (diagenèse ou remaniement). Les débris végétaux (*Protolpidodendron*) sont abondants dans les couches basales. Les calcaires micritiques sombres montrent des tétracoralliaires en position de vie, en individus isolés (dont *Calceola sandalina*) ou en formes branchues souvent encroûtées par des stromatopores. Les apports terrigènes restent importants (quartz, mica, argile). L'abondance des végétaux terrestres traduit un milieu confiné proche d'une zone émergée. Il évoque une lagune sapropélique d'arrière récif.

d) U4 - calcaires gréseux sombres massifs (50 m)

Dans la carrière de la Marbrière, ce niveau est très massif et diaclasé. Il est formé de calcaires gréseux généralement dolomités et de grès à ciment calcaire, avec des intercalations conglomératiques (*floatstone* laminé rouge à entroques et débris de calcaire bioclastique à grands stromatopores). Hormis les entroques, la macrofaune est peu abondante (brachiopodes, trilobites, parfois polypiers). La microfaune comprend des ostracodes, des algues et des foraminifères. Le milieu de dépôt est celui d'une plate-forme agitée peu profonde, dont le détritisme est en partie alimenté par la destruction d'édifices récifaux (environnement péri-récifal).

e) U5 - calcaire beige construit (200 m)

Ce faciès très massif correspond au fameux marbre de la Villedé-d'Ardin qui était bien exposé dans les anciennes carrières du Bois Blanc, de la Gaconnière et de Périgny avant que la végétation ne les envahisse. Sa teinte est variable, souvent noire à nuances rouges, parfois beige ou blanc. Les bancs épais et massifs sont riches en coraux rameux, grands brachiopodes (stringocéphales) et entroques. Les principaux organismes constructeurs sont des colonies de polypiers branchus, de stromatopores dendroïdes encroûtés principalement par des stromatopores lamellaires, globuleux et accessoirement des stromatolithes. Ces biostromes sont associés à des niveaux bioclastiques à entroques (Cimetière aux Chiens) et, dans la carrière de Fontbriand, avec des faciès micritiques blancs fenestrés à oncolites et petits gastéropodes qui révèlent des environnements restreints inter à supratidaux. Les conditions d'affleurement ne permettent pas de connaître l'organisation spatiale de ces différents faciès, donc de reconstituer la morphologie récifale.

2) Biostratigraphie

L'attribution au Givétien repose sur la présence de *Stringocephalus burtini* dans les calcaires de la Marbrière et du Cimetière aux Chiens (Mathieu, 1937a). Cet âge a été confirmé par les trilobites qui furent découverts d'abord à la Marbrière dans l'unité U3 (Camuzard *et al.*, 1968), puis dans les grès jaunes U2 du Cimetière aux Chiens (Bouton, 1983). Les spécimens de la Marbrière furent étudiés par J. Pillet qui identifia les pygidiums de *Dechenella rittbergensis* Zimmerman, 1892, *Dechenella* sp., *Schizoproteus* ? sp. L'empreinte de pygidium de l'unité U2 a été déterminée par P. Morzadec comme *Dechenella* sp. cf. *D. setosa*, qui note qu'elle est très proche des formes figurées par J. Pillet dans Camuzard *et al.* (1968). Cet avis semble rejoindre celui de

Chlupáč (1992) qui, après examen des formes étudiées par J. Pillet, émet des doutes quant à la diagnose de J. Pillet concernant l'espèce *D. rittbergensis*.

L'association de *Stringocephalus burtini* et de *Dechenella* sp. caractérise un Givétien plutôt basal, ce qui est confirmé par la présence de *Calceola sandalina* déjà signalée par Camuzard *et al.* (1968).

La faune de la Villedé-d'Ardin contient également selon Le Maître (1937) dix espèces de coraux appartenant aux genres *Cyathophyllum*, *Grypophyllum*, *Thamnophyllum*, *Favosites* et *Pachypora*, ainsi que 12 espèces de stromatopores. Camuzard *et al.* (1969) citent en outre les brachiopodes *Schizophoria striatula* (SCHLOTH), « *Atrypa* » sp., *Stringocephalus* ? sp., *Spinatrypa* ? sp., le tentaculite *Dicriococonus* sp. cf. *D. orientalis* (Karpinski), des débris végétaux qui pourraient appartenir soit à *Protolpidodendron scharianum* Potonié & Bernard, soit à *Protolpidodendronopsis pulchra* Hoeg. Les recherches palynologiques menées sur les marnes noires se sont avérées jusqu'à présent infructueuses.

IV. — PROBLEMES POSES PAR LE GIVETIEN DE LA VILLEDE-D'ARDIN

1) La question du substratum initial

Si la formation givétienne se présente comme une série transgressive, rien ne prouve que l'Unité de Roc-Cervelle sur laquelle elle repose vraisemblablement, constitue son substratum initial : les relations actuelles entre les deux unités sont tectoniques et aucun indice de remaniement des schistes de Roc-Cervelle - ni de quelque autre formation identifiable - n'a été décelé dans le Givétien. Le cortège de minéraux lourds est dominé par des espèces ubiquistes (hormis quelques grains de staurotide) qui ne renseignent pas non plus sur l'origine du matériel détritique. La relation entre le Givétien et l'Unité de Roc-Cervelle a suscité trois interprétations :

a) le Givétien repose en discordance stratigraphique sur un substratum structuré lors d'une phase varisque précoce. Cette hypothèse, avancée par Ters (1976), a été largement reprise par la suite comme un des arguments de datation de l'événement tectono-métamorphique D1 identifié de la fin du Silurien au Dévonien moyen dans le Massif armoricain et le Massif central. Elle suppose que l'Unité de Roc-Cervelle soit d'âge Paléozoïque et que sa déformation soit varisque. Bouton (1990) considère ainsi que l'Unité de Roc-Cervelle appartient au Paléozoïque inférieur du fait de sa similitude de faciès avec le Cambrien de l'Unité de Chantonnay. Quant à sa déformation synmétamorphe - linéation d'étirement N30°E portée par une schistosité horizontale -, son orientation est compatible avec celle des structures éovarisques, même si ici le sens de chevauchement n'est pas établi ;

b) le Givétien est allochtone et se serait déposé sur un domaine actuellement inconnu à l'affleurement. Cette proposition a également été avancée par Bouton (1990) pour expliquer que le Givétien soit épargné par la déformation plicative NW-SE qui affecte les unités de Roc-Cervelle, Puyhardy et Chantonnay (dans l'Unité de Chantonnay, une linéation d'étirement N100°E est associée à cet épisode).

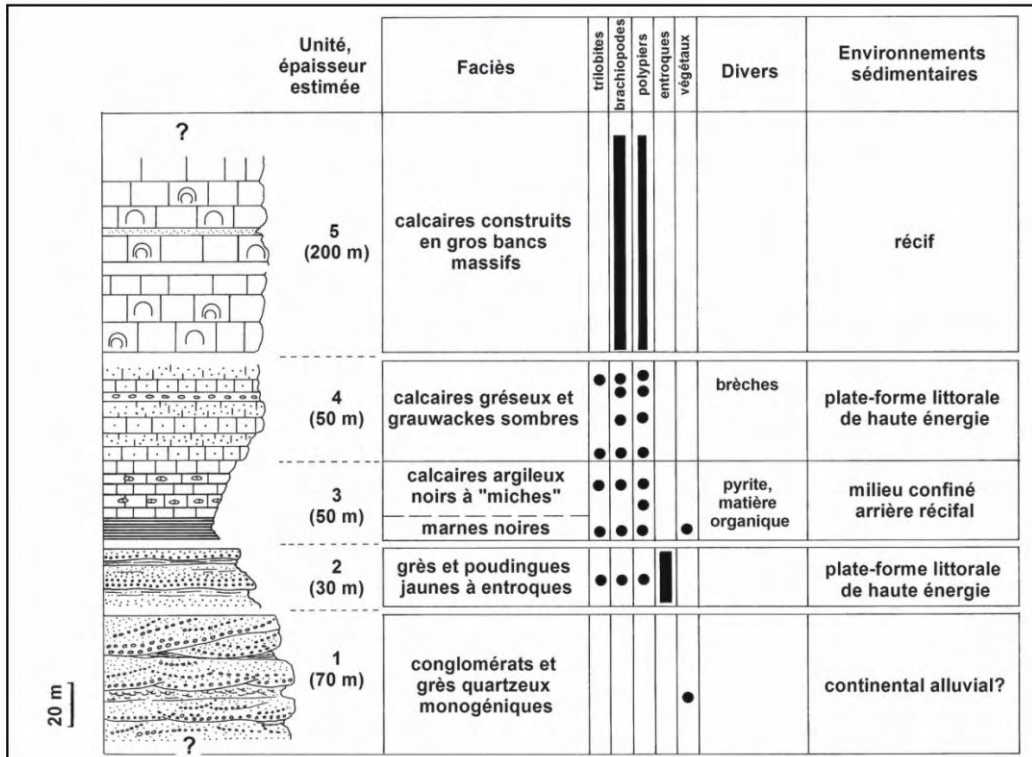


Figure 4A

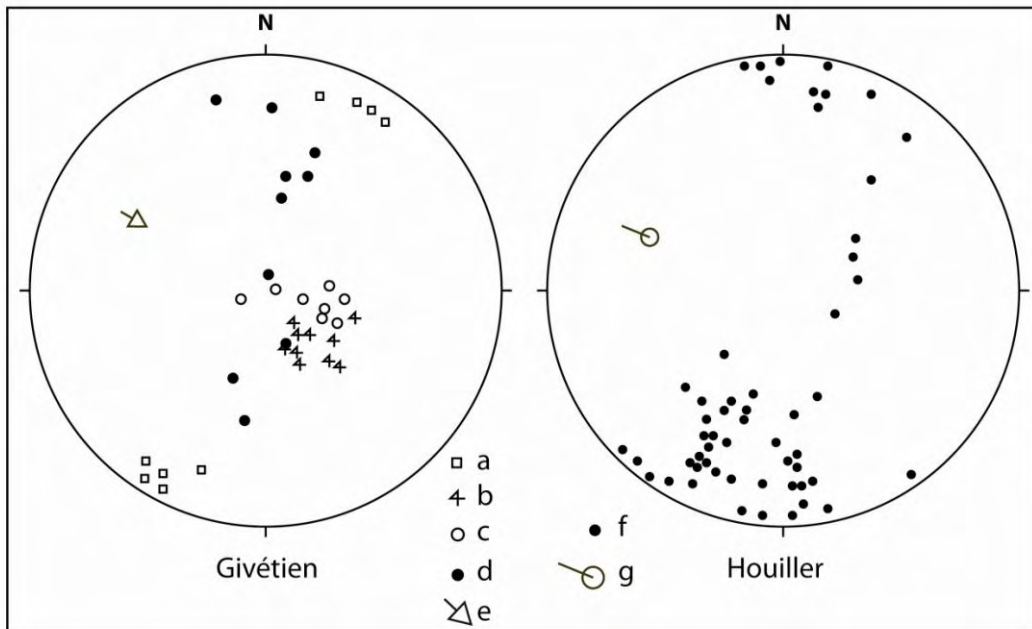


Figure 4B

Fig. 4. — A. - Stratigraphie et paléo-environnements du Givétien de la Villedé-d'Ardin (Bouton, 1990) ; 4B. - Comparaison structurale du Givétien de la Villedé-d'Ardin et du Houiller du bassin de Faymoreau (Bouton, 1990). Pôles de stratification, diagramme de Wulff, hémisphère inférieur. Givétien : compartiments de la Marbrière (a), la Terrière (b), le Cimetière aux Chiens (c, d) et axe de basculement construit (e) ; Houiller : ensemble des affleurements (f) et axe de plissement construit (g).

Fig. 4. — A. - Stratigraphy and palaeo-environnements of the Givetian of la Villedé-d'Ardin (Bouton, 1990); 4B. - Structural comparison between the Givetian of la Villedé-d'Ardin and the coal basin of Faymoreau (Bouton, 1990). Bedding planes, Wulff net, lower hemisphere. Givetian: blocks of la Marbrière (a), la Terrière (b), le Cimetière aux Chiens (c, d) and tilting axis (e); Coal basin : all the outcrops (f) and folding axis (g).

Selon cette hypothèse, la tectonique à l'origine du graben houiller aurait créé des instabilités gravitaires qui auraient induit le glissement rigide, en bloc, du Givétien depuis un domaine disparu, puis son piégeage dans la dépression qui accueillera la sédimentation houillère. Cette proposition est difficile à étayer car on ne connaît pas d'indice de glissement dans le Givétien, ni aucune formation géologique ayant pu servir de couche-savon ou de matrice à ce supposé olistolithe ;

c) le Givétien repose en discordance sur un substratum à déformation anté-varisque. Dans les Mauges, le Cambrien à *Paradoxydes* de Cléré-sur-Layon scelle ainsi la déformation cadomienne qui affecte le Protérozoïque (Cavet *et al.*, 1966). Cette hypothèse n'a jamais été vraiment considérée, car il était difficile d'expliquer la présence d'une relique cadomienne exempte de métamorphisme hercynien en plein cœur de l'orogène varisque. Cependant, elle mérite d'être mieux examinée. D'un point de vue lithostratigraphique, les sédiments de l'Unité de Roc-Cervelle peuvent être corrélés aussi bien avec le Cambrien de l'Unité de Chantonay qu'avec le Précambrien des Mauges. Wyns (1980) en plaçait d'ailleurs une partie dans le Briovérien, tandis que la sixième édition de la carte géologique de la France au million note cet ensemble en bk, en lui attribuant une teinte voisine du Briovérien des Mauges (noté b). Seule une datation radiochronologique du protolite ou du métamorphisme pourrait trancher entre ces deux possibilités. D'un point de vue structural, la direction d'étirement N30°E de l'Unité de Roc-Cervelle n'a pas d'équivalent dans le Paléozoïque fossilifère de l'Unité de Chantonay dont la déformation est caractérisée par un étirement N100°E. On ne peut donc exclure qu'elle soit cadomienne. Il faut cependant préciser que cette linéation, bien exprimée dans la région de la Villedé, n'est pas ubiquiste puisqu'on ne la connaît pas dans les témoins de type Roc-Cervelle situés au nord du bassin houiller : unité de Marillet (Bouton, 1990) et schistes du Pin dans la région de Montaigu (Godard *et al.*, 2010). L'attribution du bloc de Roc-Cervelle au Cadomien pose également le problème de ses relations avec l'Unité de Chantonay. Les contacts entre les deux unités sont tectoniques et il n'est pas possible de savoir si l'Unité de Chantonay est discordante sur celle de Roc-Cervelle. De plus, les conglomérats de l'Unité de Chantonay ne remanient que très exceptionnellement des galets déjà déformés (Godard *et al.*, 2010).

2) Un environnement de dépôt particulier

A quelques dizaines de kilomètres de la Villedé-d'Ardin, l'Unité de Chantonay présente une série sédimentaire qui va du Cambrien probable au Dévonien moyen à supérieur (Fig. 2C). Sa partie sommitale, le Groupe de Réaumur, correspond à une épaisse série de pélites sombres couronnée par un puissant ensemble basaltique sous-aquatique. Elle contient des lentilles de calcaires à entroques renfermant des conodontes dévoniens (*Icriodus* sp.) et des tentaculites appartenant au genre *Striatostyliolina* (Wyns *et al.*, 1989). Le genre *Striatostyliolina*, connu du Praguien au Frasnien, est surtout répandu au Givétien. Ceci conduit à dater du Dévonien moyen à supérieur le début de volcanisme sous-marin qui coiffe le Groupe de Réaumur. Rapporté à un magmatisme d'arrière-arc (Thiéblemont & Cabanis, 1986), il suppose le fonctionnement d'une zone de subduction dès le Dévonien moyen à supérieur. La sédimentation terrigène

subsidente du Groupe de Réaumur contraste fortement avec les environnements peu profonds à constructions récifales de la Villedé-d'Ardin.

3) Une faune spécifique

Le Dévonien de la Villedé-d'Ardin est le seul gisement armoricain du trilobite *Dechenella* et du brachiopode *Stringocephalus*. Le genre *Dechenella* caractérise la marge récifale qui longe le continent des Vieux Grès Rouges où il est souvent associé, comme à la Villedé-d'Ardin, aux stringocéphales. On le connaît également en Moravie et plus rarement sur la marge nord-gondwanienne (Maroc). Les espèces *D. rittbergensis* Zimmermann et *D. setosa* Whidborne, qui sont morphologiquement assez proches, sont connues en Moravie (calcaire de Čelechovice) et en Angleterre dans le Devon (Chlupáč, 1992). Un rapprochement des trilobites de la Villedé-d'Ardin avec les faunes moraves est compatible avec les reconstitutions de la Chaîne varisque médio-européenne proposées par Matte (2001) et Ballèvre *et al.* (2009). Dans cette hypothèse, le témoin de la Villedé-d'Ardin occuperait, au nord du Gondwana, une position équivalente à celle des domaines moldanubien ou moravo-silézien (Fig. 1).

4) Une autre formation particulière, l'Unité de Puyhardy (Cambrien supérieur)

Dans l'environnement immédiat de la Villedé-d'Ardin, l'Unité de Puyhardy, ensemble très faiblement métamorphique de siltstones et grès rouges, repose en discordance aussi bien sur l'Unité de Roc-Cervelle que sur celle de Chantonay. Ce contact subhorizontal est considéré comme tectonique (Bouton, 1990). L'Unité de Puyhardy a livré plusieurs gisements de brachiopodes (Ters & Pillet, 1987 ; Bouton, 1990). Ceux-ci appartiennent au genre *Billingsella*, genre index du Cambrien supérieur, dont ils sont le seul gisement en France. Connu en Espagne (Demanda), au Maroc (Anti-Atlas) et au Kazakhstan, ce brachiopode est caractéristique de la marge nord-gondwanienne (R. Feist, communication orale). Comme le Givétien, la formation de Puyhardy est dépourvue des manifestations volcaniques omniprésentes dans les terrains contemporains de l'Unité de Chantonay (Formation du Bourgneuf).

V. — CONCLUSIONS

Les études stratigraphiques et la cartographie méticuleuse menées sur la région d'Ardin ont permis de reconstituer assez précisément la succession stratigraphique du Givétien de la Villedé-d'Ardin. Celui-ci représente une séquence transgressive qui aboutit à la mise en place d'un édifice récifal en milieu marin peu profond. À quoi correspond ce petit lambeau sédimentaire non métamorphique préservé au cœur de l'orogène varisque ? Si l'on ne peut retenir l'idée de Mathieu (1937b) d'une série continue du Cambrien au Givétien, celle de Ters (1976) d'une discordance stratigraphique du Givétien sur un Paléozoïque inférieur métamorphisé va à l'encontre de nombreuses données régionales (Bouton, 1990 ; Poncet, 1993 ; Colchen & Rolin, 2001) qui placent les épisodes de structuration majeure depuis la fin du Dévonien (phase tangentielle) jusqu'au Carbonifère (phase décrochante avec plutonisme dans le Haut-Bocage

vendéen, suivie d'une phase extensive en Vendée littorale). Pour concilier ces données contradictoires, Bouton (1990) a proposé une mise en place tectonique du Givétien non métamorphique entre une structuration tangentielle éovarisque de son substratum actuel, l'Unité de Roc-Cervelle, et la sédimentation houillère namurienne. Cette hypothèse ne résout pas le problème de l'origine paléogéographique de la série déplacée ; de plus il est difficile d'admettre qu'un tel déplacement se soit fait sur une grande distance sans déformation (la succession stratigraphique actuelle semble être celle d'origine). En fait, la solution la plus simple consiste à faire de l'ensemble constitué par les unités de Roc-Cervelle, Puyhardy et la Villedé-d'Ardin, un domaine relique peu ou pas affecté par la tectonique varisque, ce qui implique que la structuration de l'Unité de Roc-Cervelle soit cadomienne et que les formations de Puyhardy (Cambrien supérieur) et la Villedé d'Ardin (Givétien) soient discordantes sur ce socle. Les relations entre l'Unité de Roc-Cervelle et le Givétien seraient alors comparables à ce que l'on observe dans les Mauges entre le socle cadomien et sa couverture sédimentaire paléozoïque. Ceci signifie-t-il que les Mauges et l'Unité de Roc-Cervelle appartenaient au même bloc continental jusqu'au Dévonien moyen ? Il est difficile de l'affirmer car les témoins de la couverture sédimentaire du bloc de Roc-Cervelle n'ont pas d'équivalent stratigraphique

dans les Mauges où l'on ne connaît ni le Cambrien supérieur, ni le Givétien. De plus, la couverture sédimentaire des Mauges présente une affinité faunistique plutôt saxothuringienne et/ou moldanubienne (Ducassou *et al.*, 2011), tandis que les faunes de Puyhardy et de la Villedé-d'Ardin sont plutôt de caractère nord-gondwanien. Enfin les domaines des Mauges et de Roc-Cervelle sont séparées par le bassin de Chantonay, dont la série sédimentaire cambro-dévonienne se distingue nettement des précédentes par son caractère subsident et l'importance du volcanisme au Cambrien supérieur-Ordovicien inférieur, puis au Silurien-Dévonien moyen à supérieur. Il n'est donc pas exclu que le témoin de Roc-Cervelle – la Villedé-d'Ardin appartienne plutôt au Domaine sud-armoricain, c'est-à-dire nord-gondwanien, plutôt qu'au bloc des Mauges dont la position dans la Chaîne varisque serait plus septentrionale (Cartier & Faure, 2004 ; Ducassou *et al.*, 2011). Ces conjectures montrent à quel point il reste difficile de situer ce segment vendéen de la Chaîne varisque dans les reconstitutions géodynamiques (par exemple fig. 9 de Ballèvre *et al.*, 2009).

Remerciements. — Les auteurs remercient vivement les deux rapporteurs, Denise Brice et Michel Ballèvre, pour leur lecture attentive et constructive. Les conseils de Michel Ballèvre ont été particulièrement utiles pour replacer l'objet de l'étude dans le contexte paléogéographique varisque.

BIBLIOGRAPHIE

- BALLEVRE M., BOSSE V., DUCASSOU C., PITRA P. (2009). — Palaeozoic history of the Armorican Massif: models for the tectonic evolution of the suture zones. *C. R. Geosci.* 341: 174–201
- BOUTON P. (1983). — *Le Givétien de la Villedé-d'Ardin. Cadre géologique, étude stratigraphique et sédimentologique, étude structurale. Contribution à la connaissance de la Chaîne ligérienne.* Univ. Poitiers, mém. D.E.A.: 55 p. [inédit]
- BOUTON P. (1990). — *Analyse stratigraphique, pétrographique et structurale du segment vendéen de la Chaîne hercynienne. Partie orientale du synclinorium de Chantonay. Massif armoricain.* Univ. Poitiers, Thèse doct. : 378 p., 1 carte hors texte. [inédit]
- BOUTON P. & BRANGER P. (2007). — Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Coulonges-sur-l'Autize (587). Orléans : BRGM. Notice explicative : 132 p.
- CAMUZARD J.P. (1972). — *Le Dévonien de la Villedé-d'Ardin.* Univ. Poitiers, Mém. D.E.A.: 22 p. [inédit]
- CAMUZARD J.P., LARDEUX H., PILLET J. & RIVIERE L.M. (1969). — Données nouvelles sur les calcaires givétiens de la Villedé-d'Ardin au gisement de la fontaine de la Marbrière. *Bull. Soc. Et. Sc. Anjou*, VII : 41-52.
- CAMUZARD J.P., MATHIEU G., PILLET J. & RIVIERE L.M. (1968). — Nouvelles découvertes fossilifères dans le Givétien de la Marbrière de la Villedé-d'Ardin. *C. R. Acad. Sci. Paris*, (D), 267 : 471-472.
- CARTIER C. & FAURE M. (2004). — The Saint-Georges-sur-Loire olistostrome, a key zone to understand the Gondwana-Armorica boundary in the Variscan belt (Southern Brittany, France). *Int. J. Earth Sci.*, 93 : 945-958.
- CAVET R., GRUET M. & PILLET J. (1966). — Sur la présence de Cambrien à *Paradoxides* à Cléré-sur-Layon (Maine-et-Loire), dans le Nord-Est du Bocage vendéen (Massif armoricain). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, (D), 263 : 1685-1688.
- CHLUPAC I. (1992). — Middle Devonian trilobites from Celechovice in Moravia (Czechoslovakia). *Sbor. geol. Ved, Paleont.*, Praha, 32 : 123-161.
- COLCHEN M. & ROLIN P. (2001). — La chaîne hercynienne en Vendée. *Géologie de la France*, 1-2 : 53-85.
- DUCASSOU C., BALLEVRE M., LARDEUX H. & ROBIN C. (2011). — Evidence for pre-orogenic, Lower Devonian rifting in the Variscan belt: stratigraphy and structure of the Palaeozoic cover of the Upper Allochthon (Mauges Unit, Armorican massif, France). *Int. J. Earth Sci.*, 100 : 1451-1475.
- FOURNIER A. (1888). — Document pour servir à l'étude géologique du détroit poitevin. *Bull. Soc. géol. France*, 3^e sér., 16 : 113-181.
- GODARD G., BOUTON P., PONCET D., avec la collaboration de GUERROT C., ROY C., THIEBLEMONT D., CHEVREMONT P. (2010). — Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Montaigu (536). Orléans : BRGM : 171 p.
- LE MAITRE D. (1937). — Étude de la faune corallienne des calcaires givétiens de la Ville-Dé d'Ardin (Deux-Sèvres). *Bull. Soc. géol. France* (5), VII : 105-128.
- MATHIEU G. (1936). — Sur l'âge givétien des marbres de la Ville-Dé-d'Ardin. *C. R. Acad. Sci.* [Paris], 202 : 1523-1525.
- MATHIEU G. (1937a). — Le gisement et la faune des marbres givétiens de la Ville-Dé-d'Ardin (Deux-Sèvres). *Bull. Soc. géol. France* (5), VII : 91-104.
- MATHIEU G. (1937b). — *Recherches géologiques sur les terrains paléozoïques de la région vendéenne.* Univ. Lille, Thèse doct. État, 2 vol. : 321 p & 92 p., 20 planches.
- MATTE P. (2001). — The Variscan collage and orogeny (480–290 Ma) and the tectonic definition of the Armorica microplate: a review. *Terra Nova*, 13 : 122–128.

- PONCET D. (1993). — *Le Cisaillement sud-armoricain dans le Haut-Bocage vendéen : analyse pétrostructurale et étude de la déformation dans les granitoïdes et leur encaissant métamorphique*. Univ. Poitiers, Thèse doct., 3 vol. : 399 p. [inédit]
- TERS M. (1976). — Métamorphisme et plissement dans le SE du Massif armoricain. Les phases éodévoniennes. In: 4ème R. A. S. T. (13-16 avril 1976, Paris). Résumé : 374.
- TERS M. (1980). — *Les gisements dévoniens de la Villedé-d'Ardin (Deux-Sèvres) et leurs relations avec les schistes paléozoïques encaissants*. Compte rendu des sondages effectués en 1980 à la Villedé-d'Ardin pour la préparation du 26ème Congrès Géologique International : 3 p. et carte. [inédit]
- TERS M. & PILLET J. (1987). — Le Cambrien supérieur de la vallée du Saumort et sa faune de Brachiopodes (synclinorium de Chantonay, Vendée, Massif armoricain). *Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest France*, IX (3) : 105-116.
- THIEBLEMONT D. & CABANIS B. (1986). — Découverte d'une association de volcanites d'arcs et de basaltes de type "MORB" dans la formation paléo-volcanique silurienne de la Meilleraie, Vendée, France. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 232 : 641-646.
- WYNS R. (1980). — *Contribution à l'étude géologique du Haut-Bocage vendéen : le Précambrien et le Paléozoïque dans la région de Chantonay*. Thèse doct. 3^{ème} cycle, Univ. Paris VI : 134 p. [inédit]
- WYNS R., LARDEUX H. & WEYANT M. (1989). — Présence de Dévonien dans le Groupe de Réaumur (synclinal de Chantonay, Vendée) : conséquences sur l'évolution géodynamique varisque de la Vendée. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 308 : 855-860.

APPORTS DE LA GEOARCHEOLOGIE A L'ETUDE DE LA BAIE DE WISSANT (PAS-DE-CALAIS, FRANCE)

Contributions of a geoarchaeological study of Wissant Bay (Pas-de-Calais, France)

par Rémi LEQUINT (*) & Eric FOUACHE (**)

Résumé. — La baie de Wissant possède une façade littorale composée d'une côte sableuse encadrée par des falaises rocheuses. Elle est affectée par une érosion importante à l'origine de l'effondrement de la digue de protection de la station balnéaire en 2000 et 2007. Le rythme du recul contemporain de la côte est un des plus importants en France. Depuis le milieu du XIX^e siècle, de nombreuses campagnes de fouilles archéologiques ont été conduites à Wissant. Elles ont notamment été menées avec l'objectif de retrouver les vestiges du port médiéval et du *Portus Itius* de César qui pourrait être situé à Wissant. Les données sur l'occupation humaine et l'évolution du bassin de Wissant montrent que les populations ont entretenu des relations avec la mer depuis le Néolithique. L'occupation a été tantôt favorisée tantôt rendue difficile par les dynamiques littorales. L'étude du site de Wissant s'inscrit donc dans l'appréhension de la relation entre les phénomènes naturels et les faits humains. Elle passe par la synthèse des données historiques, archéologiques et géomorphologiques mises en relation dans une étude géoarchéologique générale de la baie.

Abstract. — *The Wissant bay has a front shore composed of a sand coast in between cliff sections. It is affected by significant erosion that has caused the dyke that protects the seaside resort to collapse in 2000 and 2007. Such retreat of the coast is one of the most important to be observed in France. Numerous archaeological excavations have taken place in Wissant since the middle of the 19th century. Their purpose was to find the vestiges of the medieval harbour and of Caesar's Portus Itius which is believed to be located in Wissant but has not been found so far. Data about human occupation and the evolution of the basin of Wissant show us the link between populations and the sea since the Neolithic. Occupation was at times favoured, at other times hindered by coastal dynamics since the beginning of the Holocene. The study of the site of Wissant is thus focused on the relation between man's actions and natural phenomena. It includes combined study of the historical, archaeological, geomorphological data in relation with an overall geoarchaeological study of the bay.*

Mots clés : Géomorphologie, Holocène, Paléoenvironnement, Littoral, Manche-Mer du Nord.

Keywords : *Geomorphology, Holocene, Palaeoenvironment, Coastal zone, English Channel-North Sea.*

I. — LOCALISATION, CONTEXTE ET MÉTHODOLOGIE

La Manche et la Mer du Nord se rencontrent dans le Pas-de-Calais au contact de deux substrats du massif géologique du Weald-Boulonnais. Au nord-est se trouvent les terrains crétacés qui forment le Cap Blanc-Nez, alors qu'au sud-est s'étendent les formations jurassiques du Cap Gris-Nez. Au cœur du site des deux caps, Wissant est une commune située sur la partie la plus étroite du détroit du Pas-de-Calais. Le bassin de Wissant est constitué d'une plaine basse abritée derrière une côte sableuse et dunaire insérée entre les deux caps. À l'arrière des cordons littoraux, nous observons un marais continental. Le creusement pléistocène du bassin est démontré (Briquet, 1930 ; Sommé, 1975). Celui-ci a conduit à la formation de la falaise pléistocène dont le tracé se suit actuellement dans le paysage à une altitude moyenne de 10-15 m NGF (Fig. 1). Cette falaise morte délimite la plaine

maritime qui s'est comblée durant le Quaternaire par les atterrissements continentaux, alluviaux et marins. La baie est la proie de l'érosion côtière qui a conduit à la destruction de la digue en 2000 et 2007 (Lequint, 2007). Les rythmes d'érosion côtière montrent des vitesses parmi les plus importantes en France avec un rythme moyen de l'ordre de 5 m/an. L'objectif final de notre travail, dans le cadre d'une thèse, est de reconstituer l'évolution des dynamiques géomorphologiques de la baie de Wissant et son occupation humaine depuis l'Holocène. Elle a pour but de faire un état des lieux des données historiques, archéologiques et géomorphologiques. La synthèse préliminaire des données géomorphologiques, historiques et archéologiques existantes apporte une première vision de la connaissance de l'évolution morphologique et de l'occupation humaine du bassin de Wissant. L'objectif de notre recherche est de fournir de nouvelles données sur l'évolution de la baie sur les 10 000 dernières années et sur son potentiel archéologique.

(*) Université Paris Ouest Nanterre-La Défense, EA 375 GECKO, remi.lequint@gmail.com

(**) Université de Paris-Sorbonne, IUF, UMR 8185 ENeC, eric.g.fouache@wanadoo.fr

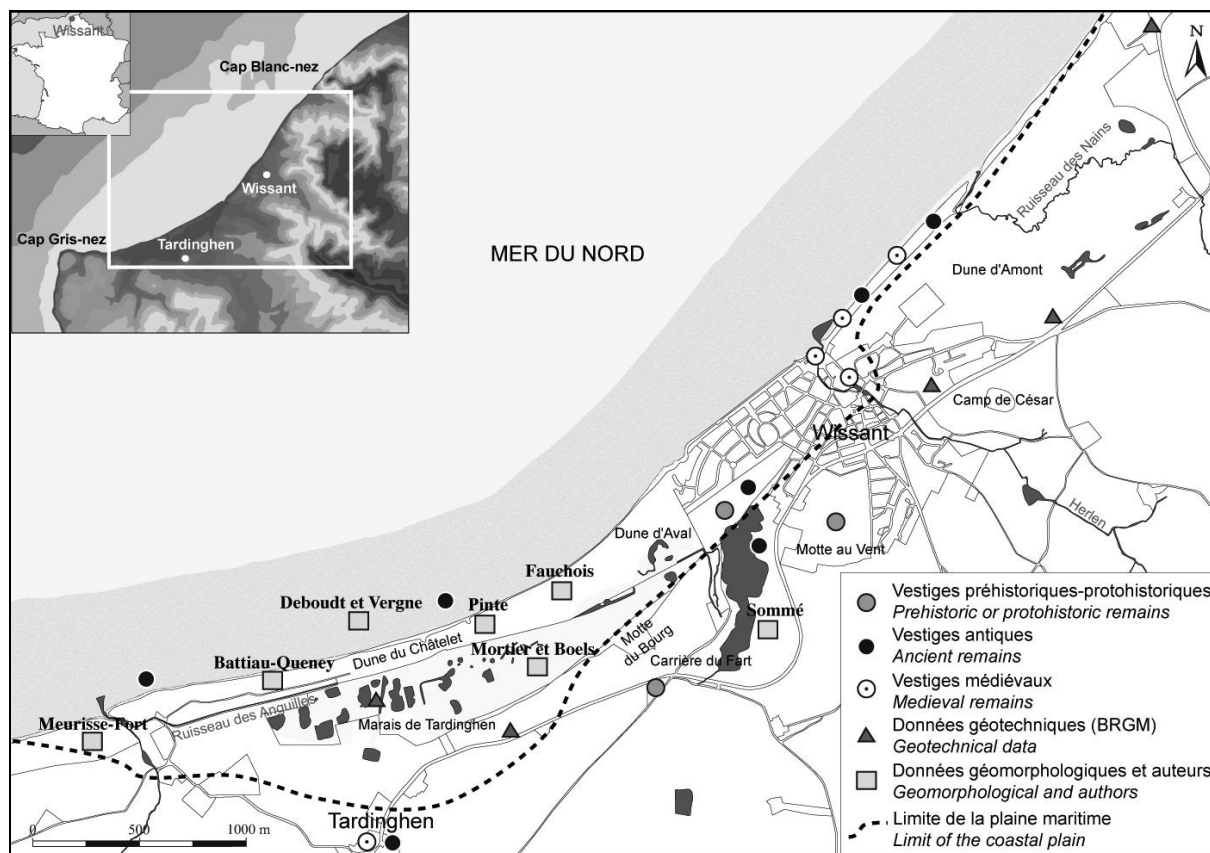


Fig. 1. — Localisation des principales données existantes sur le site de Wissant.

Fig. 1. — Location of main existing data on the Wissant site.

II. — PRESENTATION DES DONNEES

Le site de Wissant fascine les érudits depuis le XVI^{ème} siècle. Les scientifiques modernes et contemporains ont recherché dans les archives et le sol des éléments attestant de la présence potentielle du port antique de César *Portus Itius* à Wissant comme pour le port carolingien de *Qwentovic* sur la Canche. Dans les deux cas la question reste ouverte.

1) Histoire

Les sources attestent de l'importance médiévale du port de Wissant dans le transit de voyageurs vers la Grande-Bretagne (Kapferer, 1991). À partir de l'époque moderne, l'étude des sources antiques, notamment la « Guerre des Gaules » de César (1860), a conduit à de nombreux débats sur la position du possible port antique (Henry, 1810). Le « Camp de César » a ainsi été associé à une motte médiévale qui se retrouve dans le paysage actuel, mais sans réelle démonstration.

2) Archéologie

Les données archéologiques sont en majeure partie anciennes (Cousin, 1863). De nombreuses campagnes de fouilles ont été entreprises par des érudits à partir de la fin du XVIII^{ème} siècle. À partir des années 1950, avec le développement des études archéologiques, les rapports de

fouille sont plus précis et mieux illustrés (Mariette, 1965). Puis l'archéologie préventive va prendre le relais avec la réalisation de plusieurs diagnostics par l'INRAP et le Conseil Général du Pas-de-Calais. Il faut cependant noter qu'un seul diagnostic se situe dans la plaine maritime proprement dite. Les données archéologiques observées se répartissent sur l'ensemble de la baie mais également là où l'érosion a dégagé des vestiges comme dans les dunes de la partie est de la baie.

3) Géomorphologie

L'analyse des dynamiques géomorphologiques permet d'aborder l'évolution du paysage trop souvent considéré comme un cadre fixe ou vaguement évoqué alors qu'il va être le support des aménagements réalisés aux différentes époques. C'est de la première moitié du XX^{ème} siècle que datent les premières études géomorphologiques quant à l'origine quaternaire de la baie de Wissant (Briquet, 1930). À partir des années 70, les recherches menées à l'Université Lille 1 ont contribué à préciser la connaissance de l'évolution quaternaire (Pinte, 1986 ; Sommé, 1975). Quelques travaux ont spécifiquement été consacrés aux Quaternaire et à l'Holocène du bassin de Wissant (Mortier & Boels, 1982) ou intégrés dans une étude régionale (Battiau-Queney, 2003 ; Deboudt & Vergne, 1998 ; Fauchois, 1998 ; Meurisse-Fort, 2007). Plus récemment, l'Université du Littoral Côte d'Opale a fourni de nombreuses données sur l'évolution morphodynamique de la baie (Aernouts & Héquette, 2006).

La localisation des données montre que les études géomorphologiques ont bien étudié les massifs dunaires et les tourbières littorales de la partie Ouest en délaissant une bonne partie de l'Est de la plaine maritime.

III. — SYNTHÈSE GEOARCHEOLOGIQUE

L'étude et la confrontation des données existantes sur Wissant permettent déjà de donner une idée de l'évolution du site et sur son occupation humaine. La transgression post-glaciaire est divisée entre le Calaisien (8000 – 5000 BP) et le Dunkerquien (5000 BP – Actuel). Mais si la première phase est bien présente au niveau des formations sédimentaires dans la région, la seconde l'est beaucoup moins (Meurisse-Fort, 2007).

1) Un développement à proximité du littoral

Durant la protohistoire, les premiers foyers de population apparaissent à proximité de la Motte au Vent et dans la carrière du Fart. Ils sont contemporains de la fin du Calaisien, le ralentissement de la transgression est à l'origine d'une phase de développement des formations continentales tourbeuses entre 5 000 et 3 000 BP (Deboutd & Vergne, 1998). Les périodes gauloise et romaine voient se développer des habitations à proximité directe du littoral. Les vestiges archéologiques montrent qu'une activité halieutique s'était développée à l'époque sur les tourbières au niveau de l'estran actuel et sur l'embouchure de l'Herlen.

2) Mobilité du village en lien avec la mer

À l'époque carolingienne, la population va se replier sur l'arrière-pays et abandonner ses positions littorales basses. Cette époque correspond à une grande période de tensions avec les invasions barbares, mais elle pourrait également correspondre à une invasion marine qui a pu envahir les zones basses occupées. Toutefois le repli est de courte durée, car à partir du X^{ème} siècle, les populations vont réinvestir les positions littorales antérieures. Le port connaît un nouvel essor. Un havre naturel apparaît guidé par un chenal de marée au niveau du marais de Tardinghen (Mortier & Boels, 1982), il facilite le développement du port et donc sa prospérité.

3) Ensablement et abandon du port

À partir du XIV^{ème} siècle, le havre va commencer à s'ensabler et le port va être progressivement impraticable. Dans la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle, le village est en majeure partie ensablé lors de différentes tempêtes. Ce qui le conduit à renaître à une certaine distance du rivage autour de la chapelle Saint-Nicolas. Il n'y aura plus qu'une activité de subsistance jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle. Avant de connaître par la suite un nouveau développement avec l'apparition de la station balnéaire.

IV. — CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Si les différentes phases climatiques et eustatiques du Calaisien et du Dunkerquien ne sont pas toutes clairement identifiées dans la région, c'est sans doute parce que localement certains systèmes ont évolué avec leurs caractéristiques propres (comblement, inondations, subsidences,...). À Wissant, les données actuelles ne permettent pas de comprendre clairement l'évolution de la baie. Elles sont lacunaires et ne montrent pas l'évolution du système littoral. Mais l'évolution de l'occupation laisse entrevoir de possibles interactions avec l'évolution du paysage littoral. Les dynamiques géomorphologiques ont pu dicter ou influencer les phases d'occupation ou d'abandon. L'étude précise de l'évolution du paysage par l'établissement du cadre chronostratigraphique et paléoenvironnemental peut faciliter la compréhension du site tant du point de vue de son histoire environnementale qu'humaine. C'est l'objectif principal de notre recherche. Pour l'atteindre nous allons commencer la réalisation d'une campagne de sondage sur l'ensemble du bassin de Wissant afin de mettre en évidence sa formation et son évolution. Ces carottages devraient nous permettre d'avoir une vision plus synoptique de l'évolution de la baie et du bassin de Wissant en lien avec les données de l'occupation humaine dans un contexte de transgression postglaciaire. L'étude de la couverture sédimentaire intégrée dans le sens de la constitution d'une base de données permettra également d'appréhender le potentiel archéologique des différentes parties du bassin de Wissant par la réalisation d'une carte des formations superficielles (Deschodt, 2008).

BIBLIOGRAPHIE

- AERNOUITS D. & HEQUETTE A. (2006). — L'évolution du rivage et des petits fonds en baie de Wissant pendant le XX^e siècle (Pas-de-Calais, France). *Géomorphologie*, **1** : 49-64.
- BATTIAU-QUENEY Y. (2003). — Les systèmes plages-dunes de la côte d'Opale, de la baie d'Authie à la frontière belge. *Cahiers de Géographie Physique*, **14** : 1-19.
- BRIQUET A. (1930). — *Le littoral du Nord de la France et son évolution morphologique*. A. Colin, Paris : 439 p.
- CESAR J. (1860). — *La Guerre des Gaules. Commentaires de Jules César*. Traduction nouvelle de Louandre, C., Charpentier, Paris : 510 p.
- COUSIN L. (1863). — Rapport sur les fouilles archéologiques faites à Cassel (Nord) et à Wissant (Pas-de-Calais). *Société Française d'Archéologie*, **XXVI** : 40 p.
- DEBOUDD P. & VERGNE V. (1998). — Les milieux humides des plaines maritimes du Nord de la France : formation, cadre géomorphologique et dynamique. *Cahiers de Géographie Physique*, **11** : 28-39.
- DESCHODT L. (2008). — Cartes des formations superficielles et de potentiel archéologique : exemples dans le Nord de la France. *Cahiers de l'INRAP*, **2** : 10-25.
- FAUCHOIS J. (1998). — *L'intérêt de la cartographie à grande échelle dans l'étude des littoraux dunaires du Nord-Pas-de-Calais*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Lille 1 : 266 p. [inédit]
- HENRY J.-F. (1810). — *Essai historique, topographique et statistique sur l'arrondissement communal de Boulogne-sur-Mer*, Boulogne-sur-Mer : 399 p.

- KAPFERER A.-D. (1991). — *Fracas et murmures. Le bruit de l'eau dans un Moyen-Age picard et Boulonnais*. Trois Cailloux, Amiens : 236 p.
- LEQUINT R. (2007). — *Le risque érosion côtière à Wissant. Étude de la vulnérabilité d'un territoire*. Mémoire de Master en Géographie, Université d'Artois : 250 p. [inédit]
- MARIETTE H. (1965). — Le site gaulois de la Motte au Vent, à Wissant (Pas-de-Calais). In : Actes du colloque CELTICUM XV d'études Gauloises, Celtiques et Protoceltiques. OGAM, Tradition Celtique, Rennes : 54-95.
- MEURISSE-FORT M. (2007). — *Enregistrement haute résolution des massifs dunaires. Manche, mer du Nord et Atlantique : le rôle des tempêtes*. Thèse de Doctorat en Géosciences, Université de Lille 1 : 306 p. [inédit]
- MORTIER R. & BOELS M. (1982). — Histoire de la plaine maritime de Wissant (Pas-de-Calais) depuis le début de l'Holocène. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **CI** : 17-22.
- PINTE P. (1986). — *Etude géomorphologique et cartographique des risques naturels du littoral de Wissant à Wimereux*. Mémoire de DEA de géographie, Université de Lille 1 : 210 p. [inédit]
- SOMME J. (1975). — *Les plaines du Nord de la France et leur Bordure, étude géomorphologique*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris I : 790 p. [inédit]

UN AFFLEUREMENT TEMPORAIRE EXPOSANT LE CONTACT ENTRE LES FORMATIONS DE BEAULIEU ET DE FERQUES (FRASNIEN, BOULONNAIS)

A temporary outcrop showing the contact between the Beaulieu and Ferques formations (Frasnian, Boulonnais)

par Bruno MISTIAEN (*), Denise BRICE (**), Christian LOONES (***) & Anthony DE SOUSA (****)

(Planche V)

Résumé. — Le sommet du Membre des Pâtures (membre supérieur de la Formation de Beaulieu) et une bonne partie du Membre de Fiennes (membre inférieur de la Formation de Ferques) appartenant tous deux au Frasnien moyen et à la zone à conodontes moyenne à *asymmetricus* (= zone à *punctata*) ont été observés de façon momentanée lors du creusement d'une tranchée pour l'installation de nouveaux équipements sur le site des Carrières de Stinkal, à Ferques (Boulonnais, France). Un niveau, riche en brachiopodes décalcifiés, a été échantillonné au sommet du Membre des Pâtures, qui n'avait jusqu'ici jamais fourni de faunes. Il a livré, par ordre d'abondance, les espèces *Cyrtospirifer syringothyridiformis*, *Rigauxia acutosina*, *Comiotoechia barroisi* et *Spinatrypa* ? sp. qui sont brièvement discutées. L'intérêt de l'étude de tels affleurements temporaires est ainsi mis en évidence.

Abstract. — *The top of the Pâtures Member (upper member of the Beaulieu Formation), and a large part of the Fiennes Member (lower member of the Ferques Formation), both Mid Frasnian and belonging to the middle asymmetricus conodont Zone (= punctate Zone) were momentarily observed, during the digging of a trench for the installation of new equipments on the site of the Stinkal Quarries, in Ferques (Pas-de-Calais). A level, rich in decalcified brachiopods, has been sampled near the top of the Pâtures Member, which is generally considered without fossils; it has yielded, in order of abundance, the species Cyrtospirifer syringothyridiformis, Rigauxia acutosina, Comiotoechia barroisi and Spinatrypa ? sp. which are briefly discussed. The interest of the study of such temporary outcrops is emphasized.*

Mots clés : Dévonien supérieur, brachiopodes, patrimoine géologique, nord de la France.

Keywords : Upper Devonian, brachiopods, geological heritage, northern France.

I. — INTRODUCTION

Dans une région entièrement couverte de végétation et caractérisée par un faible relief topographique comme le Boulonnais, la reconnaissance des séries géologiques et leur étude sont étroitement liées à trois types d'activités.

— L'exploitation des carrières qui sont classiquement des lieux privilégiés d'observation en continu. Elles permettent en effet des observations à la fois temporaires et progressives, au gré de leur extension. Le suivi de ce développement est fonction de la bonne entente entre les carriers et les géologues.

Il faut toutefois souligner que, si au cours des siècles précédents les carrières étaient nombreuses et exploitées de façon artisanale, ce qui permettait des études régulières, la concentration en quelques grandes exploitations évoluant très

rapidement ne facilite pas cette continuité des observations. En outre, ces carrières sont amenées à disparaître en fin d'activité, puisque les propriétaires ont l'obligation de les combler par des stériles et de re-végétaliser, masquant ainsi tout affleurement et provoquant la perte de pans entiers du patrimoine géologique.

— La mise en œuvre d'importants travaux d'aménagement, donnant lieu à des affleurements et des opportunités d'observation exceptionnelles. Ainsi les écrits détaillés de Rigaux (1865, 1873, 1892, 1908) sont à mettre directement en relation avec l'installation de la voie ferrée Calais-Boulogne (1862 – 1865). De même, à partir de 1975, les travaux de creusement de la voie ferrée Caffiers-Ferques, traversant l'ensemble du Dévonien, ont permis de nouvelles découvertes et révisions donnant lieu à de nombreuses publications (Brice, 1988 ; Brice et al., 1976, 1977, 1979).

(*) Faculté Libre des Sciences et Technologies & Groupe ISA, Université catholique de Lille, UMR 8217 Géosystèmes du CNRS, 41 rue du Port F 59046 Lille Cedex; b.mistiaen@isa-lille.fr

(**) Faculté Libre des Sciences et Technologies & Groupe ISA, Université catholique de Lille, 41 rue du Port F 59046 Lille Cedex; d.brice@isa-lille.fr

(***) 10 rue Gustave Courbet F 59120 Loos ; loones_christian@hotmail.com

(****) Carrières de Stinkal, 62250 Ferques.

— Enfin, les petits aménagements locaux, trop souvent négligés, constituent une source non négligeable d'observations. Ainsi, les publications de Becker (2002), Brice & Loones (2002), Mistiaen (2002), Mistiaen *et al.* (2002) et Rohart (2002), sont directement liées à l'affleurement momentané d'une partie du Membre des Pâtures, grâce au creusement par les carrières de Stinkal d'une petite tranchée pour la pose d'une canalisation. De même, le creusement de fondations pour l'installation d'un château d'eau sur le territoire de Ferques, au début des années 1970, a permis d'observer en détail le Membre des Noces de la Formation de Beaulieu.

C'est à cette dernière catégorie qu'appartient l'affleurement qui fait l'objet de cette note. Il fut observé en 2011 grâce au creusement d'une tranchée temporaire (Fig. 1) pour l'aménagement d'installations de concassage des Carrières de Stinkal (Ferques).

Notre objectif est double :

- d'une part, apporter des données stratigraphiques et paléontologiques complémentaires sur une partie de la série frasnienne de Ferques rarement observée dans le passé (Brice *et al.*, 1979, p. 316), à savoir le sommet de la Formation de Beaulieu et la base de la Formation de Ferques et,

- d'autre part attirer l'attention sur l'intérêt de certains affleurements temporaires.

II. — HISTORIQUE SUR L'ÉTAT DE NOS CONNAISSANCES DES FORMATIONS DE BEAULIEU ET DE FERQUES.

Les terrains dévoniens du Massif de Ferques (Boulonnais) et plus particulièrement ceux du Frasnien sont connus depuis le milieu du dix-neuvième siècle. Ils ont fait l'objet de très nombreux travaux (Fig. 1).

Il est possible d'identifier formellement, dans la description de De Verneuil (1838), la quasi-totalité des formations de la série dévonienne de Ferques (Fig. 2), et notamment les Formations de Beaulieu et de Ferques [alors qu'à l'époque le terme « Dévonien » n'existe pas encore ; il sera créé l'année suivante par Sedgwick et Murchison (1839)].

1) Formation de Beaulieu

La dénomination « *Schistes de Beaulieu* » apparaît pour la première fois dans Rigaux (1865) ; dans des travaux antérieurs (De Verneuil, 1938), apparemment seule la dolomie de Beaulieu semble avoir été repérée au sein de cette formation. Rigaux (1873) publie une première description détaillée des Schistes de Beaulieu ; il y reconnaît différents niveaux dont il donne le contenu faunistique. Rigaux (1892, p. 9) précise la lithologie de ces schistes dans lesquels il distingue neuf niveaux. Le dernier niveau (h) correspond à 40 m de « *Schistes rouges et jaunâtres jusqu'au calcaire de Ferques* » ; Rigaux (*ibid.*, p. 12) conclut : « *Cette couche dans laquelle on a rarement l'occasion de voir des excavations ne paraît pas contenir de fossiles* ». Le même auteur (Rigaux, 1908) apporte, à propos de ce dernier niveau, l'information suivante : les « *schistes lie de vin, rarement exposés, sont très pauvres (en fossiles), on n'y a trouvé que le Chonetes Maillieuxi* ».

Depuis, le Dévonien de Ferques - dont la Formation de Beaulieu - a fait l'objet de nombreux travaux (Mistiaen *et al.*, 2001 ; Brice *et al.*, 2002). Toutefois, rien ou presque n'a été publié sur la partie sommitale de cette formation car elle n'affleurerait guère.

Robinson (1920) donne une description des Schistes de Beaulieu (auxquels il associe la dolomie de « Beaulieu », actuel Membre de Fiennes de la Formation de Ferques) : il signale l'existence de petits affleurements dans des fossés mais ne mentionne pas de faune. Magne (1964) effectue une quinzaine de prélèvements régulièrement espacés, à la tarière, et donne la liste de la macro- et microfaune reconnues. Le sommet des Schistes de Beaulieu apparaît particulièrement pauvre en microfaune et fragments de faune ; aucun brachiopode n'est signalé. Ager & Wallace (1967 *a, b*) et Wallace (1969) décrivent et proposent une interprétation du milieu de sédimentation des « Schistes de Beaulieu » mais leurs analyses portent uniquement sur les parties inférieure et moyenne de cette formation. Bonte *et al.* (1971) attribuent une épaisseur de 90 m aux Schistes de Beaulieu mais ne donnent guère de détails sur leur partie supérieure. Brice *et al.* (1976), à la suite du creusement d'une nouvelle tranchée de voie ferrée entre Caffiers et Ferques (Fig. 1), décrivent en détail les Schistes de Beaulieu avec neuf niveaux successifs (numérotés de K à S), la partie terminale (S) étant constituée d'une cinquantaine de mètres de shales mal exposés car cette portion de la tranchée correspond à une ancienne exploitation. Brice *et al.* (1979) reconnaissent et définissent formellement, dans le Dévonien de Ferques, six formations. Ils subdivisent la Formation de Beaulieu en trois membres, de bas en haut : Membres de Cambresèque, des Noces et des Pâtures (Fig. 3). Ce dernier est lui-même subdivisé en quatre termes (a, b, c et d). Il est à noter que, dans la publication originelle, Brice *et al.* (1979), indiquent, par erreur, que « *le Membre des Pâtures... épaisse série argileuse gris verdâtre à violacée... d'une centaine de mètres comprend trois termes (a, b et c)* ». En réalité, il comporte quatre termes qui sont de bas en haut : *4 à 5 m d'argilites gris verdâtre (a), 30 m environ d'argilites rouges (b), 20 m d'une série plus calcaire (c) et 40 m environ de pélites (d) affleurant très mal et correspondant au niveau h de Rigaux (1892)*.

Lefrançois *et al.* (1993) précisent les caractéristiques sédimentologiques et minéralogiques des Formations argileuses de Beaulieu et d'Hydrequent, mais sans aborder le Membre des Pâtures, faute d'affleurements. Mistiaen *et al.* (2002) apportent des données complémentaires sur la partie supérieure (sommet excepté) du Membre des Pâtures par l'étude de nouveaux affleurements mis à jour au nord de la carrière de la Parisienne (Fig. 1). Enfin, dans la notice de la carte géologique de Marquise, seconde édition, Mansy *et al.*, (2007), attribuent une épaisseur de 40 à 50 m à la partie supérieure du Membre des Pâtures, constituée « *d'argilites finement litées gris verdâtre ou violacées, pratiquement azoïques* ».

2) Formation de Ferques

La dénomination « *Calcaire de Ferques* » pouvant correspondre à la Formation de Ferques apparaît pour la première fois dans De Bonnard (1833). Elle est reprise par Murchison (1840, Fig. 4) sous la dénomination « *Calcaire de Ferques et de Fiennes* » puis par de nombreux auteurs par la suite. Brice *et al.* (1979) définissent formellement la Formation de Ferques, en y incluant le Membre de Fiennes,

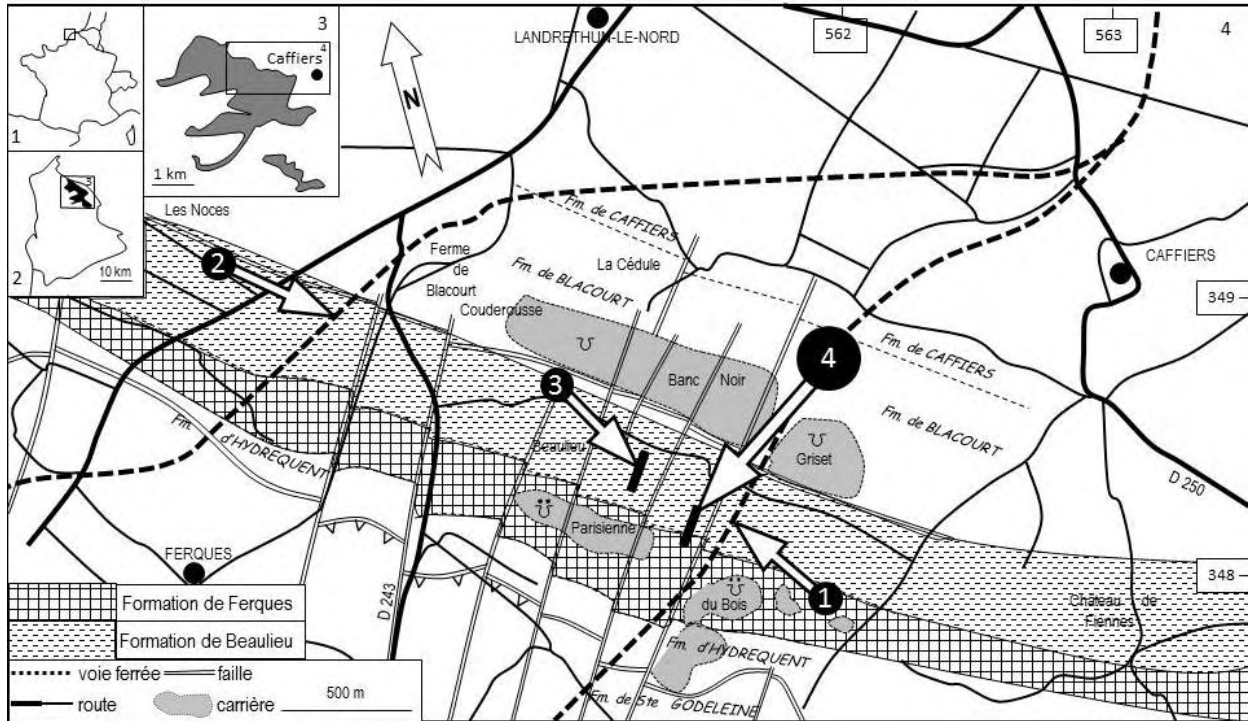


Fig. 1. — Carte de situation des affleurements des formations de Beaulieu et de Ferques. (1) voie ferrée Calais-Boulogne ; (2) voie ferrée Caffiers-Ferques ; (3) petite tranchée (Mistiaen *et al.*, 2002) ; (4) présent travail.

Fig 1. — Location map of the outcrops in the Beaulieu and Ferques formations. (1) Railway cut Calais-Boulogne; (2) railway cut Caffiers-Ferques; (3) small trench (Mistiaen *et al.*, 2002); (4) present work.

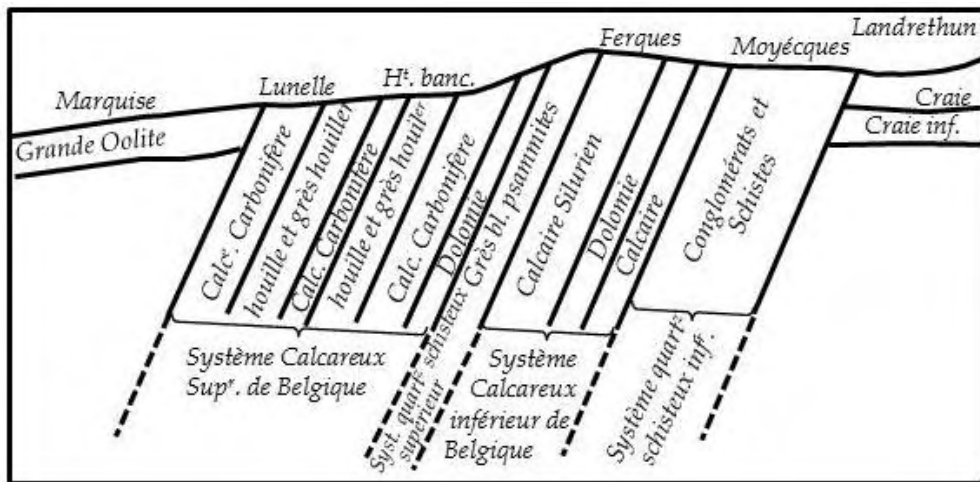


Fig 2. — “Coupe des Terrains du Bas-Boulonnais entre Marquise et Landrethun” in De Verneuil (1838, fig. 14). On retrouve dans ce qu’il décrit sous la dénomination de “Système Calcaireux inférieur de Belgique” les formations de Blacourt, Beaulieu et Ferques (Brice *et al.*, 1979) : “Calcaire” = Formation de Blacourt ; “Dolomie” = Formation de Beaulieu ; “Calcaire Silurien” = Formation de Ferques. [Le Dévonien n’existait pas encore, il sera défini, par Sedgwick & Murchison (1839)].

Fig. 2. — Section of the Bas-Boulonnais beds between Marquise and Landrethun in De Verneuil (1838, fig. 14). The succession of beds named “Système Calcaireux inférieur de Belgique” corresponds to the Blacourt, Beaulieu and Ferques formations (Brice *et al.*, 1979): “Calcaire” = Blacourt Formation; “Dolomie” = Beaulieu Formation; “Calcaire Silurien” = Ferques Formation. [At that time the Devonian was not yet recognized, it was defined by Sedgwick & Murchison (1839)].

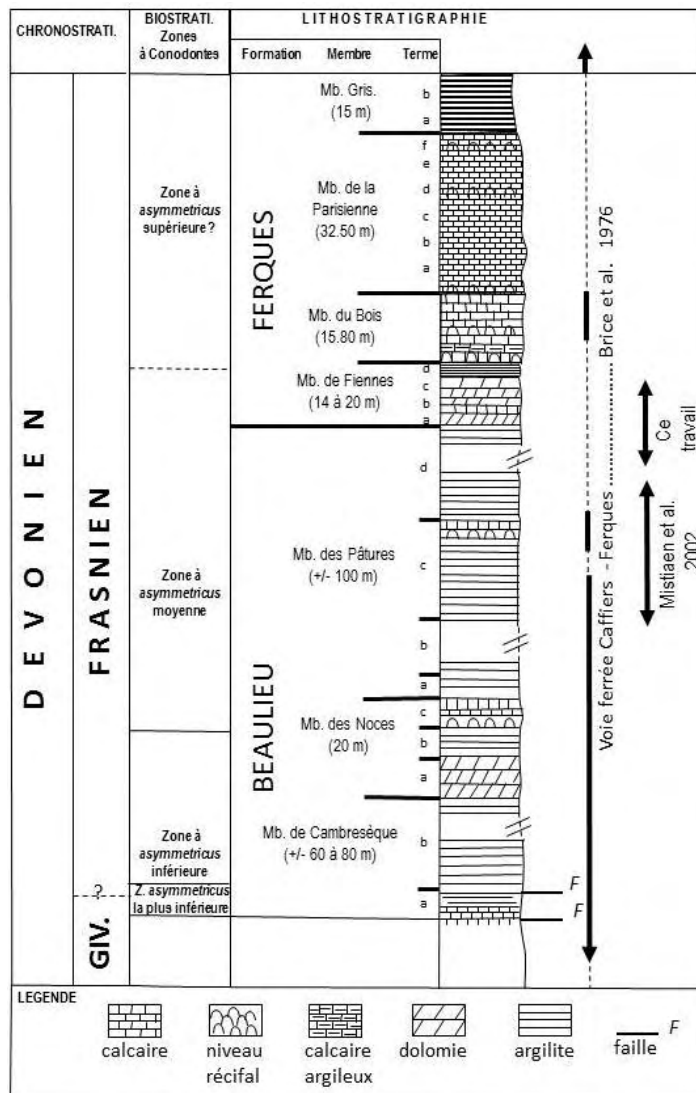


Fig. 3. — La série frasnienne de Ferques, d'après Mistiaen *et al.* (2012). Abréviations : chronostrati. = chronostratigraphie; biostrati = biostratigraphie ; GIV. = Givétien.

Fig. 3. — The Frasnian succession of Ferques inlier, from Mistiaen *et al.* (2012). Abbreviations chronostrati. = chronostratigraphy ; biostrati. = biostratigraphy ; GIV. = Givétien.

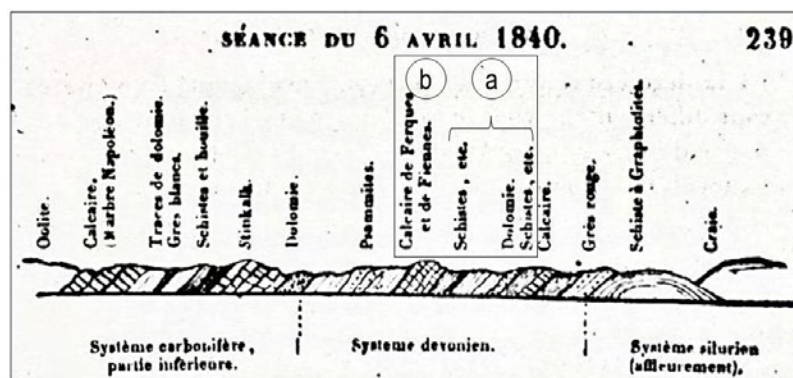


Fig 4. — La série paléozoïque de Ferques, *in* Murchison (1840) : (a) Formation de Beaulieu, (b) Formation de Ferques.

Fig. 4. — The Palaeozoic succession of Ferques inlier in Murchison (1840): (a) Beaulieu Formation, (b) Ferques Formation.



Fig. 5. — Vue d'ensemble de la nouvelle tranchée en direction du nord.

Fig. 5. — Northward general view of the new section.



Fig. 6. — Vue générale du contact lithologique entre les formations de Beaulieu (Membre des Pâtures) et de Ferques (Membre de Fiennes) dans la nouvelle tranchée.

Fig. 6. — General view of the lithological contact between the Beaulieu (Pâtures Member) and Ferques (Fiennes Member) formations in the new trench.

de nature essentiellement dolomitique et parfois rattaché par certains auteurs (Pruvost *et al.*, 1928 ; Magne, 1964 ; Ager & Wallace, 1967 a, b ; Bonte, 1969 ; Wallace, 1969 ; Bonte *et al.*, 1971 ; Brice *et al.*, 1977) à la Formation sous-jacente de Beaulieu.

La Formation de Ferques, son membre de base excepté, a fait l'objet de très nombreuses exploitations artisanales, dont la plus importante est la carrière de la Parisienne (Fig. 1). Ces carrières sont aujourd'hui pratiquement toutes comblées ou envahies par la végétation. A la fin du siècle dernier, la base de la Formation de Ferques (Membre de Fiennes) était localement observable, en plusieurs points, et en particulier : au voisinage du Château de Fiennes, dans un vallon situé juste au nord de la carrière du Bois, ainsi qu'au pied d'une butte en bordure orientale de la carrière de la Parisienne (Fig. 1). Ces affleurements ont aujourd'hui tous quasiment disparu.

III. — OBSERVATIONS RELATIVES AU NOUVEL AFFLEUREMENT DES FORMATIONS DE BEAULIEU ET FERQUES.

Etablie sur deux niveaux, la tranchée étudiée se situe à l'est de la carrière de la Parisienne (50°49'48'' N ; 1° 47' 22'' E). Large au total de 25 à 30 m et profonde d'une dizaine de mètres environ (Fig. 1 point 4 ; Fig. 5), elle expose le sommet du Membre des Pâtures, membre supérieur de la Formation de Beaulieu, comprenant un niveau fossilifère, et une bonne partie du Membre de Fiennes, membre inférieur de la Formation de Ferques (Brice *et al.* 1979) ; la série monoclinale, de direction N 120° E et de pendage 30° S, appartient au parautochtone de Ferques (Mansy *et al.*, 2007). Plusieurs points sont à souligner.

1) Le contact entre les argilites verdâtres du sommet du Membre des Pâtures (Formation de Beaulieu) et les calcaires dolomitiques gris rosé de la base du Membre de Fiennes (Formation de Ferques) est particulièrement net, marqué par un changement de lithologie et de couleur (Fig. 6) ; aucun accident tectonique ne semble s'y localiser alors que de tels accidents sont habituels, dans la série dévonienne de Ferques, au contact de formations de compétences différentes.

2) Observations au sommet du Membre des Pâtures.

A 1,80 m sous la limite entre les formations de Beaulieu et de Ferques, un banc d'argilite faiblement carbonaté a livré d'abondantes coquilles désarticulées, en partie brisées. Il s'agit d'une taphocenose (tempestite ?), composée presque uniquement de valves de brachiopodes complètement décalcifiées associées à des entroques. Ces valves n'ont pu être dégagées en raison de leur très grande fragilité. Toutefois l'observation des valves désarticulées, dont certaines presque complètes a permis d'identifier avec réserve, presque exclusivement à partir des caractères externes, des espèces dans des niveaux considérés jusqu'ici comme dépourvus de faune, et de préciser l'extension stratigraphique de certaines d'entre elles. Ces espèces sont brièvement discutées au paragraphe IV.

3) Observations du Membre de Fiennes.

Lors des travaux de creusement, les trois principaux termes du Membre de Fiennes (a, b, c, Fig. 4) ont été observés, avec de bas en haut :

- des calcaires dolomitiques gris rosé (Fig. 7), constituant un biostrome particulièrement riche en constructeurs diversifiés tels que des stromatopores lamellaires et tabulaires, des tabulés (abundants alvéolitides, rares thamnoporides et auloporides), et des rugueux solitaires et coloniaux (*Hexagonaria*), sur environ 3 mètres d'épaisseur ;

- des dolomies gris-jaunâtre, non stratifiées et très friables, présentant de nombreuses traces de constructeurs non identifiables, sur une épaisseur d'au moins 7 à 10 mètres, au niveau de l'affleurement ;

- enfin une dolomie noire (Fig. 8), très riche en « fantômes » d'organismes constructeurs généralement branchus, blanchâtres et très dolomités, vraisemblablement des branches de *Stachyodes*, mais certains niveaux renferment essentiellement des formes lamellaires (stromatopores ?). Seuls 4 à 5 mètres de cette dolomie sont visibles.



Fig. 7. — Calcaire construit dolomitique gris rosé ; terme (a), Membre de Fiennes, Formation de Ferques.

Fig. 7. — Reefal, pinkish grey limestone; term (a), Fiennes Member, Ferques Formation.



Fig. 8. — Dolomie noire à cf. *Stachyodes* ; terme (c), Membre de Fiennes, Formation de Ferques.

Fig. 8. — Black dolomite with cf. *Stachyodes*; term (c), Fiennes Member, Ferques Formation.

Ces observations confirment les données antérieures (Mansy *et al.*, 2007).

IV. — PALEONTOLOGIE

Les attributions génériques et spécifiques des brachiopodes collectés au sommet du Membre des Pâtures sont brièvement discutées ci-dessous où ils sont classés en fonction de leur abondance. Le matériel est conservé dans les Collections de la Faculté libre des Sciences, les figurés y sont numérotés en GFCL.

Cyrtospirifer syringothyriiformis (Paeckelmann, 1942)

(Pl. V, Fig. 1-3)

Matériel : Une vingtaine de valves désarticulées, rarement complètes et des débris.

Discussion : Ce cyrtospiriferide se reconnaît par sa coquille de grande taille, très transverse (Pl. V, Fig. 1), son sinus large, nettement délimité, à fond faiblement concave parfois aplati (Pl. I, Fig. 2) auquel correspond un bourrelet dorsal bien délimité à sommet souvent plat (Pl. I, Fig. 3) et ses flancs ventraux faiblement concaves à proximité du sinus [voir Brice (1988, p. 367) pour plus de détails]. La valve ventrale (Pl. V, Fig. 1) correspond à l'une des formes les plus fréquentes caractérisée par un crochet ventral peu courbé, surplombant la haute interarea, cette valve montre également la trace d'une lame dentale nettement extrasiniale suivant le deuxième sillon latéral.

Rigauxia acutosina (Rigaux, 1908)

(Pl. V, Fig. 4-5)

Matériel : Une dizaine de valves désarticulées, toutes incomplètes.

Discussion : Cet échinospiriferide, surtout représenté par quelques valves ventrales dépourvues de micro-ornementation, se reconnaît (Pl. V, Fig. 4, 5) par sa petite taille, sa forme peu transverse, son sinus étroit orné de 3 à 7 côtes et ses flancs où l'on en dénombre 10 à 14 [voir Brice (1988, p. 372) pour plus de détails].

Comiotoechia barroisi (Rigaux, 1908)

(Pl. V, Fig. 6-7)

Matériel : Sept valves désarticulées, incomplètes et des débris.

Discussion : L'espèce se caractérise par sa valve ventrale (Pl. V, Fig. 6) presque plane, ornée de nombreuses côtes fines sensiblement égales et sa valve dorsale (Pl. V, Fig. 7) moyennement convexe, possédant un bourrelet à peine marqué. Ce rhynchonellide (Ladogiidae) a été attribué par Brice (2003) au genre *Comiotoechia* Ljaschenko, 1973. Ce transfert générique se justifie par la similitude des caractères externes et internes de cette espèce notamment par sa forme plus large que longue, sa taille relativement petite, la faible convexité des valves, ses sinus et bourrelet faiblement développés antérieurement. Cette espèce, dont c'est la première mention au sommet de la Formation de Beaulieu, était surtout connue dans la partie inférieure de cette unité lithostratigraphique (Zone à *Eodmitria boloniensis* Brice, 1982) où elle est très abondante et considérée comme rare en montant dans la série (Brice & Meats, 1972 ; voir ces auteurs pour plus d'information).

Spinatrypa ? sp.

(Pl. V, Fig. 8)

Matériel : Une seule valve incomplète.

Discussion : La valve, incomplètement dégagée est ornée de grosses côtes arrondies (Pl. V, Fig. 8) qui évoquent l'ornementation caractéristique du genre *Spinatrypa* Stainbrook, 1951 (Atrypida), mais sa préservation déficiente ne permet pas une identification certaine. Ce genre est surtout connu au sein des formations de Blacourt et de Ferques d'après Godefroid (1988). Cependant, quelques spécimens mal conservés, collectés au sommet du terme (c) du Membre des Pâtures (Formation de Beaulieu), ont été rapportés par cet auteur à l'espèce *Spinatrypa silvae* Godefroid, 1988. La largeur des côtes de la valve incomplète figurée semble plus importante que celles de *S. silvae* figuré Godefroid, 1988 (Pl. 49, fig. 9-11.).

V. — CONCLUSION

Dans une période où les affleurements deviennent très rares, il convient de souligner l'intérêt des observations

ponctuelles et sporadiques mais surtout d'insister sur la nécessité de les inventorier et de les analyser en détail. Comme Mansy *et al* (2007, p. 162) l'ont récemment mis en évidence, « *Les points d'observation libres d'accès dans les différentes formations du Paléozoïque de Ferques sont rares ou en très mauvais état.* ». En 2012, seuls deux points restent accessibles : parking de la maison du marbre et mur d'escalade à Rinxent.

Nos observations, réalisées dans une tranchée ouverte au sein de la carrière de Stinkal et vouée à disparaître, ont permis d'étudier une coupe continue exposant le contact entre les formations de Beaulieu et de Ferques. De plus, la distribution des brachiopodes *Comiotoechia barroisi*, *Cyrtospirifer*

syringothyridiformis et *Rigauxia acutosina* a été précisée : ces espèces s'étendent jusqu'au sommet du Membre des Pâtures (membre supérieur de la Formation de Beaulieu), considéré jusqu'ici comme dépourvu de fossiles.

Remerciements. — Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement Monsieur Eric Singer, Directeur des Carrières de Stinkal, qui leur a toujours accordé les autorisations nécessaires pour accéder aux affleurements et les étudier en détail, ainsi que l'ensemble du personnel des carrières pour leur accueil. Les remerciements des auteurs s'adressent aussi à Messieurs Alain Blicq, Pierre Bultynck, Bernard Mottequin et Jean-Pierre De Baere, pour leurs relectures détaillées ainsi que leurs remarques et suggestions très positives.

BIBLIOGRAPHIE

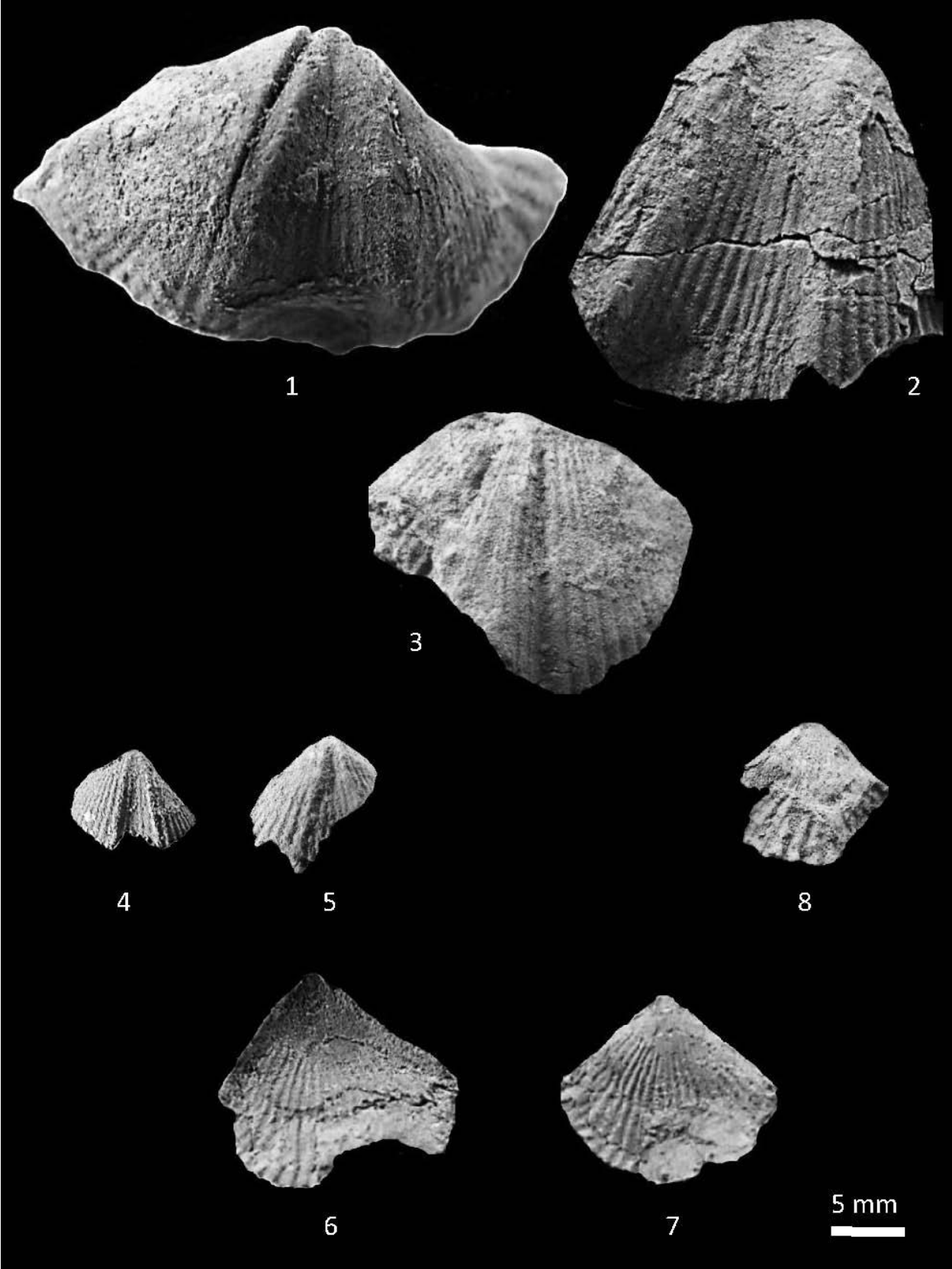
- AGER D.V. & WALLACE P. (1967a). — The Environmental History of the Boulonnais, France. *Proceedings of the Geologists' Association*, 77 (4) : 385-417.
- AGER D.V. & WALLACE P. (1967b). — The Environmental History of the Boulonnais, France. *Proceedings of the Geologists' Association*, 77 (4) : 419-435.
- BECKER R.T. (2002). — Frasnian goniatites from the Boulonnais (France) as indicators of regional sealevel changes. *Annales de la Société géologique du Nord*, 9 (2^{ème} série) (2) : 129-140.
- BONNARD DE (1833). — Observations sur la disposition du terrain houiller dans le Bas-Boulonnais. *Bulletin de la Société géologique de France*, (1^{ère} série) (3) : 150-151.
- BONTE A., BROQUET P., HOYEZ B., HATRIVAL J.-N., LEROUX B., RESENDE S., SAVARY M., THIBAUT P.M., DESTOMBES J.P., SOMME J., GOULLIART M., (1971). — Carte géologique à 1/50 000. Feuille de Marquise – 1^{ère} édition.
- BRICE D. (1982). — *Eodmitria* genre nouveau de brachiopode Cyrtospiriferidae du Frasnien inférieur et moyen. *Geobios*, 15 (4) : 575-581.
- BRICE D. (ed.) (1988). — Le Dévonien de Ferques. Bas-Boulonnais (N. France). Paléontologie - Sédimentologie - Stratigraphie - Tectonique. *Biostratigraphie du Paléozoïque*, 7 : 521 p.
- BRICE D., BIGEY F., MISTIAEN B., PONCET J. & ROHART J.C. (1977). — Les organismes constructeurs (Algues, Stromatopores, Rugueux, Tabulés, Bryozoaires) dans le Dévonien de Ferques (Boulonnais-France). Associations. Répartition stratigraphique. *Mémoire du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 89 : 136-151.
- BRICE D., BULTYNCK P., COLBEAUX J.-P., LETHIERS F., MISTIAEN B., ROHART J.-C. & BIGEY F. (1976). — Une nouvelle coupe dans le Dévonien de Ferques (Boulonnais, France). *Annales de la Société géologique du Nord*, 96 : 135-165.
- BRICE D., COLBEAUX J.-P., MISTIAEN B. & ROHART J.-C. (1979). — Les formations dévoniennes de Ferques (Bas-Boulonnais – France). *Annales de la Société géologique du Nord*, 100 : 307-324.
- BRICE D. & LOONES C. (2002). — Nouvelles donnée sur des Brachiopodes Cyrtospiriferidae, Reticularidae, Uncitidae et Stringocephalidae du Dévonien de Ferques (Boulonnais – France). *Annales de la Société géologique du Nord*, 9 (2^{ème} série) (2) : 91-109.
- BRICE D. & MEATS P. (1972). — Le genre *Ripidiorhynchus* (Rhynchonellida - Brachiopodes) dans le Dévonien de Ferques (Boulonnais). *Annales de la Société géologique du Nord*, 91 : 215-228.
- BRICE D., MISTIAEN B. & ROHART J.-C. (2002). — Progrès dans la connaissance des flores et des faunes dévoniennes du Boulonnais (1971-2001). *Annales de la Société géologique du Nord*, 9 (2^{ème} série) (2) : 61-74.
- GODEFROID J. (1988). — Brachiopodes Atrypida du Dévonien de Ferques (France). In : BRICE D. (ed.), Le Dévonien de Ferques. Bas-Boulonnais (N. France). *Biostratigraphie du Paléozoïque*, 7 : 403-432.
- LEFRANÇOIS A., DECONINCK J.-F., MANSY J.-L. & PROUST J.-N. (1993). — Structure, sédimentation et minéralogie des argiles des Formations de Beaulieu et d'Hydrequent (Dévonien supérieur du Bas-Boulonnais). *Annales de la Société géologique du Nord*, (2) (2^{ème} série) (3) : 123-134.
- MAGNE F. (1964). — *Données micropaléontologiques et stratigraphiques dans le Dévonien du Boulonnais (France) et du Bassin de Namur (Belgique)*. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Paris. T. 1, 172 p. ; T 2. [non publié].
- MANSY J.-L., GUENOC P., ROBASYNSKI F., AMEDRO F., AUFFRET J.-P., VIDIER J.-P., LAMARCHE J., LEFÈVRE D., SOMME J., BRICE D., MISTIAEN B., PRUD'HOMME A., ROHART J.-C. & VACHARD (2007). — Notice explicative. Carte géologique de France 1/50 000, feuille de Marquise (seconde édition) (5). BRGM Orléans : 1-213.
- MISTIAEN B. (2002). — Stromatopores et coraux Tabulés du Membre des Pâtures, Formation de Beaulieu (Frasnien de Ferques, Boulonnais). *Annales de la Société géologique du Nord*, 9 (2^{ème} série) (2) : 85 – 89.
- MISTIAEN B., BECKER T., BRICE D., DEGARDIN J.-M., DERYCKE C., LOONES C. & ROHART J.-C. (2002). — Données nouvelles sur la partie supérieure de la Formation de Beaulieu (Frasnien de Ferques, Boulonnais, France). *Annales de la Société géologique du Nord*, 9 (2^{ème} série) (2) : 75-84.
- MISTIAEN B., BRICE D. & ROHART J.-C. (2001). — Trente années de recherche sur le Dévonien de Ferques (Boulonnais) : données acquises en litho- et biostratigraphie. *Annales de la Société géologique du Nord*, 9 (2^{ème} série) (2) : 5-12.
- MISTIAEN B., BRICE D., ZAPALSKI M.K. & LOONES CH. (2012). — Brachiopods and their auloporid epibionts in the Devonian of Boulonnais (France): Comparison with others associations Globally. In J.A. Talent ed. Global Biodiversity, Extinction Intervals and Biogeographic Perturbations Through Time, Earth and Life, Springer Ed. : 159-188, 22 fig., app.
- MURCHISON R.I. (1840). — Sur les roches dévoniennes du Boulonnais et des pays limitrophes. *Bulletin Société Géologique de France*, (1^{ère} série) (11) : 229-257.

- PAECKELMANN W. (1942). — Beiträge zur Kenntnis devonischer Spiriferen. *Abhandlungen der Reichsstelle für Bodenforschung*, Berlin, N. F. 197: 1-188.
- PRUVOST P., DUBOIS G. & MERLE. A. (1928). — Carte géologique de la France à 1/80.000, feuille de Boulogne 3^e édition.
- RIGAUX E. (1865). — Notice stratigraphique sur le Bas-Boulonnais. *Mémoire de la Société académique de Boulogne*, (4) : 95-123.
- RIGAUX E. (1873). — Notes pour servir à la géologie du Boulonnais. Description de quelques brachiopodes du terrain Dévonien de Ferques. *Mémoire de la Société académique de Boulogne*, (5) : 11-16.
- RIGAUX E. (1892). — Notice géologique sur le Bas-Boulonnais. Deligny ed. : 1-109.
- RIGAUX E. (1908). — Le Dévonien de Ferques et ses Brachiopodes. Boulogne-sur-Mer, imp. G. Hamain : 1-33.
- ROBINSON J.W.D. (1920). — The Devonian of Ferques (Lower Boulonnais). *The Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 76 : 228-237.
- ROHART J.-C. (2002). — Coraux Rugueux du Membre des Pâtures, Formation de Beaulieu (Frasnien de Ferques, Boulonnais). *Annales de la Société géologique du Nord*, 9 (2^{ème} série) (2) : 111 – 127.
- SEDGWICK A. & MURCHISON R.I. (1939). — Classification of the older stratified rocks of Devonshire and Cornwall. *Philosophical Magazine Journal of Sciences*, 3 (14) : 241-260.
- VERNEUIL E. DE (1838). — Note sur les terrains anciens du Bas-Boulonnais. *Bulletin de la Société géologique de France*, (1^{ère} série) (9) : 388-396.
- WALLACE P. (1969). — The sedimentology and palaeoecology of the Devonian of the Ferques inlier, northern France. *The Quarterly journal of the Geological Society of London*, 125 : 83-124.
-

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE V

EXPLANATIONS OF PLATE V

- Fig. 1. — Vue interne d'une valve ventrale de *Cyrtospirifer syringothyriiformis* (GFCL 2984).
- Fig. 1. — *Internal view of a ventral valve of Cyrtospirifer syringothyriiformis (GFCL 2984).*
- Fig. 2. — Valve ventrale incomplète de *Cyrtospirifer syringothyriiformis* (GFCL 2985).
- Fig. 2. — *One incomplete ventral valve of Cyrtospirifer syringothyriiformis. (GFCL 2985).*
- Fig. 3. — Valve dorsale incomplète de *Cyrtospirifer syringothyriiformis* (GFCL 2986).
- Fig. 3. — *One incomplete dorsal valve of Cyrtospirifer syringothyriiformis (GFCL 2986).*
- Fig. 4. — Valve ventrale incomplète de *Rigauxia acutosina* (GFCL 2988).
- Fig. 4. — *One incomplete ventral valve of Rigauxia acutosina (GFCL 2988).*
- Fig. 5. — Valve ventrale incomplète d'un autre *Rigauxia acutosina* (GFCL 2989).
- Fig. 5. — *One incomplete ventral valve of another Rigauxia acutosina (GFCL 2989).*
- Fig. 6. — Valve ventrale de *Comiotoechia barroisi* (GFCL 2990).
- Fig. 6. — *One ventral valve of Comiotoechia barroisi (GFCL 2990).*
- Fig. 7. — Valve dorsale de *Comiotoechia barroisi* (GFCL 2991).
- Fig. 7. — *One dorsal valve of Comiotoechia barroisi (GFCL 2991).*
- Fig. 8. — Valve dorsale incomplète de *Spinatrypa ? sp.* (GFCL 2987).
- Fig. 8. — *One incomplete dorsal valve of Spinatrypa? sp. (GFCL 2987).*



La Société Géologique du Nord, une maison d'édition



La SGN publie :

- des *Annales* : 146 tomes de 1870 à 2012, dont de nombreux fascicules thématiques : géologie du nord de la France (générale et thématique), tectonique (rupture des roches et massifs rocheux, tectonique cassante), Paléozoïque, géologie du Gondwana (générale et thématique : Dévonien de l'Ougarta au Sahara, Paléozoïque moyen du Gondwana du Nord, Paléozoïque de l'Iran, Paléozoïque inférieur de la Montagne Noire), géologie de l'Europe, énergie et matières premières, géologie de l'Ardenne ... ; certains de ces fascicules sont des fascicules jubilaires (Centenaire de la SGN, Centenaire du Musée Gosselet) ;
- des *Publications* spéciales : 33 tomes depuis 1977 : Dinarides, arc égéen, Hellénides, Atlantique Sud, Afghanistan, Rocheuses canadiennes, Chaîne caraïbe du Venezuela, Pyrénées, Massif ardennais, Océan Indien Nord, fosse vocontienne, Maroc et Espagne, Oural méridional (Russie), Massif du Cantal, bassins de Paris et du sud-est de la France ... Plusieurs Publications relèvent de la paléontologie : paléobotanique du Carbonifère, radiolaires du Trias-Lias, foraminifères, récifs dévoniens, vertébrés paléozoïques ; d'autres sont thématiques : minéraux argileux, aquifère crayeux, événement anoxique cénomani, modélisation hydrodynamique des eaux souterraines ...
- des *Mémoires* : série interrompue en 1983, qui va être reprise en 2013 avec le volume XVII sur l'histoire de la SGN et des sciences de la Terre dans le nord de la France ;
- des *Tables Générales* : cinq publiées ; la 6e sera mise en ligne fin 2012 et imprimée dans le tome 20 des *Annales* en 2013.

Catalogue accessible à l'adresse suivante : <http://geosystemes.univ-lille1.fr/sgn.php?page=Publications>

DEVIATION DE LA ROUTE NATIONALE 10 A LISLE ET PEZOU (LOIR-ET-CHER) : PRISE EN COMPTE DU CONTEXTE GEOLOGIQUE DANS L'EXPLOITATION DE LA ROUTE

Deviation of the highway n° 10 at Lisle et Pezou (Loir-et-Cher, France) : taking into account the geological and hydrogeological context for the management of the road

par David MATHON (*) & Gugliemina OLIVEROS-TORO (**)

Résumé. — La déviation de la route nationale 10 entre Lisle et Pezou dans le Loir-et-Cher permet d'assurer une continuité en route express entre Vendôme et Chartres. Les travaux ont débuté en 2004 et l'infrastructure a été mise en service en décembre 2008. La déviation contourne les communes de Lisle et de Pezou par le nord-ouest, s'appuyant successivement sur des alluvions de la vallée du Loir, des argiles à silex, des colluvions de pente et sur des dépôts de l'Eocène situés sur le plateau. Ces formations de surface coiffent un substratum calcaro-crayeux datant du Turonien connu pour être particulièrement karstifié. L'apparition d'aléas géologiques récurrents et d'importance lors des phases de projet et de réalisation de l'infrastructure routière, a conduit la DREAL Centre à diligenter, auprès du CETE Normandie-Centre (Laboratoire Régional de Blois), une étude générale des risques géologiques et hydrogéologiques. Le rapport final est destiné à la direction interdépartementale des routes nord-ouest (DIR NO) pour son centre d'exploitation de Vendôme, gestionnaire de l'infrastructure. L'analyse, par le CETE, des différents rapports géotechniques et hydrogéologiques concernant la zone d'étude prouve que celle-ci présente un découpage structural assez dense qui commande notamment les écoulements de la nappe d'eau souterraine et le relief de surface. L'infrastructure routière, recoupant pour partie ces discontinuités structurales, rencontre donc plusieurs zones pouvant être propices à des manifestations géotechniques telles que des affaissements, des effondrements karstiques ou des glissements de talus. A la suite d'une analyse par photographie aérienne et d'un relevé de terrain systématique, des zones d'aléas spécifiques ont été identifiées et des préconisations particulières de gestion ont été définies.

Abstract. — The deviation of the national highway n°10 between Lisle and Pezou in Loir-et-Cher (France) participates at the continuity of service between Vendôme and Chartres. The work took place from 2004 to 2008 – opens to users in December 2008. The road bypasses the towns of Lisle and Pezou by the North West, and passes successively on colluvium of the Loir valley, the flint clay and the deposits of the Eocene on the plateau. These surface formations are topped by chalky-limestone bedrock dating from the Turonian known to be particularly karstified. Regular and critical geological hazards during project and eathworks periods, lead the DREAL Centre to initiate a general survey about geological and hydrogeological hazards of the road. The Laboratoire des Ponts et Chaussées de Blois (which belongs to the CETE Normandie Centre) did the work. Final report was sent to the management of interdepartmental roads direction northwest (DIR NO), specially for its operations center in Vendôme, which manages the infrastructure. The analysis, by the CETE, of various geotechnical and hydrogeological reports on the study area, shows that it presents an important structural fracturing which leads to flows of groundwater and surface reliefs. The road infrastructure, partly overlapping these structural discontinuities, thus cross several areas that may be favorable to geotechnical events such as subsidence, karstic collapses or slope failures. Following this analysis based on aerial photography and a systematic field survey, areas of specific hazards were identified and specific management recommendations have been defined.

Mots clés : Route express, fossé d'effondrement, Turonien, karsts, aléas.

Keywords : Highway, rift, Turonian, karsts, hazards.

I. — INTRODUCTION

Lisle et Pezou sont deux communes du Loir-et-Cher (France) contournées par la RN10 qui relie à cet endroit les villes de Chartres (au nord) et Tours (au sud). La déviation des deux bourgs a été mise en service en décembre 2008 : il s'agit d'un aménagement à caractéristiques de route express (2x2 voies séparées par un terre-plein et un mur central).

Tout au long de sa réalisation, divers aléas géologiques ont été constatés, ils ont parfois provoqué des désordres importants (effondrements karstiques, glissements) et certains ont nécessité des adaptations du projet significatives (mise au jour d'un poudingue présentant des éléments de plus de 100 m³ dans un déblai).

Afin de permettre aux services de la DIR-NO (direction interdépartementale des routes – nord-ouest) - district de

(*) CETE Normandie-Centre, Laboratoire Régional de Blois, 11 rue Laplace, CS 2912, 41 029 Blois Cedex ; david.mathon@developpement-durable.gouv.fr.

(**) DREAL Centre, 5 avenue Buffon, - BP 6407 - 45000 ORLEANS, Gugliemina.Oliveros-Toro@developpement-durable.gouv.fr.

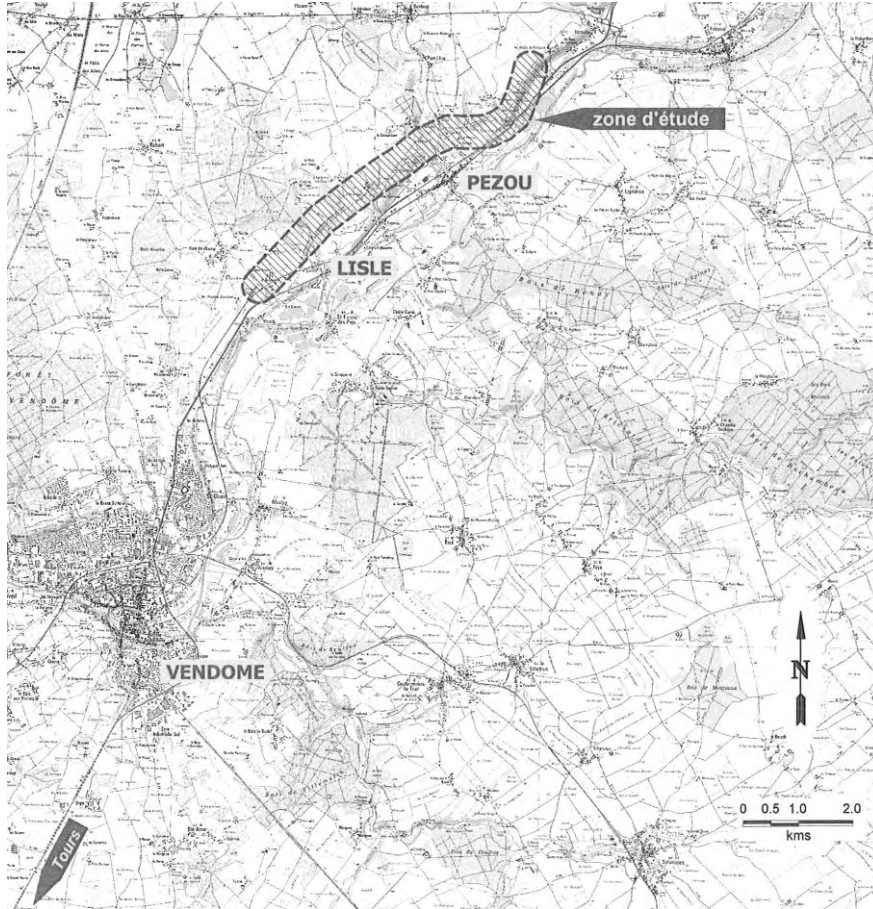


Fig. 1. — Localisation de la zone d'étude

Fig. 1. — Location of the study area

Vendôme, chargés de la gestion et de l'exploitation de la route, de suivre les zones à risques et prévenir au mieux les atteintes aux voies et aux ouvrages, la DREAL Centre a diligenté auprès du CETE Normandie-Centre (LR de Blois), une étude générale des risques géologiques et hydrogéologiques affectant l'ensemble du tracé (Rapport du CETE Normandie Centre (Janvier 2011). — LR Blois n° 11418.0 /RN10 – Déviation de LISLE et PEZOU : Analyse des risques géologiques et géotechniques).

Le présent article reprend les grands enseignements de cette étude et présente sa déclinaison auprès du service technique gestionnaire de la voie.

II. — CONTEXTE GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE

La zone d'étude se situe au nord du département du Loir-et-Cher (France), à 60 km à l'ouest d'Orléans. La déviation de Lisle et Pezou par la RN 10, contourne par l'ouest les deux communes de Pezou et de Lisle, situées en rive droite de la rivière Loir (Fig. 1). Le tracé d'environ 8 kilomètres présente un dénivelé d'une cinquantaine de mètres entre les cotes 88 m

et 135 m NGF. Du nord au sud, il suit l'évolution topographique suivante :

- départ au niveau de la vallée alluviale du Loir (lieu dit le Détour),
- montée régulière en profil mixte (déblai-remblai) en bordure du coteau de Gratte Chien,
- passage de deux thalwegs (Col Noir et le Gratte loup),
- montée progressive jusqu'au plateau,
- passage d'un thalweg (la vallée Aubernage),
- descente en profil mixte (déblai-remblai) sur le territoire de la commune de Lisle,
- connexion à la RN10 sur le territoire de la commune de Saint-Firmin-des-Prés au niveau topographique de la vallée du Loir.

D'un point de vue géologique, les informations de la carte géologique du BRGM (Fig. 2) au 1/50 000 montrent que la déviation de la RN 10 rencontre principalement des formations géologiques constituées par :

- des terrasses alluviales anciennes du Loir (sables limoneux ou argileux),
- des colluvions de l'ère tertiaire (argiles à silex) qui tapissent les pentes naturelles de la vallée du Loir (notamment toutes les sections en déblai-remblai),

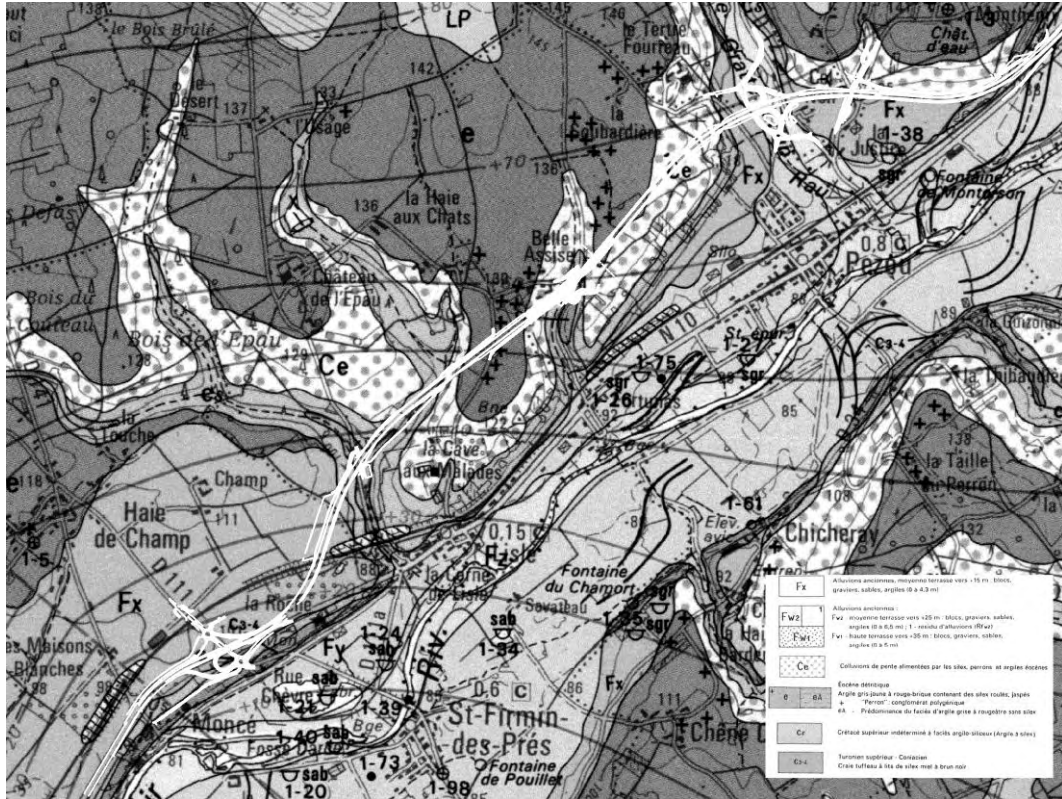


Fig. 2. — Extrait de la carte géologique au 1/50 000 du BRGM.

Fig. 2. — Excerpt from the BRGM geological map at 1:50,000.

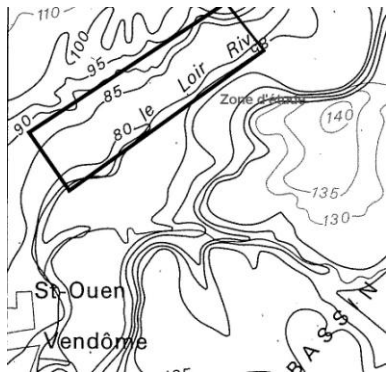


Fig. 3. — Extrait de la carte piézométrique du BRGM (et matérialisation de la zone d'étude).

Fig. 3. — Excerpt from the BRGM piezometric map (study area is in the frame).

III. — CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

L'analyse de la carte topographique de l'IGN montre la présence de cours d'eau, pérennes ou non, alimentés soit par des retenues colinaires (la Haie aux chats, la Haie des Biches, la Rondelière) soit par les eaux de ruissellement. Ces cours d'eau drainent le plateau situé au nord-ouest du tracé. La carte géologique montre que la nappe de la Craie, nappe phréatique principale, présente un pendage marqué vers le sud-est. Elle est localement drainée par le Loir. L'aménagement routier a recoupé plusieurs nappes perchées contenues dans les alluvions anciennes du Loir.

L'analyse de la toponymie prouve par ailleurs l'existence :

- de phénomènes de résurgences d'eau ; le lieu-dit « fontaine » est présent sur le bas des flanc de la vallée et la mention « source » apparaît aux mêmes endroits ;
- d'anciens effondrements karstiques ; ruisseau « le fossé de la Mardelle ».

D'après la carte géologique de Sélommès, la nappe de la Craie est « captive sous les formations de l'Eocène dans la zone d'extension des calcaires lacustres », elle est libre et drainée par le réseau de surface dans ses zones d'affleurement, et « dans la vallée du Loir, elle relaie la nappe alluviale, en l'absence d'écran imperméable entre les deux réservoirs. ». Il y a donc continuité hydraulique entre la nappe de la Craie et celle des alluvions du Loir. La carte piézométrique présente

- des formations calcaro-crayeuses de la fin de l'ère secondaire (Crétacé supérieur) rencontrées en fond de vallon et de déblai.

La zone d'étude est marquée par l'existence de nombreux accidents tectoniques d'orientation NW/SE qui découpent des compartiments selon cette direction. Ces discontinuités ont été reprises par le réseau hydrographique de surface qui recoupe la vallée du Loir.

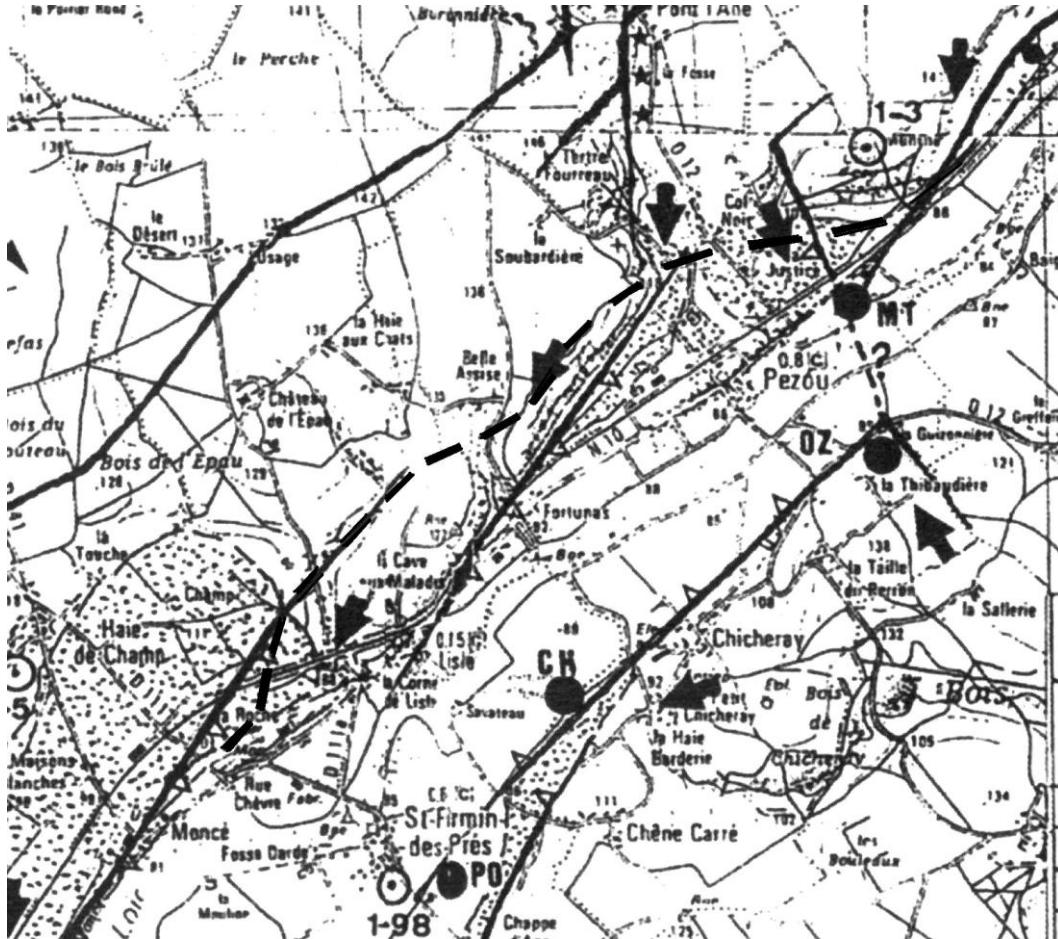


Fig. 4. — Cartographie structurale de la zone d'étude par « l'Association des amis des sources » (le tracé de l'actuelle RN10 est figuré par des tirets).

Fig. 4. — Structural mapping of the study area by the "Association of friends of springs" (the present RN10 layout is shown by dashes).

les isopièzes de la nappe de la Craie ainsi que la localisation de la zone d'étude (Fig. 3).

On note que la surface piézométrique de la nappe de la Craie est particulièrement chahutée en amont de la déviation de la RN 10. Ces modifications dans les isopièzes sont dues à la multiplication des fractures tectoniques perpendiculaires à l'écoulement local du Loir qui constituent des axes de drainage préférentiels vers celui-ci. Par ailleurs, la carte géologique de Vendôme mentionne la présence de « goulets karstiques... sur les flancs de vallées où la pénétration atteint le niveau de la rivière », « des entonnoirs karstiques reconnus par sondages sur les plateaux et ... des effondrements (fontis, bétoires,...) de type doline observés à travers la couverture d'argile à silex et de terrains éocènes. »

Ces marques de dissolution de type karstique ont été reconnues lors de la réalisation des travaux de la déviation de la RN 10. Des effondrements d'origine karstique ont été relevés en différents endroits et plus particulièrement au niveau des ouvrages hydrauliques et de rétablissement (placés par définition au niveau de thalwegs qui constituent des axes de drainage de la nappe). Ainsi, le risque d'effondrement se concentre au niveau des axes de drainage

(lieux où la charge hydraulique est la plus forte) qui sont, par définition, les thalwegs et les zones faillées.

IV. — INVESTIGATIONS

1) Bibliographie

a) Chronique des sources et fontaines

La consultation de l'article « Émergences de la nappe du Turonien dans la vallée du loir entre Morée et Vendôme » (Chronique des Sources et Fontaines 1996 ISSN 1265-5139) apporte de nombreuses informations sur la géologie structurale de la zone d'étude. Ainsi l'article montre qu'un système de failles délimite un fossé d'effondrement : le fossé de Saint-Firmin-des-Prés. La carte de la figure 4 reprend ces informations et montre les écoulements présumés des circulations souterraines de la nappe de la Craie. La lecture de la carte montre que deux sections de la voie express sont situées sur des zones de confluence d'accidents tectoniques : l'extrémité nord du projet et la vallée du Gratte-Loup. Ces zones correspondent aux ouvrages d'art 5 (OA 5) et ouvrage hydraulique 6 (vallée du Gratte-Loup – OH6) et au

rétablissement de la voie départementale 8 (VD8) avant la connexion nord sur l'ancienne RN10.

b) Études géotechniques

En phase d'avant-projet, projet, au cours des travaux et en exploitation, le tracé de la déviation de la RN 10 a fait l'objet de plusieurs études. Ces études concernent à la fois les ouvrages d'art et la section courante. Plusieurs rapports d'avant-projet ont attiré l'attention du maître d'ouvrage sur la présence de cavités anthropiques et naturelles au droit du tracé. Des sondages de reconnaissance ont mis en évidence des zones décomprimées (ou petits vides) et ont conduit à des préconisations particulières pour la réalisation des fondations des ouvrages d'art (pieux tubés forés).

En phase chantier, deux effondrements notables ont été constatés :

- le plus volumineux, en avril 2004, était situé au droit de la section courante (au niveau de l'OA 5). L'effondrement (Fig. 5) était de forme circulaire (5 mètres de diamètre pour 4,50 mètres de profondeur). Il a été rebouché en urgence pour des questions relatives à la sécurité du personnel travaillant sur le site et a conduit à une étude globale du secteur par microgravimétrie et sondages destructifs. Les investigations ont montré l'existence de nombreuses poches de dissolution karstiques majoritairement remplies de sédiments.

- en décembre 2007, un effondrement circulaire (Fig. 6) d'environ 25 m³ est relevé en amont de la déviation dans un fossé de collecte d'eaux pluviales dont le tracé a été modifié par le projet. Un rebouchage et un étanchement du fossé ont été préconisés pour des raisons de sécurité. Des recherches complémentaires par sondages et cylindres électriques n'ont pas mis de cavité franche en évidence. Toutefois, des axes de dissolution se dessinent selon une orientation qui semble en liaison avec celle des failles reconnues localement dans la vallée du Loir.

Par ailleurs, certains talus de la déviation ou de voies locales rétablies dans le cadre du projet ont présenté des glissements d'ampleur variable. Le plus important est le glissement du talus de la voie communale n° 5 : le projet intégrait le rétablissement d'une voie d'accès aux parcelles agricole d'un riverain par ouverture d'une voie sur le flanc d'une colline. Les investigations d'avant projet avaient reconnu un ensemble d'alluvions du Loir. Les travaux ont mis à jour des formations à spongolites, sans cohésion, avec présence d'une nappe perchée. La mise en charge de cette nappe a entraîné le glissement de l'ensemble du talus (Fig. 7). Une consolidation de l'ensemble du talus a donc été mise en place (masque drainant) afin de stabiliser mécaniquement celui-ci et de dissiper la charge hydrostatique de ces terrains (Fig. 8).

2) Photo-interprétation

Plusieurs missions photographiques (datant de 1956 à 2002) ont été visionnées afin de détecter des anomalies topographiques par analyse des vues aériennes. indices ont ainsi été mis en évidence (Fig. 9). On note une concentration d'indices topographiques (dépressions, zones humides, végétation hydrophile...) au niveau des axes de drainage du plateau qui correspondent aux thalwegs et donc, aux ouvrages



Fig. 5. — Vue de l'effondrement d'avril 2004.

Fig. 5. — View of the collapse of April 2004.



Fig. 6. — Vue de l'effondrement de décembre 2007.

Fig. 6. — View of the collapse of December 2007.



Fig. 7. — Vue du glissement de la VC5.

Fig. 7. — View of the VC5 sliding.



Fig. 8. — Vue du masque drainant.

Fig. 8. — View of the stabilizing and drainage system composed of rocky materials

d'art. Ces indices s'alignent également sur les observations structurales relevées par l'association des amis des sources.

V. — RELEVÉS DE TERRAIN APRES MISE EN SERVICE

Après la mise en service de l'aménagement, des relevés de terrains ont été faits tout au long du tracé et ont été confrontés aux analyses des photographies aériennes. Par

ailleurs, d'autres anomalies ont été vues lors du cheminement. Au final, 104 observations ont ainsi été relevées. Ces observations concernent :

- principalement des désordres mineurs liés à la réalisation des travaux de construction de la déviation (rupture d'écoulements hydrauliques dans les fossés : Fig. 10),
- des indices d'instabilité de certains talus (Fig. 11) dont la cause n'est pas toujours évidente (résurgence de nappe perchée, pente adoptée trop importante...),
- des tassements ponctuels ou linéaires (Fig. 12) liés à des défauts de terrassement ou des causes naturelles (affaissements).

VI. — SYNTHÈSE ET PRECONISATIONS

Au vu de l'ensemble des analyses effectuées sur le tracé de la déviation de Lisle et Pezou, il apparaît que les désordres passés et à redouter se concentrent principalement sur trois zones : vallée du Gratte-loup et OA5, l'OA4 et la connexion avec l'ancienne RN 10. Ces désordres sont (ou seront) :

- soit d'origine naturelle : résurgence de nappe, effondrement de cavités karstiques...
- soit liés à la conception des travaux (zone en profil mixte),
- soit liés à l'exécution des terrassements de la déviation : pente excessive de certains talus, fossés instables.

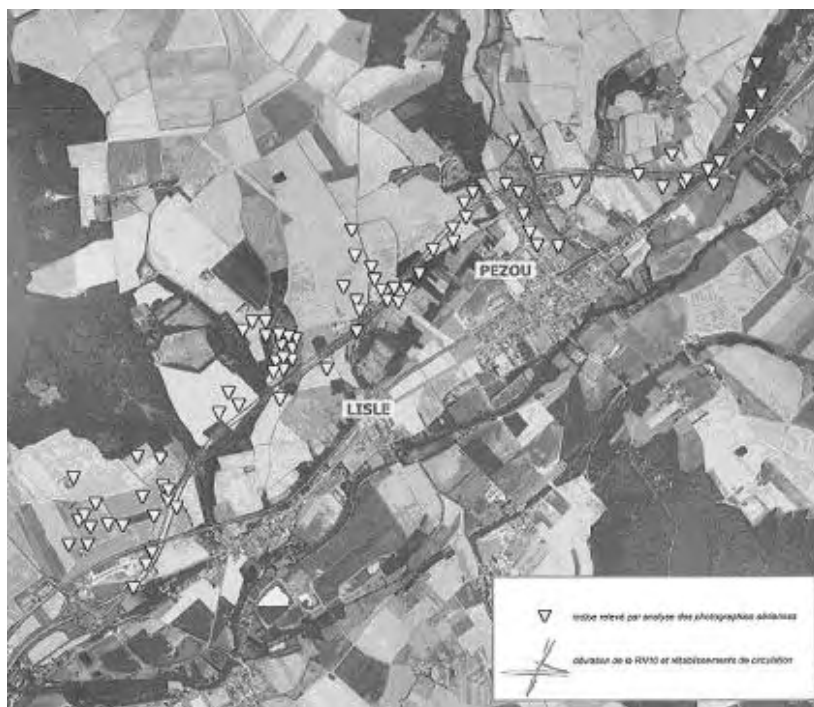


Fig. 9. — Extrait de la carte des indices relevés par photographie aérienne.

Fig. 9. — Excerpt of index map raised by aerial photography.



Fig. 10. — Rupture de la continuité hydraulique dans un fossé.
Fig. 10. — Interruption of the hydraulic continuity in a ditch.



Fig. 12. — Affaissement circulaire proche de l'OA5.
Fig. 12. — Circular sinking near OA5.



Fig. 11. — Loupe de glissement dans un talus nord du projet.
Fig. 11. — Circular slide in a northern slope of the project.

Ainsi sur la base des investigations réalisées et des désordres passés, deux types d'aléas ont été identifiés et cartographiés (Fig. 13), il s'agit :

- des glissements de terrain ;
- des effondrements liés à des phénomènes karstiques.

VII. — PRESENTATION DES RESULTATS AUPRES DU CENTRE D'EXPLOITATION ET D'INTERVENTION DE VENDOME

La carte de zonage précédemment évoquée est accompagnée de préconisations adaptées à chaque zone d'aléas reconnus. Les recommandations consistent en une

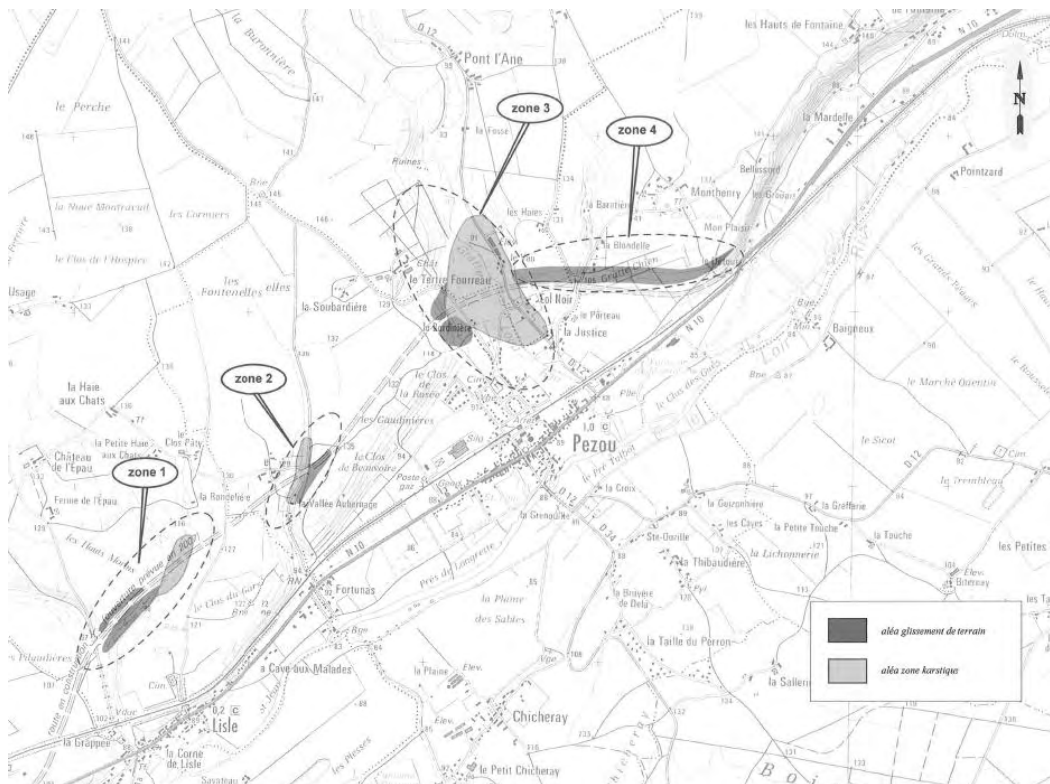


Fig. 13. — Extrait de la cartographie d'aléa de la déviation.
Fig. 13. — Excerpt of the hazard map of the deviation.

observation régulière de terrain (organisation d'une visite annuelle sur l'ensemble des zones d'aléa) et en une bonne gestion des eaux pluviales du site (éviter les infiltrations ou accumulations ponctuelles). En mai 2011, l'étude a été présentée, en salle, aux équipes de patrouille et d'intervention du centre d'exploitation et d'intervention de Vendôme, Direction Interrégionale des Routes Nord Ouest (CEI de Vendôme – DIR-NO). La visite de terrain qui a suivi a été

l'occasion d'une observation fine des points d'aléas. Les préconisations portées sur le rapport permettent au CEI de Vendôme, service de gestion de la déviation, de considérer le risque géologique et géotechnique et de suivre son évolution. Cette sensibilisation des équipes intervenant quotidiennement sur l'aménagement routier garantit une appropriation des zones d'aléas par du personnel non spécialisé mais qui possède un sens aigu de l'observation et de la réaction.

BIBLIOGRAPHIE

COLLECTIF ASSOCIATION DES AMIS DES SOURCES (1996).
— Émergences de la nappe du Turonien dans la vallée du Loir entre Morée et Vendôme. *Chronique des sources et Fontaines*, **1996**: 29-36.

Rapport du CETE Normandie Centre (Janvier 2011). -- *LR Blois n° 11418.0 /RN10 - Déviation de LISLE et PEZOU : Analyse des risques géologiques et géotechniques*. [inédit].

PRISE EN COMPTE DE L'ALEA « CAVITES » DANS LA DEFINITION DE CAMPAGNES GEOTECHNIQUES

Account of cavities hazard in mounting of geotechnical campaigns

par Jean-Michel VAILLANT (*)

Résumé. — La présente communication traite de la prise en compte de l'aléa mouvement de terrain lié aux cavités souterraines abandonnées dans le cadre de l'exécution de missions géotechniques en région Nord – Pas De Calais. Ces cavités, rencontrées principalement dans les horizons crayeux, sont majoritairement d'origine anthropique. Dans les secteurs à risque, elles posent un réel problème constructif et doivent être considérées comme un aléa majeur dès l'exécution des études géotechniques préalables, à savoir les missions de classe G1 selon la norme NFP 94-500. L'objectif de cet article est de recenser l'ensemble des éléments permettant de cerner au mieux cet aléa (P.E.R. et P.P.R. des communes, les sites web spécialisés ou la littérature ainsi que la base de données interne à l'entreprise). Un éventail des types d'investigations géotechniques spécifiques dans le cadre des projets de construction est ensuite présenté au travers d'exemples locaux dans des configurations géologiques et historiques variées et ce, pour différents types d'enjeux.

Abstract. — *This paper focuses on "underground cavities" hazard in execution of geotechnical missions in the Northern France. These cavities, from anthropogenic origin, are encountered especially in chalky horizons. In risk areas, they occur a real problem in construction and should be considered as a major hazard in the execution of first geotechnical studies, which are missions G1 according to the French normative text NFP 94 -500. The objective of this paper is to define the existing elements in order to identify as well as possible this hazard (risk perimeters of cities, specialized websites or literature and the internal database of the company). Then specific geotechnical investigations are detailed for local construction projects regards to various construction, geological and cavity kinds.*

Mots clés : cavité, craie, forage, géophysique, géotechnique.

Keywords : cavity, chalk, drilling, geophysical and geotechnical engineering.

I. — INTRODUCTION

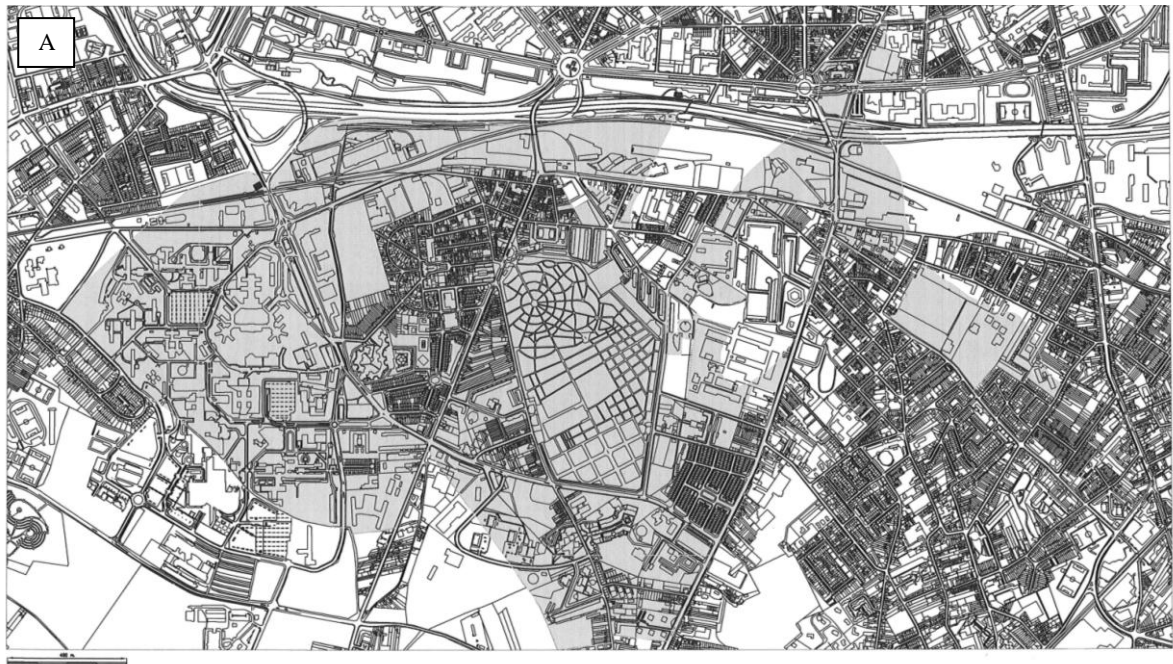
Dans certains secteurs de la région Nord Pas de Calais, de nombreuses cavités peuvent être rencontrées en sous-sol et notamment dans les horizons crayeux du Mésozoïque (ex « Secondaire »), pour des profondeurs pouvant aller à plus de 30 m par exemple dans le Cambrais. Celles-ci peuvent être d'origine naturelle (poche de dissolution dans la craie) mais sont majoritairement d'origine anthropique et donc liées à des activités humaines antérieures diverses (carrières souterraines).

Les premières questions venant à se poser concernant ces cavités sont donc quelles sont leurs types et leurs origines, ainsi que quelles peuvent être les zones sous cavées, cet aléa engendrant alors une zone à risque dans le cas d'un enjeu (projet de construction par exemple). Dans tous les cas, la nécessité de prendre en compte cet aléa peut être reliée à de nombreux événements plus ou moins récents tels que par exemple l'effondrement constaté au sein d'une station service en activité à Bapaume en 2010 ou au sein d'un lycée à Arras en 2012.

La norme des missions d'ingénierie géotechnique (NFP 94-500 révisée en décembre 2006), précise que dans le cadre des études géotechniques préalables G1, il faut d'une part effectuer une première vérification des risques (mission G11 : étude géotechnique préliminaire de site) et d'autre part identifier les aléas majeurs (mission G12 : étude géotechnique d'avant projet), pouvant avoir un impact sur la réalisation du projet de construction. La recherche de cavités, dans le cadre d'un projet de construction, entre dans le cadre de l'aléa majeur et doit donc être pris en compte dans le cadre des missions G12 telles que définies par cette même norme.

A cet effet, on rappellera qu'une investigation classique consiste en la réalisation de deux sondages (dont au moins un avec essais mécaniques) pour un pavillon d'une surface de 100 m², ce qui représente ainsi moins de 0,005 % de la surface investiguée. Dans ces conditions, une cavité de quelques mètres cubes dans des horizons crayeux peut ne pas être décelée et néanmoins avoir un impact considérable sur l'ouvrage en construction. Dès que la présence de cavité souterraine est suspectée, des moyens spécifiques sont ainsi à mettre en œuvre.

(*) FONDASOL, Agence de Lille, 16 Rue des Entrepreneurs, CS 33021, 59703 MARCQ-EN-BAROEUL ; jean-michel.vaillant@fondasol.fr.



■ Zone bleue
□ zone blanche

Lille

29/09/2003

PER approuvé le 16 mai 1990



■ Zone bleue
□ zone blanche

Loos

29/09/2003

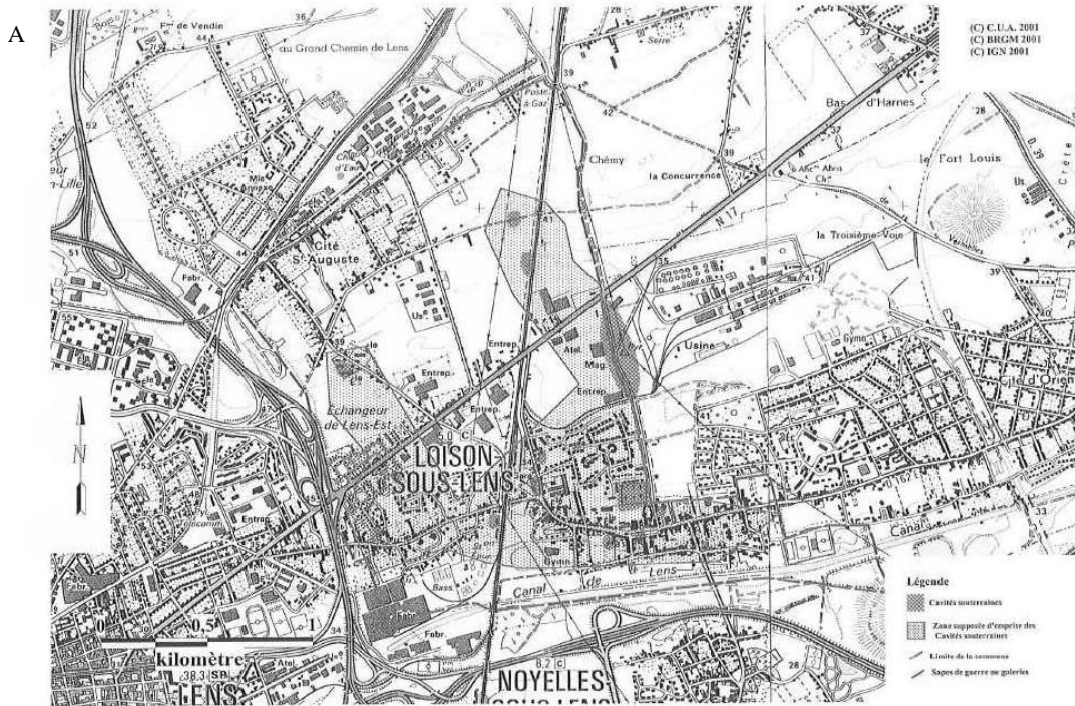
PER approuvé le 10 septembre 1992

Fig. 1. — Cartes du P.E.R. de LILLE (A) et LOOS (B).

Fig. 1. — Risk perimeters of LILLE (A) and LOOS (B) cities in Northern France.

COMMUNE DE LOISON-SOUS-LENS : POSITIONNEMENT DES CAVITES SOUTERRAINES CONNUES

N° 26



COMMUNE DE ROUVROY : POSITIONNEMENT DES CAVITES SOUTERRAINES CONNUES

N° 20

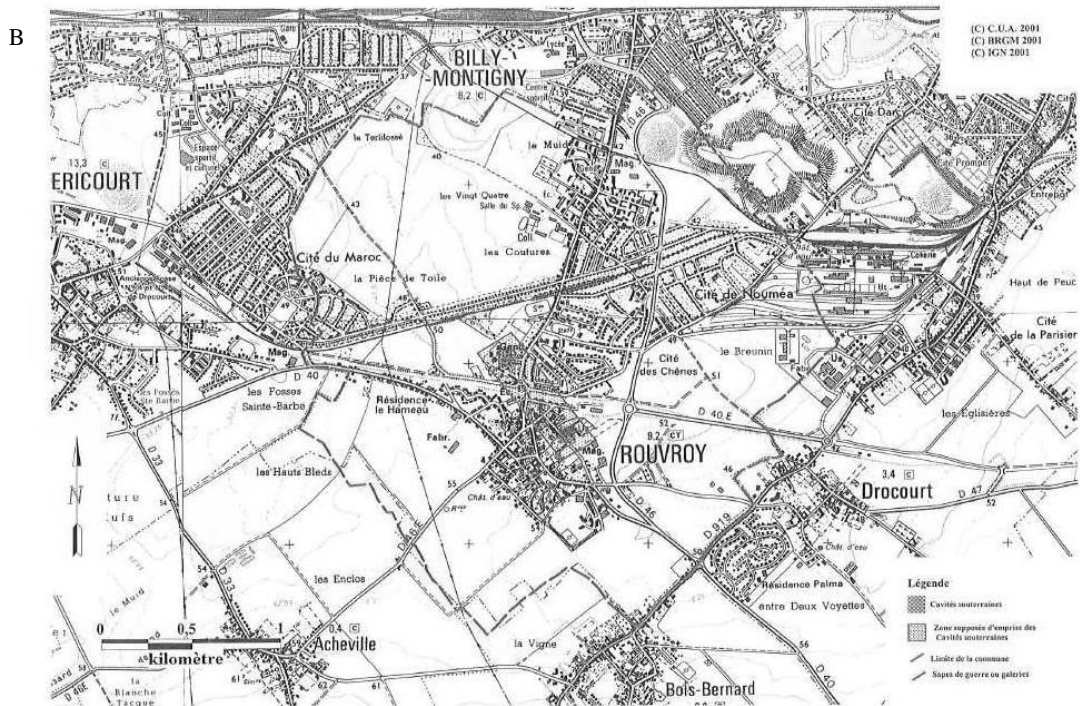


Fig. 2. — Cartes des zones à risque de cavités pour LOISON SOUS LENS (A) et ROUVROY (B).

Fig. 2. — Cavities risk perimeters of LOISON SOUS LENS (A) and ROUVROY (B) cities in Northern France.

La suite de cet article s'attache donc à présenter les différents outils documentaires disponibles dans le cadre de la définition de l'aléa et à dresser une liste (non exhaustive) des méthodes utilisables au travers d'exemples issus d'études réalisées par l'agence FONDASOL de Lille.

Il fait suite à la communication orale réalisée lors du forum GEOREG (Vaillant, 2011).

II. — RESSOURCES DOCUMENTAIRES

Les principaux documents disponibles concernant les zones à risque liées à l'aléa cavités sont les P.E.R. (Plan d'Exposition aux Risques) ainsi que les P.P.R. (Plan de Prévention des Risques) des communes. Les premiers concernent Lille (59) et différentes communes environnantes, les seconds concernent quant à eux certaines communes du Valenciennois dont Valenciennes (59). Sur ces plans, la notion de zone bleue correspond à un risque moyen à fort vis-à-vis de la présence de cavités souterraines alors que la zone blanche correspond à un risque faible (voire nul). La définition de ce zonage étant issue notamment de la superposition d'une carte d'aléas ainsi que d'un enjeu constructif. On trouvera à cet effet (Fig. 1A-B) et à titre d'exemple, deux cartes du PER pour les communes de Lille (59) et de Loos (59).

D'autres cartographies précises sont disponibles, établies notamment par le Conseil Général du Nord quand il assurait la mission de Service d'Inspection des Carrières Souterraines (SDICS). L'ensemble des documents a ensuite été transféré aux communes concernées lorsque le Conseil Général s'est désengagé de cette mission en 2006.

Le BRGM (Bureau des Ressources Géologiques et Minières) a également établi de nombreuses cartes pour plusieurs communes du Pas de Calais. Sur ces cartographies sont reproduits les zones de cavités connues, la présence possible de sapes le cas échéant, ainsi que le contour d'une zone à risque, là aussi reproduite en bleu. Les figures 2A et B donne un exemple de cartographies établies pour les communes de Loison-sous-Lens (62) et Rouvroy (62).

Le site internet www.bdcavites.net, géré par le BRGM, permettra à terme de localiser les cavités connues et référencées mais ne donnera aucun plan de zonage des risques vis-à-vis de cet aléa.

La littérature locale est assez riche, on citera en particulier l'ouvrage de B. BIVERT (1988), qui permet d'avoir des plans de cavités connues mais aussi une idée du type de cavités ainsi que les profondeurs probables du toit et du mur de ces ouvrages.

Des levés géométriques de cavités peuvent également avoir été réalisés ponctuellement dans certains secteurs concernés par des programmes de rénovation urbaine et montrer éventuellement des départs de galeries vers d'autres parcelles non investiguées. La figure 3 donne un exemple de ce genre de document : extrait de plan de carrières de type chambres et piliers au Sud de Lille, document établi pour le compte de la SORELI, Société Anonyme d'Economie Mixte de Rénovation et de Restauration de Lille.

Des synthèses méthodologiques ont été publiées récemment et font le point sur l'état de l'art en matière de recherche et traitement des cavités souterraines abandonnées. On citera notamment les recommandations relatives à la problématique de cavités telles que publiées par l'IGC (Inspection Générale des Carrières, 2003), le rapport de synthèse du LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées : Pothérat, 2005) ainsi que le rapport d'étude d'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des risques, 2007).

La base de données interne de l'agence FONDASOL de Lille, sur plus de 40 ans, permet également *via* de nombreuses investigations tenant compte de cet aléa cavités, d'avoir rapidement une vision quantitative du type de cavités dans certains secteurs et ce, dans le cadre de la définition de nouvelles campagnes d'investigation géotechnique tel qu'abordé au travers de quelques exemples dans la partie suivante.

III. — INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

Les cavités recherchées peuvent être soit des exploitations humaines (de type chambres et piliers, catiches, etc.), soit des ouvrages militaires (de type salles, refuges, sapes de guerre, etc.), soit encore plus rarement des cavités naturelles. Des levés plus ou moins détaillés sont parfois disponibles (Fig. 4A-B représentant des catiches dans le secteur de Lille (59) ou de galeries à Valenciennes (59)).

Après l'enquête documentaire basée sur les différents documents disponibles listés dans la partie précédente, le second point à prendre en compte est la visite sur site qui permet de repérer certains indices ainsi que de mener une enquête locale auprès des habitants de proximité. A titre d'exemple, on trouvera (Fig. 5A-B) deux photographies de fontis et/ou effondrement liés à une remontée de voûte de cavité au sein des horizons crayeux à Lille (59) en 2007 (liée à des chambres et piliers) et à Arras (62) en 2012 (liée a priori à une galerie).

Ensuite, les premières investigations à réaliser sur site, excepté pour des terrains présentant des surfaces peu importantes, sont menées *via* des méthodes géophysiques adaptées à l'ensemble du site. Celles-ci peuvent être de différents types à savoir de type microgravimétrie, sismique réflexion, électromagnétisme, méthode radar ou encore par une combinaison de ces différentes méthodes, la microgravimétrie étant par expérience la méthode la plus adaptée localement compte tenu des types et profondeurs des vides recherchés dans la région.

On rappellera qu'une cavité ne peut être détectée par une méthode microgravimétrique que dans cas où la hauteur de recouvrement (distance entre le TN et le toit de la cavité) est inférieure à 3 fois la hauteur de cette cavité.

Les figures 6A et B montrent une carte d'isorésistivité électromagnétique de type EM31 réalisée à Tilloy-lez-Cambrai (59) en 2005 ainsi que une carte de microgravimétrie réalisée à Lesquin (59) en 2009. La campagne électromagnétique avait ainsi permis de mettre en évidence des valeurs de résistivité électrique globalement homogènes sur toute la parcelle à Tilloy-lez-Cambrai (59) ce qui montrait

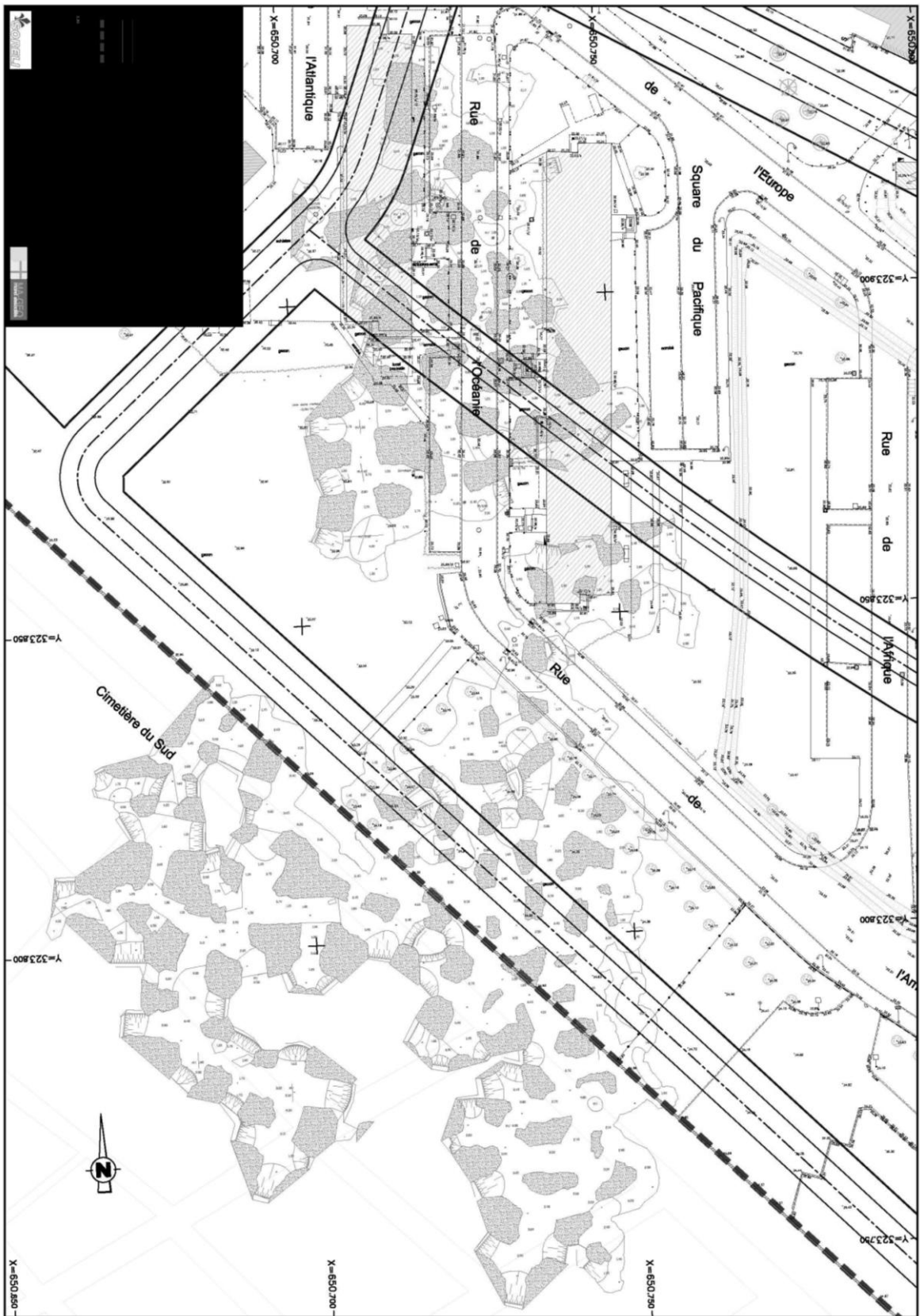


Fig. 3. — Plan de cavités connues au Sud de LILLE.

Fig. 3. — Known cavities in Southern of LILLE.

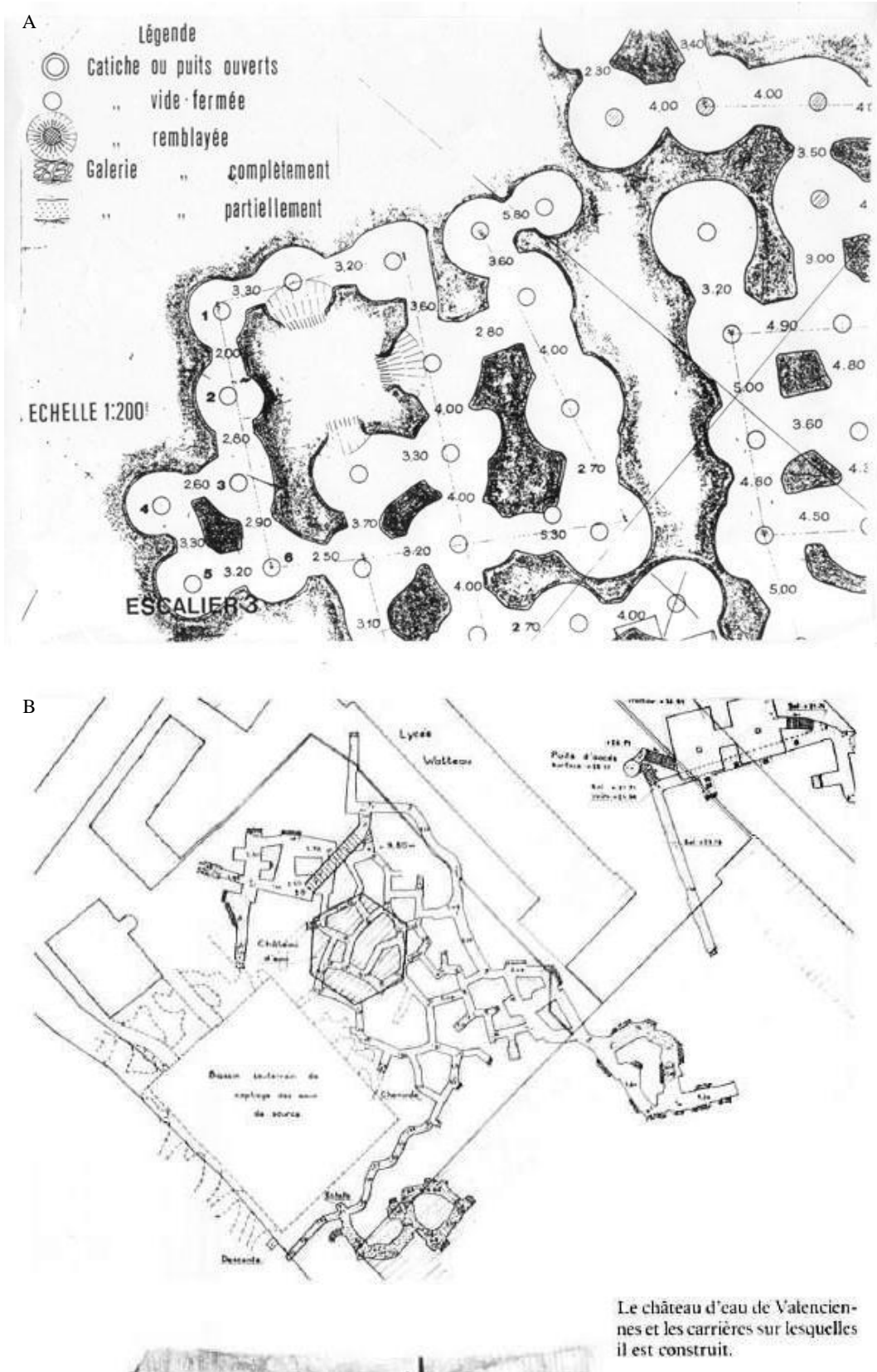


Fig. 4. — Plan de catiche dans le secteur de LILLE (A) et de galeries à VALENCIENNES (B).

Fig. 4. — Cavities survey near LILLE (A) and in VALENCIENNES (B).

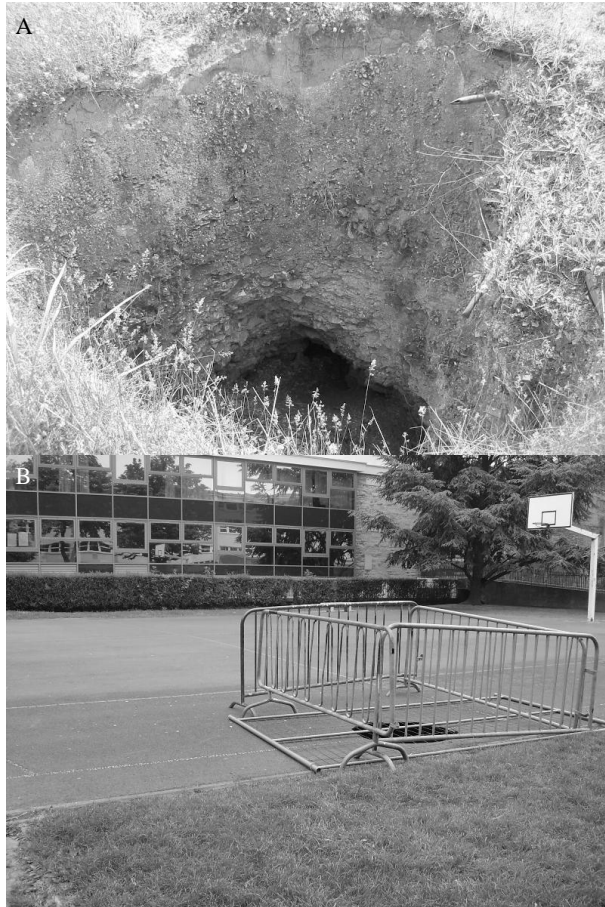


Fig. 5. — Effondrements à LILLE en 2007 (A) et ARRAS en 2012 (B).

Fig. 5. — Collapses in LILLE in 2007 (A) and ARRAS in 2012 (B).

a priori une absence d'anomalie importante au droit du site. La campagne microgravimétrique réalisée à Lesquin (59) mettait quant à elle en évidence une anomalie négative principale très prononcée au droit du site étudié, ce qui était à recouper de prime abord avec la présence possible de champs de catiches très présents dans ce secteur.

Toute méthode géophysique doit ensuite être contrôlée par forages mécaniques, de préférence destructifs, avec enregistrement des paramètres de forage. Leur positionnement est quant à lui défini à l'aide des anomalies mises en évidence *via* les campagnes géophysiques, ce qui permet notamment de ne pas réaliser ces forages destructifs systématiquement sur la totalité de la parcelle. Ceux-ci doivent être descendus au minimum 1 m sous la base prévisible des cavités connues dans le secteur étudié, soit généralement une profondeur de l'ordre de 15/16 m au Sud de Lille (59) mais pouvant atteindre près de 30 m dans le secteur « gare » de Cambrai (59).

Les enregistrements de paramètre de forage peuvent également être utilisés quantitativement dans les études géotechniques postérieures (missions G2 ou G3, où une approche des quantités est réalisée) *via* l'utilisation des paramètres croisés (Reiffsteck, 2010), notamment dans le calcul théorique des volumes de comblement des cavités

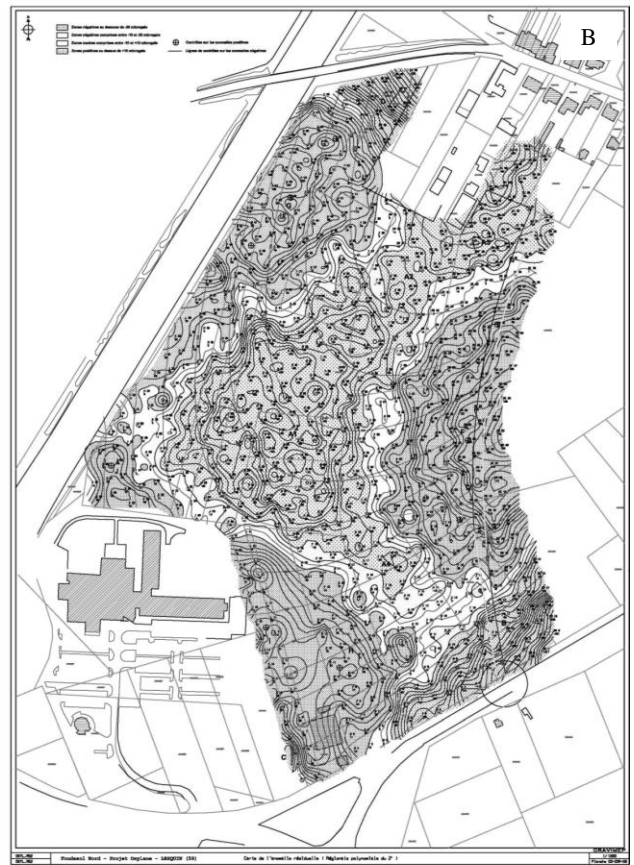
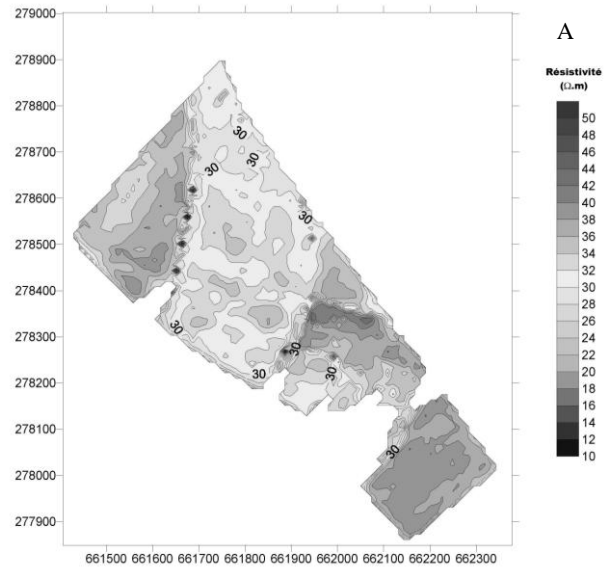


Fig. 6. — Campagnes électromagnétique à TILLOY LEZ CAMBRAI (A) et microgravimétrique à LESQUIN (B).

Fig. 6. — Electromagnetic survey in TILLOY LEZ CAMBRAI (A) and microgravimetric survey in LESQUIN (B).

pouvant être partiellement remblayées ou non. Les figures 7A et B montrent une diagraphie de forage destructif réalisé au lycée Duez à Cambrai (59) en 2008, pour le compte du Conseil Régional Nord – Pas-de-Calais ainsi qu'à Lesquin (59) en 2009 pour le chantier cité précédemment.

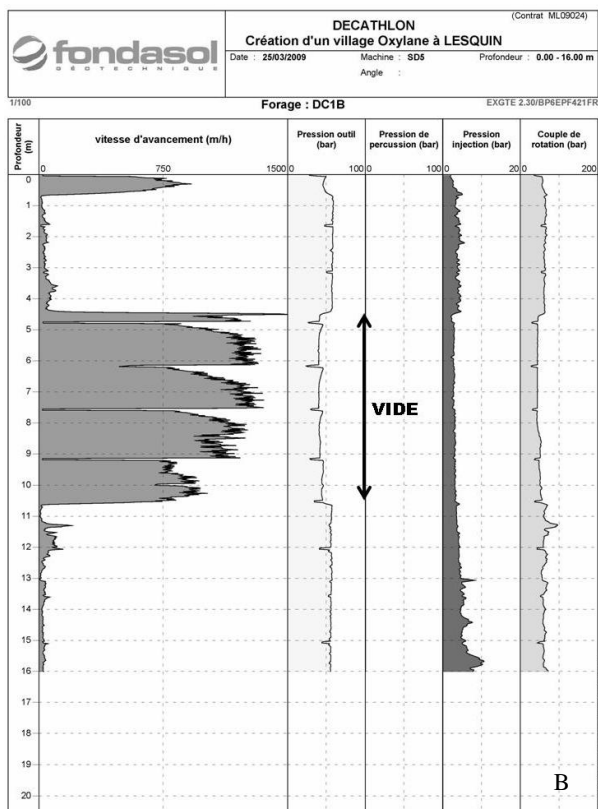
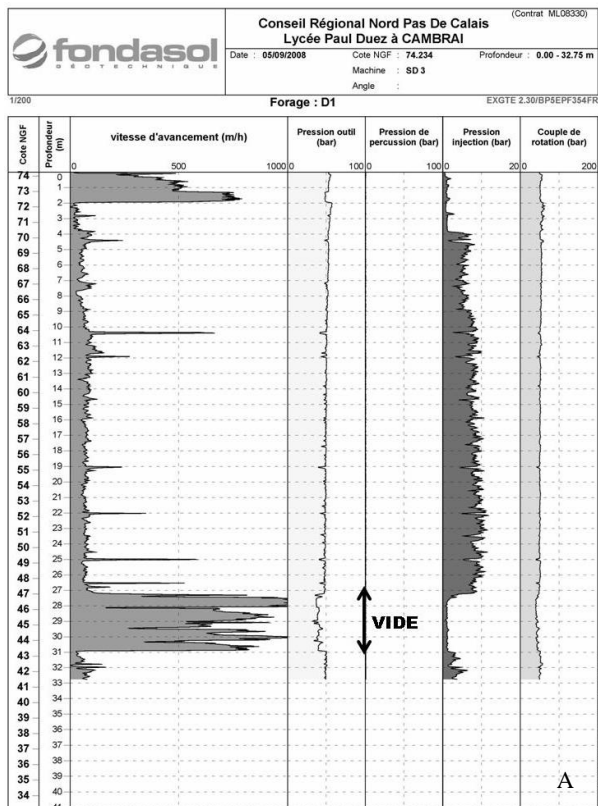


Fig. 7. — Forages destructifs à CAMBRAI (A) et à LESQUIN (B).
Fig. 7. — Drilling logs in CAMBRAI (A) and LESQUIN (B).

A proximité immédiate de l'entrée principale du lycée, l'investigation met en évidence une salle souterraine entre 25 et 29 m de profondeur dans les horizons crayeux à Cambrai (59) et une cavité de type catiche (non isolée) avait quant à elle été repérée à Lesquin (59). Cette interprétation est toutefois issue de l'inspection vidéo des vides rencontrés tel que précisé ci-après, car le forage ne permet de mettre en évidence qu'une hauteur de vide et n'est pas suffisant en lui-même pour définir le type de vide.

Enfin, dans le cas de la rencontre de vide franc, comme cité précédemment, et sur une hauteur supérieure à 80 cm, il est fortement recommandé de réaliser un réalésage des forages pour ensuite effectuer un reportage photographique voire de préférence un reportage vidéographique couplé à un levé laser des cavités rencontrées en 2D ou en 3D. Ces données seront alors utilisables pour tenter de définir l'origine du vide mais également pouvoir calculer des volumes de vides à combler. Les figures 8A et B représentent une photographie issue du reportage vidéo ainsi que la diagraphie du levé laser réalisée au droit d'un des vides rencontrés sur le chantier de Lesquin (59).

Cette dernière investigation confirme bien la présence d'une catiche et permet également de mettre en évidence un départ de galerie vers une autre cavité à proximité qui a également été rencontrée en forage et qui a fait l'objet d'un reportage vidéo laser. Notre campagne d'investigation a ainsi permis de mettre en évidence dans l'une des anomalies de la microgravimétrie réalisée au préalable, un ensemble de 3 catiches isolées (mais reliées entre elles) au Sud-ouest de la parcelle concernée.

IV. — CONCLUSION

La présente publication porte donc sur la prise en compte de l'aléa cavités dans la définition de campagnes d'investigations géotechniques dans le Nord – Pas-de-Calais.

La norme NFP 94-500 applicable par la profession de l'ingénierie géotechnique en France impose la prise en compte des aléas dès les premiers stades d'études pour en maîtriser les risques.

L'article présente un panorama des outils documentaires disponibles et des méthodes d'investigations à mettre en oeuvre pour répondre aux exigences de la norme. Parmi les méthodes présentées, l'enchaînement d'investigations géophysiques, de forages de contrôle mécaniques assortis le cas échéant d'un reportage des cavités rencontrées donne les meilleures garanties pour circonscrire l'aléa.

Nous rappelons néanmoins que les études géotechniques réalisées en phase d'étude préalable de site pour lever ou non l'aléa cavités sont nécessaires mais non suffisantes pour définir le système de fondations des ouvrages. A la suite à ces campagnes de recherche de cavités, il est nécessaire de prévoir une investigation géotechnique spécifique relative à la mission G12 de la norme NFP 94-500 et permettant alors d'étudier la faisabilité du (ou des) système(s) de fondations à retenir pour les ouvrages ainsi que d'effectuer une étude géotechnique d'avant projet de tout ouvrage projeté et ce, en conformité avec les PPR/PER.

A



FORAGE N° DC1A: Coupe horizontale de la cavité

B

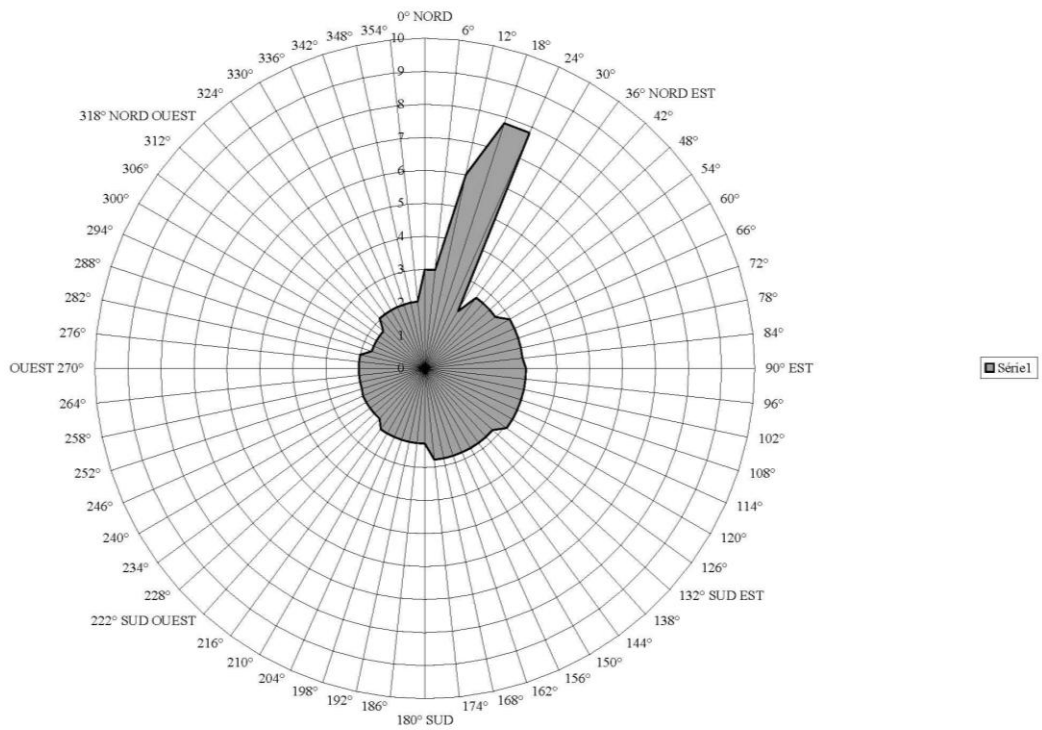


Fig. 8. — Photographie d'une cavité (A) et diagraphie du levé laser (B) à LESQUIN.

Fig. 8. — Cavity photography (A) and laser log (B) in LESQUIN.

Remerciements. — Au travers de cet article, nous tenons à remercier en premier lieu les services publics associés aux différents documents cités que sont le Conseil Général du Nord et en particulier le Service d'Expertise et d'Ingénierie des Sols et Matériaux (ex – SDICS), le Bureau des Recherches Géologiques et Minières ainsi que Lille Métropole Communauté Urbaine.

Nous tenons également à remercier nos clients pour les différentes affaires citées que sont le Groupe OXYLANE, le Conseil

Régional Nord – Pas-de-Calais, la Communauté d'Agglomération de Cambrai ainsi que KIEKEN Immobilier Construction.

Enfin, nous tenons à remercier nos prestataires réalisant ce type d'investigations en partenariat avec notre société que sont GRAVIMEP, INNOGEO ainsi que INTROVISION.

BIBLIOGRAPHIE

BIVERT B. (1988). — Les souterrains du Nord Pas de Calais, Ed. B. BIVERT, Cuincy : 358p.

IGC (2003). — Injection gravitaire, clavage et traitement des fontis, préalables à la mise en œuvre de fondations profondes, de type pieux ou micropieux de type supérieur ou égal à II, en zone sous minée par d'anciennes carrières souterraines ou à ciel ouvert, Notice Technique, 06 janvier 2003.

INERIS (2007). — Evaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière, rapport d'étude DRS-07-86090-05803A, 16 avril 2007.

NFP 94-500 — Classification des Missions Géotechniques Types, Révision Décembre 2006.

POTHERAT P. (2005). — L'opération de recherche « Carrières souterraines abandonnées » localisation, diagnostic de stabilité, gestion, Rapport de synthèse, Géotechnique et risques naturels GT 77, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, ISSN 1157-3910.

REIFFSTECK P. (2010). — Utilisation des paramètres de forage en reconnaissance géotechnique, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur 2010, Grenoble (France), Tome 1, 157 – 164.

VAILLANT JM. (2011). — Prise en compte de l'aléa cavités dans la définition de campagnes géotechniques, In : BLIECK A., AUGUSTE P. & DERYCKE C. (eds), GEOREG (Forum de la Fédération Française des Géosciences, Villeneuve d'Ascq, 23 au 27 octobre 2011). Résumé : 54.

www.bdcavite.net — Banque de Données Nationale des Cavités Souterraines Abandonnées en France Métropolitaine "hors mines".

ETUDES CITEES

ML.05184 – Indice A – Pièce 001 : “Communauté d'Agglomération de Cambrai - Aménagement de la ZAC Actipôle de l'A2 à CAMBRAI”, Etude géotechnique préliminaire de site, Rapport d'étude du 11/08/05.

ML.07162 – Indice A – Pièces 001 et 002 : “Kieken Immobilier Construction – Projet immobilier « Fleurs de Lille » à LILLE”, Réalisation de forages destructifs, pose de piézomètres et réalisation d'un reportage vidéo de cavités, Rapports d'étude des 06/06/07 et 05/07/07.

ML.07228 – Indice A – Pièce 001 : “Kieken Immobilier Construction – Projet immobilier « Fleurs de Lille » à LILLE”, Etude géotechnique d'avant projet, Rapport d'étude du 09/08/07.

ML.08330 – Indice A – Pièce 001 : “Conseil Régional Nord Pas de Calais – Désordres au sein du lycée Paul Duez à CAMBRAI”, Diagnostic géotechnique, Rapport d'étude du 16/10/08.

ML.08502 – Indice A – Pièce 001 : “Conseil Régional Nord Pas de Calais – Désordres au sein du lycée Paul Duez à CAMBRAI”, Réalisation d'une inspection vidéo de cavités, Rapport d'étude du 15/12/08.

ML.09024 – Indice A – Pièce 001 : “Décathlon Direction Régionale Nord – Création d'un village Oxylane à LESQUIN”, Etude géotechnique préliminaire de site, Rapport d'étude du 09/04/09.

ML.09413 – Indice A – Pièces 001 à 003 : “Décathlon Direction Régionale Nord – Création d'un village Oxylane à LESQUIN”, Etude géotechnique d'avant projet, Rapports d'étude des 02/09/09, 07/09/09 et 01/10/09.

NSO.11176 – Pièce 001 – 1^{ère} édition : “Conseil Régional Nord Pas de Calais – Désordres au sein du lycée Gambetta à ARRAS”, Diagnostic géotechnique, Rapport d'étude du 25/11/11.

LE PROJET « HINT » (HERITAGE INTERPRETATION THROUGH NEW TECHNOLOGIES), UNE COOPERATION INTERNATIONALE AU SERVICE DE LA VALORISATION DES GÉOPATRIMOINES

HINT Project (Heritage Interpretation through New Technologies), an international cooperation for interpretation of the geoheritage

par Nathalie CAYLA (*) & Anne GUYOMARD (**)

Résumé. — Le développement des technologies numériques renouvelle les usages et pratiques au service du géotourisme. Quatre partenaires déjà labellisés European Geopark ou en demande du label sont associés dans le projet HINT qui a pour objectif de développer ces pratiques et de les faire connaître au plus grand nombre. Le laboratoire EDYTEM de l'Université de Savoie est associé au suivi du projet en tant qu'expert extérieur. La présentation des partenaires, et du prototype sur lequel chacun travaille, illustre les différents aspects de la médiation des géopatrimoines, soit *in situ*, accompagnant le touriste dans sa découverte en utilisant des solutions numériques nomades, soit *ex situ* afin de préparer, compléter ou remplacer une visite de terrain au moyen d'interfaces utilisant les nouvelles technologies interactives. Un panorama des pratiques et usages, dans les domaines de la cartographie dynamique, de l'imagerie numérique et des modèles 3D, et quelques outils simples, accessibles aux néophytes, sont présentés. Ils ont été testés dans le cadre d'un cours intensif qui a réuni une trentaine de participants de douze nationalités lors de « l'International Symposium on Geosite Management ». Au-delà des difficultés de mise en œuvre de ces nouvelles pratiques et des réticences qui peuvent se faire jour, cet article montre combien les nouvelles technologies numériques peuvent être utiles dans la phase d'interprétation des géopatrimoines.

Abstract. — *The development of new digital technologies renews the customs and practices to the benefit of geotourism. Four partners, already certified European Geopark or in application for the label are associated in the HINT project which aims to develop these practices and to make them known to the broadest public. The laboratory EDYTEM (University of Savoie – France) is involved in monitoring the project as an outside expert. The presentation of the partners, and of the prototype on which each of them is working, illustrates the various aspects of the mediation of geoheritage, either in situ, accompanying the tourist in his discovery by using nomadic digital solutions, or ex situ in order to prepare, complete or replace a field trip through interfaces using new interactive technologies. An overview of practices and customs in the areas of dynamic cartography, the digital imaging and 3D models, but also some simple tools, accessible to novices, are presented. They were tested as part of an intensive course which gathered some thirty participants from twelve nationalities during the "International Symposium on Management geosite". Beyond the difficulties of implementing these new practices and reluctance that may emerge, this paper shows how new digital technologies can be useful for the interpretation of the geoheritage.*

Mots-clés : patrimoine géologique, géotourisme, nouvelles technologies numériques, label *European Geopark*, interprétation patrimoniale

Keywords : *geoheritage, geotourism, new technologies, European Geopark, heritage interpretation.*

I. — INTRODUCTION

Associer le tourisme à la mise en valeur des géopatrimoines est un des objectifs majeurs du réseau des géoparcs, qui réunit à travers le monde 88 territoires, dont 50 en Europe (Cayla, 2009). Depuis quelques années, l'usage des nouvelles technologies numériques a fait son apparition dans les pratiques touristiques, permettant d'envisager de nouvelles

formes de géovalorisation et de géointerprétation. Le projet HINT (Heritage Interpretation through New Technologies) regroupe trois partenaires, déjà labellisés Global Geopark (Shetland Amenity trust, North Pennines AONB et le géopark du Chablais) et un en voie de labellisation (Geopark de Hondsrug). Chacun d'entre eux est investi dans un projet pilote de développement d'une application numérique au service du géotourisme.

(*) Laboratoire EDYTEM, UMR CNRS-Université de Savoie, Pôle Montagne, Technolac, F-73376 Le Bourget du Lac cedex , nathalie.cayla@univ-savoie.fr

(**) Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Chablais, 2 Avenue des Allobroges, Square Voltaire, 74200 Thonon-les-Bains, a.guyomard@siac-chablais.fr

Parallèlement à ces quatre expérimentations qui, pour la plupart, associent la découverte de terrain aux technologies numériques nomades, le réseau se veut un observatoire des bonnes pratiques, afin de faire connaître les outils ou expériences les plus aboutis dans ce domaine dans le but de contribuer à leur diffusion.

L'implication, dans ce programme de recherche-action, du laboratoire EDYTEM (Environnement, Dynamique et Territoires de la Montagne), de l'Université de Savoie, repose sur l'expertise développée au sein des équipes dans l'usage de la géovisualisation et en particulier de l'imagerie 3D (Jaillet *et al.*, 2011), mais également dans l'élaboration d'outils de réalité enrichie et de balades virtuelles au service de la médiation des géopatrimoines.

Outre ces aspects de diffusion des pratiques, ce travail interroge également la place de l'innovation au sein des territoires labellisés *Global Geopark*. Le géotourisme est une niche touristique en plein développement, mais il est encore difficile d'identifier si elle s'appuie sur l'émergence de nouveaux patrimoines reconnus comme ressources territoriales à valoriser *via* des processus que l'on pourrait qualifier de classiques ou bien si les réseaux d'acteurs propres à ce domaine innovent sur les territoires.

Cet article présentera les premiers travaux et résultats obtenus dans le cadre du programme HINT et plus particulièrement un panorama des usages et pratiques qui a permis la réalisation d'un cours intensif destiné aux professionnels du géotourisme ainsi qu'aux chercheurs investis dans ce domaine.

II. — DES PARTENAIRES QUI INNOVENT DANS LEUR OFFRE GEOTOURISTIQUE

La révolution numérique entamée au milieu du vingtième siècle et surtout la convergence technique offerte depuis quelques années par le rapprochement des mondes de l'informatique et des télécommunications ont permis l'émergence d'outils innovants (Musso, 2008) autorisant aujourd'hui de nouvelles pratiques à chacune des étapes de la gestion des géopatrimoines. Quatre partenaires, réunis dans un programme européen LEADER 2008-2013, développent, des solutions permettant l'émergence de ces nouvelles pratiques en particulier pour la création de produits géotouristiques. Le réseau est aussi un lieu de partage d'expériences, d'une importance primordiale dans ces domaines en perpétuelle évolution.

Le géoparc Shetland, chef de file et coordinateur du projet, développe avec la société Zolk^c, une application qui sera disponible sur les smartphones, équipés du système d'exploitation Android, ou sur iPhone. Cette application nomade permettra au visiteur de parcourir sur le terrain, en toute sécurité *via* la géolocalisation, des sentiers géologiques présentant la géodiversité des différents îlots de l'archipel et en particulier celle de Mainland, l'île principale. Parmi les géosites remarquables figurent des roches de plus de 2,8 milliards d'années, les gneiss de Lewis, des témoins de l'orogénèse calédonienne, tel un complexe ophiolitique résultant de la fermeture de l'océan Iapetus il y a quelque 400 millions d'années, et bien sûr l'empreinte des glaciations à

l'origine des paysages remarquables de cet archipel des Shetland. A chaque point d'arrêt différents médias seront accessibles (texte, son, vidéo) permettant ainsi d'enrichir la réalité vécue par le géotouriste. Un prototype sera opérationnel en juin 2012 afin d'être testé durant la saison estivale.

Le North Peninnes Area of Aoutstanding Natural Beauty, dans le comté de Cumbrie, a été le premier territoire labellisé géoparc du Royaume-Uni, en 2003. Face au déclin progressif de l'activité minière, liée à l'extraction du zinc et du plomb, l'économie régionale s'est progressivement tournée vers le développement du géotourisme mais certains sites sont isolés et la fréquentation parfois insuffisante pour maintenir un accueil touristique, en toute saison et à toute heure. Afin de faire face aux périodes de fermeture de ses centres d'information, tout en maintenant une certaine qualité d'accueil, ce géoparc a entrepris la mise en place d'une interface accessible en communication sans fil soit directement par la technologie Blue-Tooth soit via internet au travers du Wi-Fi. Ainsi, les informations touristiques ou celles concernant les géopatrimoines seront accessibles à tout moment (même en période de fermeture des centres d'accueil) *via* des bornes émettrices placées dans ces centres, qui seront par ailleurs directement accessibles par écran tactile aux heures d'ouverture.

Le géoparc du Chablais, 4^{ème} géoparc français, possède sur un territoire qui s'étend des berges du Lac Léman jusqu'aux sommets frontaliers de la Suisse, de nombreux géosites illustrant l'histoire géologique de ce massif préalpin ainsi que le récent passé glaciaire de la région (Guyomard & Lansigu, 2008). Vingt-trois d'entre eux ont été sélectionnés dans le cadre d'une géo-route actuellement en création. Le projet, géré par le Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Chablais, est réalisé en partenariat avec les bureaux d'étude Atemia et Architectes du paysage. Les bornes d'interprétation placées sur chacun des points d'intérêt seront munies de codes 3D rendant accessible à ceux qui le désirent, *via* leur smartphone sur lequel aura été téléchargé un lecteur de code 3D, des informations complémentaires permettant une meilleure compréhension des sites. Les nouvelles technologies ont été également associées dans ce cas à la démarche participative qui a accompagné le projet sous la forme d'un blog collaboratif animé parallèlement aux réunions publiques.

Le Geopark de Hondsrug, au nord des Pays-Bas, est un territoire composé d'un long cordon dunaire de till, témoin de la glaciation saalienne qui s'est étendue de - 300 000 à - 140 000 ans. Aspirant au label *Global Geopark*, la région veut développer son attrait touristique en proposant des outils de mise en valeur de son patrimoine géologique qui soient innovants et puissent ainsi attirer de nouveaux visiteurs. Pour cela, l'équipe du futur géoparc développe une table tactile dynamique qui permettra, par le biais d'une interface ludique, de mieux comprendre l'origine des paysages actuels. Mobile, celle-ci pourra être utilisée dans cadre d'animations proposées aux écoles du futur géoparc.

Au-delà du projet en cours dans chacun des territoires (Fig.1), des actions communes regroupent périodiquement les partenaires : réalisation d'un site Web (<http://www.hintproject.eu/>), ateliers de mise en pratique, présentation du projet et de son avancement dans le réseau des géoparcs (Cayla, 2011).



Fig.1. — Partenaires du programme HINT et prototype en cours de développement.

Fig.1. — The prototype of each Hint Partner

L'une de ces actions associe le laboratoire EDYTEM qui doit apporter une expertise extérieure, sur les usages en cours et en développement concernant les nouvelles technologies au sein du réseau des géoparcs, et, plus largement dans les pratiques géotouristiques.

III. — LES NOUVELLES TECHNOLOGIES NUMERIQUES AU SERVICE DU GEOTOURISME

La mise en valeur à des fins touristiques des géopatrimoines peut être conduite de deux façons différentes :

- La découverte *in situ* des géotopes doit apporter tous les éléments d'interprétation nécessaires à une bonne

compréhension des affleurements, gisements ou éléments paysagers qui sont parcourus par le touriste. Elle se fait au travers des musées de site ou des sentiers géodidactiques.

- La découverte *ex situ* des géotopes peut-être proposée dans le cas où ceux-ci sont difficilement accessibles (affleurement dans une paroi) ou dangereux d'accès (volcan en éruption), voire interdits (grotte de Lascaux). L'interprétation se fera alors à distance soit au sein de musée d'histoire naturelle, de centres d'interprétations ou d'écumuses, de fac-similé mais également *via* des sites web ou des interfaces numériques.

Différentes combinaisons peuvent bien sûr associer ces deux formes de médiation en fonction de l'accessibilité saisonnière des sites ou des périodes d'accueil touristique.

Face au foisonnement des outils et pratiques numériques existants ou émergents, ce paragraphe cherchera, avant tout, à illustrer par un panorama des réalisations concrètes, la diversité des possibles. Deux domaines seront successivement abordés : la cartographie dynamique puis l'imagerie numérique et la modélisation 3D.

Que ce soit sur le terrain ou à distance, il est important de pouvoir visualiser la répartition géographique des géotopes afin, de mieux appréhender leurs liens et comprendre leur histoire d'une part, et d'optimiser leur découverte en toute sécurité d'autre part. Les organismes en charge de la gestion des géopatrimoines ont, le plus souvent, élaboré des systèmes d'information géographique inventoriant les géotopes dont ils ont la gestion. Ces outils, certes puissants et permettant des traitements complexes des informations, sont utiles à la recherche et à la gestion des sites mais ils offrent peu de solutions pratiques pour un usage destiné au grand public. A partir des années 2000, et de l'extension d'Internet, la diffusion des informations géographiques sous la forme de cartes dynamiques consultables en ligne a été facilitée. Les cartes obtenues, sont qualifiées de dynamiques car le contenu affiché répond, avec efficacité et efficacité, aux besoins de l'utilisateur, tout en fournissant quelques outils d'interactivité (zoom associé à des changements d'échelle, déplacements, hyperliens associés à différents médias) (Bucher, 2007 ; Martin & Ghiraldi, 2011). Au fil du temps différentes solutions ont vu le jour.

Une image à zone cliquable, est une carte sur laquelle sont installés des liens hypertextes permettant d'accéder à des média (texte, son, image, vidéo...). Les sites internet du service géologique du Land de Bavière en Allemagne ou du géoparc Gea Norvegica en Norvège présentent, par ce type d'interfaces l'inventaire de leurs géopatrimoines (http://www.lfu.bayern.de/geologie/geotope_daten/geotoprecherche/index.htm, <http://www.geanor.no/>). L'utilisation de certains logiciels peut améliorer l'interactivité et la complexité dans la formulation des requêtes ainsi que le montre cette carte du géoparc Papuk (http://www.papukgeopark.com/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=78&lang=en).

L'arrivée du web dynamique, où les pages sont générées à la demande de l'utilisateur, une même adresse pouvant donc prendre différentes formes, conjuguée à celle du web 2.0 qui offre des interfaces enrichies et la possibilité d'adapter des services fournis par internet, tels que les globes virtuels, a donné naissance à la cartographie dynamique en ligne ou webmapping. Cette application propose différentes solutions techniques qui permettent de visualiser, rechercher mais également analyser, modifier ou acquérir des données géographiques via internet.

L'API (Application Programming Interface) Java de Google Earth/Map, apparue en 2008, a ainsi été utilisée pour réaliser l'interface cartographique du Bohemian Paradise Geopark en république Tchèque ou pour l'inventaire suisse des géotopes d'importance nationale (<http://www.geopark-ceskyraj.cz/en/>, <http://mesoscaphie.unil.ch/geodata/geosite2/>). Le logiciel Openlayer couplé à des couches Open Street Map offre une solution totalement « open source » utilisée par le géoparc Bergstrasse-Odenwald en Allemagne (<http://www.geo-naturpark.net/daten/pfade/geopfade.php?navid=233>). De

nombreux autres exemples de ce type d'application existent : le websig du bassin minier du Nord – Pas-de-Calais (<http://www.atlas-patrimoines-bassin-minier.org/atlas-interactif.php>) construit par Veomap ou celui de la Réserve géologique du Lubéron sous Dynmap (http://www.pnrpaca.org/carto/luberon/n_geologie_rng/flash/).

Face à la multiplication des possibilités techniques et afin de répondre à la pluralité des besoins, plusieurs espaces protégés de la région Rhône-Alpes ont constitué un consortium afin de participer au développement de la solution Aigle™ proposée par la compagnie Cyril™, filiale de Business Geographic. Ce logiciel offre des possibilités de traitements sophistiqués d'informations, stockées de façon fiable dans le temps, il fournit également aux différents utilisateurs (expert, averti, grand public) des interfaces cartographiques (<http://www.parcnational-vanoise.fr/websig/carto.php>) capables de répondre à leurs attentes. Il permet également l'accès aux données cartographiques via des terminaux numériques nomades, smartphones, tablettes... Dans ce domaine aussi on assiste à une prolifération des solutions au service du géotourisme ; ainsi, l'application « Muscat geoheritage i-tourguide », développée par le ministère du tourisme du sultanat d'Oman est disponible sur Android. Il existe aussi des solutions en version gratuite offrant des possibilités infinies comme l'application Makkamappa (Miller, 2012).

La géovisualisation, à base d'imagerie numérique et de modélisation 3D, a gagné l'étude des milieux naturels et des sites difficilement accessibles, ainsi que l'observation non invasive d'échantillons. Les images et modèles numériques obtenus permettent des investigations quantitatives très utiles à la recherche et sont ensuite, à différents degrés, mobilisables dans la phase de valorisation des géopatrimoines.

Ainsi, l'apparition des webcams puis le développement des réseaux, a permis, dans un premier temps, de développer des systèmes de surveillance destinés à la prévention des risques naturels mais parallèlement cet outil s'est développé pour l'observation en direct de phénomènes géologiques dont la rareté (éruption volcanique) ou la rapidité (crue) (Hobléa, 2011) rend illusoire la possibilité d'être présent en tant que simple observateur lors du déclenchement du phénomène. Cet usage s'est développé et, aujourd'hui des dizaines de sites sont accessibles depuis un terminal numérique branché sur le réseau affichant en continu des images destinées à l'observation, la métrologie ou la surveillance scientifique, mais également à la diffusion grand public. Le volcanologue de formation, Thomas Pfeiffer a réalisé un annuaire des webcams installées sur les volcans du monde entier. Son site combine dans un « mashup », c'est-à-dire une page web, associant des fenêtres permettant de visualiser les webcams à d'autres permettant de les localiser sur une carte Google (<http://www.volcano-webcam.com/>). Ces solutions sont intéressantes aussi pour des phénomènes intermittents comme l'observation d'éruption de geysers tel que le Old faithfull aux Etats-Unis (<http://yellowstone.net/webcams/old-faithfull-still/>). Ces outils peuvent permettre au futur visiteur de prendre contact avec le territoire qu'il va découvrir ou bien, après sa visite, de garder le contact avec ce même territoire ; en effet, le géotourisme, au-delà de l'aspect éducatif, doit aussi favoriser l'interactivité émotionnelle et ces webcams sont un atout indéniable.

La recherche fondamentale fait de plus en plus souvent appel à la reconstitution d'un modèle numérique de l'objet géologique. Ces modèles tridimensionnel peuvent ensuite, dans la phase de valorisation faciliter l'observation, permettre des visites virtuelles ou bien réelle mais au sein de fac-similé de ces géopatrimoines. L'acquisition de ces modèles tridimensionnels à partir de données surfaciques ou volumiques (Maumont, 2012 ; Tafforeau, 2010) a fait d'importants progrès ces dernières années.

La photogrammétrie, en raison du faible coût de sa mise en œuvre et des progrès récents des outils techniques proposés, est une solution pertinente tant dans la phase de recherche que dans celle de restitution des géopatrimoines (Pierrot-Deseilligny *et al.*, 2011). Ainsi, le logiciel 123D Catch a été utilisé en archéologie minière afin de reconstituer certaines galeries anciennes des mines de Sainte-Marie-aux-Mines. Le modèle obtenu, traité ensuite par un logiciel d'animation 3D, a permis la réalisation d'une visite virtuelle animée à la découverte des galeries (Arles *et al.*, 2011). La lasergrammétrie, technique basée sur le balayage laser, qui permet l'acquisition rapide de données spatiales tridimensionnelles avec une densité très élevée offre la possibilité de reconstitution de modèles 3D à haute résolution. Que le laser soit terrestre ou aéroporté, le recueil des informations se fait à distance de l'objet réel et en un temps réduit. Au contraire de la photogrammétrie, le coût d'acquisition est ici élevé et le travail d'interprétation des données en aval relativement technique. Malgré tout, la précision des résultats obtenus, inférieure au millimètre, a rendu cette solution incontournable, en particulier pour la modélisation de réseaux karstiques et de grottes ornées ou sculptées.

En France, en 1999, un relevé 3D de la frise sculptée du Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin) a été effectué (Pinçon *et al.*, 2012) permettant d'affiner les études scientifiques menées sur le site mais également de réaliser une scénographie virtuelle dans le centre d'interprétation ouvert en 2008. Une reconstitution à l'échelle a été obtenue par prototypage ; sur celle-ci sont projetées 600 000 images anamorphosées ; enfin une scénarisation complète le spectacle (<http://www.roc-aux-sorciers.com/le-centre-d-interpr%C3%A9tation/l-installation-virtuelle/>). Les relevés effectués dans les grottes de Lascaux ou Chauvet, toutes deux inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO, et qui ne peuvent pas être ouvertes à la visite, ont servi à la fois à la création de fac-similé mais également de modèles virtuels accessibles en ligne (<http://www.lascaux.culture.fr>). Ce type de relevé a aussi été effectué sur des sites souterrains karstiques ou bien d'anciennes mines ou carrières. Ainsi, une partie de la grotte du Mammouth, qui possède le plus long réseau karstique au monde et qui se situe aux Etats-Unis, a été digitalisée en 2010 dans le cadre d'un programme réunissant l'association des parcs nationaux américains, et l'Université de Washington afin d'enrichir l'offre d'interprétation prévue dans le cadre du futur centre d'accueil. Les carrières souterraines de sable de Piusa au sud de l'Estonie, dont une grande partie est fermée au public pour raison de sécurité, sont désormais, elles aussi, accessibles à la visite virtuelle (<http://www.3dtech-rd.net/virtual-caves-2/>).

La numérisation volumique, qui permet l'observation de la structure interne des objets, peut s'avérer cruciale dans l'étude scientifique de certains spécimens, mais aussi pour leur valorisation ou la préservation de certaines collections

paléontologiques ou minéralogiques (Balzeau *et al.*, 2010). Ainsi, dans le but de mieux comprendre la diversification mammalienne dont les fossiles recueillis au puits de Messel, en Allemagne, sont les témoins, un squelette de *Darwinius masillae* a été radiographié et scanné par les paléontologues du Museum Senckenberg de Francfort en 2008 (Franzen *et al.*, 2009). Outre les discussions scientifiques qui ont accompagné la publication de cette reconstitution, celle-ci a permis de réaliser les reproductions de l'animal présentées dans le centre d'interprétation qui a ouvert ses portes en 2011 sur le site du gisement près de Darmstadt.

Ces outils et de nombreux autres qui n'ont pas été présentés montrent le foisonnement actuel des projets utilisant les nouvelles technologies au service de la valorisation des géopatrimoines. Au-delà de cet inventaire, comment ces nouvelles pratiques sont-elles accueillies sur le terrain ? Afin d'éclairer cette interrogation, un questionnaire a été envoyé aux 50 géoparcs européens afin de mieux comprendre la perception des personnes en charge du développement du géotourisme face à ces nouveaux usages. De nombreux avantages ont été plébiscités parmi lesquels l'intérêt de ces outils innovants qui permettent d'attirer de nouveaux publics en rendant le message scientifique souvent plus ludique et moins scolaire. La baisse de l'usage des tirages papiers avec les avantages économiques et écologiques qui en ressortent a été soulignée ainsi que la rapide réactualisation qu'il est possible d'opérer sur les informations, qui sont disponibles à tout moment et partout. Des freins ont cependant été évoqués : le coût élevé du développement de ces outils, la difficulté de prise en main des logiciels en perpétuelle évolution pour des professionnels dont ce n'est pas la spécialité mais aussi pour un public souvent ignorant de ces usages, la mauvaise connaissance des possibilités existantes et le manque d'expertise des équipes en charge du développement du géotourisme. Pratiquement, la faiblesse ponctuelle de la couverture 3G ainsi que le coût des communications en pays étranger ont aussi été soulignés.

Les résultats de ce questionnaire ont permis d'élaborer le programme d'un cours intensif qui s'est tenu en Savoie dans le cadre du colloque « International Symposium on Geoheritage Management » en septembre 2012.

IV. — DES OUTILS SIMPLES ET EFFICACES POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'USAGE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES

L'un des freins dans l'usage des nouvelles technologies numériques est leur coût souvent considéré, *a priori* mais souvent à tort, comme excessif ainsi que la nécessaire maîtrise technique que requiert leur mise en œuvre. Afin de lever ces réticences et de développer de nouveaux usages, des ateliers pratiques ont été organisés par le laboratoire EDYTEM et l'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne. Des chercheurs, des doctorants, les partenaires du programme HINT mais également des agents de développement territorial, soit une trentaine de participants originaires d'une douzaine de pays, ont suivi ces journées de formation, réalisées grâce au soutien du Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Chablais.

Quatre ateliers étaient proposés, certains offrant le choix entre deux niveaux de mise en pratique :

- Un atelier de webmapping a permis de tester l'API de Google Earth mais également celle de Géoportail afin de réaliser des cartes interactives localisant des géopatrimoines ; le niveau avancé proposait, à partir d'une base de données, d'extraire les géotopes en fonction de leur nature avant de les afficher sur la carte ;

- Un atelier de réalisation de modèles 3D, utilisant la photogrammétrie et la solution 123D Catch d'Autodesk, a permis de réaliser des modèles virtuels de blocs erratiques et d'échantillons de roches du Chablais qui ont été ensuite animés dans une courte séquence vidéo ;

- Un atelier d'animation de panorama a permis à partir de quelques lignes de codes Java d'animer (zoom et déplacement) quelques paysages remarquables du Chablais ;

- Enfin un atelier de géovisualisation et de réalité enrichie a permis de tester deux solutions techniques : la première permettait d'enrichir la réalité observée au cours d'une promenade géologique en donnant accès à des vidéos d'interprétation à partir de Qr-codes placés sur les dépliants de présentation de l'itinéraire ; la seconde proposait deux types d'animation utilisant des possibilités avancées de

Google Earth ainsi qu'une combinaison de ces outils agrégés dans une page Web sous la forme d'un mash-up.

Ces ateliers pratiques étaient complétés par des interventions de chercheurs ou de professionnels venus présenter des solutions techniques plus sophistiquées ayant été utilisées dans le cadre de recherches conduites sur les géopatrimoines ou bien de projets de mise en valeur touristique de ceux-ci. Lasergrammétrie, outils de réalité augmentée au service de la médiation à destination des publics non-voyants ... autant d'exemples qui ont permis d'envisager de nouvelles pistes de projets.

Les nouvelles technologies ont envahi de nombreux domaines dont le tourisme et en particulier, dans ce cadre, l'interprétation des patrimoines. Le développement du réseau des géoparcs se révèle porteur d'une dynamique de projet à l'initiative de nombreuses réalisations qui permettent de tester les possibilités offertes par ces nouvelles technologies numériques dans la mise en valeur des géopatrimoines. Un panorama des projets en cours ou émergents montre, au-delà du foisonnement des solutions et outils utilisés que, dans la majorité des cas, cet aspect technique et innovant n'a pas été source d'une perte de qualité du message scientifique à transmettre.

BIBLIOGRAPHIE

- ARLES A., CLERC P., TEREYGEOL F. & HECKES J. (2011). — *La photogrammétrie appliquée à l'archéologie minière : premiers essais*. Rapport d'étude IRAMAT –CNRS, Université d'Orléans, Deutsches Bergbau-Museum, Bochum, 25 p.
- BALZEAU A., CREVECOEUR I., ROUGIER H., FROMENT A., GILISSEN E., GRIMAUD-HERVE D., MENNECIER P., SEMAL P. (2010). — Applications of imaging methodologies to paleoanthropology: Beneficial results relating to the preservation, management and development of collections. *C. R. Palevol*, **9** : 265–275.
- BUCHER B. (2007). — La carte à la carte sur le Web. *Revue du Comité Français de Cartographie*, **193** : 37-47.
- CAYLA N. (2009). — *Le patrimoine géologique de l'arc alpin : de la médiation scientifique à la valorisation géotouristique*. Thèse de doctorat de l'Université de Savoie, Laboratoire EDYTEM, 307 p.
- CAYLA N. (2011). — New technologies and valorization of the geoheritage: A project combining social networking, treasure hunting and adventurous game in interpretation of the geoheritage. *In*: 10th European Geoparks Conference 2011, Langesund Norway. Abstract: 39-40
- FRANZEN J.L., GINGERICH P.D., HABERSETZER J., HURUM J.H., von KOENIGSWALD W. (2009). — Complete Primate Skeleton from the Middle Eocene of Messel in Germany: Morphology and Paleobiology. *PLoS ONE*, **4** (5): e5723. doi:10.1371/journal.pone.0005723
- GUYOMARD A. & LANSIGU C. (2008). — Le patrimoine géologique du Chablais-Haute-Savoie : un livret, un CD-Rom, des cartes postales,... une prise de conscience d'un patrimoine. *In* : Résumé des communications orales des 4^{ème} Journée du patrimoine géologique (Digne-les-Bains, France, 2008), p 11.
- HOBLEA F. (2011). — The concept of "Hybrid research" applied to the geoheritage of the Bauges Massif (French Alps): When the promotion of the geoheritage helps geosciences and vice versa. *The Geojournal of Tourism and Geosites*, **2** (8): 206-2011.
- JAILLET S., PLOYON E. & VILLEMEN T. (2011). — *Images et modèles 3D en milieux naturels*. Le Bourget-du-Lac, Collection EDYTEM, t **12** : 210 p
- MARTIN S. & GHIRALDI L. (2011). — Internet au service du patrimoine. Cartographie dynamique de l'inventaire des géotopes d'importance nationale. *In* : REYNARDS E., LAIGRE L. & KRAMAR N. (eds), Les géosciences au service de la société (colloque en l'honneur du Professeur Michel Marthaler, 24-26 juin 2010, Lausanne). *Géovisions*, **37** :105-117.
- MAUMONT M. (2012). — L'espace 3D : de la photogrammétrie à la lasergrammétrie. *In Situ*, **13** ; World Wide Web address : <http://insitu.revues.org/6413>
- MILLER A. (2012). — Making local geodiversity interpretation available to the smartphone audience. *Earth Science Heritage*, **37** : 19-20.
- MUSSO P. (2008). — La révolution numérique : techniques et mythologies. *La Pensée*, **355** : 103-120.
- PIERROT-DESAILLIGNY M., CLERY I., Evolution récentes en photogrammétrie et modélisation 3D par photos des milieux naturels, dans Jaillet S., Ployon E., Villemén T., eds, *Images et modèles 3D en milieux naturels*. Le Bourget-du-Lac, Collection EDYTEM, 2011, **12**, p 51-66
- PINÇON G., FUENTES O., BARRE R., AUBER O. & HAMON G. (2012). — De la frise magdalénienne *in situ* ... au centre d'interprétation du Roc-aux-Sorciers : l'usage de la 3D. *In Situ*, **13** ; World Wide Web address : <http://insitu.revues.org/6672>
- TAFFOREAU P. (2010). — Imagerie synchrotron en paléontologie ou comment rendre l'invisible visible. *In* : 7^{ème} rencontre du patrimoine scientifique en Rhône-Alpes (Grenoble, 2009). Résumé : 85-89.

AMENAGEMENT ET PRESERVATION DU PATRIMOINE GEOLOGIQUE EN PROVINCE DE LIEGE (BELGIQUE) : LES GEOSITES D'AMPSIN ET DES TCHAFORNIS (ENGIS)

Development and preservation of the geological heritage in the Liège province (Belgium): the Ampsin and Tchaformis (Engis) geosites

par Bernard MOTTEQUIN (*), Laurent BARCHY (**), Emmanuel CHEVALIER (**),
Jean-Marc MARION (*) & Edouard POTY (*)

Résumé. — Plusieurs initiatives destinées à mettre en valeur le patrimoine géologique ont été récemment développées en province de Liège (Belgique). Parmi celles-ci figurent les géosites d'Ampsin et des Tchaformis (Engis). Le géosite d'Ampsin illustre le passage brusque des faciès carbonatés peu profonds du Viséen moyen aux faciès détritiques terrigènes du Namurien. Celui des Tchaformis offre l'opportunité d'observer un magnifique exemple de biostrome à grands rugueux coloniaux de la base du Frasnien supérieur (Dévonien supérieur). Tous deux sont situés dans d'anciennes carrières et mettent également en évidence l'industrie extractive de la région.

Abstract. — Several initiatives intended to highlight the geological heritage have been recently developed in the Liège province (Belgium). The Ampsin and Tchaformis (Engis) geosites rank among them. The Ampsin geosite shows the clear-cut passage between the shallow carbonate facies of the Middle Viséan and the terrigenous detrital facies of the Namurian. The Tchaformis geosite gives the opportunity to observe a superb example of biostrome with large colonial rugose corals of the base of the Upper Frasnian (Upper Devonian). Both are located in disused quarries and also give prominence to the regional extractive industry.

Mots clés : Géotourisme, Dévonien, Carbonifère, Wallonie.

Keywords : Geotourism, Devonian, Carboniferous, Wallonia.

I. — INTRODUCTION

En Belgique et plus particulièrement en Wallonie, la mise en valeur du patrimoine géologique n'en est encore qu'à ses premiers balbutiements, notamment en raison d'un manque de prise de conscience de son intérêt scientifique et touristique. A contrario, certains pays proches comme l'Allemagne et la France ont compris depuis longtemps le rôle que pouvaient jouer les sites géologiques de premier plan dans le développement de l'activité économique et touristique (par ex. les géoparcs de l'Eifel et de la Ruhr, et la réserve géologique de Haute Provence). La notion de géoparc s'inscrit dans une démarche pour promouvoir la connaissance du Patrimoine géologique et sa conservation, en associant le développement économique et social d'un territoire. Un réseau européen des géoparcs a vu le jour en 2000 et un réseau mondial, placé sous l'égide de l'UNESCO, existe depuis 2004. Il est évident que le désintérêt vis-à-vis de la géologie, qui caractérise le grand public belge, résulte en partie de l'absence de tout enseignement de cette matière durant les études secondaires, à l'inverse de ce qui s'observe dans les pays limitrophes. Ce qui

est navrant au vu du nombre considérable de sites dotés d'une grande valeur scientifique et historique, non sans rappeler que plusieurs zones géographiques et localités de Wallonie ont donné leur nom à des étages paléozoïques reconnus par l'*International Union of Geological Sciences* tels que le Famennien (Thorez *et al.*, 2006) et le Viséen (Hance *et al.*, 2006). Cependant, un certain frémissement est à noter puisque quelques initiatives à vocation touristique-didactique ont récemment vu le jour en province de Liège, comme les circuits géologiques à bicyclette dans la vallée de l'Ourthe (Ek *et al.*, 2004) et le sentier géologique pédestre de Comblain-au-Pont (Fig. 1). Ces initiatives complètent avantageusement les quelques musées de la province de Liège qui abordent la thématique de la géologie (par ex. le musée du silex à Eben-Emael et celui de Blegny-Mine, classé en juillet 2012 par l'UNESCO [Fig. 1]). A l'échelle de la Belgique, signalons, en Flandre, divers circuits géologiques à bicyclette (Barbier, 2006 ; Vanholst *et al.*, 2009 ; Janssen & Dreesen, 2010) et en Wallonie, le jardin géologique d'Obourg et le parcours géologique de la citadelle de Namur (Pingot *et al.*, 2009).

(*) Université de Liège, Département de Géologie, allée du 6 août, B18, B-4000 Liège 1, Belgique ; e-mail : bmottequin@ulg.ac.be ; jmmarion@ulg.ac.be ; e.poty@ulg.ac.be

(**) Carmeuse S.A., rue du Château 13a, B-5300 Seilles, Belgique ; e-mail : Laurent.barchy@carmeuse.be ; emmanuel.chevalier@carmeuse.be

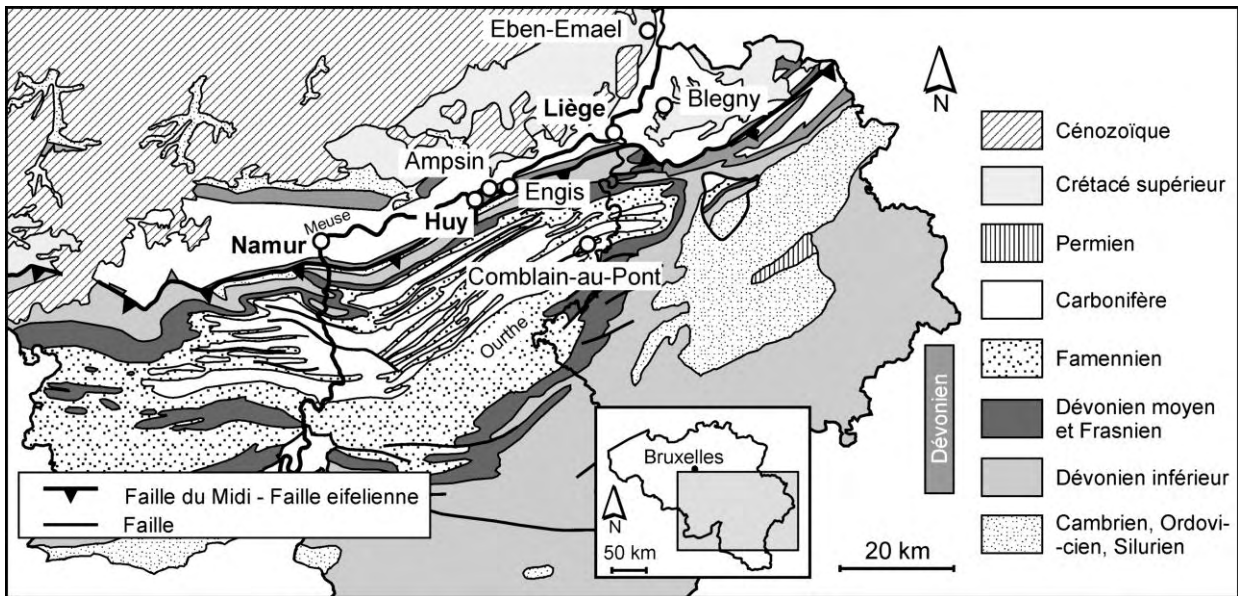


Fig. 1. — Carte géologique partielle de la Belgique (d'après de Béthune, 1954) avec la localisation des géosites et musées de la province de Liège signalés dans le texte.

Fig. 1. — Partial geological map of Belgium (modified from de Béthune, 1954) with location of the geosites and museums of the Liège province cited in the text.

Au cours de la dernière décennie, l'Unité de Paléontologie animale et humaine de l'Université de Liège a été impliquée dans la reconversion de deux anciennes carrières en géosites. Ces derniers, situés dans la vallée de la Meuse entre Huy et Liège (Fig. 1), offrent l'opportunité de découvrir la géologie régionale à toute personne désireuse d'en savoir davantage sur le milieu naturel qui l'entoure.

II. — LES GEOSITES ENTRE HUY ET LIEGE

1) Le géosite d'Ampsin

Sise sur le territoire de la commune d'Amay, l'ancienne carrière d'Ampsin (Figs. 1-4) s'étend sur une superficie de 28 hectares. Grâce au partenariat entre le carrier Dumont-Wautier (groupe Lhoist), propriétaire principal des lieux, et les autorités communales amaytoises, la zone d'extraction a été classée comme réserve naturelle domaniale (gérée par la Région Wallonne et équivalant à une réserve naturelle régionale en France) en décembre 2008, c'est-à-dire très rapidement après l'arrêt définitif de l'exploitation survenu en 2007 (Boland *et al.*, 2011). Elle jouxte l'espace muséal « Les Maîtres du feu » qui retrace l'histoire de la révolution industrielle dans le bassin mosan au travers de l'exploitation des ressources naturelles (calcaire, minerai de fer, etc.). Un sentier géologique, uniquement accessible via une visite guidée, arpente l'ancien site d'extraction ouvert dans les calcaires du Viséen (Carbonifère). Le parcours, agrémenté de treize panneaux explicatifs (Barchy *et al.*, 2008) (Fig. 2), présente la géologie locale et régionale ainsi que la faune et la flore qui ont colonisé l'excavation après la cessation de l'activité extractive.



Fig. 2. — Panneaux explicatifs présents à l'entrée du géosite d'Ampsin.

Fig. 2. — Explanatory panels at the entrance of the Ampsin geosite.

Le géosite est situé sur le flanc SE du Synclinorium de Namur (Ecailles et massifs renversés de Haine-Sambre-Meuse *sensu* Belanger *et al.*, 2012) et présente une coupe continue (série renversée) exposant les calcaires des formations de Lives et des Grands Malades (Livien [Viséen moyen] ; Poty *et al.*, 2002) et la base des grès et des shales de la Formation de Chokier (Namurien A ; Delmer *et al.*, 2002) (Figs. 3-4). Notons qu'à l'ouest (région d'Andenne), la base de la Formation de Chokier est silicifiée. Les calcaires de la Formation de Lives (Figs. 3-4) recèlent de nombreux niveaux stromatolitiques et d'autres particulièrement riches en coraux (colonies fasciculées de *Siphonodendron*). Le contact entre les dépôts détritiques terrigènes de la Formation de Chokier et

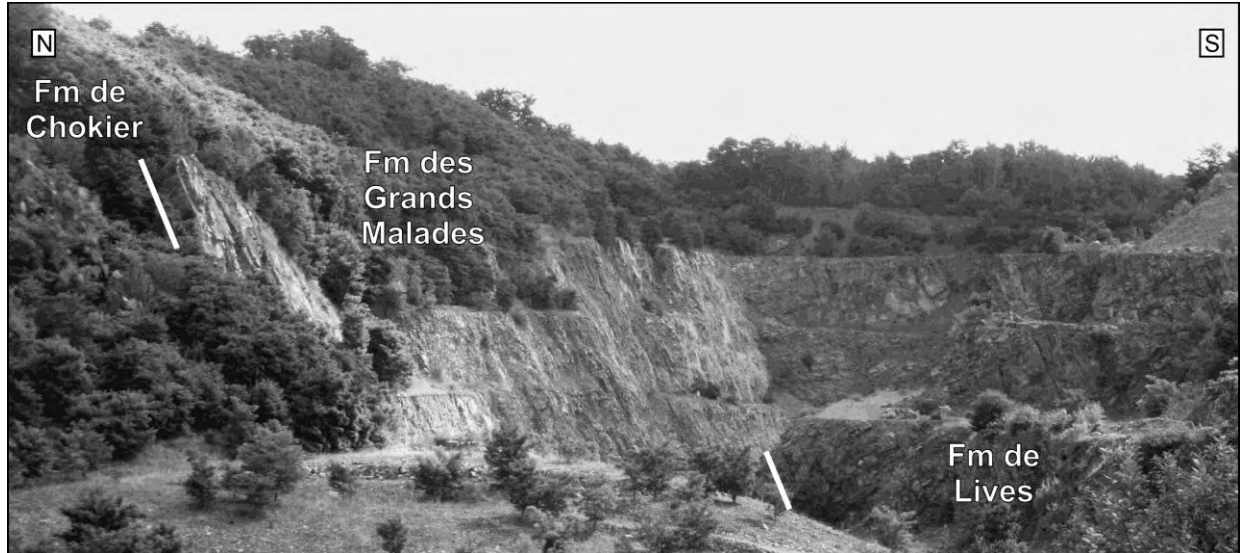


Fig. 3. — Vue générale du géosite d’Ampsin montrant la succession renversée des calcaires des formations de Lives et des Grands Malades (Membre de Seilles) (Viséen moyen) et le contact avec les grès et les shales de la Formation de Chokier (Namurien). Abréviations : Fm, Formation.

Fig. 3. — General view of the Ampsin geosite showing the reversed succession of the limestones of the Lives and Grands Malades (Seilles Member) formations (Middle Viséan) and the contact with the sandstones and shales of the Chokier Formation (Namurian). Abbreviation: Fm, Formation.

les calcaires de la Formation des Grands Malades (Membre de Seilles ; Livien) sous-jacents correspondent à une discordance stratigraphique très importante qui comprend le Viséen terminal et la base du Namurien (Figs. 3-4). Le géosite d’Ampsin permet donc d’observer les faciès carbonatés marins et peu profonds du Viséen moyen ainsi que leur contact brusque avec les environnements terrigènes côtiers et marécageux continentaux de la base du Namurien inférieur. Des dépôts limoneux à galets, correspondant à des vestiges de terrasse de la Meuse, sont aussi observables dans la partie supérieure de la carrière.

Les calcaires du Membre de Seilles (membre inférieur de la Formation des Grands Malades) (Figs. 3-4) étaient particulièrement appréciés pour la fabrication de chaux industrielle en raison de leur haute teneur en CaCO_3 (environ 98,5 % d’après Poty & Chevalier, 2004).

Les shales alunifères riches en pyrite (ampélites), présents à la base de la Formation de Chokier, furent naguère exploités pour la fabrication industrielle de l’alun dans la région d’Amay et d’Engis (Diderot & d’Alembert, 1751 ; Anonyme, 1992). Riche en illite ($\text{K}_x\text{Al}_2[\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x\text{O}_{10}] [\text{OH}]_2$) et en pyrite (FeS_2), l’ampélite donnait après calcination, lessivage et précipitation par évaporation, de l’alunite, c’est-à-dire un sel double formé par la combinaison du sulfate d’aluminium et d’un sulfate alcalin ($\text{KAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12[\text{H}_2\text{O}]$) (Anonyme, 1992). L’alun fut utilisé tant en médecine (astringent, caustique) que dans l’industrie (durcisseur du plâtre, encollage du papier, clarification du suif), la teinturerie (fixatif des colorants pour textile), la tannerie et la maroquinerie (raffermissement des peaux) (Frapont, 1936 ; Anonyme, 1992), mais vraisemblablement aussi pour les conserveries de poisson et le traitement des vignes autrefois nombreuses sur la rive gauche de la Meuse à exposition sud. Une tonne d’alun

exigeait en moyenne 60 tonnes d’ampélites (Anonyme, 1992). Plusieurs alunières étaient établies sur le territoire de la commune d’Amay ; l’une d’entre elles produisait 1200 t d’alun en 1864 (Anonyme, 1992). De nombreux dépôts rougeâtres (« terres rouges »), qui résultent de la calcination de l’ampélite (le fer contenu dans la pyrite forme de l’hématite), sont visibles au-dessus du flanc septentrional de l’ancienne fosse d’extraction.

2) Le géosite des Tchaforis

Localisé en plein cœur d’Engis (parc communal des Tchaforis) et librement accessible (Figs. 1, 5A), ce géosite se situe dans une ancienne carrière ouverte au XIX^{ème} siècle dans les calcaires frasnien (Dévonien supérieur) (Poty & Chevalier, 2007) pour la production de chaux et, accessoirement, pour la confection de pierres de taille ; celle-ci fut laissée longtemps à l’abandon et transformée en décharge sauvage. Après des travaux de réhabilitation du site, menés par la commune d’Engis avec l’appui financier de la Région wallonne, sa mise en valeur a pu être entreprise et s’est notamment concrétisée par l’installation de plusieurs panneaux didactiques. En outre, un ancien four à chaux, en partie restauré, est visible à l’entrée du site ; le visiteur découvrira aussi un large panel des roches exploitées par des sociétés extractives locales sur le territoire engissois au travers de monolithes disposés en plusieurs cercles.

Développée dans la même unité structurale que celle du géosite d’Amay, cette carrière présente une coupe remarquable au sein des calcaires du sommet de la Formation de Lustin et son contact avec les calcaires argileux de la base de la Formation d’Aisemont (Figs. 5A, 6). Selon Poty & Chevalier (2007), la Formation de Lustin (Fig. 6) y inclut des calcaires bioclastiques riches en coraux (rugueux et tabulés)

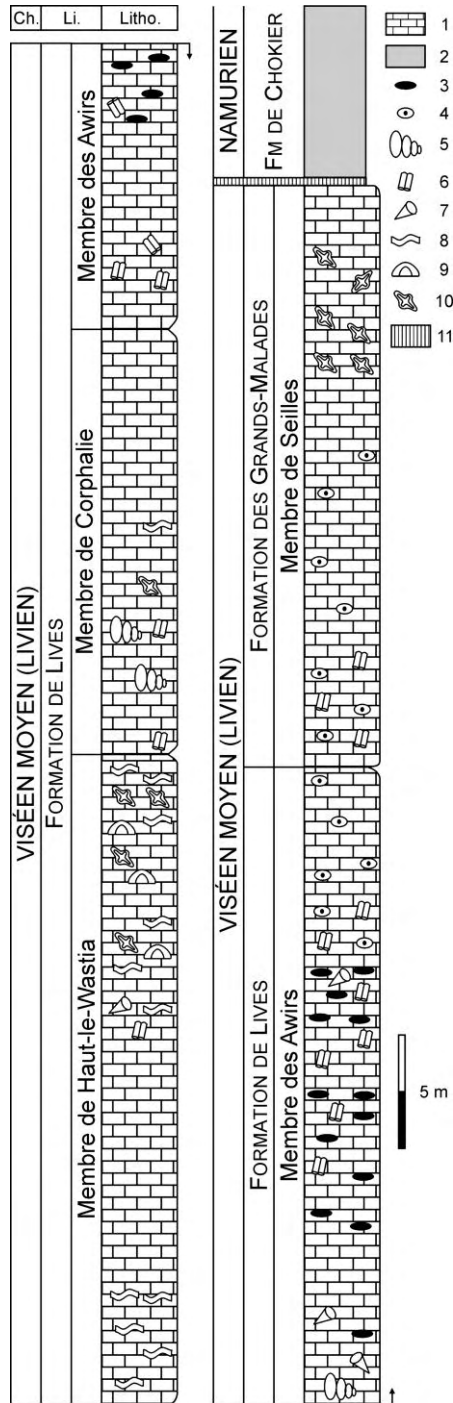


Fig. 4. — Colonne lithostratigraphique simplifiée du Viséen moyen (formations de LIVES et des Grands Malades) et du Namurien (Formation de Chokier) dans la région d’Ampsin–Les Awirs (d’après Chevalier, 2004). Abréviations : Ch, chronostratigraphie ; Li., lithostratigraphie ; Litho., lithologie. 1, calcaire ; 2, shale ; 3, cherts ; 4, crinoïdes ; 5, gastéropodes ; 6, rugueux fasciculés ; 7, rugueux solitaires ; 8, stromatolites ; 9, thrombolites ; 10, oncolites ; 11, lacune stratigraphique.

Fig. 4. — Simplified stratigraphic column of the Middle Viséan (Lives and Grands Malades formations) and the Namurian (Chokier Formation) in the Ampsin–Les Awirs area (modified from Chevalier, 2004). Abbreviations: Ch, chronostratigraphy; Li., lithostratigraphy; Litho., lithology. 1, limestone; 2, shale; 3, cherts; 4, crinoids; 5, gastropods; 6, fasciculate rugose corals; 7, solitary rugose corals; 8, stromatolites; 9, thrombolites; 10, oncolites; 11, stratigraphic gap.

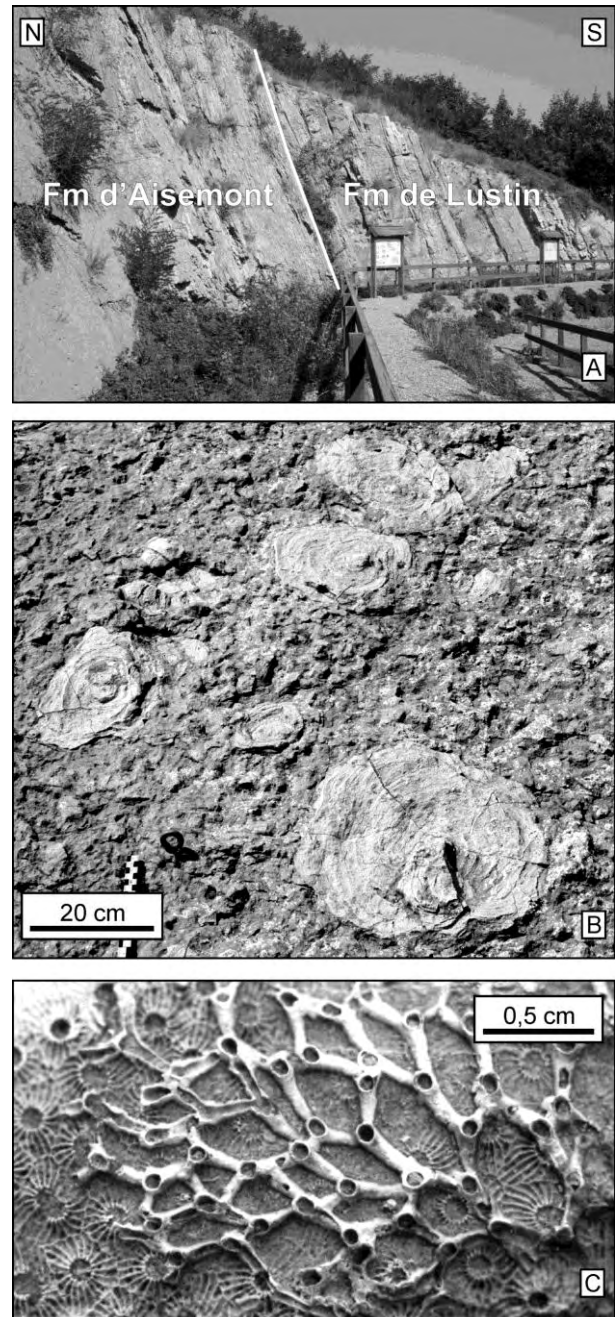


Fig. 5. — A, Vue partielle du géosite des Tchaformis à Engis exposant le contact entre la Formation de Lustin (sommet du Frasnien moyen) et la base de la Formation d’Aisemont (base du Frasnien supérieur) ; les couches sont renversées. Abréviations : Fm, Formation. B, Colonies de *Frechastraea* (*Rugosa*) dans la partie inférieure de la Formation d’Aisemont (vue de la base d’un banc renversé) (Poty & Chevalier, 2007). C, Auloporides (*Tabulata*) encrustant la surface d’une colonie morte de *Frechastraea* (biostrome de la base de la Formation d’Aisemont) (Poty & Chevalier, 2007).

Fig. 5. — A, Partial view of the Tchaformis geosite in Engis showing the contact between the Lustin Formation (top of the Middle Frasnian) and the base of the Aisemont Formation (base of the Upper Frasnian); the beds are reversed. Abbreviation: Fm, Formation. B, Colonies of *Frechastraea* (*Rugosa*) in the lower part of the Aisemont Formation (view of the base of a reversed bed) (Poty & Chevalier, 2007). C, Auloporids (*Tabulata*) encrusting a death colony of *Frechastraea* (biostrome of the base of the Aisemont Formation) (Poty & Chevalier, 2007).

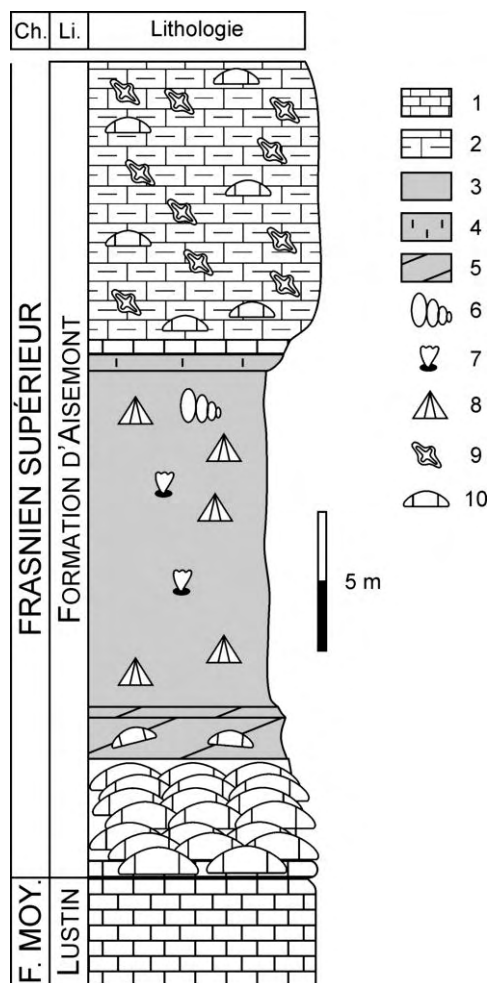


Fig. 6. — Colonne lithostratigraphique simplifiée de la Formation d'Aisemont (Frasnien supérieur) dans la région d'Engis (d'après Mottequin, 2005 et Poty & Chevalier, 2007). Abréviations : Ch, chronostratigraphie ; Li., lithostratigraphie ; Litho., lithologie. 1, calcaire ; 2, calcaire argileux ; 3, shale ; 4, shale carbonaté ; 5, shale dolomitique ; 6, gastéropodes ; 7, bivalves ; 8, brachiopodes ; 9, oncolites ; 10, coraux coloniaux.

Fig. 6. — Simplified lithostratigraphic column of the Aisemont Formation (Upper Frasnian) in the Engis area (modified from Mottequin, 2005 and Poty & Chevalier, 2007). Abbreviations : Ch, chronostratigraphy ; Li., lithostratigraphy ; Litho., lithology. 1, limestone ; 2, argillaceous limestone ; 3, shale ; 4, calcareous shale ; 5, dolomitic shale ; 6, gastropods ; 7, bivalves ; 8, brachiopods ; 9, oncolites ; 10, colonial corals.

et des stromatopores auxquels s'ajoutent des mudstones et des boundstones stromatolitiques. Quelques niveaux argileux et nodulaires correspondent à des cinérites paléopédogénétisées. Le sommet de la Formation de Lustin a subi une

dolomitisation partielle lors de son émergence à la fin du Frasnien moyen (Poty & Chevalier, 2007).

Le passage à la Formation d'Aisemont est net (Fig. 6). Celle-ci débute par des calcaires bioturbés riches en spicules d'éponges siliceuses, articles de crinoïdes et coraux coloniaux (*Frechastraea*, *Alveolites*) (Poty & Chevalier, 2007). Vient ensuite un épisode biostromal de près de 4 m d'épaisseur qui constitue l'attrait majeur du gisement des Tchaformis. Ce biostrome est formé par l'accumulation de colonies laminaires et discoïdes de rugueux dont le diamètre varie de quelques centimètres à plus de 80 cm et qui appartiennent principalement au genre *Frechastraea* (Fig. 5B). Ces dernières, qui peuvent représenter jusqu'à 90 % du volume de la roche (Poty & Chevalier, 2007), sont fréquemment retournées en raison de l'action des vagues de tempête. Poty & Chevalier (2007) ont mis en évidence que ce biostrome s'était développé dans un milieu à sédimentation nettement argileuse et soumis à l'action des vagues de beau temps. Le niveau biostromal passe verticalement à des calcaires argileux, plus ou moins dolomités, avec de nombreux rugueux (*Frechastraea*, *Hankaxis* et *Phillipsastrea*) et des tabulés (*Alveolites*, auloporides [Fig. 5C]) qui traduisent une augmentation relative de la profondeur, puis à des dolomies argileuses. La coupe se termine avec les premiers niveaux de shales caractéristiques de la partie intermédiaire de la Formation d'Aisemont (Fig. 6). Ceux-ci recèlent une faune peu diversifiée dominée par les brachiopodes (cyrtospiriféridés).

III. — CONCLUSIONS

Bien que la Wallonie recèle un patrimoine géologique de premier ordre, force est de constater que sa mise en valeur n'en est qu'à ses premiers balbutiements. Cependant, outre les gisements décrits succinctement ci-dessus, plusieurs projets sont en cours de réalisation en province de Liège, comme la mise en valeur de dépôts remarquables du Pléistocène supérieur à la carrière du Romont (Eben-Emael) et le futur mur géologique de Comblain-au-Pont, sans oublier le musée du silex (Eben-Emael) ainsi que l'ancien charbonnage de Blegny (Blegny-Mine). D'autres initiatives non négligeables se développent aussi, mais restent méconnues à cause de leur caractère strictement local et du manque d'information dans les médias et les informations touristiques. Gageons que d'autres affleurements et carrières remarquables seront à l'avenir préservés et valorisés, non pas comme centres d'enfouissement technique, mais comme partie intégrante du patrimoine, au même titre que les réserves naturelles et les monuments historiques.

Remerciements. — Les auteurs remercient Annie CORNEE (Muséum National d'Histoire Naturelle) et Eric GOEMAERE (Service Géologique de Belgique) pour leurs suggestions et remarques constructives ainsi qu'Alain BLIECK (Président) et Jean-Pierre DE BAERE (Directeur de la Publication) pour la SGN.

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME (1992). — *Les alunières à Flémalle et dans la vallée de la Meuse*. Commission historique de Flémalle, Flémalle-Haute, 143 p.

BARBIER J. (2006). — *Geologische Fietsroute – Halen*. Limburgse Koepel voor Natuurstudie, Het Groene Huis, Domein Bokrijk, Genk, 64 p.

- BARCHY L., MARION J.-M. & POTY E. (2008). — *Itinéraire géologique et paléontologique dans la carrière d'Ampsins (Amay, Belgique)*. World Wide Web address : <http://hdl.handle.net/2268/82984>.
- BELANGER I., DELABY S., DELCAMBRE B., GHYSEL P., HENNEBERT M., LALOUX M., MARION J.-M., MOTTEQUIN B. & PINGOT J.-L. (2012). — Redéfinition des unités structurales du front varisque utilisées dans le cadre de la nouvelle Carte géologique de Wallonie (Belgique). *Geologica Belgica*, **15** : 169-175.
- BÉTHUNE P. de (1954). — *Carte géologique de Belgique (échelle 1/500.000)*. Académie royale de Belgique, Atlas de Belgique, planche 8.
- BOLAND E., LÉONARD M. & MELIN, E. (2011). — *La nouvelle vie de la carrière d'Ampsins*. Séminaire Biodiversité (25 novembre 2011), Fédération des industries extractives de Belgique, Bruxelles, 28 p.
- CHEVALIER E. (2004). — *Etude sédimentologique, stratigraphie séquentielle et analyse spectrale dans le Livien (Viséen moyen) entre Flémalle et Dinant (Belgique)*. Université de Liège, Mémoire de DEA, 64 p.
- DELMER A., DUSAR M. & DELCAMBRE B. (2002). — Upper Carboniferous lithostratigraphic units (Belgium). *Geologica Belgica*, **4** : 95-103.
- DIDEROT D. & ALEMBERT J. Le Rond d' (1751). — *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Volume 1*. Briasson, David, Le Breton, Durand, Paris, 914 p.
- EK C., BARCHY L., MARION J.-M. & VANDENVINNE R. (2004). — *Balade géologique le long de l'Ourthe, de Liège à Comblain-au-Pont*. Ministère de la Région wallonne, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement, Namur, 84 p.
- HANCE L., POTY E. & DEVUYST F.-X. (2006). — Viséan. *Geologica Belgica*, **9** : 55-62.
- FRAIPONT J. (1936). — L'industrie de l'alun à Ramioul. *Bulletin illustré de la Société royale belge d'études géologiques et archéologiques (Les chercheurs de la Wallonie)*, **12** : 171-190.
- JANSSEN J. & DREESEN R. (2010). — *Geologische Fietsroute – Tussen Kempen & Maas*. Limburgse Koepel voor Natuurstudie, Het Groene Huis, Domein Bokrijk, Genk, 75 p.
- MOTTEQUIN B. (2005). — *Les brachiopodes de la transition Frasnien/Famennien dans le bassin de Namur-Dinant (Belgique). Systématique – Paléoécologie – Biostratigraphie – Extinctions*. Université de Liège, thèse de doctorat inédite, 427 p.
- PINGOT J.-L., CORNET C., PACYNA D., TOURNEUR F. & VANNESTE C. (2009). — *Sentier géologique à la citadelle de Namur*. Service public de Wallonie, Direction générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement, Namur, 60 p.
- POTY E. & CHEVALIER E. (2004). — *L'activité extractive en Wallonie. Situation actuelle et perspectives*. Ministère de la Région wallonne, Direction générale de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine, Namur, 85 p.
- POTY E. & CHEVALIER E. (2007). — Late Frasnian phillipsastreid biostromes in Belgium. *Geological Society of London, Special Publications*, **275** : 143-161.
- POTY E., HANCE L., LEES A. & HENNEBERT M. (2002). — Dinantian lithostratigraphic units (Belgium). *Geologica Belgica*, **4** : 69-94.
- THOREZ J., DREESEN R. & STREEL M. (2006). — Famennian. *Geologica Belgica*, **9** : 27-45.
- VANHOLST A., DREESEN R., VOORDECKERS B., PAQUE L., SNELLINCKX Z. (2009). — *Geologische Fietsroute – Herk & Mombeek*. Limburgse Koepel voor Natuurstudie, Het Groene Huis, Domein Bokrijk, Genk, 88 p.

VINGT SIÈCLES D'EXPLOITATION DES ARGILES PLASTIQUES D'ANDENNE (BELGIQUE) : DU GISEMENT AU MUSÉE DE LA CÉRAMIQUE.

Twenty centuries of plastic Andenne plastic clay mining (Belgium) : from the deposit to the museum of ceramics.

par Eric GOEMAERE (*), Pierre-Yves DECLERCQ (*) & Yves QUINIF (**)

(Planche VI)

Résumé. — Disposés en chapelets, les gisements de terres plastiques d'Andenne occupent des remplissages de cryptokarsts à argiles blanches ou colorées et associés à 3 bandes de calcaires dinantiens ou frasniens orientées E-W. Sables, lignites et argiles tertiaires (Néogène) se sont accumulés au fur et à mesure de la dissolution karstique formant une poche pouvant atteindre 100m de profondeur. L'acide sulfurique issu de l'oxydation des sulfures des lignites est le principal responsable de la formation d'argiles kaoliniques aux dépens des minéraux argileux et des feldspaths présents dans les sables. Les circulations d'eau ont induit le lessivage du fer et son accumulation dans certains horizons. Les argiles blanches riches en alumine et pauvres en fer et en alcalins ont été les plus recherchées pour leurs propriétés réfractaires. Exploités d'abord en surface puis en galeries souterraines, l'extraction a atteint son développement maximal au tournant des XIX^e et XX^e siècles pour définitivement s'arrêter vers 1970. L'argile et le sable blanc lessivé furent employées dans les industries du feu : verrerie, cristallerie, métallurgie... et alimentèrent les poteries, briqueteries, tuileries, faïenceries, porcelaineries, piperies et la fabrication des réfractaires industriels. L'argile blanche d'abord puis les produits finis ont été exportés dès le Moyen Age en Hollande, en Allemagne et en France, contribuant à la renommée internationale des argiles andennaises. Les dépressions engendrées par la subsidence qui a suivi les extractions souterraines forment un chapelet de mares et d'étangs, sources de biodiversité. Enfin, le Musée de la Céramique conserve les traces de ce remarquable patrimoine géologique, minier, industriel et artistique en présentant ses collections exceptionnelles de faïences, porcelaines et pipes. Musée vivant porteur de mémoire, il assure des fonctions éducatives et culturelles par ses expositions temporaires.

Abstract. — Arranged in strings, the plastic clay deposits from Andenne are fillings of cryptokarsts of white and colored clays associated with three layers of Dinantian Frasnian limestone oriented EW. Sands, brown coal and Tertiary (Neogene) clays have accumulated according to the karstic dissolution forming a up to 100m deep pocket. The sulphuric acid stemming from the oxidation of sulphides of brown coals is the main responsible for the formation of kaolinitic clays at the expense of clay minerals and the feldspathic sands. The circulation of water induced the leaching of the iron and their accumulation in certain horizons. White clays that are rich in alumina and of low iron and alkali content were the most looked for their refractory properties. Exploited at first on surface then in subterranean galleries, the extraction reached its maximum development around the 19th and 20th centuries to stop definitively in 1970. The clay and the white sand were used in the industries of fire: glassware, crystal, metallurgy... and fed the pottery, brick, tile, earthenware factory, porcelain factories, pipe factory and industrial refractory industry. The white clay first and then the final products have been exported since the Middle Ages in Holland, Germany and France, contributing to the international reputation of the clays from Andenne. Depressions generated by the subsidence as a consequence of the underground extractions form a string of pools and ponds, which are sources of biodiversity. Finally, the Ceramics Museum preserves the traces of this remarkable geological, mining, industrial and artistic heritage with its outstanding collections of pottery, porcelain and pipes. As a living museum holder of memory, it provides educational and cultural functions from its exhibitions.

Mots-clés : argile plastique blanche, cryptokarst, Néogène, carrières souterraines, Andenne

Keywords : white plastic clay, cryptokarst, Neogene, underground quarries, Andenne

I. — INTRODUCTION

La commune d'Andenne (Province de Namur, Belgique), forte de plus de 8600 hectares, est composée de la ville d'Andenne et de ses neuf villages. Andenne est traversée par son milieu et d'ouest en est par la vallée de la Meuse.

Plusieurs affluents sur les deux rives entaillent les terrains. Andenne regroupe sur son territoire les paysages hesbignon (partie nord), mosan (axe central) et condrusien (sud), reflets de la structuration de son sous-sol par les plissements calédonien et varisque et des processus érosifs différentiels méso-cénozoïques. Plusieurs unités structurales majeures se

(*) Institut Royal des sciences Naturelles de Belgique, Service Géologique de Belgique, Rue Jenner, 13, B-1000 Bruxelles, Belgique, eric.goemaere@naturalsciences.be.

(**) Faculté Polytechnique de Mons, Service de Géologie Fondamentale et Appliquée, Rue de Houdain, 9, B-7000 Mons, Belgique.

succèdent du nord au sud : le Massif du Brabant (Paléozoïque inférieur), le Parautochtone de Namur (Givétien à Westphalien), la Bande de Sambre-et-Meuse (Paléozoïque inférieur) et l'Allochtone ardennais (Lochkovien à Emsien). En discordance, une couverture discontinue de sédiments tertiaires et de limons quaternaires ainsi que des alluvions des vallées achèvent de composer le paysage géologique local. L'érosion par les rivières met à l'affleurement une grande diversité de terrains. Andenne est connue pour son extraordinaire diversité en ressources naturelles minérales qui en ont fait une commune riche en industries extractives et transformatrices : calcaires et dolomies (chaux et pierres ornementales), grès variés (réfractaires, pavés et pierre ornementale), minerais (oxydes et sulfures de fer, pyrite, fer oolithique, chapeau de fer, de plomb et de zinc), sables, charbon, lignite, roches alunifères, limons, eau et argiles plastiques.

Le présent article s'attache à décrire les gisements d'argiles plastiques (appelées aussi « terres plastiques ») d'Andenne, la nature et le mode de formation de ces argiles, leur exploitation souterraine, les industries qui les mirent en œuvre ; enfin il fera le point sur les aspects patrimoniaux.

II. — LES GISEMENTS DE TERRES PLASTIQUES D'ANDENNE

De longue date, les dépôts continentaux néogènes de la Haute Belgique ont suscité l'intérêt des géologues sur les plans stratigraphique, paléontologique, paléobotanique, gîtologique et minéralogique (par ex. d'Omalius d'Halloy, 1841 ; Lohest, 1887 ; Van den Broeck & Rutot, 1888 ; Calembert, 1945, 1948, 1954 ; Ertus, 1990 ; Dupuis, 1992 ; Dupuis *et al.*, 1993, 2003 ; Dupuis & Ertus, 1994 ; Nicaise, 1998 ; Roche *et al.*, 2008).

Les terres plastiques d'Andenne sont associées à des dépôts mixtes d'âge Néogène constitués de sables, argiles, graviers et parfois lignite et correspondant à deux types de dépôts différents. Les gisements du premier type dont des remplissages de poches karstiques comblées situés en Condroz (sud de la Meuse). Ces poches sont disposées en chapelets alignés suivant plusieurs bandes parallèles calcaires depuis l'Entre-Sambre-et-Meuse jusqu'à la vallée du Hoyoux en passant par Andenne. Signalons la présence d'halloysite associée au gisement métallique en contexte calcaire d'Angleur. Ce gisement est d'ailleurs la localité-type où le minéral a été identifié la première fois par Berthier (1826) en l'honneur du géologue belge J.J. d'Omalius d'Halloy (1783-1875), (Goemaere & Hanson, 1997). Ces bandes calcaires en dépression topographique correspondent à des plis synclinaux à cœur dinantien ou givétien-frasnien). Ces synclinaux alternent avec des anticlinaux en relief à cœur composé de roches terrigènes (Famennien et Dévonien moyen). Le relief condrosien est marqué par une série d'ondulations topographiques grossièrement orientées NE-SW.

Des dépôts horizontaux résiduels argilo-sableux rencontrés dans la partie sud de la Hesbaye, et dont la localisation est indépendante de la nature lithologique du substrat forment le second type. Ils ne sont donc pas associés à des cryptokarsts. Ils ont principalement été exploités pour le sable et occasionnellement pour des argiles. Ils sont non datés et aucun affleurement d'argile n'est visible aujourd'hui.

Sur la commune d'Andenne, ces gisements sont du nord au sud :

- au nord et à proximité de la Meuse, des lambeaux de sables et argiles ont été exploités en surface et plus anciennement (par ex. Marsinne). Ils reposent sur différents types de substrats géologiques. Situé en-dehors de la commune d'Andenne, ce gisement illustre le second type de dépôt argileux. Plus au nord encore, la couverture lössique plus épaisse ne permet plus les observations.

- deux bandes parallèles superposées aux calcaires dinantiens (Parautochtone de Namur), avec du nord au sud (Fig. 1 & 2) : une bande de 6 km de longueur, de Mozet à Andenne, via Bonneville qui comprend les gisements de Vaudaigle et La Trixhe (Al Triche) ; une bande, séparée de la première de 2 km environ, longue de 18 km, partant de Naninne vers Coutisse, en passant par Wierde et Haltinne (Strud), avec notamment le site de Champseau (ou Champasia) ;

- Une troisième bande se surimpose sur des calcaires frasnien (Allochtone ardennais, bord nord de l'Allochtone ardennais *partim* Synclinorium de Dinant) de Sorée à Jamagne (Marchin) et sur la commune d'Ohey, située au sud d'Andenne ;

- Plus au sud encore (en-dehors de la commune d'Andenne), d'autres gisements d'argiles plastiques d'Andenne sont implantés sur d'autres synclinaux à cœur de calcaires dinantiens (Allochtone ardennais, zone axiale du Synclinorium de Dinant).

III. — NATURE ET MODE DE FORMATION DES ARGILES PLASTIQUES D'ANDENNE

Les terres plastiques d'Andenne sont déposées dans des cryptokarsts, dépressions creusées dans le toit du massif calcaire (Dinantien ou Givétien-Frasnien) recouvert par une couverture de sable, perméable et non carbonatée. La surface des formations calcaires est défoncée soit en lapiaz, soit en dolines. Ces formes, appelées cryptokarstiques, se développent de façon cachée, sous une formation de couverture perméable à l'intervention d'eaux chimiquement agressives. Avant de parvenir au calcaire, les eaux altèrent les minéraux composant le remplissage karstique et la couverture sableuse préexistante (feldspaths, phyllosilicates, glauconie...). Al et Si sont mobilisés et se recombinaient au contact avec le calcaire ce qui est à l'origine de la néoformation d'halloysite et/ou de la silicification du substrat (Fig. 3). Deux types de cryptokarsts sont décrits en Belgique : les cryptokarsts à fer et les cryptokarsts à halloysite (Ertus, 1990 ; Dupuis, 1992, Dupuis *et al.* 1993, 2003 ; Nicaise, 1998), (Fig. 3). La différence entre la géochimie des deux types de cryptokarsts réside dans la composition chimique de la couverture, la présence en abondance ou non de glauconie, et dans l'évolution géologique du cryptokarst avec la présence de dépôts formés en milieu palustre (marécage) d'autre part. Ces critères distinctifs ne sont pas être appliqués strictement, puisque de la glauconie a été identifiée dans des cryptokarsts à halloysite (Ertus, 1990). La glauconie est surtout présente dans les sables thanétiens qui forment la couverture des cryptokarsts de la région occidentale de Couvin et donnera des cryptokarsts où des oxydes de fer se forment au contact de l'encaissant calcaire. Ce type de karst a été vidé tant pour les sables que pour le minerai

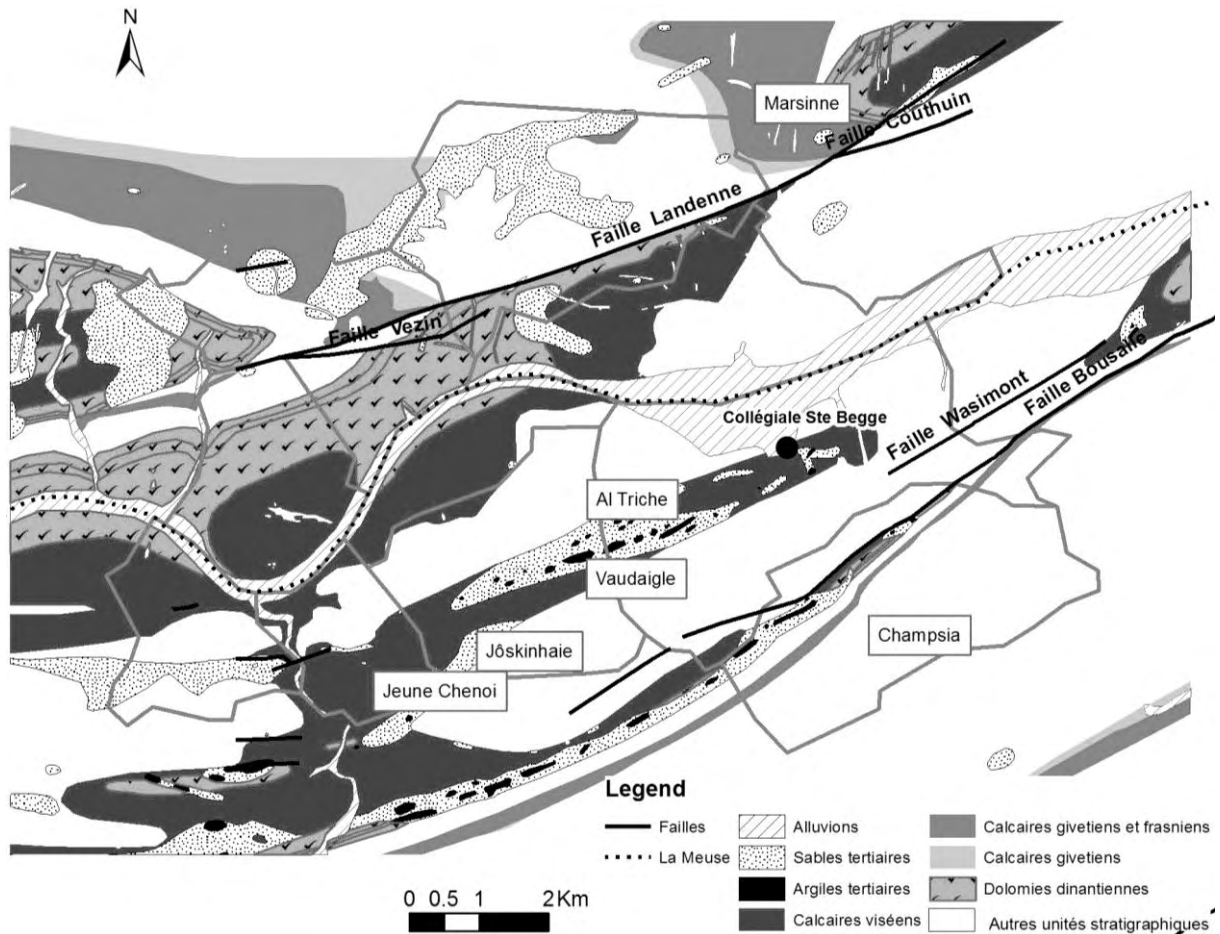


Fig. 1. — Carte géologique simplifiée localisant les dépôts tertiaires et les principaux sites à terres plastiques sur la commune d'Andenne : Jeune Chenoi(s), Jöskinhaie, Vaudaigle, Al Triche et Champsia. © SGB.

Fig. 1. — Simplified geological map showing tertiary deposits and the main plastic clays locations in Andenne: JeuneChenoi(s), Jöskinhaie, Vaudaigle, Al Triche and Champsia. © SGB.

de fer oxydé. La couverture des autres cryptokarsts est constituée de sables éocènes sans glauconie et ne donnent pas lieu à accumulation de minerai de fer.

La ligne de rivage de la Mer du Nord fluctue beaucoup au cours du Tertiaire et atteint à certains moments la latitude d'Andenne. La succession des événements dans la zone à cryptokarsts tirée de Roche *et al.* (2008) peut être schématisée comme suit. La transgression de la fin de l'Eocène dépose des sables marins sur la pénéplaine post hercynienne et est suivie d'une régression et de l'évolution en milieu continental. L'érosion réduit de manière inégale l'épaisseur des sables, accompagnée par une première karstification (?). La karstification principale débute au Miocène moyen avec accumulation concomitante du cortège des sédiments continentaux jusqu'au Pliocène, parfois jusqu'au Pléistocène. Les phases transgressives déposent des sables marins. Les épisodes régressifs entraînent l'érosion de ces sables et celles des altérites continentales. Ces produits sont transférés en milieu marin *via* les cours d'eau et comblent les dépressions karstiques en développement. Le premier dépôt reposant sur le toit du calcaire est le sable marin transgressif ayant recouvert la surface continentale datée de la fin de l'Éocène et du début de l'Oligocène. Suit une succession de formations

continentales, certaines témoignant de conditions fluviales, d'autres d'environnements palustres. On rencontre ainsi des sables avec des galets roulés, des argiles plus ou moins riches en matières organiques, de véritables argiles ligniteuses riches en débris végétaux, notamment des troncs de *Taxodium*. Il est possible de reconstituer une évolution témoignant d'un enfoncement de la cryptodoline parfois rapide (milieu palustre avec nappe d'eau perchée), parfois plus lent (intervention d'apports fluviaux circulant à la surface du plateau).

Les dépôts sédimentaires se présentent en lentilles dont la plus grande épaisseur correspond au point d'enfouissement maximum, ce dernier migrant au cours du temps. Le soutirage karstique a induit la déformation des couches sédimentaires conférant parfois des pentes verticales, voire des couches renversées (Pl. VI ; 3 & 4).

IV. — NATURE, PROPRIETES ET USAGE DES TERRES PLASTIQUES

Un texte datant du 5 décembre 1696 fait déjà l'éloge des argiles blanches d'Andenne: " la blanche derle qui se tire au

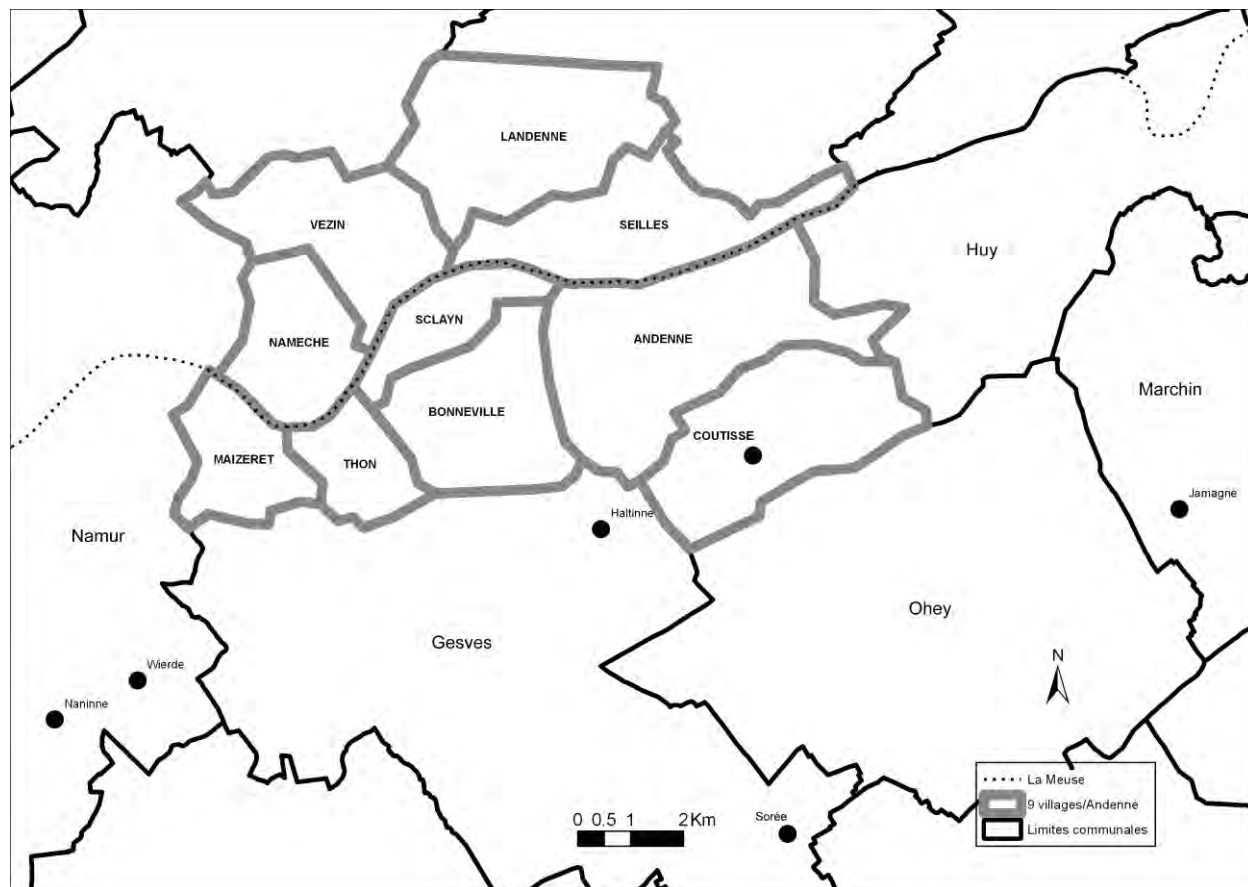


Fig. 2. — Carte localisant les communes et villages cités dans cet article.

Fig. 2. — Map locating the communes and villages cited in the present paper.

Ban du dit Andenne est la meilleure de toutes celles qui se tirent entre Namur et Huy, même la meilleure de toutes les blanches derles du pays... et qu'elle est recherchée tant parmi les marchands de Hollande, Liège, que Maastricht; elle est renommée pour bien cuire...". Les terres plastiques d'Andenne sont nommées « derles » et les carrières souterraines, des « derrières ». Les ouvriers sont des « derliers », aussi appelés « tireurs » de terres plastiques.

Les terres plastiques sont classées en quatre catégories suivant leur teneur en alumine. Les terres « maigres » ont 13 à 18 % d'alumine. Les terres « demi-maigres » (ou demi-grasses) contiennent 19 à 24 % d'alumine et sont requises pour la fabrication des pipes. Les terres « grasses » sont composées de 28 à 33 % d'alumine et appelées « savons ». Les « terres alumineuses » ont des teneurs en alumine supérieures à 38 %. La qualité des terres dépend également de leur contenu en sable et de leur granulométrie. Les terres maigres sont peu liantes au contraire des terres grasses. Les terres alumineuses sont dites « courtes », c'est-à-dire moins liantes que les précitées. La terminologie « argile courte » et « argile liante » renvoie à l'aptitude au modelage, faible pour la première (cassante) et bonne pour la seconde (plastique). Dans chacune des catégories, il faut encore distinguer trois qualités de terre. Le 1^{er} choix, dit « terre de glacerie », est de teinte uniforme et d'une grande pureté, elle présente une parfaite homogénéité. Le 2^e choix a reçu différents vocables :

« terre marbrée », « terre à cuire », « terre d'usine à zinc », ou bien « terre de première classe de fabrication ». Son aspect irrégulier, plus ou moins nuancé, est à l'origine de son appellation "marbrée"; l'homogénéité et la pureté de cette terre sont inférieures à celles des terres de glacerie. Le 3^e choix, ou « crawes », présente des colorations multiples, des impuretés diverses, qui bariole cette terre de stries ou de taches jaunes, vertes ou rouges. Enfin, certains distinguaient une argile rougeâtre sur fond blanc (3/4 maigre) appelée « terre damassée », intermédiaire entre les terres "marbrées" et les « crawes ». Paradoxalement, le contenu minéralogique précis de ces terres argileuses n'est pas connu en raison de la quasi absence d'échantillons géologiques d'origine connue (quel gisement, quelle profondeur, quelle couche ?) préservés dans les collections de référence. La modernisation de la salle de géologie du Musée de la céramique d'Andenne et l'appel à un collectionneur privé va permettre un accès aux roches exposées pour en conduire des analyses minéralogiques et chimiques ainsi qu'une caractérisation de la morphologie des particules au microscope électronique à transmission. Les résultats seront présentés ultérieurement et comparés avec des céramiques blanches réputées fabriquées à Andenne.

La qualité des terres, leur teneur en alumine, l'épaisseur et la continuité des couches ainsi que la coloration des terres varient tant au sein d'un même gisement que d'un gisement à l'autre, passant du blanc au noir et se déclinant dans toutes les

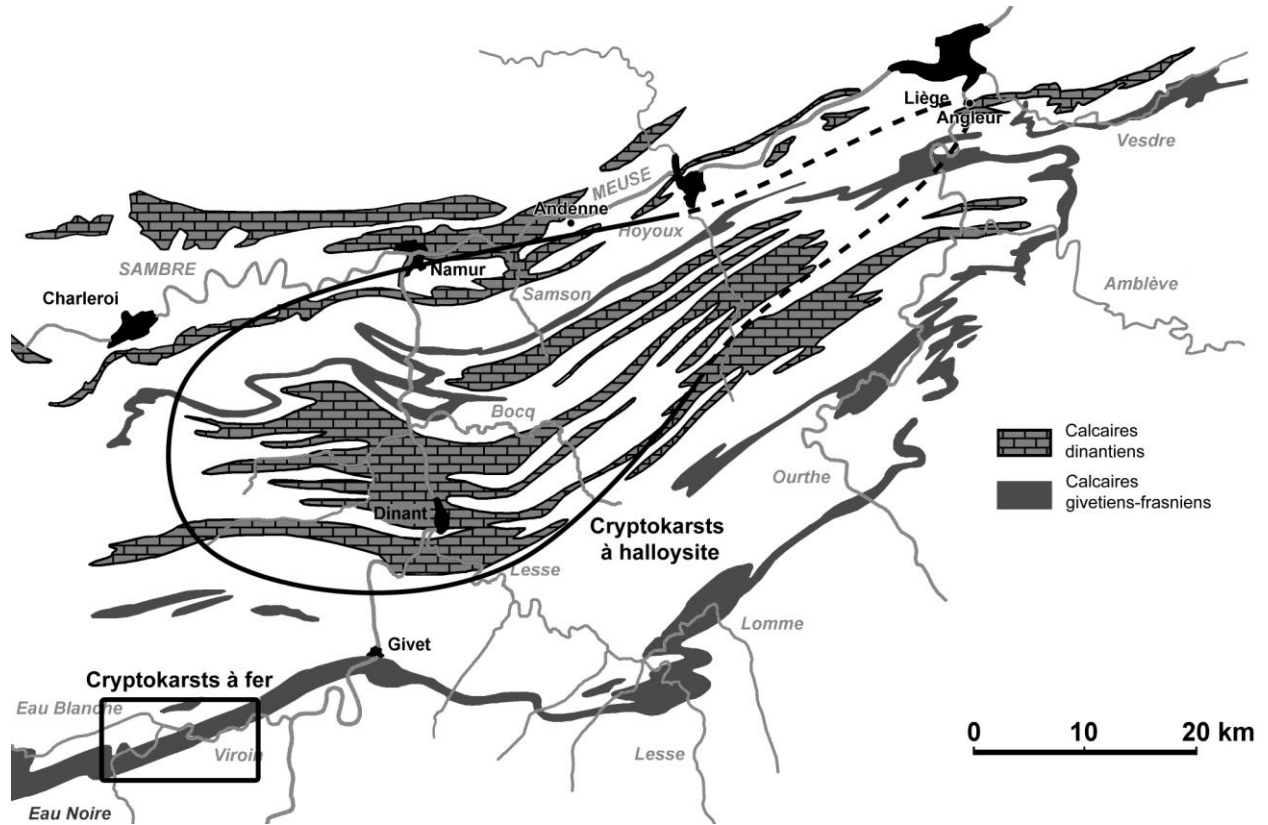


Fig. 3. — Localisation des cryptokarsts à fer sous la couverture transgressive thanétienne et des cryptokarsts à halloysite sous les sables transgressifs Eocène terminal de l'Entre-Sambre-et-Meuse et les cryptokarsts andennais (figure modifiée d'après Dupuis, 1992).

Fig. 3. — Location of cryptokarsts with iron under the Thanetian transgressive cover and cryptokarsts in halloysite under transgressive final sands of Entre-Sambre-et-Meuse and Andenne cryptokarsts (figure modified according to Dupuis, 1992).

gammes de jaune, de rose, de rouge, de violet, de bleu, de gris et de brun, sans compter les bigarrures et les marbrures. La couleur jouait anciennement un rôle dans l'appréciation de la valeur des terres, les claires étant plus estimées que les plus foncées et plus particulièrement celles qui cuisaient « blancs ». Ce lien entre qualité et couleur n'est cependant pas toujours objectivé. Les colorations jaunes, orange et rouges sont induites par la présence de fer tandis que la couleur noire est reliée au contenu en matière organique.

Outre leur contenu et leur coloration, d'autres propriétés permettent de classer les terres argileuses andennaises en trois types :

- Les terres réfractaires. Elles sont caractérisées par un point de fusion situé entre 1600 et 1700°C et une grande pureté. Notons que les impuretés baissent le point de ramollissement. Beaucoup de terres de cette catégorie subissent une calcination préalable avant leur utilisation comme matériau réfractaire. Les meilleures terres ont un squelette siliceux et se marquent par l'absence de fondants (alcalins), d'oxydes et d'hydroxydes métalliques colorants ; ils donneront des produits blancs après cuisson. Les terres moins pures sont employées crues et mélangées avec des produits déjà calcinés. Toute une série de terres grasses, demi-maigres ou maigres possèdent la même réfractarité.

- Les terres à grès. Leur température de vitrification est relativement basse, entre 900 et 1100°C environ. Elles

peuvent contenir des teneurs variables en alumine, mais elles doivent être exemptes d'impuretés localisées, lesquelles entraîneraient une fusion inégale des produits.

- Les terres à foulon. Douées d'un fort pouvoir absorbant des corps gras et utilisées crues, ces terres permettent, par exemple, d'enlever le suint de la laine des moutons. Ces terres sont assez rares dans la zone andennaise.

V. — DÉBUT ET FIN DE L'EXTRACTION DES ARGILES D'ANDENNE

Des argiles blanches et des céramiques blanches ont été trouvées sur des sites de potiers de la période gallo-romaine. Les premières sources documentaires remontent au début du XIII^e s. L'extraction était déjà florissante en 1289, époque à laquelle la « derle » était utilisée par les batteurs de cuivre de Dinant et de Bouvignes pour la fabrication de leurs creusets (cité par Melin, 1928). Dès 1328, le comte de Namur, Jean de Flandre, accorda aux batteurs de cuivre de Bouvignes d'extraire la derle en tout endroit du comté où elle existait. La même concession fut accordée en 1466 aux batteurs de cuivre de Namur. A cette époque, le Chapitre Noble d'Andenne défendit ses droits de propriété du sol et n'obtint gain de cause qu'en 1665, consacrant complètement les droits des Dames du Chapitre d'Andenne et condamnant les batteurs de

civre de Namur à payer une forte redevance, correspondant à la valeur des terres extraites. Même sentence était rendue si un habitant tentait d'exploiter de l'argile dans sa propriété. Une sentence définitive de 1699 (Grand Conseil de Malines) permit cependant aux propriétaires d'ouvrir ou de faire ouvrir des exploitations dans leurs terres moyennant une redevance égale au 1/10 de la valeur des terres extraites et cela marqua le début de la prospérité pour la région andennaise. Les volumes extraits étaient sous la surveillance des Dames du Chapitre qui veillaient à la perception des redevances. Au début du XVIII^e s., l'exploitation était extrêmement active : le Chapitre, la Communauté et les particuliers se firent exploitants. Des charretées de terre plastique étaient exportées vers la Hollande. En 1716, une manufacture de pipes en terre (Nicolas Claudel) s'ouvrit à Saint Servais (Namur) et une autre à Andenne en 1783 fut ouverte. Après la révolution brabançonne (1787-1790), liberté entière fut octroyée à quiconque souhaitait extraire la terre plastique au ban d'Andenne, moyennant une redevance aux Dames Chanoinesses d'Andenne.

L'industrie céramique alimentée par les gisements locaux connus, dès le début du XIX^e s., un développement considérable à Andenne et à Huy. En 1806, Napoléon établit un blocus continental à l'encontre de l'Angleterre empêchant ce pays d'exporter ses marchandises, ce qui favorisa les ventes de terres andennaises. Par contre, en 1815, la victoire des Alliés sur Napoléon plongea l'industrie belge dans une profonde crise suite à la fermeture du marché français avec baisse de production, diminution de l'emploi et des salaires. La fin du blocus continental permit à l'Angleterre de concurrencer la Belgique en exportant ses terres plastiques vers la Hollande, jusque-là client privilégié des producteurs andennais. En 1840, Andenne devint un véritable centre industriel. Malgré une crise qui affecta les faïenceries, en raison de l'exigence de droits de douane élevés, les terres plastiques continuèrent à s'exporter. Les sociétés qui exploitaient ces terres écoulaient leurs marchandises en Belgique, mais aussi aux Pays-Bas, en Espagne et en Allemagne.

Les extractions progressent ensuite durant tout le 19^e siècle et une partie du XX^e s. avec des demandes toujours plus grandes. Les exploitants indépendants se mettent en société et de fusion en fusion, de grands groupes se forment. La concentration industrielle était indispensable car les gisements plus profonds étaient d'accès plus difficile et nécessitaient des capitaux plus importants, du matériel coûteux et la production devait répondre aux nouvelles exigences industrielles. Une entente (cartel) s'est établie entre les plus grands exploitants dès 1939. Le nombre d'ouvriers et la production pour l'année 1948 est donné au tableau I.

De 1945 à 1955, les gisements souterrains ont été mal exploités parce que la priorité était donnée à la quantité d'argile extraite au détriment de la qualité. Pour produire en abondance, les cadres en bois étaient enlevés et tout ce qui tombait était remonté. Des chambres de plus en plus grandes se formèrent. Quand cela devenait trop dangereux, l'exploitation était abandonnée et recommencée juste à côté selon le même mode opératoire. Au bout de quelques années, lorsque les salles furent effondrées, les gisements ainsi exploités se lézardèrent et devinrent inexploitable. Les eaux, la terre et le sable se retrouvaient partout avec comme résultat que plus de 50 % du gisement était perdu, sacrifié pour le rendement d'une décennie ! Des années 50 et 60, de la terre

Sièges souterrains	Nombre d'ouvriers		Tonnage
	fond	surface	
Ancienne commune			
Andenne s.s.	21	8	4.110
Bonneville	35	18	11.750
Coutisse	41	21	13.760
Sclayn	2	1	1.080
Veizin	3	2	520
Sous-total	102	50	31.220
Bassin condrusien	324	170	114.350

Tab. I. — Production de terres plastiques des anciennes communes en 1948 (Elen, 1999).

Tabl. I. — Plastic clay production from the old villages in 1948 (Elen, 1999).

plastique fut importée d'Allemagne à un prix moindre que celle extraite d'Andenne. Les gisements allemands étaient exploités à ciel ouvert, avec une mécanisation adaptée des chantiers. Les fameuses pipes andennaises ont été fabriquées jusqu'en 2009 avec cette terre allemande.

A Andenne, seule une sablière est encore visitable mais aucune couche argileuse n'est accessible.

VI. — EXPLOITATION DES ARGILES PLASTIQUES

Les premières exploitations de terres plastiques étaient conduites à ciel ouvert. Compte tenu de la disposition géométrique des gisements de terre plastique, un mode d'extraction souterrain s'imposa. Les sites étaient identifiés par des sondages préalables et exploités au moyen de puits et de galeries souterraines, car si les couches plastiques se trouvent déjà à quelques mètres sous la surface du sol, d'autres sont enfouies à plus de 100 mètres de profondeur. Par comparaison avec l'exploitation des mines de charbon, qui se signalent par des terrils impressionnants, les exploitations de terre plastique sont discrètes dans le paysage. Elles se signalent par un « défoncé » (Pl. VI ; 1), c'est-à-dire une dépression sous forme d'une cuvette fermée elliptique, de quelques dizaines à une centaine de mètres de longueur ; ces cuvettes sont généralement emplies d'eau. Aujourd'hui des étangs au pourtour boisé signalent encore l'emplacement des anciens travaux souterrains. Les plans datant de la fin du XIX^e s. et de la première moitié du XX^e s. montrent que ces cryptokarsts ont, en surface, des dimensions décamétriques et hectométriques (Pl. VI ; 5).

L'exploitation d'une même poche peut comporter plusieurs fosses. La fosse exploite la partie supérieure du gisement argileux où travaillent en moyenne trois hommes, un à la taille, un au transport dans la galerie, un au treuil et au chargement.

Les sables forment une enveloppe autour du gisement d'argile en séparant ce dernier du calcaire de l'encaissant : ils entourent, sur les côtés et à leur base, les couches d'argile. Les premières couches argileuses, impures au contact des sables, sont appelées « dègues » ou « deignes ». Si les argiles exploitées sont imperméables, les sables et le calcaire de

l'encaissant sont aquifères. Les puits et les galeries du fond ne peuvent donc s'approcher du dègne sous peine de voir les travaux souterrains envahis d'eau et les tireurs de terres plastiques noyés. La proximité du dègne est heureusement perceptible par l'augmentation des suintements et par le changement de la qualité et de la teinte de l'argile.

Vu la faible dimension des poches, aucune mécanisation n'était possible. Les puits (1,20-1,50m de diamètre) sont implantés dans les sables extérieurs formant l'enveloppe du gisement d'argiles, car ils sont plus faciles à foncer et à entretenir. La hauteur du niveau piézométrique dans ces sables détermine la profondeur du puits et le niveau d'eau varie d'un gisement à l'autre. Une galerie horizontale creusée juste au-dessus du niveau piézométrique permet de pénétrer dans le gisement argileux et d'en commencer l'extraction. Pour atteindre des niveaux plus profonds, des sous-puits verticaux ou inclinés appelés « burquins » ou « bourriquets » sont foncés dans l'argile imperméable. Les puits externes étaient foncés par groupes de deux, le premier servant à la descente des hommes et du matériel et à la remontée des terres extraites, le second servant à l'aération des travaux souterrains et comme puits de secours. Une trentaine de puits pouvait entourer une seule poche. Le revêtement des puits minimaliste était constitué de cerceaux de bois régulièrement espacés et garnis de paille. Les travaux souterrains étaient étanchonnés de bois et récupérés à la fin des travaux. Après extraction la plasticité des roches induisait une fermeture des chambres et un affaissement du toit du gisement. Un simple treuil muni d'un câble permettait la circulation dans les puits externes et internes des hommes, du matériel et des argiles extraites.

L'extraction des argiles était manuelle au moyen d'outils spécifiques (pioches, « grettes », « osteye », « aiguille », « yoyo »...) permettant de découper des blocs d'argile de 75 à 100 kg. Les chambres étaient reliées au puits par des galeries basses où des chercheurs poussaient des brouettes basses ou des wagonnets plats disposés sur rails. Un site pouvait produire 5 à 6 tonnes/jour.

Trois dangers principaux guettaient les mineurs : le grisou, les infiltrations d'eau et les chutes dans les puits. Comme dans les mines de charbon, du grisou pouvait empoisonner les galeries souterraines et provoquer des explosions au contact de la flamme des lampes à carbure. Le méthane provient de la décomposition des matières organiques présentes dans les argiles, mais aussi des lignites (« machurias »). Watteyne (1907) évoque la décomposition des boisages abandonnés lors d'exploitations antérieures comme responsable de la fabrication de méthane, arguant que les poches d'argiles n'ayant jamais été exploitées ne renferment pas de méthane. Le gaz migre vers les cavités créées par l'homme ou se concentre dans les anciens travaux. La présence de grisou a nécessité d'améliorer (voire de forcer) la ventilation et de recourir aux lampes de sûreté dans les gisements de terres plastiques. Les conditions de sécurité étaient précaires : les câbles pouvaient se rompre et les hommes descendaient dans les travaux souterrains, sans sécurité aucune, un pied appuyé sur un crochet. Extraites sous le niveau aquifère, les argiles de la poche empêchaient les infiltrations des eaux. Les tassements, effondrements ainsi qu'une exploitation menée trop près de l'enveloppe sableuse entraînaient l'envahissement des travaux souterrains par les eaux mêlées de sable, condamnant ainsi les travaux et parfois les mineurs. Plusieurs accidents sont relevés en 1889, 1891 et

1897 qui ont fait 5 brûlés graves et 2 autres mortels dans les 10 années qui ont suivi. « La pratique courante, qui rappelle les temps lointains des pénitents dans les mines de charbon, est d'allumer directement ce gaz au fur et à mesure qu'il se dégage par l'une ou l'autre fissure. De 1897 à 1906, 20 accidents (ayant fait l'objet d'une enquête administrative) font, pour l'ensemble des exploitations de terres plastiques du Condroz, 13 tués et 11 blessés, dont 3 blessés sur la grande commune d'Andenne. Les 20 accidents se répartissent en 7 inflammations de grisou qui font 3 morts parmi les ouvriers et 8 brûlés (Watteyne, 1907). De 1917 à 1950, les accidents font 26 morts et la fréquence des accidents est élevée, surtout vers la fin de la période d'activité de cette industrie : 20 accidents en 1949 sur 116 personnes occupées, 33 accidents en 1950 sur 92 personnes occupées, 33 accidents en 1955 sur 85 personnes occupées (Léonet & Vos, 1996).

Les blocs d'argile remontés en surface sont triés, conditionnés et expédiés aux entreprises transformatrices situées dans la vallée de la Meuse.

En surface, quelques huttes de bois couvertes de paille ou de tôles nommées « cabanes », « baraques », ou « hayons » (Pl. VI ; 2) protégeaient le puits et les hommes des intempéries. Installées en bordure des défoncés (Fig. 4), elles pouvaient être déplacées lors du fonçage de nouveaux puits.

Vers 1900, plus de 160 sièges exploitaient l'argile plastique pour tout le Condroz (dont 1/3 pour les seules communes de l'entité d'Andenne) contre une cinquantaine en 1947). En 1948, 545 ouvriers travaillaient dans 8 entreprises (Tab. 2) : quatre sociétés anonymes, une en commandite simple et trois entreprises individuelles ; les sociétés anonymes n'apparaissent qu'au milieu du XX^e s. Le rassemblement des entreprises se poursuivra avec l'association de Pastor-Bertrand, Timsonnet & Gillet (TPBG) en 1925. TPBG fusionnera en 1951 avec Charleroi-Chaudoir-Alsi Réunis (CCA) pour devenir la société Belref (Belgian Refractories) (Brognet *et al.*, 1993). La société, vendue en 1987 au groupe britannique GR-STEIN, est renommée Hepworth Refractories en 1991 sans jamais avoir repris ses activités extractives à Andenne.

VII. — TERRES PLASTIQUES D'ANDENNE ET INDUSTRIE

Les poteries, faïenceries, porcelaineries, piperies et industries des réfractaires ont abondamment utilisé ces argiles seules, en mélange, crues ou calcinées selon les usages. On les retrouve également dans la métallurgie du zinc et du plomb installées dans la vallée mosane. Les briqueteries utilisaient par contre une argile d'altération ou des limons. Les industries du verre et du cristal (Val Saint Lambert) et les fonderies utilisèrent également en moindre mesure certaines argiles, mais surtout des sables blancs très purs. Enfin, le lignite (machuria) a servi très localement de combustible. Seules les industries des réfractaires et les piperies ont survécu à l'arrêt de l'extraction des terres plastiques d'Andenne. Les premières ont utilisé des minéraux alumineux importés en Belgique et les dernières importèrent des argiles allemandes. Pour ces dernières, les pipiers durent recréer par mélanges une argile ayant les caractéristiques voulues pour leurs produits.

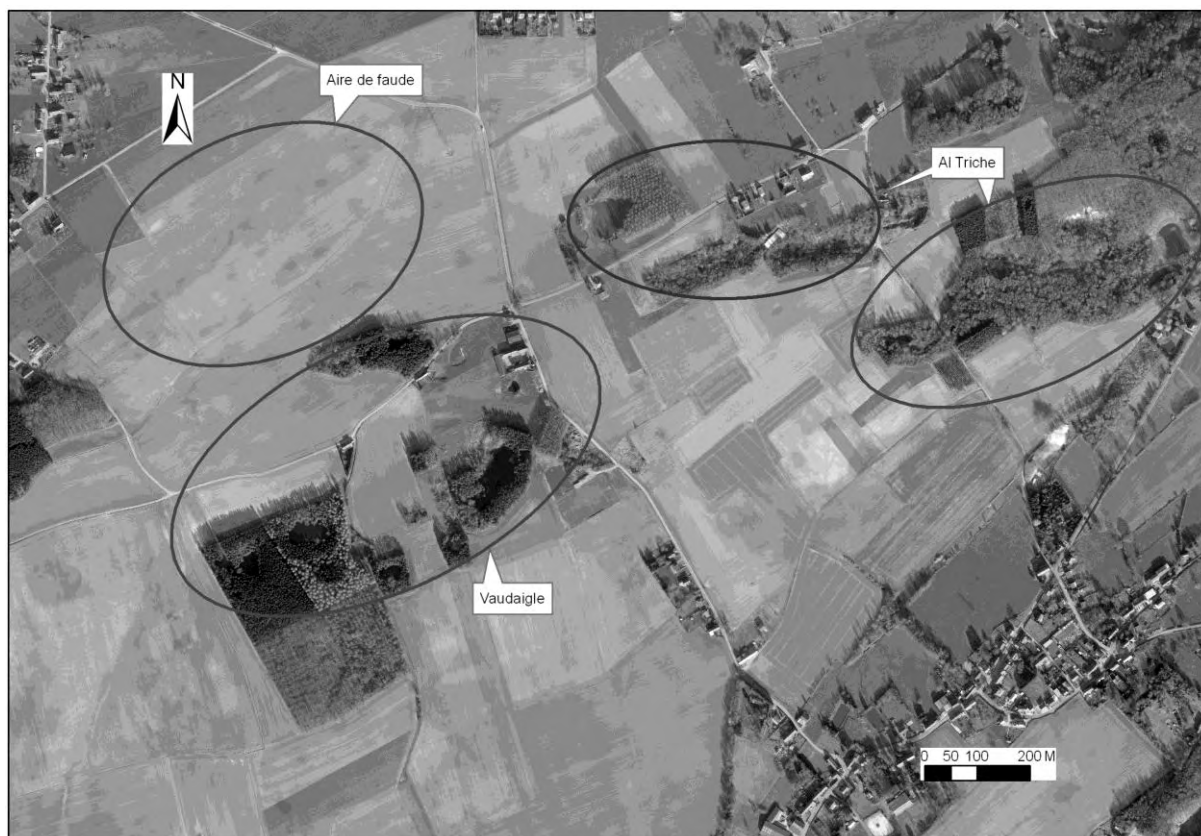


Fig. 4. — Document composite associant une carte topographique à 1/10 0000 © IGN et l’orthophotoplan numérique représentant les petites dépressions elliptiques ou circulaires fermées (« défoncés ») parfois occupées par un étang et sus-jacentes aux anciennes exploitations de terres plastiques de La Vaudaigle et Al Triche. Aire de faude : zone où du charbon de bois est fabriqué ; les taches circulaires noires correspondent aux traces des anciennes meules.

Fig. 4.— Composite picture associating the topographic map at 1/10,000 © IGN and the numeric orthophotoplan showing the small elliptic or circular closed depressions (« défoncés ») sometimes filled by water ponds superimposed upon the collapsed mines of plastic clay exploitations of La Vaudaigle and Al Triche. Aire de faude: area where charcoal is made; black spots correspond to the old traces of piles.

Entreprises	Nbre ouvriers	Production (tonnes)	Production francs belges (*)
S.A. TPBG	150	38.370	14.489.900
S.A. Minière Galet (1)	142	27.580	9.653.000
S.A. CCA Réunis (2)	67	14.790	4.154.500
S.C.S. Lange	64	14.750	5.397.000
S.A. Pasek Christian	37	11.750	2.349.700
Famille Bequet	47	8.590	3.439.500
Famille Dubois	35	7.250	2.829.200
Louis Mathieu	3	60	19.000
Total	545	122.940	42.331.800

(*) 1€= 40,4 BEF

Tab. II. — Production des sociétés andennaises actives dans l’extraction des terres plastiques en 1948 (Brogniet *et al.*, 1993). Les gisements exploités concernent Andenne et les communes voisines.

Tabl. II. — Production of companies from Andenne active in the extraction of the plastic clays in 1948 (Brogniet *et al.*, 1993). The exploited deposits concern Andenne and the nearby municipalities.

VIII. — TERRES PLASTIQUES D’ANDENNE ET PATRIMOINE

Seuls subsistent les défoncés au milieu des champs occupés par des mares. Souvent boisées sur leur pourtour et peu accessibles, ils échappent au regard. Nombre d’entre eux sont des réserves de biodiversité et repris en zones d’intérêt biologique par la Région wallonne. Ces dépressions se combent progressivement.

Les industries ont toutes arrêté leur activité et les bâtiments industriels ont été progressivement détruits pour laisser place à des zones commerciales ou à de l’habitat.

Enfin, le dynamique musée de la Céramique d’Andenne avec ses riches collections d’objets (pipes, faïences, céramiques, produits réfractaires, briques, tuiles), ses maquettes, ses outils et échantillons de roches et ses reproductions de puits et galerie entretient le souvenir de son riche passé. Outre les ateliers pédagogiques, c’est aussi le lieu d’expositions dédiées à la céramique ancienne et contemporaine (Pluymaekers, 2010).

Remerciements. — Les auteurs remercient Dr D. Nicaise (CSTC/BBRI) et Prof. Dr. C. Dupuis (UMons) pour leur relecture

attentive et constructive. Ils ont ainsi permis l'amélioration du manuscrit initial, en particulier sur les apports stratigraphiques.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTHIER P. (1826). — Analyse de l'halloysite. *Ann. Chim. et Phys.*, 32 : 332-335.
- BROGNIET E., Léonard Y., Maes J., Moisse M., Mordant R. & Wascotte P. (1993). — Andenne. Le Temps des libertés (1875-1975). Imprimerie Lallemand à Andenne, 383 p.
- CALEMBERT L. (1945). — Les gisements de terres plastiques et réfractaires d'Andenne et du Condroz. Imprimerie H. Vaillant-Carmanne, S.A., Liège, 204 p.
- CALEMBERT L. (1948). — Observations sur les dépôts tertiaires lacustres de La Triche (Andenne) et des régions voisines. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 72 : B115-B138.
- CALEMBERT L. (1954). — Les formations tertiaires de la Haute Belgique. Prodrôme d'une description géologique de la Belgique. Société géologique de Belgique. Imprimerie H. Vaillant-Carmanne, S.A., Liège : 510-532.
- D'OMALIUS D'HALLOY J.B. (1841). — Notice sur le gisement et l'origine des dépôts de minerais, d'argile, de sable et de phtanite du Condros (Belgique). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 12, série 1 : 242-251.
- DUPUIS C. (1992). — Mesozoic kaolinised giant regoliths and Neogene halloysitic cryptokarsts : two striking paleoweathering types in Belgium. In : Schmitt J.-M. & Gall Q. (Eds), Mineralogical and geochemical of paleoweatherings (IGCP 317 « Paleoweathering records and paleosurfaces »). Ecole nationale Supérieure des Mines de Paris, Mémoire Sciences de la Terre, 18 : 61-68.
- DUPUIS C. & ERTUS R (1994). — Neogene lacustrine deposits of karstic origin (Ardenne Massif, Belgium). In World and Regional Geology 4, Global geological record of lake basins. IGCP project 324, GLOPALS Eds E. Gierlosowski-Kordesch and K. Kelts). Cambridge University Press, 299-302.
- DUPUIS C., CHARLET J.-M., DEMARET M., GROESSENS E., HENNEBERT M., LOUWYE S., VAN GROOTEL G., VERVIERS J., NICAISE D. & VERGARI A. (1993). — Aspects méconnus et nouveaux du Bassin de Mons et de son soubassement. *Bull. Inf. Géol. Bassin de Paris*, 30 (3) : 7-54.
- DUPUIS C., NICAISE D., DE PUTTER D., PERRUCHOT A., DEMARET M. & ROCHE E. (2003). — Miocene cryptokarsts of Entre-Sambre-et-Meuse and Condroz plateaus. Palaeoenvironment, evolution and weathering processes. *Géologie de la France*, 1 : 27-31.
- ELEN A. (1999). — Andenne-Seilles. Grandes, moyennes et petites entreprises d'autrefois. Imprimerie Malherbe à Huy, 256 p.
- ERTUS R. (1990). — Les néo-formations d'Halloysite dans les kryptokarstsoligo-miocènes de l'Entre-Sambre-et-Meuse. Approche sédimentologique, pétrographique et minéralogique. Thèse de doctorat, Faculté Polytechnique de Mons en collaboration avec l'Université d'Orsay, 150 p.
- GOEMAERE E. & HANSON A. (1997). — New data about the halloysite from Angleur type-locality, Belgium. *Geologica Carpathica*, Series Clays, 6, 1: 11-25.
- GOEMAERE E. & QUINIF Y. (2010). — La géologie des terres plastiques d'Andenne. In : GOEMARE E. (Ed.), Terres, pierres et feu en vallée mosane. L'exploitation des ressources naturelles minérales de la commune d'Andenne : géologie, industries, cadre historique et patrimoines culturel et biologique, Service Géologique de Belgique, Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique, Imprimerie Chauveheid, Stavelot, 544p : 373-386.
- GOEMAERE E. (2010). — L'extraction des terres plastiques. In : Goemaere, E. (Ed.), Terres, pierres et feu en vallée mosane. L'exploitation des ressources naturelles minérales de la commune d'Andenne : géologie, industries, cadre historique et patrimoines culturel et biologique, Service Géologique de Belgique, Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique,, Imprimerie Chauveheid, Stavelot, 544p. : 387-398.
- LÉONET J. & VOS P. (1996). — Coutisse. Imprimerie Magermans, Andenne, 142p.
- LOHEST M. (1887). — De l'âge et de l'origine des dépôts d'argile plastique des environs d'Andenne. *Bulletin de l'Académie Royale de Belgique*, 3^{ème} série, XIII (4) : 439-444.
- MELIN A. (1928). — Histoire de la Ville et du Ban d'Andenne. Imprimeur H. Vaillant-Carmanne, Liège, 360 p.
- NICAISE D. (1998). — L'halloysite des cryptokarsts néogènes de l'Entre-Sambre-et-Meuse (Belgique). Synthèse géologique, minéralogique et géochimique. Thèse de doctorat inédite soutenue le 04/11/1998 à l'Université de Paris-Sud UFR Scientifique d'Orsay, 145p. + planches photographiques.
- PLUYMAEKERS A. (2010). — Le musée de la céramique : un passé pour aujourd'hui. In : GOEMARE E. (Ed.), Terres, pierres et feu en vallée mosane. L'exploitation des ressources naturelles minérales de la commune d'Andenne : géologie, industries, cadre historique et patrimoines culturel et biologique, Service Géologique de Belgique, Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique,, Imprimerie Chauveheid, Stavelot, 544p. : 537-543.
- ROCHE E., DUPUIS C., STAMBOULI-ESSASSI S., RUSSO-ERMOLLI E., DE PUTTER T., NICAISE D. & FAIRON-DEMARET M. (2008). — Phytostratigraphie et paléoenvironnements du Néogène de l'Entre-Sambre-et-Meuse et du Condroz (Belgique). Evolution paléoclimatique du subtropical humide au tempéré froid. *Geo-Eco-Trop*, 32: 101-130.
- VAN DEN BROECK E. & RUTOT A. (1888). — De l'extension des sédiments tongriens sur les plateaux du Condroz et de l'Ardenne et du rôle géologique des vallées d'effondrement dans les régions à zones calcaires de la Haute Belgique. *Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrogéologie*, II : 9-25.
- WATTEYNE V. (1907). — Les inflammations de grisou dans les exploitations des terres plastiques. *Annales des Mines de Belgique*, XII : 1013.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE VI
EXPLANATIONS OF PLATE VI

Fig.1. — « Défoncé » : étang artificiel ;

Fig.1. — Artificial pond called “défoncé”

Fig.2. — Hutte en paille, gisement de Les Trixhes (carte postale ancienne vers 1905) ;

Fig.2. — Straw hut, Les Trixhes deposit (old postal card around 1905)

Fig.3. — Puits d'extraction et d'aéragé de l'argile plastique (d'après Watteyne, 1907)

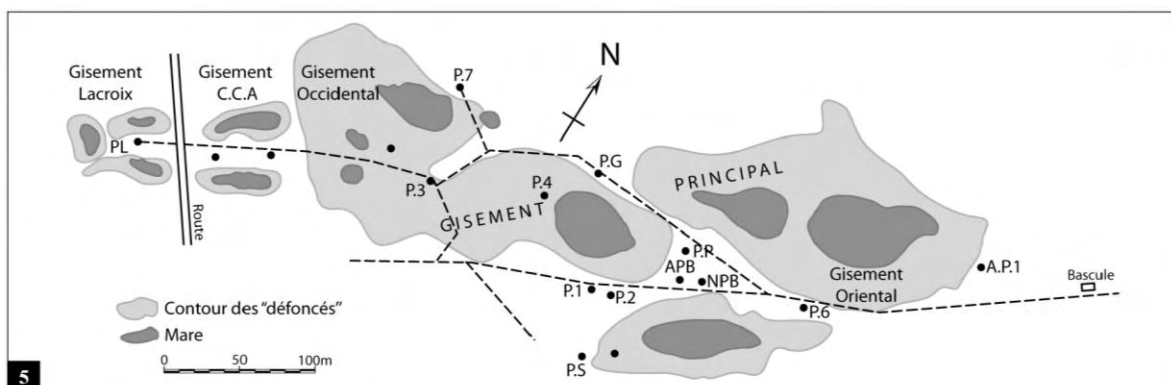
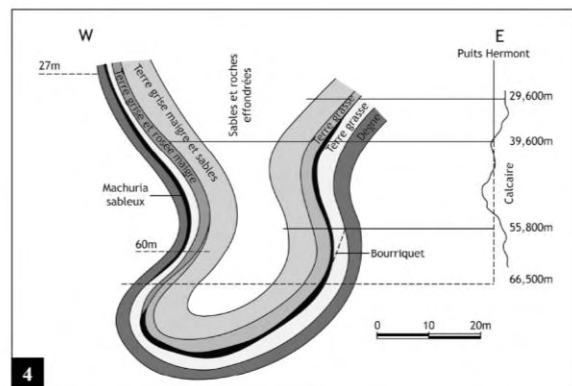
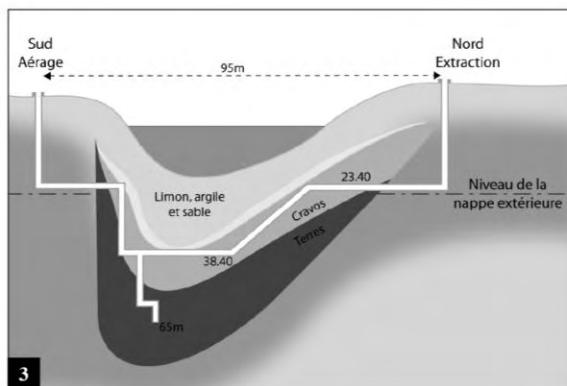
Fig.3. — Plastic clays extraction and aeration wells (after Watteyne, 1907)

Fig.4. — Coupe du gisement de La Vaudaigle (modifiée d'après Calembert, 1945);

Fig.4. — Section of the La Vaudaigle deposit (modified after Calembert, 1945)

Fig.5. — Croquis de situation du gisement Al Triche (modifié d'après Calembert, 1948). Infographie par A. Laurys (SGB-IRSNB).

Fig.5. — Sketch map of the Al Triche ore (modified after Calembert, 1948). Infography by A. Laurys (GSB-RBINS).





Ce numéro spécial de *Quaternaire* rassemble les résultats des importantes recherches menées en 1995 dans la vallée de la Selle, à Conty près d'Amiens (Somme), dans le cadre d'une opération archéologique de sauvetage. Ces recherches multidisciplinaires incluant stratigraphie, sédimentologie, archéologie, malacologie, palynologie, paléontologie et datations radiocarbone ont fourni un ensemble de données unique et des résultats remarquables concernant l'évolution des systèmes fluviaux en relation avec les modifications climatiques entre la fin du Pléniglaciaire weichselien et le début de l'Holocène. La première modification majeure de la morphologie fluviale est contemporaine de la transition Pléniglaciaire supérieur / Tardiglaciaire (vers 13 000 BP). La courte période froide qui est ensuite enregistrée au sommet des tourbes Bølling est attribuée au Dryas moyen (Dryas 2). À l'Allerød, l'occupation archéologique principale du gisement paléolithique de Conty s'intègre dans une séquence sédimentaire particulièrement bien développée attribuée à la phase récente de la tradition des groupes à *Federmesser*. Cette occupation, datée de la première moitié de l'oscillation d'Allerød entre 11 800 et 11 400 BP, est associée à de nombreux restes osseux. La fin du Tardiglaciaire est caractérisée par le colmatage de l'ensemble de la vallée par des limons de crue attribués à la phase froide du Dryas récent. Une deuxième phase d'incision majeure apparaît à la charnière avec l'Holocène vers 10 000 BP, en parallèle avec une autre phase de réchauffement climatique rapide et une nouvelle expansion de la végétation, révélées par tous les bio-indicateurs. D'un point de vue général, l'évolution des environnements fluviaux de la vallée de la Selle est comparable à celle de

nombreuses autres vallées du nord-ouest de l'Europe, montrant ainsi que les systèmes fluviaux réagissent très rapidement aux variations climatiques de courte durée.

Ce cinquième volume de la collection *Quaternaire hors série* comprend 172 pages et est vendu 35 euros aux adhérents de l'AFEQ ou aux abonnés à *Quaternaire*, 45 euros pour les autres personnes ou institutions (port compris). Il est disponible auprès du trésorier : Patrick Auguste, Université Lille 1, UMR Géosystèmes, Bâtiment SN 5, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex (patrick.auguste@univ-lille1.fr). Modes de paiement : chèques à l'ordre de l'AFEQ ; carte bancaire (avec n°, validité et 3 chiffres du code de sécurité) ; bon de commande.

Rappel : les autres volumes de cette série sont encore disponibles : 2004, n° 1 : Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès – 10 € (AFEQ) et 20 € (autres) ; 2005 n° 2 : Les Ongulés holarctiques du Pliocène et du Pléistocène – 5 € (AFEQ) et 10 € (autres) ; 2010, n° 3 : V^e Conférence Internationale sur les mammouths et leur famille – 10 € (AFEQ) et 15 € (autres) ; 2011, n° 4 : 16th International Cave Bear and Lion Symposium – 35 € (AFEQ) et 45 € (autres).

*

This special issue of *Quaternaire* brings together the results of intensive field research undertaken in 1995 in the Selle River Valley at Conty near Amiens (Somme) as part of a rescue archaeology operation. The multidisciplinary investigations including stratigraphy, sedimentology, archaeology, palaeontology, malacology, palaeoentomology, palynology and radiocarbon dating provided a unique data set and outstanding results concerning the evolution of fluvial environments in relation to climatic variations between the end of the Weichselian Upper Pleniglacial and the beginning of the Holocene. The first major modification of the fluvial morphology is dated to the Upper Pleniglacial / Lateglacial transition (13 000 ¹⁴C-yr BP). The short cold phase that is then recorded at the top of the Bølling peat is attributed to the Older Dryas (Dryas 2). During the Allerød, the main Palaeolithic occupation of the site, which is integrated in this particularly well-developed sedimentary sequence, is attributed to the recent phase of the *Federmesser* tradition. This occupation, dated from the first half of Allerød climatic oscillation between 11 800 and 11 400 BP, is associated with many large mammal bone remains. The end of the Lateglacial is then characterised by the infilling of the whole valley by flood silts during the Younger Dryas cold phase. Finally a second major incision phase occurs at the beginning of the Holocene at around 10 000 BP, in parallel with another rapid climatic improvement and the renewed spread of vegetation. From a general point of view, the evolution of fluvial environments in the Selle valley is comparable with those described in many other river valleys in NW Europe, showing that fluvial systems react very quickly to climatic variations of short duration.

This volume of *Quaternaire hors série* with 172 pages is sold 35 euros for members of the AFEQ or subscribers to *Quaternaire*, 45 euros for other people or institutions (including postage). It is available from the Treasurer: Patrick Auguste, University Lille 1, UMR Geosystemes, Building SN 5, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France (patrick.auguste@univ-lille1.fr). For payment: checks payable to the AFEQ, only in a french bank; credit card (with No, validity and 3 digit security code); order form.

Reminder: the others volumes of this series are still available: 2004, No. 1: Continental slope deposits. Dynamics and facies - 10 € (AFEQ) and 20 € (other); 2005 2: The Holarctic ungulates from Pliocene and Pleistocene - 5 € (AFEQ) and 10 € (others) ; 2010, n° 3 : The Ve International Conference on mammoths and their relatives – 10 € (AFEQ) and 15 € (others); 2011, n° 4: 16th International Cave Bear and Lion Symposium – 35 € (AFEQ) et 45 € (others).

ROLE DES CONSERVATOIRES D'ESPACES NATURELS DANS LA PROTECTION DU PATRIMOINE GEOLOGIQUE – EXEMPLE DE LA RESERVE NATURELLE REGIONALE DES ANCIENNES CARRIERES DE CLETY (PAS-DE-CALAIS).

Role of the “Conservatoires d'espaces naturels” in geological heritage conservation – The case of the Regional Nature Reserve of the old quarries of Cléty (Pas-de-Calais, France).

par Gaëlle GUYÉTANT (*)

Résumé. — Le Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais (CEN) agit depuis 1997 en faveur du patrimoine géologique. Ses actions se déclinent à deux échelles, régionale (inventaires, stratégies de protection et de valorisation) et locale (protection et gestion de sites géologiques remarquables). Les anciennes carrières de Cléty illustrent parfaitement cette double démarche. Reconnues dans un premier inventaire régional du patrimoine géologique en 1997, leur protection a été initiée par la commune de Cléty (propriétaire) et le CEN dès 1999. Aujourd'hui, la gestion et les aménagements mis en place font de ce site un espace reconnu en Nord - Pas-de-Calais pour la sensibilisation aux sciences de la Terre et la protection du patrimoine géologique.

Abstract. — The “Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais” (CEN) acts since 1997 in favour of the geological heritage. Its actions are declined at two scales, regional (inventories, strategies of protection and valuation) and local (protection and management of remarkable geological sites). The old quarries of Cléty illustrate perfectly this double approach. Recognized in a first regional inventory of the geological heritage in 1997, their protection has been initiated by the municipality of Cléty (owner) and the CEN from 1999. Today, the management and developments make this site a recognized space in the Nord - Pas-de-Calais for the information about Earth sciences and the protection of the geological heritage.

Mots clés : sites géologiques, inventaire, stratégie régionale, Nord - Pas-de-Calais.

Keywords : geological sites, inventory, regional strategy, Nord - Pas-de-Calais.

I. — INTRODUCTION

Créé en 1994, le Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais (CEN) est une association loi 1901 qui trouve son origine dans la volonté de six associations naturalistes régionales de disposer d'une structure spécialisée dans la protection et la gestion des espaces naturels. Il a ainsi pour vocation la préservation du patrimoine naturel de la région Nord - Pas-de-Calais et place son action autour de quatre champs de compétence : connaître, préalable nécessaire à toute action ; protéger, par voie réglementaire, contractuelle ou foncière ; gérer et parfois restaurer les sites en vue de maintenir et conforter les espèces, habitats et enjeux géologiques ; mettre en valeur la vie des sites afin de créer une appropriation locale des enjeux naturalistes et de leur protection, et communiquer autour des actions du CEN.

Si par patrimoine naturel on entend souvent patrimoine vivant - la biodiversité, la présence de la Société géologique

du Nord (SGN) au nombre de ses fondateurs a eu pour bénéfice de replacer la géologie dans les actions du CEN, non plus seulement comme support des espèces et de leurs habitats mais aussi comme un patrimoine à part entière, dont les objets et sites représentatifs doivent être protégés pour eux-mêmes. Les anciennes carrières de Cléty en sont un exemple. Leur préservation depuis la fin des années 1990 traduit pas à pas les actions menées par le CEN en faveur du patrimoine géologique de la région Nord - Pas-de-Calais.

II. — INVENTAIRES ET STRATEGIES, ACTIONS DU CEN A L'ECHELLE REGIONALE

Dans l'articulation des actions du CEN, la première étape pour intervenir en faveur du patrimoine naturel régional est d'en améliorer les connaissances par un inventaire. Pour le patrimoine géologique, ce fut fait en 1997 puis en 2007. Dans

(*) Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 152 Bd. de Paris, 62190 Lillers ; gaelle.guyetant@espaces-naturels.fr

les deux cas, plus que des inventaires de sites et d'enjeux, il s'agissait de doter la région d'un outil stratégique en matière de préservation et de mise en valeur du patrimoine géologique.

Le premier inventaire - *Sites géologiques remarquables du Nord - Pas-de-Calais* - fut coordonné par le CEN et la SGN en 1997. Il recensait 38 sites choisis selon des critères de lisibilité, de portée scientifique et de représentativité. Pour chacun d'eux, il décrivait les enjeux scientifiques et pédagogiques, analysait les menaces et besoins en terme de gestion avant de proposer des pistes de protection (Goubet, 1997). Il proposait également à l'échelle régionale l'adoption de cinq objectifs de préservation et de mise en valeur : assurer la protection et la gestion des sites géologiques remarquables, les mettre en valeur du point de vue scientifique, pédagogique et culturel, sensibiliser les acteurs locaux et le grand public à la préservation du patrimoine géologique, développer l'information scientifique auprès des géologues amateurs, garantir la conservation et l'entretien des collections et bibliothèques (Goubet, 1997). Dès 1998, ces cinq objectifs ont été traduits en différentes actions par le CEN et ses partenaires, la SGN, le Musée d'histoire naturelle de Lille, le Parc naturel régional des Caps et Marais d'Opale (PNR)... : conventionnement de quatre sites géologiques entre 1998 et 2002, organisation d'événementiels régionaux et nationaux, développement d'un plan de valorisation et d'une charte graphique pour les sites géologiques régionaux, édition de *La roche dans tous ses états* (Junique coord., 2002), un livret-guide à destination du grand-public (Guyétant, 2008).

Si l'inventaire de 1997 était une initiative régionale, le second inventaire, initié en 2007 par la Direction régionale de l'environnement et le CEN, a bénéficié d'une dynamique nationale. Il s'inscrivait dans la perspective prochaine du lancement de l'Inventaire national du patrimoine géologique (INPG) en avril 2007. Sa déclinaison en région Nord - Pas-de-Calais - Inventaire régional du patrimoine géologique (IRPG) - se fondait sur l'utilisation des outils et méthodes de l'INPG tels que la base de données Géotope (De Wever *et al.*, 2006) mais également sur une réactualisation de la première démarche régionale, en reprenant les mêmes critères que ceux décidés en 1997. Selon ce double cadre, 57 sites ont été sélectionnés (Fig. 1) puis renseignés dans Géotope par la Commission régionale du patrimoine géologique (CRPG) qui coordonne le projet (Guyétant, 2007).

L'analyse des résultats de cette nouvelle démarche en Nord - Pas-de-Calais a, comme en 1997, conditionné l'organisation d'une nouvelle stratégie informelle en faveur du patrimoine géologique (Guyétant, 2010) :

- Amélioration des connaissances et poursuite de l'inventaire : entre 2008 et 2011, deux nouveaux sites ont été ajoutés à l'inventaire et, selon le principe d'inventaire continu retenu pour l'INPG au niveau national, un site a été modifié et trois sont en cours de préparation pour 2012 afin d'intégrer la thématique tourbière ;

- Veille quant aux opportunités de protéger de nouveaux sites géologiques : en 2007 puis en 2008, le CEN a signé une convention de gestion avec SITA Nord (filiale du groupe Suez Environnement) pour la protection et la valorisation du paléokarst d'Ohain (Nord) et acheté la forteresse de Mimoyecques (Pas-de-Calais), protégeant ainsi deux nouveaux sites géologiques patrimoniaux ;

- Intégration du volet géodiversité dans la gestion des sites protégés et gérés : sur les 59 sites que compte l'IRPG à ce jour, 28 font l'objet de mesures de protection et de gestion. La composante patrimoniale de la géologie n'étant le plus souvent pas prise en compte dans l'évaluation naturaliste et les actions de gestion mises en œuvre, une démarche d'accompagnement des gestionnaires d'espaces naturels par le CEN et la SGN a été proposée. Depuis 2009, sur ces 28 sites protégés et gérés de l'IRPG, treize (gérés par le CEN ou ses partenaires) en ont bénéficié ;

- Intégration du volet géodiversité dans le schéma interdépartemental des carrières : les contraintes d'accès, de sécurité et les enjeux économiques et réglementaires inhérents à cette activité nécessitent une démarche particulière. Le CEN, représentant la CRPG, a donc participé aux discussions dans le cadre de l'élaboration du schéma interdépartemental des carrières pour une meilleure intégration des enjeux géologiques dans la vie des onze carrières en activité que compte l'IRPG ;

- Développement d'un plan de communication régional autour du patrimoine géologique et des démarches engagées en sa faveur : depuis 2007, il s'est vu décliné par le CEN et la SGN en quatre grandes actions : l'organisation en 2007, d'un événementiel destiné aux professionnels des sciences de la Terre et à ceux qui sont impliqués dans la protection de l'environnement ; l'édition, en 2009, d'un ouvrage de vulgarisation sur la base des sites les plus remarquables de l'IRPG (Robaszynski & Guyétant coord., 2009) ; l'organisation, en 2009 et 2011, de sorties géologiques grand-public sur les anciennes carrières de Cléty et la forteresse de Mimoyecques et enfin, la conception d'une plaquette et d'un poster diffusés auprès du grand-public et d'enseignants.

III. — LES ANCIENNES CARRIERES DE CLETY, ACTIONS DU CEN SUR UN SITE GEOLOGIQUE

Alerté dès la fin des années 1990 par les associations locales Sub Artésia et ARCHET (Association Recherche Culture Histoire Et Tourisme de Cléty), le CEN s'est intéressé aux anciennes carrières de Cléty comme site géologique en l'intégrant dans son premier inventaire régional. De l'avis des experts de la SGN sollicités, ce site constituait un site géologique patrimonial dont les menaces à court et moyen termes nécessitaient une intervention rapide (Goubet, 1997). Partant de ce constat, en 1999, le CEN, dans le cadre de sa stratégie de préservation des sites géologiques régionaux, s'est associé à la commune de Cléty, propriétaire du site, afin de conserver et mettre en valeur les patrimoines des anciennes carrières.

1) Les anciennes carrières de Cléty, un site remarquable à plus d'un titre

Les anciennes carrières se situent en bordure d'un vallon boisé, dit Bois des carrières, à moins d'un kilomètre du centre du village de Cléty (à 13 km au sud-ouest de Saint-Omer, Pas-de-Calais). Sur près de 200 m de longueur, elles présentent quatre fronts de taille d'une dizaine de mètres de haut, ponctués d'ouvertures artificielles. Elles sont le résultat d'une histoire riche liée à la vie du village. Au Moyen-Âge, des carrières souterraines ont été ouvertes dans le coteau de

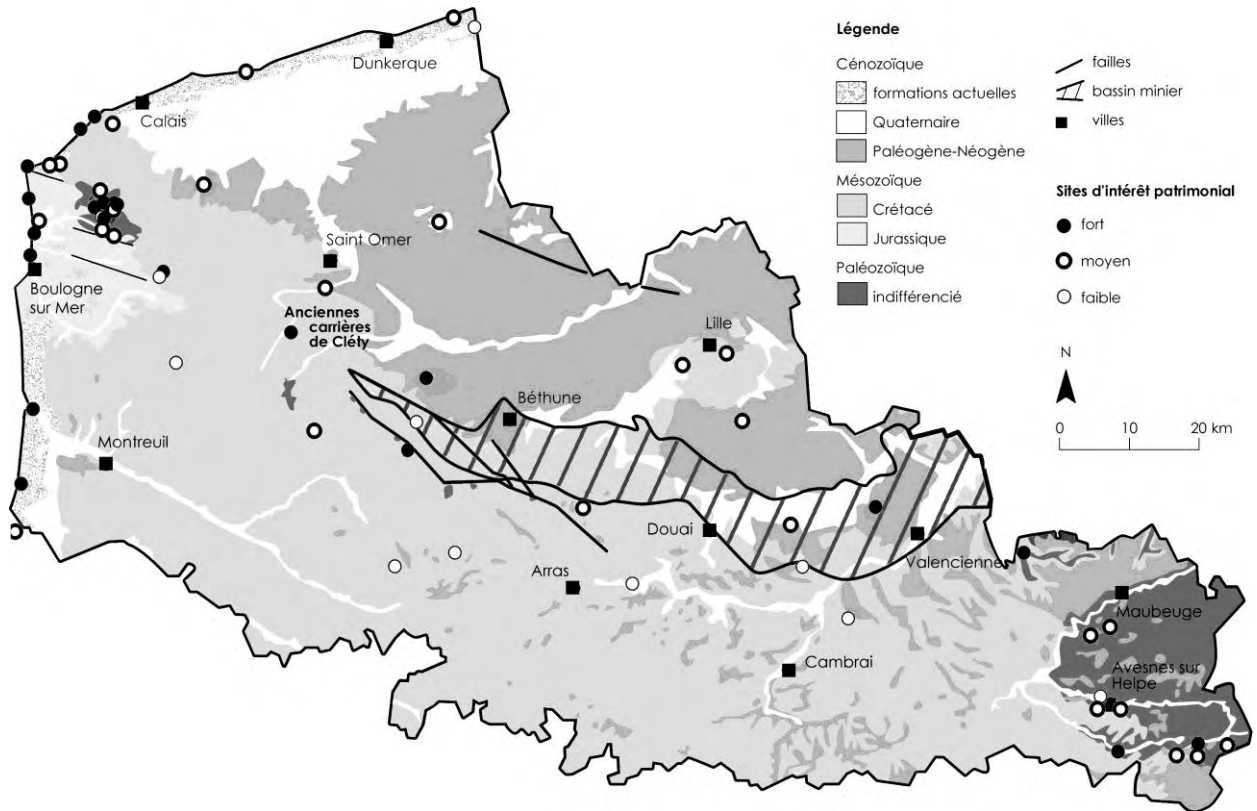


Fig. 1. — État en 2011 de l'Inventaire régional du patrimoine géologique Nord – Pas-de-Calais. Les sites géologiques sont représentés en fonction de leur intérêt patrimonial évalué par la Commission régionale du patrimoine géologique. Fond cartographique : carte géologique simplifiée du Nord - Pas-de-Calais (Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 2012).

Fig. 1. — State of the regional inventory of geological heritage of Nord – Pas-de-Calais in 2011. Geological sites are represented by their heritage value assessed by the regional commission of geological heritage. Background map: simplified geological map of the Nord - Pas-de-Calais (Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 2012).

Cléty pour l'extraction de moellons de craie servant à l'édification des monuments religieux et communaux. Au gré des besoins, ces exploitations ponctuelles se sont développées jusqu'à devenir un réseau souterrain dans le sous-sol cléticien qui servit de refuge aux populations locales en période de conflit. À partir du XIX^e siècle, une extraction à ciel ouvert de la craie du vallon pour le chaulage des champs a sculpté les quatre fronts de taille et exhumé une partie des souterrains (Fig. 2).

Aujourd'hui, par cette configuration, les anciennes carrières illustrent l'utilisation avantageuse du sous-sol par l'homme mais également un patrimoine géologique remarquable à l'échelle régionale. Les fronts de taille exposent en effet de manière très pédagogique le contexte géologique de ce secteur et révèlent une complémentarité scientifique avec d'autres sites crayeux de la région. Il s'agit d'alternances de niveaux de craies blanches, de silex et de hardgrounds. Leur étude, menée en 2001 par MM. F. Robaszynski et F. Amédéo, membres de la SGN, en détaillait la constitution et l'histoire géologique. Elle montrait également à partir d'une analyse paléontologique que les niveaux crayeux de Cléty étaient d'âge turonien et coniacien, la limite d'étage se situant au passage d'un hardground nommé hg1 (Fig. 2). Enfin, elle mettait en relation l'alternance craie/silex visible sur les parois rocheuses et les

cycles astronomiques dits de Milankovitch (Robaszynski & Amédéo, 2001).

Les anciennes carrières de Cléty sont également remarquables sur le plan écologique. Les inventaires réalisés entre 1999 et 2009 sur la faune, la flore et les habitats montrent une diversité écologique exceptionnelle à l'échelle d'un site d'à peine plus de deux hectares : dix habitats naturels dont un patrimonial (noté dans la Directive européenne "Habitats" et lié aux pelouses et ourlets calcicoles), 170 espèces floristiques dont 12 patrimoniales (liées aux milieux calcicoles telles que 6 espèces d'orchidées) et 105 espèces faunistiques dont 18 patrimoniales appartenant aux groupes suivants : oiseaux, mammifères, orthoptères et papillons (Cheyrezy & Guyétant, 2010).

2) Gestion conservatoire et mise en valeur du patrimoine géologique

Pour répondre aux objectifs de la convention signée avec la commune de Cléty, dès 1999, le CEN a entamé la rédaction d'un premier plan de gestion 2000-2004, renouvelé depuis à deux reprises. La partie diagnostic de ce document s'appuyait, pour le volet géologique, sur les éléments de connaissance et d'évaluation patrimoniale apportés par *Sites géologiques remarquables du Nord - Pas-de-Calais* ainsi que sur une

étude géotechnique des fronts de taille et, pour le volet écologique, sur des inventaires menés sur le terrain en 1999. Après analyse de ces éléments rassemblés, le volet planification du plan de gestion a été construit autour de trois objectifs de gestion à long terme déclinés, pour le front et ses abords, en opérations de restauration, sécurisation, aménagement et gestion écologique : assurer la conservation et la mise en valeur du patrimoine géologique, favoriser les habitats naturels et espèces remarquables et développer la connaissance scientifique du patrimoine géologique et écologique (Laurent & Robin, 2000).

a) Assurer la conservation du patrimoine géologique

L'étude géotechnique a révélé l'existence de zones de fragilité sur les fronts (Watelet, 1999). Leur effondrement représentait une menace pour la sécurité des personnes, dans l'hypothèse d'une ouverture du site au public, mais également pour la conservation des objets géologiques puisque, sans contrôle, il pouvait occasionner une dégradation plus étendue encore. Il existait ainsi une convergence entre les besoins liés à la conservation du patrimoine géologique et les besoins liés à la sécurisation des fronts avant ouverture au public. Entre 1999 et 2001, il a donc été procédé à un certain nombre d'opérations de restauration/sécurisation du site (fermeture des accès aux cavités souterraines, foudroyage des éperons les plus dangereux (Fig. 3), surveillance annuelle de la stabilité du front, pose de clôtures et de panneaux d'interdiction). Pour compléter ce dispositif de protection, une délibération a été prise en 2005 par la commune de Cléty en faveur d'un classement du site en réserve naturelle régionale (RNR). Cette demande intervenait dans le cadre de la loi dite de Démocratie de proximité (2002), en prévision de la prise de compétence RNR par la Région Nord - Pas-de-Calais. Elle avait pour objectif d'asseoir sur le long terme la protection des anciennes carrières et celle de leurs enjeux géologiques et écologiques. Le statut RNR est en effet un outil réglementaire fort qui, en complément de la protection contractuelle menée par le CEN, peut réglementer certaines pratiques destructrices voire dangereuses déjà observées sur le site (prélèvement de craie, circulation motorisée, intrusion au delà des clôtures). Il constitue par ailleurs un label de qualité environnementale qui reconnaît la valeur patrimoniale d'un site en région.

b) Assurer la mise en valeur du patrimoine géologique

En parallèle de ces travaux de restauration, pour anticiper la mise en valeur de site, une étude avait été commandée auprès de la SGN (Robaszynski & Amédéo, 2001) afin d'approfondir les connaissances sur la craie visible sur les fronts de taille et disposer d'une base scientifique avant la conception d'une signalétique pédagogique. Cette dernière complétait une campagne de valorisation engagée avec le PNR des Caps et Marais d'Opale sur plusieurs sites géologiques régionaux. Trois panneaux ont ainsi été posés à l'entrée du site et devant le front de taille. Celui consacré à la géologie du site a été installé à proximité d'une zone stable et peu haute de la coupe, accessible par un promontoire terrassé grâce à une partie des matériaux dégagés par la sécurisation des fronts. Ces nouveaux aménagements ainsi que les pages consacrées aux anciennes carrières dans le livret guide *La roche dans tous ses états* (Junique coord., 2002) ont été inaugurés en 2002. Ils servent depuis de support pour des animations organisées par le CEN et des structures partenaires (SGN, Guides natures de l'Audomarois...) et des visites régulières de lycées et collèges du secteur.



Fig. 2. — La RNR des anciennes carrières de Cléty (photo : S. Declercq/CEN, 2010) : deux fronts de taille ouvrent sur les anciennes cavités souterraines. Les tirets marquent la position du hardground hg 1, marquant la limite Turonien/Coniacien (Robaszynski et Amédéo, 2001).

Fig. 2. — The Regional Nature Reserve of the old quarries of Cléty (photo : S. Declercq/CEN, 2010): two fronts of size open on the old underground cavities. The dashes place the hg 1 hardground wich mark the Turonian/Coniacian limit (Robaszynski and Amédéo, 2001).

Plus récemment, dans l'ouvrage *Des roches aux paysages dans le Nord - Pas-de-Calais, Richesse de notre patrimoine géologique* (Robaszynski & Guyétant coord., 2009), la SGN et le CEN ont dédié quelques pages aux anciennes carrières de Cléty et leur complémentarité avec d'autres sites crayeux régionaux tels que la forteresse de Mimoyecques ou le cap Blanc-Nez (Robaszynski & Guyétant coord., 2009) et organisé une journée d'animation sur la thématique géologique « *La dame blanche se dévoile, suivez le chemin de la craie.* »

3) Après dix ans de gestion, premiers bilans et perspectives

a) Bilan patrimonial

En 2007, l'actualisation du premier inventaire dans le cadre de l'IRPG Nord - Pas-de-Calais a permis une ré-évaluation des enjeux patrimoniaux et besoins de protection des anciennes carrières de Cléty. Dix ans plus tôt, la valeur patrimoniale du site était reconnue mais l'étude menée par F. Robaszynski et F. Amédéo en 2001 a pu améliorer les connaissances concernant leurs atouts scientifiques et pédagogiques, plaçant les anciennes carrières de Cléty dans les sites d'intérêt patrimonial fort à l'échelle régionale (Fig. 1) (Guyétant, 2007). En parallèle, au regard de la gestion mise en œuvre par le CEN et la commune de Cléty depuis 1999, la CRPG a noté une nette amélioration de l'état et de la nécessité d'intervention, initialement jugés dégradés et urgents (Goubet, 1997), et l'a mise en valeur par une évaluation faible du besoin de protection du site (Guyétant, 2007). Cette évaluation s'est vue confirmée, en 2009, lors de la rédaction du deuxième renouvellement du plan de gestion des anciennes carrières de Cléty pour la période 2010-2019. Il s'appuyait en effet sur la commande d'une nouvelle étude géotechnique pour évaluer la stabilité des fronts de taille



Fig. 3. — Travaux de restauration et de sécurisation des fronts de taille engagés par le Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais en 2000 (photos : CEN, 2000). La purge des éperons les plus dangereux (photo de gauche) a mobilisé les matériaux nécessaires au terrassement de la zone d'accueil (photo de droite) et du promontoire donnant accès pour le public à une partie de la coupe géologique.

Fig. 3. — Restoration and securing of the size fronts realised by the Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais in 2000 (photo: CEN, 2000). The purge of the most dangerous spurs (left photo) has mobilized the materials necessary to the earthworks of the reception area (right photo) and of the promontory giving the public access to a part of the geological section.

après dix ans. Sa synthèse finale estimait que le front était dans un état relativement bon et préconisait quelques opérations de suivi et de purge (Pilch, 2009).

b) 2011, classement de la RNR des anciennes carrières de Cléty

En 2007, la Région Nord - Pas-de-Calais a délibéré en faveur de la prise de compétence RNR prévue dans le Code de l'environnement. Elle a ainsi pu engager les procédures de classement sollicitées par des propriétaires de sites naturels, parmi lesquels la commune de Cléty pour les anciennes carrières. Cette démarche a abouti le 4 juillet 2011, faisant des anciennes carrières de Cléty, la première Réserve naturelle régionale du Nord - Pas-de-Calais classée sur l'argument principal de son patrimoine géologique. Ce classement constitue une reconnaissance du travail accompli par le CEN et l'ensemble de ses partenaires pour protéger et valoriser ce site. Mais il affirme surtout la place importante qu'a pris le patrimoine géologique au sein de la protection de l'environnement en Nord - Pas-de-Calais, comme enjeu majeur de conservation du patrimoine naturel, à jeu égal avec la biodiversité.

IV. — CONCLUSION

Dans la région Nord - Pas-de-Calais, les inventaires coordonnés à l'échelle régionale ont apporté une connaissance générale du patrimoine géologique et permis de cibler des priorités d'intervention. Ils constituent ainsi une base réelle et nécessaire pour l'organisation d'une stratégie régionale

cohérente, bien qu'informelle, de protection et de mise en valeur de ce patrimoine. En retour, au niveau local, l'amélioration des connaissances scientifiques et techniques ainsi que les opérations de restauration voire d'aménagement des sites géologiques protégés et gérés ont alimenté la base régionale pour une réévaluation des priorités et donc une réorientation (si nécessaire) de la stratégie d'intervention. En suivant ce modèle, depuis sa création et avec l'aide de ses partenaires tels que la SGN, le CEN est progressivement devenu une structure incontournable à l'échelle régionale sur cette question de la reconnaissance du patrimoine géologique. Localement, depuis 1998, la mise en œuvre de sa stratégie régionale de protection des sites lui a permis d'intervenir directement sur près de sept sites de l'IRPG, tels que la RNR des anciennes carrières de Cléty, et d'aider les gestionnaires de quatre autres sites. En 2010 puis en 2011, le lancement national de la Stratégie de création des aires protégées (SCAP) par le Ministère en charge de l'environnement (article 23 de la loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement) et de sa déclinaison en Nord - Pas-de-Calais, fondée entre autre sur les données de l'IRPG, a pour but d'apporter une vision des lacunes de protection du patrimoine naturel régional et de définir des priorités d'action. Cette démarche pourrait ainsi aboutir sur le long terme à une coordination régionale concertée de tous les acteurs impliqués dans la protection du patrimoine géologique au travers d'un plan d'action régional.

Remerciements. — L'auteur tient à remercier l'ensemble des personnes qui s'investissent au quotidien aux côtés du CEN dans la préservation de notre patrimoine géologique ainsi que MM. De Wever, Robaszynski, De Baere et Blicke pour leurs relectures et leurs conseils.

BIBLIOGRAPHIE

- CHEYREZY T. & GUYÉTANT G. (2010). — Réserve naturelle régionale des Anciennes carrières de Cléty (Cléty, 62). Plan de gestion 2010-2019 (deuxième renouvellement). Conservatoire des sites naturels du Nord Pas-de-Calais : 120 p. [rapport inédit]
- DE WEVER P., LE NECHET Y. & CORNÉE A. (2006). — *Vademecum* de l'inventaire national du Patrimoine Géologique. *Société géologique de France*, Mémoire hors-série : 162 p.
- GOUBET P. (1997). — Sites géologiques remarquables du Nord - Pas-de-Calais. Inventaire. Stratégie régionale de préservation et de mise en valeur. Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais : 130 p. [rapport inédit]
- GUYÉTANT G. (2007). — Inventaire du patrimoine géologique de la Région Nord - Pas-de-Calais. Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais/Direction régionale de l'environnement : 284 p. [rapport inédit]
- GUYÉTANT G. (2008). — Découverte du patrimoine géologique régional : inventaire dans la région Nord - Pas-de-Calais. In : GUYÉTANT G. (coord.), Roches et paysages d'hier et d'aujourd'hui. Le patrimoine géologique du Nord - Pas-de-Calais (14 novembre 2007). Synthèse des interventions. Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais : 15-20.
- GUYÉTANT G. (2010). — L'inventaire du patrimoine géologique en Nord - Pas-de-Calais : contexte, démarche et perspectives. *Géologie de la France*, **1** : 93-99.
- JUNIQUE S. coord. (2002). — La roche dans tous ses états, livret-guide des sites géologiques du Nord - Pas-de-Calais. Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais : 49 p.
- LAURENT S. & ROBIN X. (2000). — Anciennes carrières de Cléty : plan de gestion 2000-2004. Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais : 162 p. [rapport inédit]
- PILCH N. (2009). — Cléty (62) - Expertise de la stabilité des fronts de taille de l'ancienne carrière. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques - Direction des risques du sol et du sous-sol : 24 p. [rapport inédit]
- ROBASZYNSKI F. & AMÉDRO F. (2001). — Les anciennes carrières de Cléty. Géologie et aspects lithologiques et paléontologiques : 9 p. [rapport inédit]
- ROBASZYNSKI F. & GUYÉTANT G. coord. (2009). — Des roches aux paysages dans le Nord - Pas-de-Calais, Richesse de notre patrimoine géologique. Société géologique du Nord & Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais édit. : 152 p.
- WATELET J.-M. (1999). — Site de Cléty (Pas-de-Calais) : projet d'aménagement pour une ouverture au public. Avis géotechnique sur le front de taille sous-miné. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Verneuil-en-Halatte : 9 p. [rapport inédit]

LA BRETAGNE ET SON PATRIMOINE GÉOLOGIQUE : INTENTION, OPPORTUNITÉS ET PRAGMATISME, UN SIÈCLE DÉJÀ

Brittany and its geological heritage: one century of intuition, opportunities and pragmatism

par Max JONIN (*)

Résumé. — La Bretagne, pionnière en matière de protection de la nature en France, s'est également préoccupée depuis longtemps de son patrimoine géologique. Circonstances favorables mais aussi volontarisme d'acteurs motivés aboutissent à une situation aujourd'hui prometteuse.

Abstract. — *Brittany, a pioneer in the field of nature conservation in France, has also long been concerned by its geological heritage. Favourable circumstances, in addition to voluntary actions undertaken by motivated stakeholders, bring about the promising situation we see today.*

Mots clés : géotopes, inventaire, protection.

Keywords : geological sites, inventory, protection.

I. — INTRODUCTION : ILS ONT EU L'INTUITION ...

Lorsque le Comte de Limur écrit en 1883 « ...car les roches, les pierres ou les cailloux, ainsi que le vulgaire les nomme, sont tout aussi bien les pièces justificatives de l'histoire de la terre, que ces petits disques en métal que l'on considère avec tant d'intérêt dans les collections de numismatique, comme étant les derniers témoins de l'existence de peuples depuis longtemps oubliés dans la nuit des siècles passés. Les minéraux, les roches et les fossiles sont aussi eux les médailles frappées au coin des révolutions du globe », n'est-ce pas le premier plaidoyer en faveur de la reconnaissance du patrimoine géologique ?

En 1957, Michel-Hervé Julien (créateur de la Société pour l'étude et la protection de la nature en Bretagne - SEPNB, assistant au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris - MNHN) écrit dans un texte fondateur : « ...Le premier travail que nous proposons est l'établissement d'un inventaire précis des principales richesses naturelles : marais, falaises, rivages, étangs, landes, forêts, abritant d'intéressantes stations botaniques, colonies d'oiseaux, groupe de mammifères, sites géologiques, etc., dont la sauvegarde est essentielle. » Naturaliste, pionnier de la protection de la nature, dans sa vision de la conservation du patrimoine naturel et dans la feuille de route qu'il trace pour la jeune association, il n'oublie pas les « sites géologiques ». Il faudra attendre 50 ans pour qu'un inventaire soit lancé au plan national !

Le Comte de Limur et Michel-Hervé Julien ont eu, sans aucun doute, l'intuition. Au plan national, on retient dans cette longue période, la tentative de légiférer pour une protection des sites paléontologiques en 1910 (projet de loi Briand-Doumergue) et la communication du professeur Lemoine (MNHN et Société Géologique de France - SGF) au congrès international pour le protection de la nature de Paris de 1923 : « l'attention du congrès s'est surtout portée vers la protection de la faune, de la flore et des sites. Je me permets de lui signaler (...) un autre genre de richesses naturelles qu'il importe de conserver : les gisements de Fossiles et de Minéraux » (...) on doit souhaiter que tous les gisements de ce genre soient constitués en « petits parcs nationaux annexes » que leur propriété soit attribuée à un organisme d'Etat spécialisé, que leur achat ... puisse se faire ... que l'Etat affecte à des achats de ce genre un crédit annuel, par exemple de 10.000 francs ... » (Anon., 1925). Presqu'un siècle plus tard, on croit rêver !

En 1966, la carrière des Landes (Guichen, Ille-et-Vilaine), site historique de la découverte de la discordance Paléozoïque / Briovérien en Bretagne (Fig. 1), est abandonnée et vouée au comblement par des détritiques en tous genres. Les géologues naturalistes de l'université de Rennes se préoccupent de cette situation et cherchent les moyens d'une protection. Ils se rapprochent des Affaires culturelles et le site est classé au titre de la loi de 1930, pour son intérêt scientifique. Cela le sauvera de la disparition. Certes l'absence de gestion le fera disparaître

(*) Société géologique et minéralogique de Bretagne, L'orveau 29860 Plabennec, e-mail: joninlorveau@wanadoo.fr



Fig. 1. — Discordance Paléozoïque/Briovérien, site historique de la carrière des Landes (Guichen, Ille-et-Vilaine) (Photo Max Jonin).

Fig. 1. — *The Landes quarry, Guichen (Ille-et-Vilaine), historic place of the Brioverian/Paleozoic unconformity in armorican Massif.*

sous la broussaille mais il suffira en 2005 d'un bon chantier pour retrouver sa parfaite accessibilité et lisibilité (Fig. 1).

II. — OPPORTUNITES DES ANNEES 1980-1990

Dans l'histoire de la Société pour l'étude et la protection de la nature en Bretagne (SEPNB), quelques géologues

naturalistes ont été impliqués en responsabilités, ainsi l'intuition de M.-H. Julien a pu prendre corps. Quand Michel d'Ornano, ministre en charge de l'environnement, annonce en 1978 le projet de «100 réserves naturelles» avec un appel à dossiers en Régions, la SEPNB travaille, entre autres projets, à celui d'une réserve naturelle d'intérêt géologique sur l'île de Groix (Fig. 2) dont le pillage minéralogique était bien connu. Elle sera réalisée en décembre 1982. Cette même année, la Société géologique et minéralogique de Bretagne (SGMB) intervient auprès du maire de Saint-Brieuc pour arrêter un enrochement en Baie de Saint-Brieuc qui allait combler le géotope du «poudingue de Cesson» (Briovérien inférieur), affleurement de référence de la géologie bretonne (aujourd'hui inclus dans la Réserve naturelle nationale - RNN de la Baie de Saint-Brieuc) (Fig. 3). En 1985, les géologues de l'université de Brest font prendre un arrêté municipal (au titre de la sécurité) au maire de Plougastel-Daoulas pour interdire le prélèvement de roches sur le récif fossile de la Pointe de l'Armorique (Dévonien inférieur) (Fig. 2) ; depuis le site est devenu espace naturel sensible départemental. La disparition en 1980 du minéralogiste François Le Bail conduira au sauvetage de sa collection par les géologues de Brest et la SEPNB. L'université n'est pas intéressée (déjà !), c'est le parc naturel régional qui suscitera la création de la Maison des minéraux de Crozon qui depuis 20 ans fait un travail remarquable de valorisation de la géologie auprès d'un large public, notamment de scolaires.

Opportunité toujours, quand, en 1992, pour être cohérente avec ses engagements nationaux au sein de la commission patrimoine géologique des Réserves naturelles de France - RNF, la SEPNB accueille un jeune géologue en service civil et lui confie, avec l'aide de l'État, l'inventaire régional des

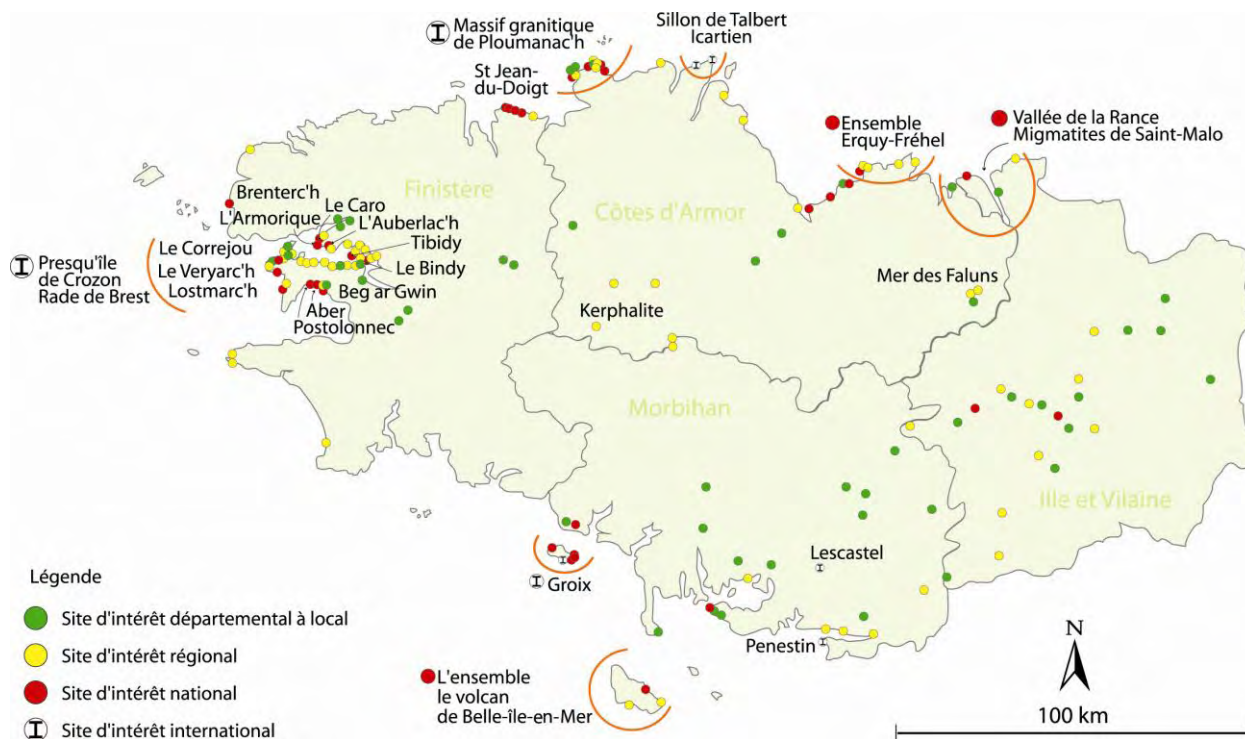


Fig. 2. — Inventaire régional du patrimoine géologique (Source SGMB).

Fig. 2. — *Regional inventory of geological heritage, Brittany.*

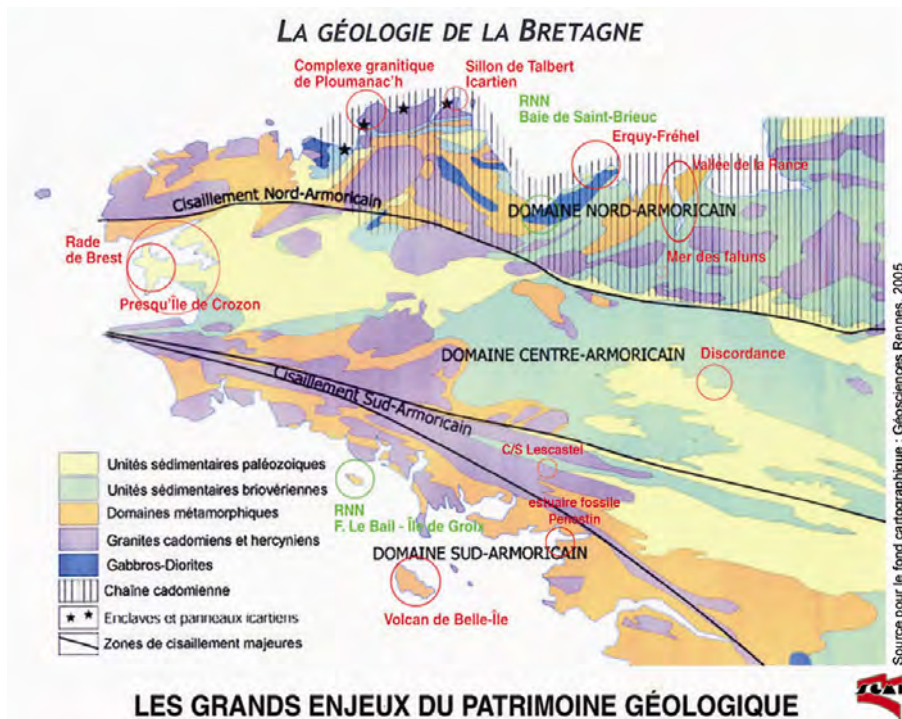


Fig 3 . — Carte géologique simplifiée du Massif armoricain et enjeux du patrimoine géologique en Bretagne, (Source SGMB).

Fig. 3. — Perspectives of the geological heritage, Brittany.

sites d'intérêt géologique de Bretagne qui paraît en 1994, le premier au plan national.

III. — ENGAGEMENT MILITANT ET PRAGMATISME DEPUIS 2000

La prise en compte du patrimoine géologique dans la protection du patrimoine naturel étant bien ancrée en Bretagne, la vieille société savante SGMB, « endormie » depuis une quinzaine d'années, est réactivée en 2000, avec une révision des statuts pour l'adapter aux problèmes actuels. L'objectif est clair et peut se résumer ainsi : il s'agit de faire, en Bretagne, pour le monde minéral ce que la SEPNB a réussi historiquement pour le patrimoine biologique (faune, flore, habitats). Dès lors, avec pragmatisme, toutes les entrées possibles sont exploitées pour faire connaître, reconnaître, protéger et valoriser un patrimoine géologique régional dont un inventaire est disponible depuis 1994.

Les deux premières actions ont valeur symbolique : elles concernent la restauration et la mise en valeur (en partenariat avec les communes et la Région) de deux géotopes parmi les plus emblématiques du patrimoine géologique breton, les anciennes carrières de La Marette (Saint-Malon-sur-Mel) et des Landes (Guichen) offrant la discordance Paléozoïque/Briovérien.

Un projet de réserve naturelle étant porté depuis 10 ans sur la presqu'île de Crozon autour de son patrimoine géologique exceptionnel, en 2007, la décision d'une réserve naturelle régionale (RNR) est arrêtée ; le dossier chemine...

En 2006, le sillon de Talbert (Fig. 3), affecté au conservatoire du littoral, est labellisé espace remarquable de Bretagne avec le statut de RNR. A posteriori, nous imposerons progressivement l'affichage prioritaire d'un site d'intérêt géologique pour cette flèche littorale à pointe libre, la plus importante de France. C'est aussi l'occasion de responsabiliser la commune gestionnaire au patrimoine que représente l'affleurement de l'Icartien (Fig. 3) sur son littoral. Le suivi de l'inventaire régional sera possible grâce à la signature d'un « contrat-nature thématique » avec la Région qui permet sa révision, l'évaluation patrimoniale des géotopes et l'examen des problèmes de conservation et de valorisation pour chacun (Fig. 2 et 3). C'est l'occasion aussi de la réalisation d'un livret de 4 pages d'information à l'intention des collectivités qui accompagne l'envoi des fiches-sites à chacune. Sur L'Hôpital-Camfrout, la conservation des géotopes concernant la kersantite (roche de la famille des lamprophyres) passe par la réalisation de panneaux pédagogiques et d'un dépliant pédagogique. Sur Erquy-Fréhel, c'est une exposition photographique qui accompagne le géofestival avec le soutien des carriers bretons. La « mer des faluns » (Fig. 2) devient un identifiant du territoire avec un projet (en cours de réalisation) d'un centre d'interprétation associant terrain et muséographie. Le conseil général d'Ille-et-Vilaine, engagé depuis longtemps dans une politique d'espaces naturels sensibles, en convention avec la SGMB, établi en 2010 un projet intégrant la création d'un réseau de 6 géotopes à dix ans. Les autres conseils généraux de Bretagne sont actuellement sur la même logique et la SGMB est leur partenaire.

Des publications à l'intention d'un large public sont éditées et rencontrent un succès encourageant. Des journées

régionales du patrimoine géologiques sont organisées en 1998 à Vannes (Morbihan) (Jonin, 1999), en 2011 à Tréguier-Tréguinnet (Côtes-d'Armor) tandis que Brest accueille les journées nationales en 2002 (Anon., 2003).

IV. — CONCLUSION

En Bretagne, la prise en compte du patrimoine géologique a de vraies racines. La conservation des OGR (Objets

Géologiques Remarquables) a trouvé sa place dans les préoccupations partagées des acteurs. L'engagement de la Région et des conseils généraux, l'inventaire régional validé constituent un cadre opérationnel. L'arrêté préfectoral de protection de géotope est attendu pour être aussitôt utilisé sur le terrain. Et l'indispensable structure associative existe, travaillant en bon partenariat avec les acteurs traditionnels. Raisonnablement, il est possible pour les géologues bretons de considérer l'avenir avec optimisme à l'échelle du temps de l'Homme.

BIBLIOGRAPHIE

ANON. (1925). — Congrès international pour la protection de la nature : Faune, flore, sites et monuments naturels - Rapports, vœux, réalisations (Société nationale d'acclimatation de France, Ligue française pour la protection des oiseaux & Société pour la protection des paysages de France, Paris, 31 mai - 2 juin 1923). CIPN édit. (Commission permanente des Congrès internationaux pour la protection de la nature) : 388 p.

ANON. (2003). — Actes des 3^{èmes} journées nationales du Patrimoine géologique (Brest, 27-28 septembre 2002). Mémoire de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne : 110 p.

DE LIMUR M. (1883). — Catalogue raisonné des minéraux du Morbihan. Société polymatique du Morbihan édit., Vannes : 111 p.

JONIN M. coord. (1999). — Patrimoine géologique de Bretagne. Penn ar Bed, **173-174** : 112 p.

JULIEN M.-H. (1957). — La protection de la nature. Penn ar Bed, **11** (2-3) : 1-6.

INTERÊT, GESTION, PROTECTION ET VALORISATION DES TERRILS MINIERS DANS LE NORD – PAS-DE-CALAIS

Interest, management, protection and valuation of mining slag heaps in the Nord - Pas-de-Calais territory

par Guillaume LEMOINE (*)

Résumé. — Dans le Nord - Pas-de-Calais, la chaîne des terrils s'étire sur plus de 120 kilomètres jusqu'au Borinage belge. Plusieurs centaines de collines noires témoignaient ainsi de l'histoire industrielle régionale et de l'extraction du charbon qui a duré plus de deux siècles. Composée de grès et de schistes houillers, la majorité des terrils est ou a été exploitée. La question du devenir des autres intéresse depuis plus de 25 ans les acteurs de la protection des espaces naturels, car la nature minérale et drainante des matériaux qui les composent, leur couleur noire et leur relief en font des biotopes bien à part. Ils présentent de nombreuses ruptures ou contrastes écologiques (relief, climat, sol, usages...), ce qui permet à de nombreuses espèces thermophiles et acidoclines, ou extrarégionales de s'y rencontrer. Devant ce surprenant patrimoine historique et écologique menacé de disparition, les collectivités territoriales de la région se sont mobilisées pour sa préservation et ont sollicité l'Établissement Public Foncier Nord – Pas-de-Calais (EPF) afin que terrils et friches minières soient rachetés et cédés aux collectivités. Les Départements du Nord et du Pas-de-Calais se sont ainsi rendus propriétaires de près d'une vingtaine de sites miniers qui totalisent plus de 1000 hectares. Avant leur transfert, l'EPF, en lien avec les collectivités, a procédé à une requalification et une mise en sécurité des friches minières là où cela semblait nécessaire. Certains de ces travaux, poussés en terme de renaturation, ont ainsi permis à certains terrils de devenir les maillons forts d'une trame verte et bleue dans le bassin minier. Les requalifications entreprises n'ont pas exclu l'homme : les terrils miniers situés à proximité des zones densément urbanisées constituent des espaces de promenade pour les nombreux habitants. Patrimoine encombrant, symbole des conditions de travail difficiles et accusés d'enlaidir nos paysages, les terrils comme l'ensemble du patrimoine minier font maintenant l'objet d'un intérêt renouvelé. Image d'un renouveau et du dynamisme de la région, le patrimoine matériel et immatériel du bassin minier fait l'objet d'une démarche de reconnaissance internationale. Portée par les élus locaux et régionaux, une demande d'inscription par l'UNESCO en tant que patrimoine mondial de l'humanité est en cours, tout comme le classement de certains de ses éléments au titre du patrimoine historique, pittoresque, paysager ou naturel par l'État français.

Abstract. — *In the Nord - Pas-de-Calais the line of slag heaps stretches out for more than 120 kilometres until the Belgian Borinage. Several hundred black hills witness to the region's industrial history and to the extraction of coal, which lasted more than two centuries. Composed of sandstone and coal shale, the majority of the slag heaps are or have been redeveloped. Advocates for the protection of natural areas have been interested in the question of the fate of the others for more than 25 years because the well-drained and mineral nature of the materials of which they are composed, their black colour and their relief create very different biotopes. Thus they present large ruptures or ecological contrasts (relief, climate, soil, usage) which encourage the presence of numerous non-regional thermophilic and acidocline species. Faced with this surprising historical, ecological and threatened heritage, the local authorities have acted together to ensure its preservation and have urged the Etablissement Public Foncier Nord - Pas-de-Calais (EPF) to buy back the slag heaps and the brownfield sites and return them to the local authorities. The Nord and Pas-de-Calais administrative Departments have thus become owners of nearly twenty mining sites, making up more than 1000 ha. Before their transfer, EPF in connection with the local authorities, undertook redevelopment and security of the brownfield sites where it was deemed to be necessary. Some of this restorative work has allowed certain slag heaps to become the strong links in a blue and green belts and wildlife corridors in the mining basin. The redevelopment has not excluded man: the slag heaps in the vicinity of densely populated urban areas have created walking areas for many inhabitants. An embarrassing heritage, a symbol of difficult working conditions and accused of spoiling our landscapes, the slag heaps, as for the whole mining heritage, are now the object of renewed interest. Now an image of renewal and dynamism in the region, the tangible and intangible heritage of mining is the object of a move towards international recognition. Supported by local and regional elected officials, a demand for enlistment by UNESCO is in progress, as is the listing of certain of its elements in respect of historic heritage, beauty, landscape or nature by the French state.*

Mots-clés : requalification, biodiversité, acquisitions publiques, Etablissement Public Foncier.

Keywords : requalification, biodiversity, public acquisitions, Etablissement Public Foncier.

(*) Établissement Public Foncier Nord – Pas-de-Calais, 594, avenue Willy Brandt, CS 20003, F-59777 Euralille ; g.lemoine@epf-npdc.fr.

I. — INTRODUCTION

La région Nord – Pas-de-Calais est située dans le nord de la France, le long de la frontière belge. D'une longueur de près de 125 km et d'une largeur variant de 8 à 12 km, le bassin minier est caractérisé par une très forte densité urbaine (400 habitants/km²) (Fig.1) et de très nombreuses infrastructures minières (Robaszynski & Guyétant, 2009 ; O'Miel, 2008). Jusque dans les années 1950, le bassin minier du Nord - Pas-de-Calais contribuait pour plus de 50% de la production nationale de charbon et participait significativement à l'apport d'énergie nécessaire à la reconstruction du pays après la Seconde Guerre Mondiale. Au début des années 1950, 29 millions de tonnes de charbon étaient ainsi extraites annuellement (O'Miel, 2008). Héritages de cette industrie stratégique qui façonna une partie de la région, les terrils et friches minières occupaient une surface de 3500ha pour un poids total de 700 millions de tonnes de matériaux entreposés pour 2,3 milliards de tonnes de charbon extraites (Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 2005; O'Miel, 2008).

Le bassin houiller du Nord - Pas-de-Calais fait partie des bassins charbonniers de la chaîne varisque du nord-ouest européen. Il s'intercale entre les bassins britanniques à l'ouest et les bassins belges et westphaliens à l'est (O'Miel, 2008). D'une grande dimension, le bassin houiller se caractérise par une ressource exclusivement souterraine dont les veines de faible épaisseur (1 voire 2m) subhorizontales sont recouvertes de morts-terrains crétacés et tertiaires dont l'épaisseur peut localement approcher les 230m (Meilliez, 2008). Les sédiments houillers (détritiques comme les grès et les «schistes» et organiques comme le charbon) furent accumulés sur 2000m d'épaisseur dans lesquels se trouvent 45 m cumulés de charbon répartis en de multiples veines (Robaszynski & Guyétant, 2009). L'exploitation du charbon dans le nord de la France commença vers 1720 à Fresnes-sur-Escaut. Elle s'organisa autour de près de 700 puits foncés reconnus par les Charbonnages de France, d'où partent 100 000 km de galeries. De multiples puits complémentaires remblayés avant la nationalisation des compagnies minières existent probablement (Meilliez, comm. pers.). Les galeries d'exploitation desservirent des chantiers de déhouillement qui créèrent un vide de 2 km³ (Meilliez, 2008). La remontée en surface d'une partie des matériaux extraits permit l'édification de 330 terrils (O'Miel, 2008; Robaszynski & Guyétant, 2009). L'exploitation du charbon généra en effet différents dépôts de « stériles ». Pour l'extraction d'une tonne de charbon, une tonne d'eau fut utilisée et près de trois tonnes de matériaux inertes furent déplacées (Meilliez, comm. pers.). Une partie de ces matériaux fut utilisée pour remblayer les galeries et le reste fut accumulé à l'extérieur et forme les terrils. Accusés d'enlaidir les paysages, les terrils se sont révélés, au cours du temps et des inventaires naturalistes, être d'une grande richesse en terme de biodiversité (Petit, 1980; Lemoine, 1999; Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 2005; Lemoine, 2005). Colportant l'image d'un pays noir, nombre d'habitants de la région ne virent pas d'objection à la disparition de ces volumineux témoins de conditions de vie difficiles, d'injustices et de luttes sociales, ni à leur exploitation pour fournir des matériaux pour la construction de routes et d'infrastructures diverses (Lemoine, 2010). La disparition des terrils permet de laisser, par la même occasion, des places disponibles pour du renouvellement urbain ou l'accueil de nouvelles activités.

En réaction à la disparition progressive des terrils miniers, diverses institutions publiques et associations privées (notamment pour la protection des espaces naturels, comme « la Chaîne des terrils ») ont développé des actions de communication et de concertation pour la préservation de ce patrimoine particulier (Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 2005; Lemoine, 2005, 2010). Les collectivités territoriales conscientes de cette richesse et des menaces pesant sur ce patrimoine exceptionnel ont sollicité, par le biais d'une convention en date du 7 novembre 2002, l'intervention de l'Établissement Public Foncier Nord – Pas-de-Calais (EPF) pour qu'il puisse empêcher la vente programmée par l'État dans le cadre de la dissolution des Charbonnages de France, de l'entreprise Terrils SA (filiale de cette dernière) propriétaire des terrils, à des entreprises privées (Kaszynski, 2008). Les terrils miniers furent ainsi acquis par l'EPF les 7 novembre 2003 et 24 juin 2004 pour être revendus aux collectivités territoriales et locales. L'EPF fut également l'artisan de la requalification de très nombreux sites avec l'aide des fonds européens, de l'État et de la Région mobilisés dans le cadre des politiques visant la reconversion des friches (Lemoine, 2005 ; Kaszynski, 2008). En effet, l'EPF Nord – Pas-de-Calais, créé par décret le 19 décembre 1991 par l'État à la demande des élus régionaux, est « habilité à procéder à toutes opérations immobilières et foncières de nature à faciliter l'aménagement et spécialement la reconversion des friches industrielles et de leurs abords et à procéder à la réalisation des études et travaux nécessaires à l'accomplissement de cette mission ». Il s'agissait d'accompagner la reconversion industrielle de la région en traitant de nombreuses friches industrielles dans le bassin minier, la vallée de la Sambre, la métropole lilloise et à Dunkerque. La requalification des friches industrielles permettait, d'un côté de rendre ces espaces disponibles pour une ré-industrialisation, et d'un autre côté de changer l'image de la région en profitant des espaces disponibles pour y réaliser des opérations de pré-verdissement permettant le recyclage de ces espaces pour de multiples usages (Kaszynski, 2008).

En fonction de la vocation finale des sites requalifiés, la renaturation opérée a pu faire de certains terrils, des lieux d'un fort intérêt écologique, qui leur permit d'intégrer le patrimoine protégé des Départements du Nord et du Pas-de-Calais (Lemoine, 2007) et des différents Etablissements publics de coopération intercommunale. Ces espaces particuliers constituent aujourd'hui un réseau de « cœurs de nature » ayant souvent la double vocation d'accueil du public et de préservation de la biodiversité, et participent à la formalisation de la trame verte et bleue du bassin minier (Briand *et al.*, 2007; Kaszynski, 2008; Lemoine, 2010).

II. — LES TERRILS MINIERES : DES MILIEUX PARTICULIERS

Coté biologique, les terrils forment des biotopes à part entière. La structure particulière, très poreuse, de l'accumulation gravitaire due au mode de dépôt des roches constituant les terrils, est responsable de ruptures pédologiques et topographiques. La couleur sombre à noire des matériaux constitutifs (« schistes » et grès houillers) amplifie les variations thermiques et permet notamment leur réchauffement rapide. Il en résulte l'apparition de nouveaux



Fig.1 — Les terrils jumeaux d'Haillicourt.

Fig.1 — Twin slag heaps of Haillicourt.

habitats qui permettent à une partie de la flore et de la faune régionales originaires d'espaces aux conditions édapho-climatiques proches, comme celles que l'on rencontre sur les dunes et les coteaux calcaires de s'y développer. Les habitats miniers apparaissent comme autant de milieux favorables à l'extension de leurs aires de répartition (Lemoine, 2005). Au niveau écologique, divers niveaux de perturbation ou de rupture ont été identifiés, à l'instar des travaux réalisés sur les carrières de roches massives (Voeltzel & Février, 2010). Cinq « effets de ruptures » peuvent ainsi être mis en évidence pour caractériser les dépôts miniers qui se rencontrent sous deux formes bien typiques. En espaces agricoles et/ou urbains, les terrils forment des cônes. Les dépôts sous formes coniques permettent d'optimiser les emprises au sol qui leur sont affectées compte tenu de la forte valeur agronomique et monétaire des terrains et de leur éventuelle rareté. Certains terrils, comme les jumeaux de Loos-en-Gohelle (site du 11-19), ont une taille impressionnante. Leurs 175 m de hauteur en font les terrils les plus hauts d'Europe. Dans les espaces sans valeur agronomique (marais, boisements) les terrils sont de forme tabulaire. Ils forment de vastes plateaux (60 à 140 ha d'emprise au sol) de faible hauteur (30 m). Leur constitution fut facilitée par la simplicité technique et énergétique des dépôts. Certains terrils plats accueillent également de vastes bassins de décantation qui permirent le dépôt des poussières de schistes issus du tri moderne du charbon, en situation aqueuse, par « lavage ». Les schistes ainsi déposés et formés de très fines particules forment des matériaux proches des argiles nommés « schlamms » (terme allemand signifiant boue).

III. — LA RUPTURE EDAPHIQUE

La première rupture correspond à celle qui est créée par la nature des terrains déposés qui offrent de très forts contrastes avec les terres du Nord - Pas-de-Calais, caractérisées par une forte proportion de terrains très fertiles de type argilo-limoneux sur un fond de craie. Les terres régionales apparaissent également plutôt lourdes, fraîches et alcalines alors que les dépôts miniers forment des steppes xérotrophes présentant de bonnes conditions de sécheresse et de chaleur. Les sites miniers accueillent ainsi une flore particulière caractéristique des sols pauvres, oligotrophes et secs. Le caractère acide de certains schistes miniers accentue l'originalité édaphique des friches minières par rapport aux caractéristiques neutres ou alcalines de la majorité des sols régionaux (Lemoine, 2005).

Les sites miniers sont ainsi des lieux où les substrats sont pauvres en matières organiques sur lesquels de nombreuses plantes caractéristiques des sols pauvres et acides ont pu être identifiées. En plus de remarquables tapis de mousses et lichens (cladonie), les espèces les plus intéressantes sont *Filago minima*, *Spergula rubra*, *Trifolium arvense*, *Jasione montana*, *Ornithopus perpusillus*, *Euphrasia nemorosa*, *Odonites vernus*, *Minuartia hybrida*, *Teesdalia nudicaulis*, *Nardurus maritimus* et les petites graminées annuelles comme *Aira praecox* et *A. caryophyllea* (Petit, 1980 ; Toussaint *et al.*, 2008). Sur certains terrils de Belgique se rencontre également la soude (*Salsola kali*). Ces biotopes très pauvres, où la dynamique végétale est ralentie, forment dans certains cas des

steppes aux végétations clairsemées ou de vastes espaces très minéraux. Certains oiseaux apprécient également ce type de milieux ouverts comme la perdrix grise (*Perdix perdix*) et l'alouette lulu (*Lullula arborea*) ou le petit gravelot (*Charadrius dubius*). La digitale pourpre (*Digitalis purpurea*) et l'ajonc d'Europe (*Ulex europaeus*) également typiques des sols acides se rencontrent également çà et là sur divers terrils miniers.

Les conditions trophiques extrêmement pénalisantes des sols miniers et les fortes populations de lapins de garenne qui leur sont caractéristiques freinent la dynamique forestière. En contexte boisé, les terrils finissent toutefois par être colonisés par le bouleau verruqueux (*Betula verrucosa*), espèce pionnière par excellence qui se satisfait des sols les plus ingrats. La décomposition rapide de ses feuilles permet l'élaboration progressive d'un sol qui se forme également en partie grâce au fractionnement des schistes sous l'action du gel et du dégel. Bien que quasiment toutes les essences forestières régionales arrivent à s'implanter sur les terrils miniers, quelques espèces caractéristiques dominent. L'évolution de la végétation tend à progressivement transformer les boulaies en chênaies où se mêlent principalement des frênes. Les boisements artificiels sont dominés par le robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*). De façon ponctuelle se rencontrent des châtaigniers (*Castanea sativa*) caractéristiques des sols acides et quelques cerisiers noirs (*Prunus serotina*) introduits. Les terrils situés en contexte plus ouvert voient leur colonisation « forestière » ralentie. La dynamique forestière passe d'abord par les stades à fruticées (aubépine, églantier ...) avant d'être caractérisée par les merisier, érable sycomore et chêne. L'arbre à papillons (*Buddleia davidii*) est l'une des espèces arbustives invasives également caractéristiques des espaces miniers.

IV. — LA RUPTURE CLIMATIQUE

Caractérisés par des conditions extrêmement sèches, filtrantes et minérales, les « champs de pierres » créés par les dépôts en vrac de roches issues de l'exploitation des mines génèrent un climat particulier. Celui-ci est caractérisé par sa capacité à se réchauffer facilement suite aux rayonnements solaires. Les roches noires accumulent ainsi la chaleur, notamment sur les pentes exposées au sud et positionnées perpendiculairement aux rayonnements solaires. Les scientifiques régionaux estiment que le microclimat des terrils est supérieur de 5° C aux conditions climatiques locales (Godin, comm. pers.). Se rencontrent ainsi sur les terrils le cortège classique des espèces régionales dites thermophiles comme les vipérines (*Echium vulgare*), molènes (*Verbascum* sp.), millepertuis perforé (*Hypericum perforatum*), épervière piloselle (*Hieracium pilosella*) et potentilles (*Potentilla argentea* et *P. intermedia*). S'ajoutent à ces taxons des espèces moins courantes comme *Hieracium bauhinii*, *Astragalus glycyphyllos*, *Lathyrus sylvestris* et *Oenanthera subterminalis*. Les conditions écologiques des terrils permettent également à certaines espèces typiques des dunes, des espaces littoraux ou des coteaux calcaires d'y trouver des biotopes à leurs convenances avec des conditions écologiques similaires. Il s'agit des carline sauvage (*Carlina vulgaris*), véronique officinale (*Veronica officinalis*), lâche des sables (*Carex arenaria*) et de divers plantains (*Plantago arenaria* et *P. coronopus*). Certaines espèces régionales thermophiles y trouvent même la limite nord de leur aire de répartition,

comme le cerisier de Sainte Lucie (*Prunus mahaleb*) (Toussaint *et al.*, 2008).

Les espèces les plus originales qui se rencontrent ou se sont rencontrées sur les terrils sont probablement des taxons exotiques comme un chénopode d'Australie (*Chenopodium pumilio*), le séneçon du Cap (*Senecio inaequidens*) originaire d'Afrique du sud, devenu maintenant une espèce invasive, ou une vergerette de Sumatra (*Conyza sumatrensis*) (Petit, 1972, 1980). Leurs modes de dispersion sont les vents ou plus probablement les échanges commerciaux (laine des moutons) ou le stationnement des troupes du Commonwealth lors des deux derniers conflits mondiaux.

Les régions du sud de la France ou les régions méditerranéennes ont également apporté leurs lots d'espèces particulières et adaptées à la chaleur des terrils. Peuvent ou pouvaient ainsi être citées : *Micropyrum tenellum*, *Chenopodium botrys*, *Dittrichia graveolens*, *Galeopsis angustifolia*, *Digitaria sanguinalis* et *D. ischaemum*, *Astragalus cicer*, *Armeria arenaria*, *Scrophularia canina*, *Setaria verticillata*, *Echinochloa crus-galli* ... (Petit, 1972, 1980 ; Toussaint *et al.*, 2008). Les espèces comme *Iberis umbellata*, *Centranthus ruber*, *Saponaria ocymoides*, *Lychnis coronaria*, *Iris germanica* et le figuier commun (*Ficus caria*), présents également sur certains terrils de la région, sont quant à elles des espèces probablement échappées des jardins situés à proximité (Lemoine, 2010). Diverses espèces d'insectes thermophiles peuvent se rencontrer sur les milieux chauds des terrils comme deux espèces de cicindèles (*Cicindela campestris* et *Cicindela hybrida*), l'oedipode turquoise (*Oedipoda caerulea*) ou le grillon d'Italie (*Oecanthus pellucens*) (Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 2005).

La nature très particulière des terrils peut dans certains cas être le théâtre de phénomènes de combustion. Feux de décharges à proximité, foudre et plus particulièrement l'oxydation exothermique de la pyrite de fer, extraite du sol et incluse dans les schistes et grès houillers (Meilliez, comm. pers.), permettent dans certains cas la combustion « spontanée » des terrils en utilisant comme combustibles les poussières et particules de charbon provenant d'un tri incomplet des roches extraites du sous-sol. La combustion des terrils générant des températures de 700°C permet la cuisson des schistes miniers qui se solidifient (Robaszynski & Guyétant, 2009). Les températures présentes à la surface des terrils permettent ainsi à certaines espèces sensibles d'être protégées des froids hivernaux comme le pourpier commun (*Portulaca oleracea*), espèce des vignobles qui, typique des zones en combustion, colonise aujourd'hui les espaces bien exposés. Le criquet domestique (*Acheta domestica*), espèce présente dans les maisons et les galeries du métro de Paris, est également une espèce caractéristique des zones en combustion des terrils.

V. — LA RUPTURE TOPOGRAPHIQUE

L'exploitation minière a créé une chaîne de collines dans le Hainaut et la Gohelle et dans certains cas des dépôts adossés au relief existant dans l'Artois. La rupture climatique des terrils est complétée par un « effet de relief ». Cet effet est également engendré ou caractérisé par des dynamiques artificielles et naturelles. Les schistes noirs, lorsqu'ils sont entrés en combustion, s'oxydent ou se solidifient avec la chaleur produite (700-1000°). Les schistes rouges ainsi créés

acquièrent des propriétés mécaniques intéressantes. Les terrils sont donc convoités, d'une part pour la récupération des poussières de charbon ou mixte charbonneux lorsqu'ils sont anciens et qu'ils ont fait l'objet d'un tri incomplet, et d'autre part pour le gisement en schistes rouges qu'ils représentent pour la création d'assises dures pour la réalisation d'infrastructures de transports ou de remblais divers. Ces exploitations génèrent ainsi de nouvelles perturbations. L'activité industrielle (excavation, dépôts, création d'escarpements) crée ou maintient des milieux neufs et dynamiques favorables aux espèces pionnières (plantes, amphibiens, ...) caractéristiques des milieux ouverts et extrêmement minéraux (Lemoine, 1999, 2002). Ces espèces exigeantes y trouvent des habitats favorables à leur développement. Certaines exploitations créent ainsi de nouveaux habitats favorables aux hirondelles de rivage (*Riparia riparia*) telles que des microfalaises escarpées et régulièrement entretenues. L'espèce la plus spectaculaire est toutefois l'oseille en écusson (*Rumex scutatus*) (Fig. 2) originellement absente de la région, elle se rencontre aujourd'hui sur les pentes instables des terrils. Cette plante est probablement originaire de montagnes (Alpes), on émet comme hypothèse pour expliquer son introduction l'apport et l'usage de bois conifères utilisés pour étayer les galeries de mines. Certains milieux en pente ou instables sont également colonisés par le pavot cornu (*Glaucium flavum*), typique des zones littorales (Lemoine, 2005).

VI. — DES EFFETS COMBINÉS

La combinaison des effets de ruptures, présents sur les terrils miniers, en fait des milieux aux climats, pentes et substrats bien particuliers favorables à certaines espèces remarquables de l'herpétofaune régionale. Le lézard des murailles (*Podarcis muralis*), originellement absent du territoire régional, y a opéré une remarquable colonisation. De nombreuses données d'espèces d'amphibiens complètent les observations faites sur les terrils. Il s'agit d'espèces pionnières appréciant les espaces très minéraux et très ouverts (à très faible recouvrement de végétation) et les conditions xéro-thermophiles. Au « classique » crapaud calamite (*Bufo calamita*) se joignent les rares alytes accoucheurs (*Alytes obstetricans*) et pélodyte ponctué (*Pelodytes punctatus*) (Godin, 2002 ; Lemoine, 2002). Cette dernière espèce, de répartition franco-ibérique, trouve sur les terrils et carrières du Nord les milieux les plus septentrionaux de son aire mondiale de répartition. Elle ne se rencontre pas en Belgique (Parent, 1970 ; Lemoine, 2010).

La présence de ces diverses espèces d'amphibiens patrimoniaux, bien qu'elle soit conditionnée par l'existence de milieux ouverts xéro-thermophiles, est bien sûr également dépendante de la présence de mares et dépressions humides nécessaires à leur reproduction. Les petits points d'eau plus ou moins temporaires, générés par l'exploitation des terrils et le tassement des sols, aux caractéristiques oligotrophes, permettent également la présence d'une flore patrimoniale dépendante d'une bonne qualité d'eau et/ou d'assecs réguliers permettant la création de vasières. Les espèces de ces milieux sont les samole de Valérand (*Samolus valerandi*), corrigiole des rivages (*Corrigiola littoralis*), souchet brun (*Cyperus fuscus*) ou les herbiers à potamo coloré (*Potamo coloratus*) et à characées (*Chara* sp.) (Toussaint *et al.*, 2008).



Fig. 2 — Oseille en écusson (*Rumex scutatus*) sur pentes instables.

Fig. 2 — Buckler's Sorrel (*Rumex scutatus*) on unstable slopes.

VII. — UNE RUPTURE AGRICOLE

Les très mauvaises qualités agronomiques des « sols » miniers (absence de matières organiques), en plus de ralentir les dynamiques végétales spontanées et de préserver sur le moyen terme leurs caractéristiques de milieux pionniers, en font d'efficaces refuges pour la faune et la flore banales de nos campagnes. Non convoitées pour une mise en culture et épargnées d'apports de biocides, les friches industrielles et notamment minières apparaissent comme des îles échappant à l'agriculture intensive et permettant le maintien de diverses communautés d'insectes (orthoptères, hyménoptères, lépidoptères, ...), en plus d'une grande partie de la flore régionale. Bien que plus courant aujourd'hui, le grand porte-queue (*Papilio machaon*) a trouvé sur les terrils pendant de nombreuses années ses derniers refuges (Lemoine, 2005 ; Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas-de-Calais, 2005).

VIII. — LA CREATION DE ZONES HUMIDES

L'exploitation minière, dans certains cas, s'est également accompagnée de la création de zones humides. En effet, la fragilisation du sous-sol par la réalisation de galeries d'exploitation et le poids très important des terrils a entraîné de légères modifications de la topographie du sol. Dans certains endroits, le sol s'enfonçant de 2 ou 3 m a modifié le sens de l'écoulement des eaux de surface dans une région au relief très peu marqué. Quelques vastes zones humides se sont ainsi créées et se créent encore autour des plus impressionnants terrils. Pour limiter ces phénomènes en secteur urbain ou en secteur habité (maisons isolées), une grande partie du bassin minier du Nord - Pas-de-Calais est pompée afin d'être mise à l'abri des inondations. Les zones humides qui ne sont pas résorbées (et leurs richesses écologiques notamment ornithologiques) sont donc à mettre au crédit de l'exploitation minière. Elles participent de façon importante au maintien de la biodiversité régionale. Les zones humides sont en effet des espaces fragiles et menacés dans l'Europe du Nord-Ouest et leur disparition en région Nord -

Pas-de-Calais fut par le passé très importante (elles sont passées de 30% de la surface régionale au Moyen-Âge à 0,8% à l'époque actuelle).

IX. — UN PATRIMOINE A PROTEGER ET A VALORISER

Devant ce surprenant patrimoine historique et écologique, la Région, les Départements du Nord et du Pas-de-Calais et l'Association des Communes Minières ont signé une convention avec l'EPF Nord – Pas-de-Calais le 7 novembre 2002. Ces différentes collectivités et association de communes l'ont mandatée, comme nous l'avons vu, pour acheter les biens de l'entreprise Terrils SA avant qu'ils ne soient vendus à des structures privées et échappent aux stratégies territoriales et de développement des collectivités. Le patrimoine acquis par l'EPF était composé de 129 terrils, répartis en 80 sites (53 dans le Pas-de-Calais et 27 dans le Nord) sur le territoire de 114 communes, soit une superficie totale de 2 186 ha pour un montant évalué par France Domaine à 1,745 million d'euros (Kaszynski, 2008). Une bonne partie de ce patrimoine a aujourd'hui intégré les espaces naturels protégés des Départements du Nord (Lemoine, 2005, 2007, 2010) et du Pas-de-Calais au titre de la politique des Espaces Naturels Sensibles et celui des collectivités locales.

Les Départements du Nord et du Pas-de-Calais se sont ainsi rendus propriétaires de près d'une vingtaine de sites miniers qui totalisent près de 1 200 hectares. Avant leur transfert, l'EPF, en lien avec les collectivités, a procédé à une requalification et une mise en sécurité des friches minières là où cela semblait nécessaire. Ces travaux ont permis à certains terrils de devenir les maillons forts d'une trame verte et bleue dans le bassin minier (Briand *et al.*, 2007). Ils forment des espaces de nature et de récréation dans une région très industrielle, à la population nombreuse et déficitaire en espaces verts et boisés.

Les services des collectivités intéressées par la reprise des terrils (services départementaux principalement) ou du Conservatoire d'Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais (ex Conservatoire des Sites Naturels du Nord et du Pas-de-Calais) pour le terril Sainte Marie à Auberchicourt) ont été en amont intimement associés aux maîtres d'oeuvre de l'EPF pour la définition des objectifs liés aux divers projets de requalification des friches minières (Lemoine, 2005 ; Kaszynski, 2008). Ce partenariat avait pour but de s'assurer de la préservation des habitats présents, de favoriser leur restauration ainsi que la diversité de conditions physiques des milieux et surtout des conditions extrêmes (pauvres, secs,...) sur les terrils sur lesquels l'EPF intervenait (Briand *et al.*, 2007). Les diverses opérations entreprises, favorables à la biodiversité, ont consisté principalement à conserver des sols aussi nus que possible, en évitant toute modification de leur structure (en évitant les décompactages, l'apport de terre végétale et les semis).

Par ailleurs, pour conserver les caractéristiques écologiques des sites miniers, les interventions de l'EPF ont également permis progressivement de :

- gérer les milieux herbacés originels (ou créés pour les besoins de l'accueil du public) sans introduction de fabacées

(légumineuses) et apports d'engrais, et en pratiquant des fauches ponctuelles d'exportation et/ou en développant un pâturage extensif. Les pratiques de fauches exportatrices ou de pâturage extensif sans apport d'engrais permettent de stabiliser le couvert herbacé en limitant très fortement sa croissance ;

- semer des espèces végétales adaptées, à faible croissance dans les zones plus récréatives ;

- maintenir les champs de cailloux, les pierriers et dénivellations diverses pour les éléments les plus caractéristiques de la flore et de la faune ;

- limiter l'enfrichement des pelouses rases existantes par des défrichements ponctuels ;

- maintenir les zones temporaires d'accumulation d'eau, voire d'en recréer ;

- créer des dépressions humides temporaires pour les crapauds calamites ;

- favoriser l'ensoleillement maximal de l'ensemble des biotopes présents ;

- éviter une dynamique forestière trop forte, en surveillant les boisements spontanés, en créant diverses espaces de clairières et en favorisant de fortes populations de lapins ;

- maintenir des zones d'éboulis et instables ;

- protéger des pelouses xériques et acides sur schistes miniers ;

- maintenir des steppes caillouteuses pour le petit gravelot et l'alouette lulu ;

- protéger et restaurer les falaises à hirondelles de rivage lorsqu'elles existent ;

- protéger et créer de vastes étendues de roselières à phragmites et de zones de vasières au contact des terrils avec les étangs d'affaissement minier.

- empêcher l'accès aux sites aux véhicules motorisés (quad, 4x4 et motos)

Les requalifications entreprises n'ont pas exclu l'homme : les terrils miniers situés à proximité des zones densément urbanisées constituent des espaces de promenade et de découverte pour de nombreux habitants. Les sites ainsi aménagés présentent de vastes linéaires de chemins pédestres et/ou cyclistes (par exemple 12 km de chemins sur Chabaud Latour). Ils sont connectés aux centres urbains et à divers parkings. Dans divers cas, les sites sont équipés de pistes VTT et équestres (exemple du terril des argales à Rieulay-Pecquencourt). Ce dernier site a été aménagé avec l'aide de l'Association pour les Paralysés de France (APF) pour pouvoir accueillir un public à handicap. L'aménagement réalisé est en cours de labellisation « tourisme et handicap » par le Ministère du Tourisme. La majorité des sites miniers départementaux sont également connectés au réseau de chemins de randonnées départementaux, régionaux et nationaux (PDIPR, PR et GR) et bénéficie d'un balisage adapté.

La présence à proximité d'anciennes voies ferrées industrielles désaffectées (« cavaliers miniers ») et aménagées en chemins de randonnées, complète les possibilités de randonnée et les connectivités humaine et écologique entre les sites. Les Départements, la commune de Rieulay et diverses communautés d'agglomération comme la Communauté d'Agglomération d'Hénin-Carvin et divers partenaires associatifs (CPIE la « chaîne des terrils ») se sont



Fig.3 — Interprétation au patrimoine géologique sur le site de Rieulay-Pecquencourt.

Fig.3 — Geological interpretation in Rieulay-Pecquencourt site.



Fig.4 — Le bassin minier en cours de reconnaissance par l'UNESCO ?

Fig.4 — The Coalfield enlistment by UNESCO in progress ?

également engagés dans une démarche d'éducation à la nature et à l'environnement. Des programmes de visites naturalistes régulières pour le grand public et pour les élèves de collèges sont mis en place pour faire connaître et aimer ce patrimoine particulier. Certains sites sont également équipés, en plus des classiques panneaux d'accueil et d'information, de panneaux d'interprétation naturaliste. Les équipements du site des

argales (Rieulay-Pecquencourt) présentent l'histoire géologique du bassin minier et les différentes roches extraites du sous-sol (Lemoine, 2010) (Fig.3). Des plaquettes d'information (dont une dans le patois local) complètent la présentation de certains sites.

VII. — CONCLUSION

Les projets économiques de réutilisations des sites miniers émergent progressivement. À l'emblématique piste de ski de Noeux-les-Mines s'ajoutent aujourd'hui des sites miniers « naturels » (terrils et étangs d'affaissement minier) qui font également l'objet de promotion en tant que destination éco-touristique. La très bonne qualité des eaux de l'étang des argales à Rieulay-Pecquencourt et la place disponible au pied du terril encourageant la commune de Rieulay et ses partenaires à développer un musée des terrils, de la restauration, de l'hébergement et une offre récréative basée sur les loisirs de plein air (randonnée, baignade, glissade,...) et sur l'observation de la nature. La démarche de valorisation et de protection réglementaire des terrils (au titre des monuments classés) s'inscrit toutefois dans une démarche plus globale. Celle-ci, portée par les élus de la région, propose que le bassin minier du Nord - Pas-de-Calais soit reconnu par l'UNESCO (Fig.4) en tant que patrimoine mondial de l'humanité (O'Miel, 2008 ; Lemoine, 2010). Patrimoine encombrant, symbole de conditions de travail difficiles, de luttes sociales et accusés initialement d'enlaidir nos paysages, les terrils miniers font maintenant l'objet d'un intérêt



Fig.5. — Terrils de Loos-en-Gohelle.

Fig.5. — Slag heaps of Loos-en Gohelle.



Fig.6. — Espace de nature sur le site de Rieulay.

Fig.6. — Nature area on Rieulay site.

renouvelé. Image d'un renouveau et du dynamisme de la région (Fig. 5, Fig. 6), le patrimoine matériel et immatériel du bassin minier fait ainsi l'objet d'une démarche de reconnaissance internationale (*).

Remerciements. — L'auteur tient à remercier Francis Meilliez, Gaëlle Guyérant et les membres du comité de rédaction de la Société Géologique du Nord pour leurs relectures, ainsi que Lynn Seddon pour la traduction anglaise du résumé.

BIBLIOGRAPHIE

- BRIAND G., LEMOINE G., BELLAND S., MENSAH J. & HUTTNER B. (2007). — Guide pour l'ouverture au public d'un terril : Quelles démarches, comment aménager et gérer ? *MBM, ACM, EPF-NPdC, Mission Bassin Minier édit.*, Oignies, 22 p.
- CONSERVATOIRE DES SITES NATURELS DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS (2005). — Les terrils. *Livret nature*, Wambrechies, 26 p.
- GODIN J. (2002). — Degré de rareté, évolution de la distribution et particularités de l'herpétofaune de la Région Nord - Pas-de-Calais. *Bulletin de la Société Herpétologique de France*, (104) 16-35.
- KASZYNSKI M. (2008). — Les enjeux d'une gestion de transition du patrimoine industriel. *In : Les Paysages de la mine, un patrimoine contesté ? Centre historique minier édit., Lewarde, 186-190.*
- LEMOINE G. (1999). — Prise en compte des crapauds calamites dans la requalification de friches industrielles dans le Nord - Pas-de-Calais. *Supplément du Bulletin de la Société Herpétologique de France*, Paris, (91) : 6-7.
- LEMOINE G. (2002). — Prise en compte des crapauds calamites dans diverses opérations de restauration d'espaces agricoles et industriels dans le département du Nord. *Supplément du Bulletin de la Société Herpétologique de France*, Paris (101) 2-4.
- LEMOINE G. (2005). — Nature et espaces industriels ; terrils miniers, carrières et sablières. *Conseil général du Nord édit.*, Lille, 38 p.
- LEMOINE G. (2007). — Les terrils miniers intègrent les espaces naturels sensibles. *Revue Espaces naturels* n°19 juillet 2007.
- LEMOINE G. (2010). — Die Abraumhalden in den Nordfranzösischen Kohlrevieren. *Bergbau Folge Landschaft. Internationale Bauausstellung (IBA) Fürst-Pückler-Land 2000-2010*. Jovis éditeur, Berlin, 42-51.
- MEILLIEZ F. (2008). — Evolutions hydrologiques irréversible dans le bassin minier du Nord - Pas-de-Calais. *In : Les Paysages de la mine, un patrimoine contesté ? Centre historique minier édit., Lewarde, 72-81*
- PARENT G.-H. (1970). — Le Pélodyte ponctué, *Pelodytes punctatus* (Daudin), existe-t-il en Belgique et au Grand-Duché du Luxembourg ? note préliminaire. *Bulletin Les Naturalistes Belges*. t.51-7, Bruxelles 333-337
- O'MIEL C. (2008). — La procédure d'inscription du bassin minier du Nord - Pas-de-Calais sur la liste du Patrimoine mondial de l'Unesco. *In : Les Paysages de la mine, un patrimoine contesté ? Centre historique minier édit., Lewarde : 192-201.*
- PETIT D. (1972). — Les végétaux thermophiles peu communs de la région minière du Nord et du Pas-de-Calais. *Le Monde des Plantes*, 375 : 5.
- PETIT D. (1980). — La végétation des terrils du Nord de la France, écologie, phytosociologie, dynamisme. *Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Villeneuve d'Ascq* : 250 p.
- ROBASZYNSKI F. & GUYÉTANT G. coord. (2009). — Des roches aux paysages dans le Nord - Pas-de-Calais, richesse de notre patrimoine géologique. *Société géologique du Nord et Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pas-de-Calais édit.*, Lillers : 152 p.
- TOUSSAINT B., MERCIER D., BEDOUET F., HENDOUX F. & DUHAME F. (2008). — Flore de la Flandre française. *Centre régional de phytosociologie - Conservatoire botanique national de Bailleul*, Bailleul : 556 p.
- VOELTZEL D. & FÉVRIER Y. (2010). — Gestion et aménagement écologique des carrières de roches massives. Guide pratique à l'usage des exploitants de carrières. *ENCEN et CNC - UNPG, SFIC et UPC*, Paris, 230 p.

(*) reconnaissance obtenue le samedi 30 juin 2012 à Saint-Petersbourg, où le bassin minier du Nord - Pas-de-Calais fut classé par l'Unesco comme patrimoine mondiale de l'humanité.

LE "COTICULE" DE VIELSALM ET LIERNEUX (BELGIQUE) : UNE PIERRE À AIGUISER AU PASSÉ MONDIAL

Coticule of Vielsalm and Lierneux (Belgium): a whetstone with a worldwide distribution

par Eric GOEMAERE (*) & Pierre-Yves DECLERCQ (*)

(Planches VII & VIII)

Résumé. — Le coticule est une roche métamorphique d'âge ordovicien uniquement présente dans la partie sud du Massif de Stavelot sur les communes de Vielsalm et Lierneux. Il se présente en couches d'épaisseur centimétrique constituées de cristaux micrométriques de spessartite, de microphyllites de micas, ainsi que de quartz inframicrométriques. Ses propriétés exceptionnelles d'affilage du métal (rasoir, tranchant mince, tranchant large, tranchant courbe) ont valu à cette pierre abrasive naturelle une renommée et une distribution mondiales (barbier, circonciseur, chirurgien, boucher, menuisier, ébéniste, arboriculteur, jardinier, viticulteur, mégissier, carrossier...). Exploité et façonné depuis le 16^{ème} siècle, le coticule s'exporta sous forme de pierre à aiguiser (alias pierre à rasoir), de « bouts belges » et de formes spéciales. Il fut exploité artisanalement, d'abord à partir de la surface, dans des trous et des tranchées, puis ensuite par galeries souterraines, suivant l'évolution des techniques d'extraction, d'éclairage et d'exhaure. Le matériau était scié, mis à dimensions standardisées et poli. Ces opérations étaient réalisées primitivement chez l'exploitant avant que ne naissent des ateliers et l'engagement de personnel (hommes, femmes et enfants). Le nombre élevé de modèles, les différentes étapes de fabrication entièrement manuelles, le faible rendement (2-5%), la concurrence des pierres synthétiques, la disparition d'une partie de la clientèle au lendemain de la seconde guerre mondiale ont sonné le glas de cette activité unique. Située à Lierneux, une carrière à ciel ouvert exploite encore aujourd'hui le coticule et l'essentiel de sa production est exportée vers les Etats-Unis d'Amérique. Les anciennes galeries d'extraction, aujourd'hui le refuge hivernal de populations de chauve-souris, sont considérées comme des cavités d'intérêt scientifique. Enfin le Musée du coticule de Salmchâteau (Vielsalm) présente cette industrie manufacturière au destin mondial.

Abstract. — *The coticule is an Ordovician aged metamorphic rock only present in the southern part of the Stavelot Massif in the towns of Vielsalm and Lierneux. It appears in centimeter thick layers consisting in micrometric crystals of spessartite, microphyllites of micas, infra micrometer quartz. Its exceptional metal sharpening properties (razor sharp thin, sharp broad, sharp curve) gave its reputation of a natural abrasive stone and a global distribution (barber, circumciser, surgeon, butcher, carpenter, cabinetmaker, arborist, gardener, winemaker, tanner, coachbuilder...). Exploited and shaped since the 16th century, the coticule was exported as a whetstone (a.k.a. razor stone), the "bouts belges" and to special shapes. It was operated by craftsmen, primarily from the surface in open pits, in trenches and then by underground galleries, following the evolution of mining techniques of lighting and drainage. The material was sawn, adjusted to standard sizes and polished by the quarry workers and further then in small workshops. The high number of models, the various steps entirely manual, the low yield (2-5%), competition from synthetic stones, and the disappearance of part of the customer after the Second World War sounded the death knell of this unique activity. Located in Lierneux, a quarry today still operates the coticule and most of its production is exported to the United States of America. The old mining galleries are nowadays the winter refuge of bats populations. They are considered as cavities of scientific interest. Finally, the Museum of the Coticule in Salmchâteau (Vielsalm) presents this manufacturing industry with a global destiny.*

Mots-clés : pierre à aiguiser, grenat, patrimoine, Ordovicien, Massif de Stavelot.

Keywords : Honestone, garnet, heritage, Ordovician, Stavelot Massif.

I. — INTRODUCTION

L'est de la Belgique renferme des richesses minérales dont la réputation dépasse étonnamment le cadre belge : ardoise, or, nouveaux minéraux (ardennite, ottrélite, graulichite-Ce, davreuxite, vantasselite...) et le coticule. Ainsi le coticule est un matériau exceptionnel qui s'est exporté sous forme de

pierre à aiguiser dans le monde entier depuis plusieurs siècles. Son extraction a bien failli s'arrêter. Peu de personnes en Belgique savent que le coticule est toujours exploité. Les ventes en Belgique restent cependant anecdotiques au regard des exportations. Le Musée du Coticule, situé à Salmchâteau (Vielsalm), lui rend hommage mais reste encore méconnu. L'article permet de dresser un portrait d'une roche unique au monde et de faire le lien entre géologie, histoire et patrimoine.

(*) Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Service Géologique de Belgique, Rue Jenner, 13, B-1000 Bruxelles, Belgique ; eric.goemaere@naturalsciences.be ; pierre-yves.declercq@naturalsciences.be.

II. — QU'EST-CE QUE LE COTICULE ?

Le dictionnaire de géologie (Foucault & Raoult, 1995) définit LA coticule comme un « schiste siliceux dur (quartzophyllade), et à grain très fin, parfois chargé en petits grenats, connu dans les séries paléozoïques métamorphisées de l'Ardenne (France et Belgique) et utilisé comme pierre à aiguiser ». Le dictionnaire de la langue française définit la coticule (nom féminin) comme une quartzophyllade faite de quartz microcristallin et de grenat, utilisée comme pierre à aiguiser. Il y a donc d'autres coticules qu'au Pays de Salm. Pour les géologues belges, LE coticule (nom masculin) est une roche métamorphique à grain fin, riche en grenat spessartite $[Mn_3Al_2(SiO_4)_3]$ ($\geq 85\%$ mol spess.) et extraite des communes de Vielsalm et de Lierneux. Pour les exploitants salmiens, l'appellation coticule est réservée aux seules veines jaunes exploitables, et pour les clients, le coticule désigne le produit manufacturé, c'est-à-dire la pierre à aiguiser. Pour les habitants du Pays de Salm, il n'y a rien de comparable au monde que le coticule extrait de leur région ; ils se sentent propriétaires du nom ! Le mot coticule sera utilisé au masculin dans la suite du texte comme le veut l'usage régional. Doyle (1984), étudiant des quartzites à spessartine irlandais, suggère d'appliquer le terme « coticule » à toutes les roches contenant plus de 20% de spessartine. D'autres roches grenatifières ont alors été appelées coticule (par exemple des quartzites à grenats dans des métasédiments de l'Ordovicien inférieur affectés par un métamorphisme de contact, Kennan & Murphy, 1993) sans prendre en compte ni la définition ni le matériel d'origine (Baijot *et al.*, 2011).

De nombreux géologues dont Renard (1878), Gosselet (1888), de Dorlodot (1910), Lohest (1911), Anten (1924-1925), et plus récemment Theunissen (1969, 1970, 1971), Kramm (1976, 1980), Lessuisse (1981) et Grogna (1984) ont publié leurs observations minéralogiques sur le coticule du Pays de Salm et le phyllade encadrant. Pétrographiquement le coticule est un phyllade à grenats. Il est constitué pour 30 à 40% environ de cristaux micrométriques (2 à 5 μm) bien classés de spessartite (Pl. VII, Fig. 2) et distribués de manière assez homogène dans une matrice de micas (muscovite, paragonite et interstratifiés muscovite-paragonite) en fines paillettes plurimicrométriques. Les teneurs en manganèse des couches exploitées sont comprises entre 8,5 et 23,5% (exprimé en %MnO), fonction de la concentration en spessartite. Le quartz (17 à 32%) y est aussi présent sous forme de grains dont la taille est inférieure à 1 μm (Grogna, 1984). L'andalousite est présente dans certaines couches sous forme de porphyroblastes (infra)millimétriques avec de la kaolinite (Theunissen, 1971). La chlorite magnésienne, la kaolinite, le rutile, la tourmaline et l'hématite sont parfois accessoirement présents. Rutile et tourmaline sont toujours de taille micrométrique. Cette minéralogie confère à la roche brute une couleur jaune pâle et un toucher très doux. Le phyllade encaissant renferme aussi des grenats dont la proportion varie de 1 à 30% et la teneur en manganèse fluctue entre 0 et 6%. C'est la présence de fins cristaux de grenat dont la dureté (6,5 à 7,5) raye tous les aciers (lame de couteau : 5,5 à 6 ; acier durci : 7 à 8) dans une matrice très tendre qui lui confère ses propriétés abrasives.

Chaque couche a ses caractéristiques minéralogiques et granulométriques propres. Dans certaines couches, la teneur en grenat est plus faible et dans d'autres nettement plus élevée. Dans ce dernier cas, les cristaux de grenats sont plus

gros (jusqu'à 25 μm) ou forment des agrégats cristallins inframillimétriques nuisant alors à son usage comme pierre à aiguiser. La présence d'un pigment hématitique confère à certaines couches une couleur orangée à rougeâtre, tandis que l'andalousite induit une teinte verdâtre. Chaque couche, de par ses caractéristiques propres, même ténues, est destinée à des usages ou des clients différents. Les couches encaissantes sont constituées de phyllade bleu violacé pigmenté par l'hématite avec quelques couches centimétriques de quartzite clair appelées localement « grès » ou « pseudocoticules ». La teneur en fer (%Fe₂O₃) est très faible dans le coticule (0,04 à 1,34%) et élevée dans le phyllade encaissant (8,5 à 17%). En lame-mince, les grenats apparaissent ovoïdes, mais au Microscope Electronique à Balayage (MEB), les faces cristallines sont nettement observables. Ce sont les arêtes des faces cristallines du grenat qui vont conférer leurs qualités abrasives au matériau. Le coticule en tant que produit fini est un objet bicolore composé de deux parties accolées (naturellement ou artificiellement) : une couche de coticule jaune pâle (ou variantes) et une couche phylladeuse bleu violacé.

III. — CADRES GÉOGRAPHIQUE, GÉOLOGIQUE ET STRATIGRAPHIQUE

Le coticule n'affleure que dans l'est des Ardennes belges (Fig. 1), sur les seules communes contiguës de Vielsalm (nord de la province de Luxembourg) et de Lierneux (sud de la province de Liège). D'après Lessuisse (1981), il en existe deux gisements principaux. Le premier gisement s'étend de Regné à Otré avec une direction approximative E-W. Le second s'étend du Thier del Preu, situé au sud de la commune de Lierneux, à Salmchâteau, sur le flanc sud d'un grand pli synclinal, de même direction que le premier gisement. Du coticule a également été exploité sur la commune de Lierneux à proximité du village de Sart.

Sur le plan de la lithostratigraphie (Fig. 2, 3), les couches de coticule ne sont présentes que dans le Membre des Plattes (partie médiane de la Formation d'Otré, Groupe de la Salm, Arénigien) du bord sud métamorphisé du Massif calédonien de Stavelot-Venn (Verniers *et al.*, 2001). Le Membre des Plattes correspond à l'ancien « Sm2b - Salmien 2b » des cartes géologiques publiées au début du 20^{ème} siècle et en cours de révision aujourd'hui. Les couches y sont plissées (Pl. VII, Fig. 1) et faillées par les orogènes calédonienne et varisque. La série ordovicienne est constituée de roches terrigènes fines présentant la particularité d'être riches en manganèse. En-dehors de la zone métamorphique, le manganèse est principalement incorporé dans la rhodocrosite et les oxydes de manganèse, ces derniers ont fait l'objet d'exploitations souterraines de manganèse jusqu'à la seconde guerre mondiale dans la vallée de la Liègne. Notons encore qu'à Vielsalm de nombreuses ardoisières ont été ouvertes dans la partie supérieure de la Formation d'Otré (Membre de Colanhan - ancien Sm2c). Ces ardoises avaient la particularité d'être les plus denses d'Europe eu égard à leur teneur en hématite finement disséminée et aux paillettes d'ottrélite (chloritoïde au manganèse). L'absence de pyrite et de carbonates dans ces ardoises leur a assuré longtemps une réputation d'inaltérabilité. L'origine du manganèse dans les sédiments est attribuée à du volcanisme contemporain de la sédimentation (Lamens *et al.*, 1986).

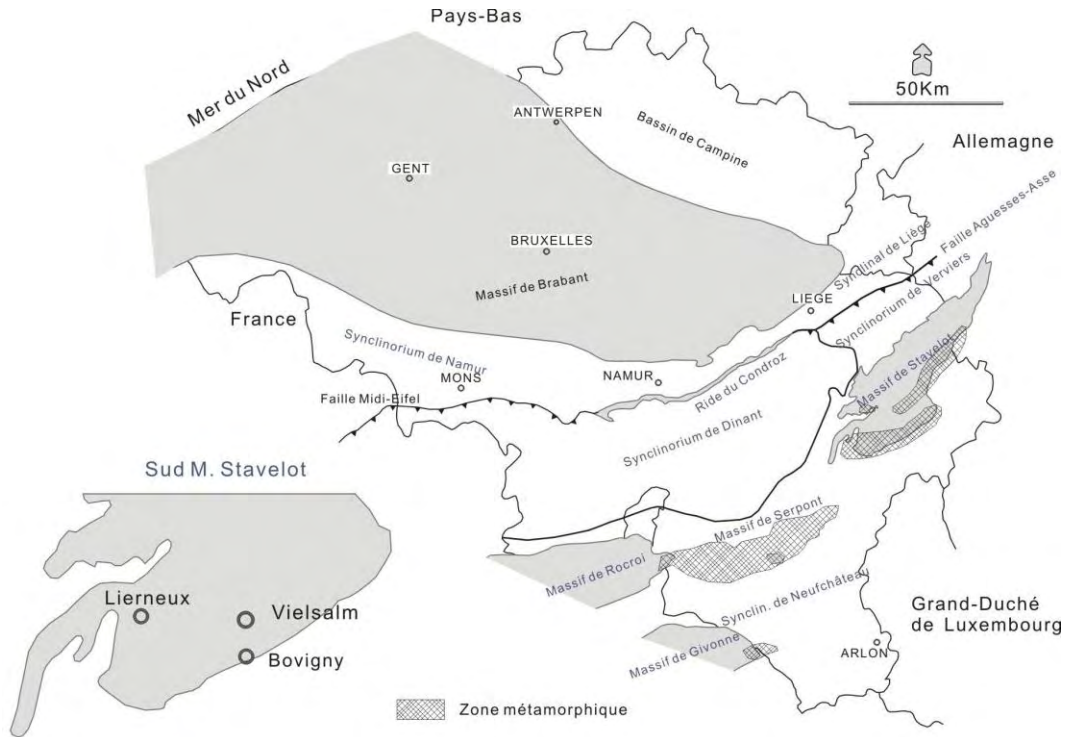


Fig. 1. — Carte géologique générale localisant les communes de Vielsalm, de Lierneux et de Bovigny et la zonation métamorphique construite sur base de l'assemblage minéralogique (épizone >350°C, d'après Fig. 4 de Fielitz & Mansy, 1999).

Fig. 1. — Large scale geological map locating the cities of Vielsalm, Lierneux and Bovigny and the metamorphic zonation from mineral assemblages (epizone >350°C, after Fig. 4 of Fielitz & Mansy, 1999).

De nombreuses hypothèses ont été avancées pour tenter d'expliquer l'origine du coticule et, en particulier, l'anomalie en manganèse. Kramm (1976) invoque l'occurrence de cendres volcaniques riches en manganèse. Le modèle le plus récent est celui de Lamens *et al.* (1986) : les sédiments composant le Membre des Plattes se déposent dans un bassin marin calme qui s'approfondit vers le sud-est et qui est limité au nord-ouest par une plate-forme. Au fond de ce bassin, des composés ferrifères et manganésifères en suspension correspondant probablement à des exhalaisons volcaniques et des particules terrigènes argileuses et silteuses sédimentent. La plate-forme est le siège de la formation de carbonate de calcium, principalement d'origine organique. Occasionnellement, des sédiments carbonatés provenant de la plate-forme atteignent le bassin, probablement par des courants de densité. Les éléments grossiers se déposent rapidement alors que les particules plus fines parcourent de plus longues distances et atteignent la région de Vielsalm au sud-est du bassin. La Formation d'Otré est donc caractérisée par une alternance de dépôts argilo-silteux riches en fer et en manganèse et de rares lits carbonatés. Ces derniers se sont déposés si rapidement qu'ils sont quasiment dépourvus de fer et de manganèse. Les processus diagénétiques engendrent une remobilisation des ions Mn^{2+} d'origine volcanique issus des dépôts argilo-silteux adjacents et remplacent les ions Ca^{2+} des carbonates pour former la rhodocrosite. A ce stade, les lits interstratifiés sont composés d'un mélange d'argile, de quartz et de rhodocrosite. Les orogénèses calédonienne et varisque plissent et faillent ces couches. Contrairement au synclinal de Chevron situé plus au nord, la région de Vielsalm est affectée par des processus métamorphiques d'âge varisque qui ont

transformé la rhodocrosite et les micas originels en un nouvel assemblage centré sur le grenat spessartite donnant ainsi naissance au coticule. La paragenèse formée est : quartz + spessartite + muscovite + paragonite + chlorite \pm andalousite \pm hématite + rutile. Une phase hydrothermale (circulation d'eaux chaudes) tardive provoque la rétomorphose de l'andalousite en kaolinite et micas.

La Formation d'Otré a une épaisseur de 150 m et le Membre des Plattes une épaisseur d'environ 30 m. Le stratotype du Membre des Plattes est représenté par les anciennes carrières de coticule situées entre les villages d'Hébronval et de Bihain, tous deux situés dans l'entité de Vielsalm. Le Membre des Plattes renferme des couches de coticule regroupées en quatre faisceaux de couches (Fig. 3) dénommés « Minette », « Fines », « Dressantes » et « Petas ». Chaque faisceau, d'une épaisseur de 1 à 3 m, est constitué de couches (pluri)centimétriques de coticule séparées par des phyllades et de rares et minces lits de grès. Le faisceau Dressantes compte 10 niveaux de coticule et 5 de « grès ». Les couches de coticule représentent à peine plus de 2 % de l'épaisseur du Membre des Plattes, et un peu plus de 1% pour les seules veines exploitables. Les veines jaunes qui ne peuvent servir comme pierres abrasives, stériles du point de vue de l'exploitant, ont été dénommées « grès » par ces derniers et « pseudo-coticules » par les géologues (Grogna, 1984 ; Theunissen, 1971 ; Lessuisse, 1981). Les « grès » désignent un microquartzite grenatifère jaunâtre aux nuances de gris, de vert ou de rouge. Ils se distinguent du coticule par leur litage régulier. Seul le microscope permet de différencier ces deux roches de minéralogie analogue. Le « grès »

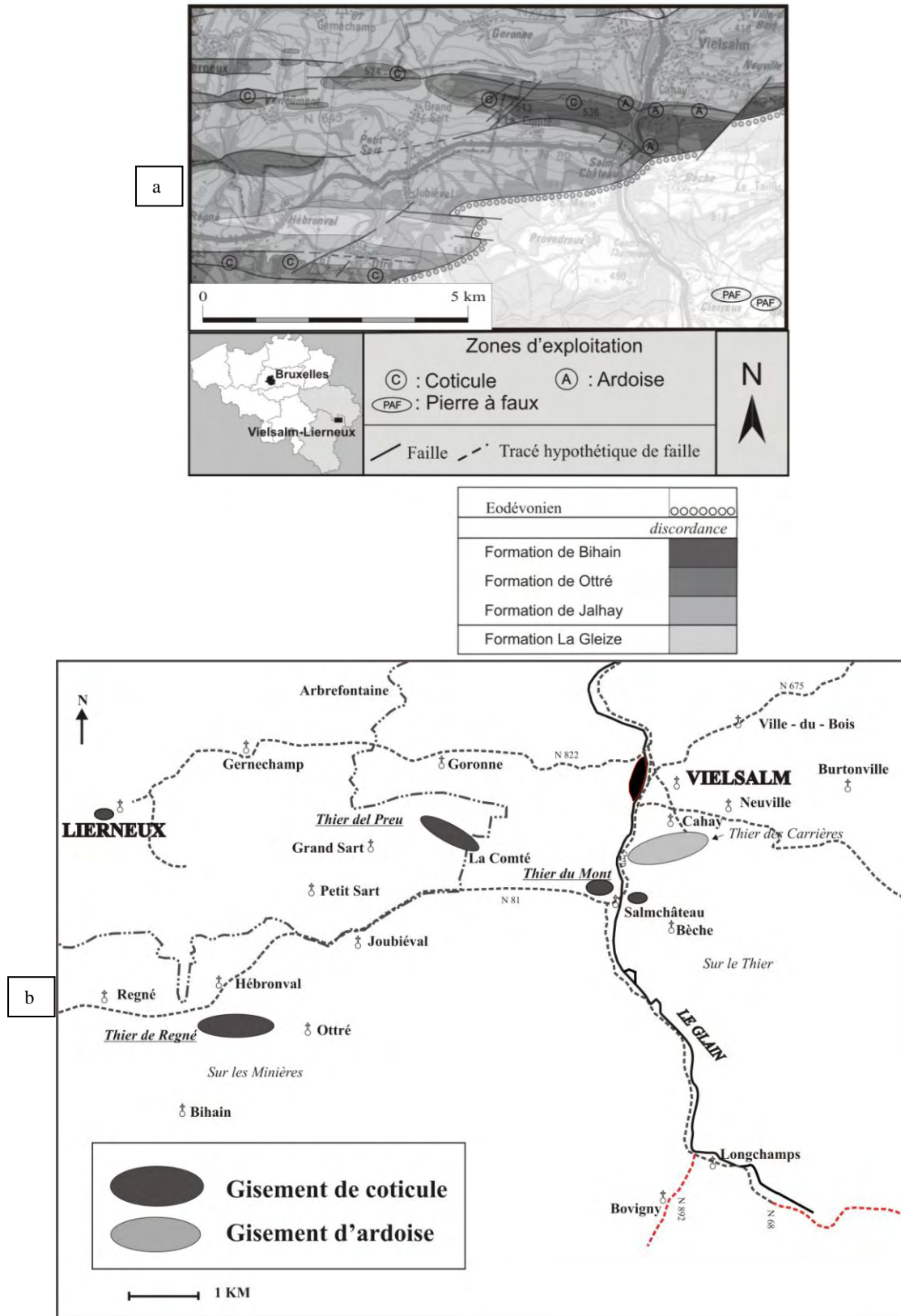


Fig. 2. — a) Carte géologique du sud du Massif calédonien de Stavelot et de sa bordure éodévonnaise ; b) Carte géographique synthétique situant les exploitations principales de coticule et d'ardoise.

Fig. 2. — a) Geological map of the south of the Caledonian massif of Stavelot and its Early Devonian border; b) Sketch geographical map locating the coticule and the slate excavations.

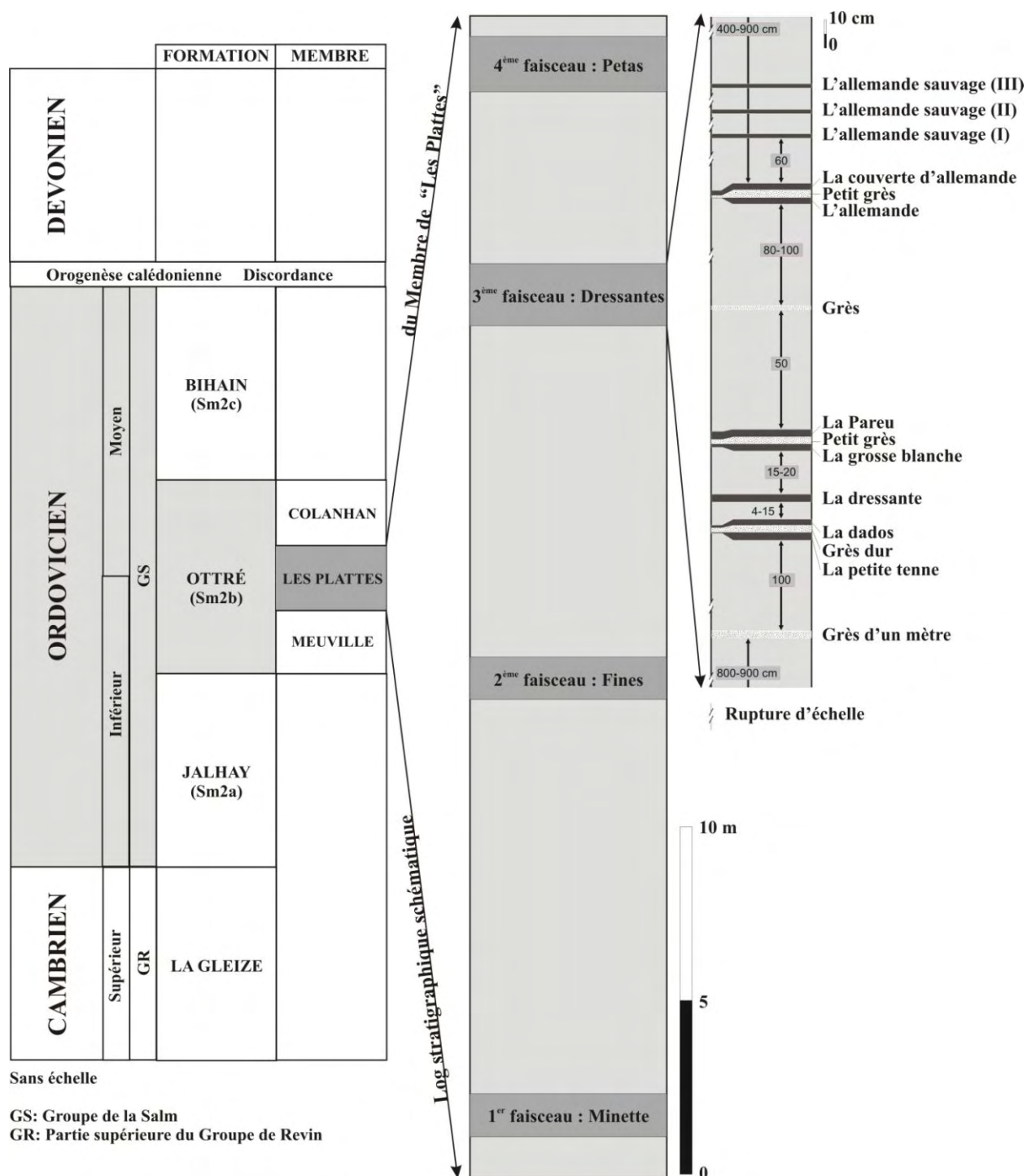


Fig. 3. - Distribution stratigraphique des couches de coticule à l'échelle du gisement méridional (Thier de Regné, Vielsalm).

Fig. 3. - Stratigraphic distribution of the coticule layer throughout the southern orebody (Thier de Regné, Vielsalm).

renferme d'abondants grains de quartz et de trop grande dimension expliquant sa « stérilité abrasive ». Chaque couche de coticule est dotée d'un nom spécifique correspondant à des différences, ou plutôt des nuances, qui ne sont reconnaissables que par les seuls exploitants mais qui avaient des propriétés d'aiguisage sensiblement différentes les destinant à des usages différents. Ces différences ténues

permettaient aux exploitants de les corrélés de proche en proche et d'une structure synclinale à l'autre, mais aussi de retrouver les couches décalées par des failles. Les couches de coticule ont été exploitées dans trois étroits synclinaux orientés E-W à Lierneux, Regné, Ottré, La Comté et Hébronval.

L'intense déformation des couches rend leur extraction problématique en souterrain. De plus, de nombreux défauts affectent les couches de coticule : des taches de phyllade violacé, des zones enrichies en andalousite, des lits gréseux reflétant des structures sédimentaires, des veines et veinules de quartz (appelées « cheveux »), des diaclases avec altération bordière, les microplis avec étirement de la couche sur les flancs et renflement de la charnière, une transition entre le phyllade et le coticule et la faible adhérence du phyllade au contact du coticule. Tous ces éléments sont soit pénalisants (baisse de qualité) soit rédhibitoires. Ainsi les veinules de quartz entraînent la mise aux déchets de la pierre car la dimension des cristaux de quartz est beaucoup trop élevée, et induirait de profonds rayures sur les lames d'acier. On le comprend, une faible zone géographique d'affleurement, un intervalle stratigraphique réduit, des couches centimétriques et la multiplicité des défauts font des « bons » coticules un matériau rare et donc cher ! Il fallait donc que ce matériau ait des qualités exceptionnelles pour qu'il ait été exploité sur plus de cinq siècles et exporté dans le monde entier.

IV. — EXTRACTION

Les premières sources écrites mentionnent dès 1530 le versement par les carriers de redevances au seigneur du Comté de Salm. Ces extractions semblent s'être limitées jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle aux abords de Salmchâteau, puis ensuite dans la zone de Bihain-Ottré et au Thier del Preu et Thier du Mont, Hébronval... L'activité extractive et de transformation était purement artisanale et familiale : les hommes procédaient à l'extraction pendant l'hiver et les femmes confectionnaient les produits finis destinés à la vente. Au cours du 17^{ème} siècle, des marchands arméniens notamment emportaient les produits finis et les distribuaient dans certains pays d'Europe. Ce marché s'est ensuite organisé avec des marchands de Vielsalm. Vers 1769, ces pierres s'exportaient en Asie et dans les Amériques. Progressivement les entreprises familiales disparaurent au profit de sociétés avec des capitaux souvent extérieurs à Vielsalm qui géraient tant l'extraction et la transformation que le commerce international en ayant des accords avec des distributeurs dans différents pays extra-européens. Les extractions se faisaient en creusant de simples trous, bientôt poursuivis en tranchées en suivant les couches jusqu'à leur disparition par faille et leur recherche par tranchée transversale au-delà de l'accident. La division des terres en minuscules parcelles et les redevances à payer ont induit la multiplicité de petites extractions empêchant tout développement « industriel ».

Ces travaux de surface, appelés « carrières » sur les plateaux, perdurèrent plusieurs siècles avant que les extractions ne deviennent souterraines au cours du 18^{ème} siècle. Celles-ci se sont faites par de courtes galeries chassant plusieurs couches et creusées soit à partir des plateaux soit à partir des versants (Pl. VII, Fig. 3) afin d'atteindre en profondeur les couches déjà reconnues en surface. L'allongement des galeries, puis le besoin d'atteindre les couches plus en profondeur nécessitèrent à la fois des puits d'extraction, mais aussi des moyens d'exhaure. Des tonneaux actionnés à partir de treuils manuels, puis des pompes permettaient de sortir l'eau par les puits foncés sur les plateaux, tandis que des galeries drainantes évacuaient par gravité les eaux issues des galeries foncées à flanc de colline.

Les exploitations ouvertes sur les plateaux (Fig. 4) nécessitaient des échelles (Pl. VIII, Fig. 7) pour atteindre les galeries souterraines. Une cabane était implantée au droit du puits et un treuil sur chèvre installé pour remonter les pierres. Les galeries étaient étroites et suivaient les couches en direction ; les parois de la galerie étaient parallèles aux couches exploitées afin de minimiser les coûts d'extraction et réduire le volume de déchets à évacuer des travaux. Les techniques utilisées suivirent celles mises en œuvre dans les ardoisières de Vielsalm qui appliquaient avec retard les techniques mises en œuvre dans les extractions charbonnières ou métalliques de la province de Liège. L'arrivée des premières machines à vapeur à Vielsalm est tributaire de l'arrivée du chemin de fer permettant d'apporter le charbon. Pendant de nombreux mois de l'année, les routes d'accès à Vielsalm étaient peu praticables par un charroi lourd. Le désenclavement de Vielsalm par la voie ferrée a permis son développement. La gare de Vielsalm fut inaugurée en 1867 et, en 1890, la connexion ferroviaire était réalisée avec Liège avec l'approvisionnement en charbon pour les machines à vapeur. Les techniques d'éclairage ont suivi aussi les modernisations acquises dans d'autres bassins extractifs. Les galeries horizontales, parfois sur plusieurs niveaux, exploitaient plusieurs couches parallèles et la forme de la galerie était conditionnée par l'inclinaison des couches (Pl. VII, Fig. 4). Le volume de déchets était considérable et les tas de stériles appelés « verdôs » ou « verdous » sont encore visibles aujourd'hui dans le paysage, même si le reboisement naturel les fait peu à peu s'estomper.

V. — DE LA PIERRE BRUTE À LA PIERRE À RASOIR

À l'origine, le travail de la pierre était réalisé par des particuliers, des agriculteurs le plus souvent. Certains extraient la matière première sur des terrains communaux dits « abânés ». D'autres achetaient la pierre brute à de petits exploitants mineurs. Ils vendaient alors les produits finis à des négociants qui les écoulaient. Pour beaucoup de familles, ce travail était un appoint important, principalement pendant l'hiver. Le travail du coticule a d'abord été un labeur familial et saisonnier et s'est toujours pratiqué de manière artisanale. La mécanisation des sites de transformation a entraîné la disparition des petits fabricants au profit de plus grands ateliers avec quelques dizaines d'ouvriers (ouvrières), enfants et adolescents. Ces sociétés ont perpétué les techniques éprouvées des anciens tout en les modernisant (électrification, disques diamantées, remplacement des femmes et des enfants par des hommes adultes). Gaspar (1975), Briol (1981), Lessuise (1981), Grogna (1984), Val du Glain (collectif, 1984), Graulich (1987), Voisin (1987) et Goemaere (2008) décrivent les gestes d'autrefois.

Les pierres extraites, généralement de grandes dalles, sont tout d'abord peignées ou rhabillées (taillées) (Pl. VIII, Fig. 8) : la partie du phyllade superflu (appelé le bleu) et inutilisable est enlevée. Cette opération très délicate est effectuée à proximité des bures et exige une compétence spéciale car il faut maintenir un talon de phyllade. Les déchets sont mis au terri. Les pierres sont ensuite transportées vers les ateliers en évitant un séchage trop rapide ou le gel selon la saison. Après l'opération de tri (par veine et par qualité), les pierres sont tracées (mesures spécifiques en pouce) pour en tirer le

SCHEMA EN COUPE D'UN 'BURE'

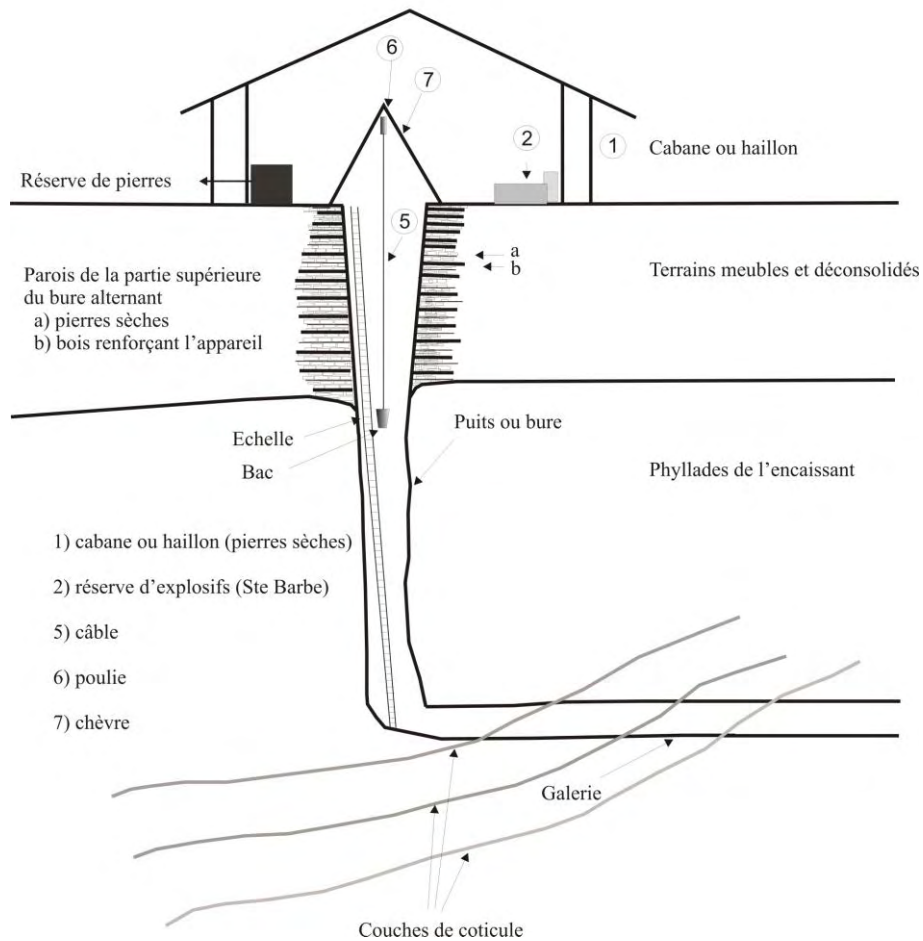


Fig. 4. — Schéma d'une carrière souterraine de coticule ouverte à partir du plateau (modifié d'après Goemaere, 2008 et Papeleux, 1971).

Fig. 4. — Diagram of an underground quarry of coticule open from the plateau (modified from Goemaere, 2008 and Papeleux 1971).

meilleur parti lors de l'opération suivante de sciage. Autrefois, les plaques étaient sciées à la main au moyen d'une lame d'acier (lame de faux, redressée et crantée à l'aide d'un marteau), d'environ 30 x 15 cm, munie de deux poignées et actionnée par deux ouvriers (Pl. VIII, Fig. 9). Ensuite, elles ont été sciées en longues tranches au moyen d'armures sous un arrosage d'eau et de sable, puis à partir des années 1950 par des disques diamantés. Le débitage, deuxième opération après le sciage, permettant la mise en forme des pierres (pierre à aiguiser, bout, pierre spéciale), se faisait de même manière en découpant les tranches aux longueurs voulues en tenant compte de plusieurs critères comme l'épaisseur, l'aspect et la grandeur de la dalle, le sens du fil et la présence de défauts. En coupant dans l'épaisseur, la couche de coticule peut donner plusieurs tranches. Les pierres de forme sont alors polies, anciennement au sable grossier additionné d'eau, au moyen d'un lapidaire (Pl. VII, Fig. 5), ensuite au moyen d'un sable calibré. La force des bras a au cours du temps été remplacée par la force hydraulique puis par la force électrique.

La typologie des pierres à rasoir en coticule (Fig. 5) a été établie par Grogna (1984). Elle se base sur les relations géométriques entre le coticule (gris clair) et le phyllade (gris

foncé) encaissant et sur les méthodes d'extraction, de découpe et de polissage qui en découlent. Généralement, le coticule est extrait avec le phyllade adjacent ou il peut être extrait seul, auquel cas il sera ultérieurement collé sur un support phylladeux. Lors de la préparation des pierres, il arrive fréquemment qu'un manque d'adhérence apparaisse soit entre le coticule et le phyllade, soit entre le coticule et le grès ou même au sein de la veine de coticule. Ce manque d'adhérence nécessite un collage du matériau (historiquement avec collophane et cire d'abeille). La pierre non collée est dite « pierre au bleu » et est de qualité supérieure et de prix plus élevé à toute pierre collée. Lorsque la couche de coticule est suffisamment épaisse (scénario 3, Fig. 5), une tranche de coticule est sciée puis collée (scénario 4, Fig. 5) pour augmenter le nombre de pierres produites.

Les pierres «au bleu» sont des pierres d'une seule pièce où le coticule adhère naturellement au phyllade violet et seule la face claire (jaune, crème, verdâtre, rosée) est polie, tandis que la bleue passe seulement au lapidaire. Quand le phyllade n'adhère pas bien au coticule et se détache, on aplanit alors une ou deux surfaces que l'on colle à une semelle de phyllade de même dimension, préalablement dressée au sable. Le petit

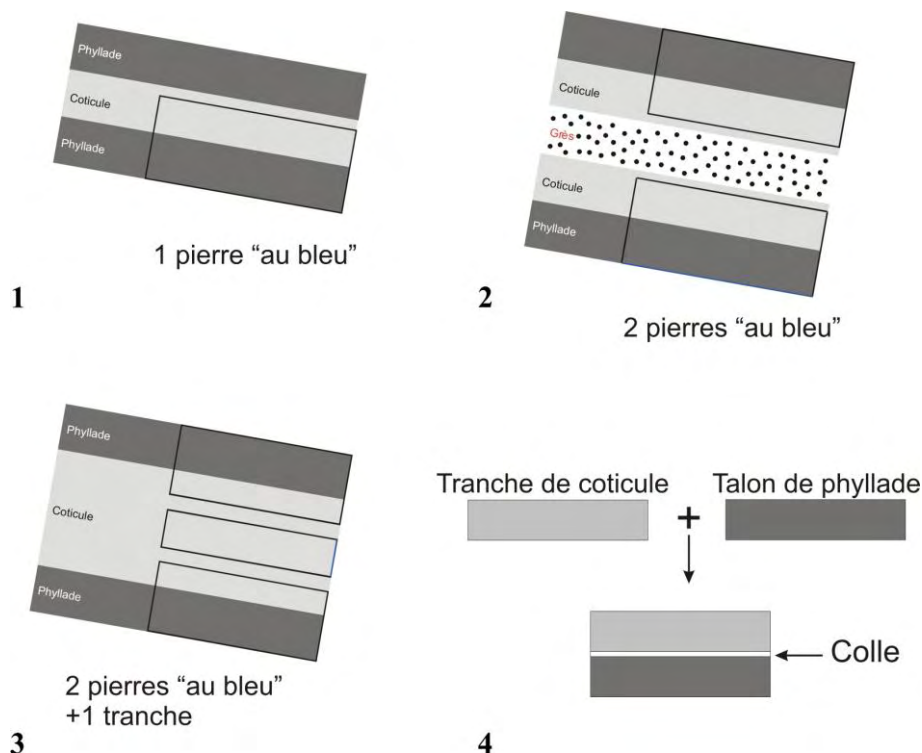


Fig. 5. — Quelques types schématisés de veines de coticule (figure modifiée d'après Grogna, 1984) permettant de fabriquer une ou plusieurs pierres à aiguiser (pierre « au bleu » et/ou pierres collées).

Fig. 5. — Some schematized types of coticle veins (figure modified after Grogna, 1984) for making one or more stones (stone "au bleu" and / or glued stones).

bloc collé est alors scié, mis à dimension et préparé comme ci-dessus. Lorsque la veine de coticule est suffisamment épaisse, on peut ainsi fabriquer 2 voire 3 pierres en sciant dans l'épaisseur de la veine elle-même. Après dressage et collage des semelles de phyllade, on obtient ainsi plus de marchandise. Les pierres, collées ou non, repassent au lapidaire où toutes les faces sont dressées et mises aux dimensions commerciales. Les pierres comportant de petites fissures sont placées sur une plaque chauffante (anciennement : un fer appelé « brasseur ») et enduites d'une colle spéciale : une part de cire d'abeille pour deux parts de colophane. Ce procédé appelé « raffermissement » vise à colmater les fissures afin d'empêcher la pierre de se fendre. Les pierres sont alors vérifiées, repassent au polissage (ou doucissage) au sable fin (granulométrie < 0,3 mm) qui permet d'atténuer les traces du gros sable et d'éliminer la colle et ensuite au repassage qui se fait à la main pour supprimer toute trace de sable fin. Ils frottent la pierre à rasoir sur une pierre très douce puis sur un schiste plus dur (« pierre bleue » d'Otré ou de Sart) appelé « doucissette », remplacé plus tard par des abrasifs fins au carborundum. Les pierres à rasoir et les bouts sont enfin triés selon leur qualité, forme et dimension, lavés, séchés et emmagasinés (Pl. VII, Fig. 6). Les pierres à rasoir sont ensuite marquées (cachet spécifique à un fabricant) et/ou étiquetées (fabricant, publicité ou revendeur), emballées dans du papier huilé bleu spécial. Les pierres sont groupées par taille et déposées par botte de 12 dans des caisses en bois. La marchandise est protégée par de la fibre de bois (autrefois de la paille). Les caisses sont alors cerclées de fer, estampillées et adressées puis exportées dans le monde

entier. Beaucoup de ces gestes n'ont guère changé depuis le 16^{ème} siècle. Ce travail requiert compétence, temps et patience. Le grand nombre d'étapes avant l'obtention du produit fini se reflète directement sur les coûts.

VI. — PRODUITS FINIS ET COMMERCE

Plusieurs types de produits (Fig. 6) ont été fabriqués : la pierre à aiguiser *sensu stricto* (1) de forme parallélépipédique (ce format long ou courant sert à l'affilage en longueur), le « bout belge » (2) de forme polygonale avec des angles quelconques (aussi appelés « cwer nous » = cornus) et les pierres à usages spéciaux (3 et 4) comme la pierre à gouge (3). Le bout belge se caractérise par deux grandes faces parallèles, l'une phylladeuse, l'autre en coticule et des dimensions variables. La tranche de coticule est cependant à peu près de même épaisseur que la tranche de phyllade. Pour les pierres à aiguiser *s.s.*, la forme répond à des dimensions standardisées et exprimées en pouces. Ainsi, plus de 200 modèles ont été proposés à la vente jusqu'avant le seconde guerre mondiale. Les dimensions des pierres sont standardisées. Les longueurs toujours exprimées en pouces (1 pouce = ± 2,54 cm) sont 5, 6, 7, 7½, 8, 8½, 9, 10, 11, 12, 4 x 2 et 5 x 2½, 6 x 2 pour la qualité « Old Rock » et 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 4 x 2 et 5 x 2½ pour « l'Idéale Diamant ». Les qualités commerciales « Old Rock » et « Idéale Diamant » correspondent à deux couches différentes de coticule, se différenciant par une plus grande finesse des grenats pour

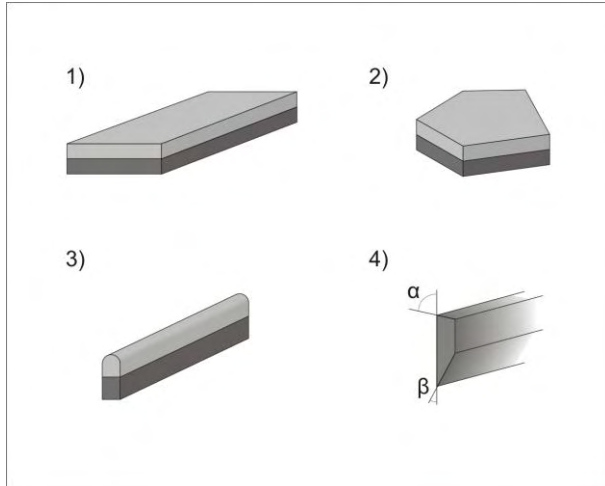


Fig. 6. — Principaux types de pierres à aiguiser produites à Vielsalm et Lierneux. 1 : pierre à rasoir ; 2 : bout belge ; 3 : pierre à gouge ; 4 : pierre à aiguiser à profil adapté à un usage spécifique.

Fig. 6. — Main types of sharpening stones produced in Vielsalm and Lierneux. 1: stone razor, 2: Belgian bit, 3: whetstone made for gouge; 4: whetstone to profile suitable for a particular purpose.

l'Old Rock. Certains formats ont été fabriqués spécialement pour la Tchécoslovaquie, les Etats-Unis ou la coutellerie de Thiers (Puy-de-Dôme, France). La largeur des pierres équivalait anciennement au quart de la longueur (au cinquième ensuite) et l'épaisseur du couple coticule-phyllade, à la moitié de cette largeur. Les mesures 4 x 2 et 5 x 2½ sont des mesures américaines adaptées pour le polissage en rond, opposé au polissage en long pour les autres dimensions. Différents types de pierres ont été fabriqués pour des métiers bien spécifiques et ne servent pas toujours à affûter les tranchants comme pour l'industrie textile ou l'imprimerie à base de la « pierre de Lorraine ». Plus anecdotique, des pierres pour affûter les lames à rasoir Gillette furent fabriquées durant les années 1940-45; elles étaient en phyllade grenatifère et présentaient une surface agissante convexe. Lorsque la longueur de la pierre augmente, l'épaisseur et la largeur de la couche de coticule augmentent, ce qui induit une forte augmentation du coût de la pierre.

Les pierres à usages spéciaux correspondent aux catégories suivantes :

- Pierres mordantes : servant principalement au premier aiguillage des taillants bruts ;
- Pierres de Lorraine : servant aux ébénistes, menuisiers, charpentiers, ateliers mécaniques ;
- Pierre du Levant : servant aux ébénistes, menuisiers, ajusteurs, etc. ;
- Pierres rondes pour tanneurs (0,20' x 0,05') : en usage dans les tanneries, corroieries, maroquinerie, etc. ;
- Pierres à faux (20' x 21' et 23' x 24')
- Pierres à gouge, pierres à profil biseauté...

Outre le nombre de modèles, les exploitants ont défini une échelle de qualité variable selon les époques et les fabricants : par exemple 15 pour les pierres à aiguiser et 4

pour les bouts belges (1932). Ces critères qualitatifs influent aussi largement sur les prix. Parmi les critères figurent : a) la finesse du grain, directement reliée à la qualité finale du polissage, b) la dureté qui exprime l'aptitude de la pierre à user le métal en relation directe avec la teneur en grenat, d) le collage et c) les défauts. Ainsi les « pierres au bleu » sont nettement mieux cotées que les pierres collées (voir plus loin dans le texte). La présence de taches ou de fissures rebouchées pénalisent le produit. Chaque atelier déclinaient ainsi plus de 250 types de pierres différents. De manière empirique, Grogna (1984) a relié la teneur en grenat spessartine avec la qualité du coticule déterminée par les exploitants. Pour des teneurs inférieures à 5 % en volume, les coticules sont de qualité médiocre. De 5 à 20 %, les pierres sont de bonne qualité. Les meilleurs coticules correspondent à une teneur en grenat élevée, de 20 à 40 %. Enfin, au delà de 40 %, la qualité du coticule diminue en raison de la formation d'agrégats de plus grande taille. Les meilleures pierres renferment des grenats de taille inférieure à 20 µm et avec des grains bien séparés les uns des autres.

La matrice composée de fines phyllites joue un rôle essentiel car elle sert de liant aux grenats. Ce liant est tendre et permet de mettre en micro-relief et de libérer les cristaux de grenats. Matrice argileuse et grenats mélangés à l'eau forment une pâte fluide abrasive. Après usure partielle, ces grains peuvent être arrachés de leur gangue et mettre à vif de nouveaux grains intacts disponibles pour poursuivre le processus d'affilage du métal. Un liant trop dur, en empêchant la libération des grains polis par le mouvement de l'acier, aurait eu pour conséquence un auto-polissage de la pierre à affiler qui aurait alors perdu rapidement ses propriétés. La présence de quartz en grains très fins permet aussi d'éviter une érosion trop rapide du matériau naturel. Tout est donc une question d'équilibre entre taille et classement granulométrique des cristaux, nature et dureté différentielle des cristaux et proportion des différents constituants. Les veines de coticule décrites par les exploitants comme de qualité médiocre sont généralement hétérogènes. Elles sont pourvues de nombreuses irrégularités de structure : veinules de quartz, fin litage, noyaux de kaolinite ou micacés, schistosité de crénelation.

Les pierres à aiguiser sont chères. En 1923, pour 12 pièces de longueur 10 pouces, les prix varient selon la qualité: 450 à 144 francs belges (11,25 à 3,6€). Pour les pierres de 6 pouces, les prix sont compris entre 150 et 42 francs belges (3,75 et 1,05€) et de 600 à 180 francs belges (15 à 4,50€) pour les pierres de 12 pouces (Val du Glain, 1984). En 1934, l'ouvrier-carrier touchait environ 40 francs belges (1€) par jour, pour 10 heures de travail et 20 (0,50€) à 30 (0,75€) francs par jour à l'atelier ; l'apprenti recevait de 7 à 8 francs/jour (0,17 à 0,20€/jour) ; une ouvrière employée au doucissage touchait 9,75 francs/jour (0,24€/jour) en 1925. Les produits élaborés à partir du coticule ont fourni pendant plusieurs siècles les barbiers, menuisiers, charpentiers, ébénistes, luthiers, rabbins, tanneurs, mégissiers, bouchers, chirurgiens, viticulteurs, agriculteurs, céréaliers, etc. pour l'affûtage des outils : rasoirs à lame, scies, gouges, raclours, couteaux, faux, ciseaux à bois... Au sud de Vielsalm-Lierneux, une petite industrie localisée sur la commune de Bovigny a profité de la renommée du coticule pour développer une fabrication de pierres à faux au départ de grès quartzitiques fins d'âge praguien (Dévonien inférieur). Ces carrières sont partiellement remblayées.

VII. — COMMENT AIGUISER ?

Le coticule est une pierre abrasive naturelle permettant d'aiguiser tous les tranchants courts, longs, droits ou courbes. L'aiguillage avec le coticule se fait par enlèvement de matière et utilise de l'eau et non de l'huile, car la pierre n'est pas poreuse et ne peut pas s'encrasser avec des particules de fer arrachées lors de l'opération d'affilage. L'eau permet aussi de refroidir la lame. Bien aiguiser nécessite cependant du savoir-faire pour ne pas abîmer la pierre et obtenir le fil souhaité. Pour restaurer des tranchants très abîmés, il convient d'utiliser des pierres à aiguiser à grains plus grossiers que le coticule (des grès quartzitiques par exemple) pour enlever rapidement de la matière. On peut utiliser des grains de plus en plus fins. Vu la finesse des grains de grenat, le coticule est parfaitement adapté au travail de finition, car il laissera une surface lisse et régulière à proximité du fil. Pour les lames très fines comme les rasoirs, la dernière étape consiste à passer le tranchant sur une lanière en cuir dur et très tendue pour lisser les microrayures.

Pour les tranchants courbes (couteau, bistouri...), la lame est frottée en oblique selon un angle précis sur la pierre mouillée qui est fixe. Les faces sont aiguisées en alternance. Pour les petits tranchants plats (burin, ciseau plat...) (Pl. VIII, Fig. 10), la pierre à aiguiser est maintenue fixe sur une surface plane et le tranchant est frotté sur la pierre en tournant, ici aussi avec un angle adapté (14°-18°). Si le tranchant est trop long pour être manipulé (hache, serpe), c'est la pierre à aiguiser qui est mobile et à qui on confère un mouvement rotatif. Le frottement permet de libérer des grains de grenat formant avec l'eau une pâte fluide facilitant l'aiguillage du métal. Le type précis de coticule à utiliser est fonction de l'usage que l'on veut faire de l'outil. Il s'agit toujours d'un compromis à atteindre entre l'efficacité du tranchant et sa durée de vie.

VIII. — LES CAUSES DU DÉCLIN

La profusion de modèles, les contraintes dimensionnelles strictes, les prix élevés de revient et de vente destinant ces pierres à une clientèle aisée, exigeante ou spécifique (rabbin), la clientèle juive décimée au sortir de la seconde guerre mondiale, mais aussi l'extrême longévité de la pierre sont autant de handicaps commerciaux pour assurer une viabilité à long terme de cet artisanat. L'arrivée sur le marché de produits naturels concurrents (par exemple la pierre d'Arkansas), puis de produits artificiels à faible coût et enfin, la réduction du nombre d'artisans, les rasoirs électriques et le commerce des rasoirs multi-lames jetables, ont ruiné le marché du coticule du Pays de Salm. La « Pierre d'Arkansas » est une novaculite (Dévonien-Mississippien) extraite des Ouachita Mountains (Arkansas, USA) et le minéral responsable de l'abrasivité est le quartz micro- à cryptocristallin. La roche est issue du métamorphisme léger affectant des cherts lités. Cette pierre à aiguiser diffère donc fortement du coticule belge.

En 1980, l'extraction a cessé partout et les ateliers sont fermés. Seuls les négociants continuent à écouler le stock. Le Musée du coticule est ouvert en 1983. Fin de l'histoire ? Non, en 1984, une carrière et sont atelier ouvrent de nouveau à Lierneux (société Burton-Rox) et l'extraction reprend en

1985, en diversifiant sa production pour valoriser les sous-produits. Elle est ensuite reprise en 1999 par la société Ardennes-Coticule. Si pendant des siècles, seule la pierre bicolore était commercialisée, la société anonyme Ardennes-Coticule a développé un nouveau produit : une pierre à aiguiser naturelle de couleur bleue appelée « Belgian blue whetstone ». Si la pierre jaune est la meilleure pour aiguiser très vite et très fin, la pierre bleue (30% de grenat de diamètre 12 à 20 µm équivalant à ISO P1 500 à P1 000;) est recommandée pour l'affilage de couteaux et de burins. La blue whetstone a un prix de revient moins élevé car elle est simplement sciée dans la masse et polie et ne nécessite pas de collage (Grogn, 2008).

IX. — PATRIMOINE

En 1980, la Belgique célébrait le 150^{ème} anniversaire de son indépendance. A cette occasion, des crédits furent prévus pour des réalisations où le passé et le présent pouvaient se rencontrer. C'est dans ce cadre que l'ASBL Val du Glain Terre de Salm propose en 1979, la création du Musée du Coticule à Salm-Château qui voit le jour un an plus tard dans un ancien atelier de traitement de cette pierre. Il deviendra la propriété de la commune de Vielsalm en 2006. C'est un rare exemple d'un musée resté *in situ* car l'atelier-musée comporte encore toute la chaîne de fabrication de la "pierre à rasoir". Le musée a ouvert une salle de géologie régionale exposant la richesse minéralogique de la bordure sud du Massif de Stavelot. Tout au long du parcours, des photos, des cartes, des schémas, des maquettes, viennent compléter l'information du visiteur. Enfin, l'aspect historique, avec des copies de documents anciens, et l'aspect humain de l'activité pratiquée jadis, sont mis en valeur. Des visites guidées sont organisées pour les groupes et un dossier pédagogique d'exploitation est disponible (Legros, 2008).

Sur le terrain, les vestiges des anciennes exploitations sont de plus en plus ténus. Les « baraques » ont été démembrées pour en recycler les moellons de phyllades et les machineries ont disparu. Les terrils sont progressivement envahis par la végétation. Ces derniers permettent toujours de récolter des éclats de coticule mais aussi quelques minéraux rares et de belles cristallisations. Les stériles ont abrité un temps une végétation exceptionnelle constituée de mousses, lichens et rares fougères, ainsi que des plantes spécifiques du milieu boréal. De telles plantes sont aujourd'hui seulement préservées dans une réserve naturelle tracée autour des anciennes exploitations ardoisières de Vielsalm. Le long de certains chemins de randonnée, mais aussi hors des sentiers battus, s'ouvrent encore des puits et des galeries non aménagées et donc dangereuses pour les promeneurs. Les entrées sont instables, les étauçons sont pourris et les risques de chutes de bloc dans les galeries bien réels. Une attention particulière devra leur être un jour dédiée s'il n'est pas déjà trop tard ... Enfin, ces lieux souterrains sont les abris naturels de populations de chauve-souris, protégées par les lois belges et européennes. Les cavités les plus grandes sont reconnues d'intérêt scientifique et équipées de portes spéciales pour éviter les intrusions inopportunes (Pl. VIII, Fig. 11). Enfin, un ouvrage destiné au grand public (Goemaere, 2008) a été écrit afin de faire connaître le coticule et l'ardoise qui furent l'or jaune et l'or mauve de Vielsalm, sur tous leurs aspects scientifiques, techniques, historiques et patrimoniaux, mais aussi l'impact que ces extractions ont exercé sur le paysage.

Remerciements. — Les auteurs remercient Francis TOURNEUR et Roland DREESEN, relecteurs attentifs de ce

manuscrit et très impliqués dans la préservation et la mise en valeur du patrimoine géologique.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTEN J. (1924-1925). — A propos des noyaux du phyllade oligistifère et spessartinitifère à coticule. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **48** : B197-198.
- BAIJOT M., HATERT F. & FRANSOLET A.-M. (2011). — Mineralogical and geochemical study of pseudocoticule from the Stavelot Massif, Ardennes (Belgium), and redefinition of coticule. *European Journal of Mineralogy*, **23** (4) : 633-644.
- BRIOL R. (1981). — Technique d'exploitation de la pierre à rasoir dans la région de Bihain-Lierneux-Vielsalm. *Publications du Musée du coticule à Salmchâteau-Vielsalm*, Fascicule 2. Extraits (pagination d'origine conservée) de deux numéros de la revue « Glain et Salm, Haute Ardenne », **7**, 12/1977 : 31-42 et **9**, 12/1978 : 76-88.
- BULTYNCK P. & DEJONGHE L. eds. (2001). — Lithostratigraphic scale of Belgium. *Geologica Belgica*, **4** (1-2) [2001] : 5-38.
- DORLODOT (de) L. (1910). — Contribution à l'étude du métamorphisme du Massif Cambrien de Stavelot. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **37** : 145-204.
- DOYLE E. (1984). — The coticule rocks of the Lower Paleozoic Maulin Formation in southeast Ireland. Unpublished PhD thesis, National University of Ireland, Dublin.
- FIELITZ W. & MANSY J.-L. (1999). — Pre- and synorogenic burial metamorphism in the Ardenne and neighbouring areas (Rhenohercynian zone, central European Variscides). *Tectonophysics*, **309** : 227-256.
- FOUCAULT A. & RAOULT J.-F. (1995). — *Dictionnaire de géologie*. Masson édit., Paris, 4^{ème} édition : 324 p.
- GASPAR C. (1975). — L'industrie de la pierre à rasoir dans la région de Sart-Lierneux. *Extrait des Enquêtes du Musée de la Vie Wallonne*, **14** : 157-160.
- GOEMAERE E. ed. (2008). — *Ardoise et Coticule en Terre de Salm. Des Pierres et des Hommes. Les exploitations souterraines de la commune de Vielsalm : un patrimoine géologique, historique, culturel et biologique exceptionnel*. Serv. Géol. Belg. & Inst. Roy. Sci. Natur. Belg. édit., Bruxelles : 408 p.
- GOSSELET J. (1888). — L'Ardenne. *Mémoire du Service de la Carte Géologique de France* ; Baudry et Cie édit., Paris : 890 p.
- GROGNA J. (1984). — Les roches salmiennes à coticule dans la région de Salmchâteau. *Serv. Géol. Belg., Professional Paper*, 1984/2, **206** : 133 p.
- GROGNA J. (2008). — De Burton-Rox à Ardennes-Coticule : l'extraction et le façonnage continuent. In : GOEMAERE E. (ed.), *Ardoise et Coticule en Terre de Salm. Des Pierres et des Hommes. Les exploitations souterraines de la commune de Vielsalm : un patrimoine géologique, historique, culturel et biologique exceptionnel*. Serv. Géol. Belg. & Inst. Roy. Sci. Natur. Belg. édit., Bruxelles : 354-361.
- GRAULICH O. (1987). — *L'industrie ardoisière à Vielsalm*. Mémoire de Licence d'Histoire, Faculté de Philosophie et Lettres, Université de Liège : 178 p. [inédit]
- KENNAN P.S. & MURPHY F.C. (1993). — Coticule in Lower Ordovician Metasediments near the Hidden Kentstown Granite, County Meath: A Petrographic Study. *Irish Journal of Earth Sciences*, **12** : 41-46.
- KRAMM U. (1976). — The coticule rocks (spessartine quartzites) of the Venn-Stavelot Massif, Ardennes, a volcanoclastic metasediment ? *Contrib. Mineral. Petrol.*, **56** : 135-155.
- KRAMM U. (1980). — Muskovit-Paragonit Phasenbeziehungen in niedriggradig metamorphen Schiefern des Venn-Stavelot Massivs, Ardennen. *Tschermaks Min. Petrogr. Mitt.*, **27** : 153-167.
- LAMENS J., GEUKENS F. & VIAENE W. (1986). — Geological setting and genesis of coticules (spessartine metapelites) in the Lower Ordovician of the Stavelot Massif, Belgium. *J. Geol. Soc. London*, **143** : 253-258.
- LEGROS C. (2008). — Le Musée du Coticule: une perle du patrimoine industriel. In : GOEMAERE E. (ed.), *Ardoise et Coticule en Terre de Salm. Des Pierres et des Hommes. Les exploitations souterraines de la commune de Vielsalm : un patrimoine géologique, historique, culturel et biologique exceptionnel*. Serv. Géol. Belg. & Inst. Roy. Sci. Natur. Belg. édit., Bruxelles : 373-376.
- LESSUISE A. (1981). — Le coticule. Situation géographique et géologique des gisements. Exploitation et préparation des pierres abrasives. Valorisation des déchets d'exploitation. *Annales des Mines de Belgique*, **1981/2** : 101-124.
- LOHEST M. (1911). — Sur le métamorphisme de la zone de Salmchâteau. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **38** : M11-M25.
- PAPELEUX J. (1971). — Document inédit issu de l'enquête technique effectuée par l'auteur pour le compte du Musée de la Vie Wallonne. *Document conservé au Musée de la Vie wallonne*, Liège.
- RENARD A. (1878). — Sur la structure et la composition minéralogique du coticule et ses rapports avec le phyllade oligistifère. *Mémoires couronnés et mémoires des savants étrangers publiés par l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique*, Bruxelles, **41** : 3-45.
- THEUNISSEN K. (1969). — Découverte d'un phosphate alumineux de Terres Rares dans un coticule de Vielsalm. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **92** : 173-176.
- THEUNISSEN K. (1970). — L'andalousite et ses phases de transformation dans la région de Vielsalm. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, **93** : 363-382.
- THEUNISSEN K. (1971). — *Verband tussen de tectonische vervorming en de matamorphe rekristallisatie in het doorbraakdal van de Salm te Salm-Château*. Doctoraatsverhandeling, Katholiek Universiteit Leuven. [Thèse inédite]
- VAL DU GLAIN, Collectif (1984). — L'industrie de la pierre à rasoir dans la région de Bihain – Lierneux –Vielsalm. *Glain et Salm Haute Ardenne*, **20** : 3-51.
- VERNIERS J., HERBOSCH A., VANGUESTAINE M., GEUKENS F., DELCAMBRE B., PINGOT J.-L., BELANGER I., HENNEBERT M., DEBACKER T., SINTUBIN M. & DE VOS W. (2001). — Cambrian-Ordovician-Silurian lithostratigraphic units (Belgium). In : BULTYNCK P. & DEJONGHE L. eds., *Lithostratigraphic scale of Belgium. Geologica Belgica*, **4** (1-2) [2001] : 5-38.
- VOISIN L. (1987). — *Les ardoisières de l'Ardenne*. Terres Ardennaises édit., Charleville Mézières (France) : 257 p.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE VII

EXPLANATIONS OF PLATE VII

Photo 1. — Couche plissée et microfracturée (décalage millimétrique) de coticule (clair) dans un encaissant phylladeux (sombre). Le marteau donne l'échelle.

Photo 1. — Folded and microfractured layer (millimeter offset) of coticule (light) in a phyllitic host rock (dark). The hammer provides scale.

Photo 2. — Eclat de coticule montrant un cristal de spessartite dans une matrice microphylliteuse.

Photo 2. — Coticule shard showing a spessartite crystal in a microphyllitic matrix.

Photo 3. — Entrée souterraine de la carrière Old Rock exploitant le coticule (Vielsalm) avant la fermeture de son porche d'entrée (voir Planche II : photo 11).

Photo 3. — Underground entrance to the Old Rock quarry exploiting the coticule (Vielsalm) before the closing of the entrance porch (see Plate II : photo 11).

Photo 4. — Galerie souterraine dont l'inclinaison des parois suit celle des couches de coticule. A droite, une échelle rudimentaire en bois permet d'accéder à un autre étage. Monsieur A. Piette (Fosse d'extraction à Ottré, au lieu-dit Oulpaix, propriétaire J. Minet). Photo appartenant à l'ancien atelier J. Minet à Sart.

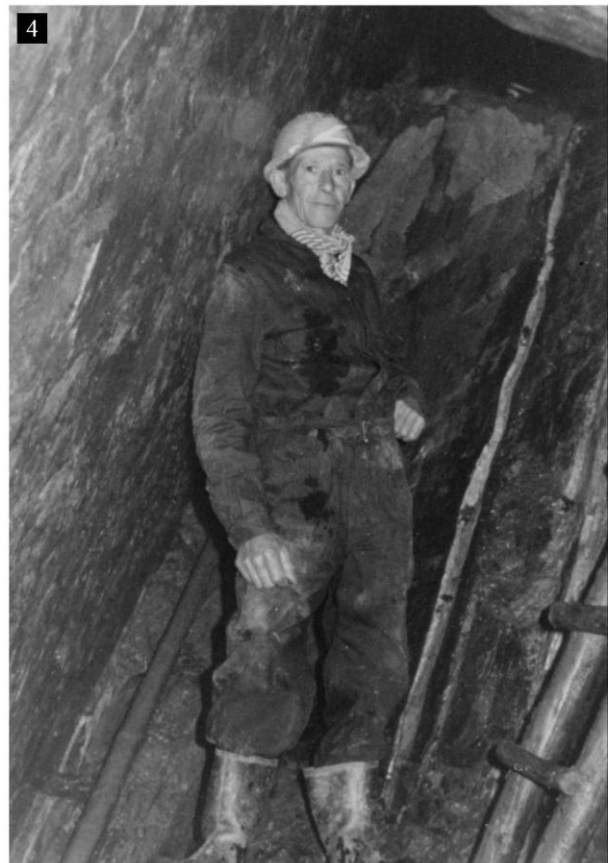
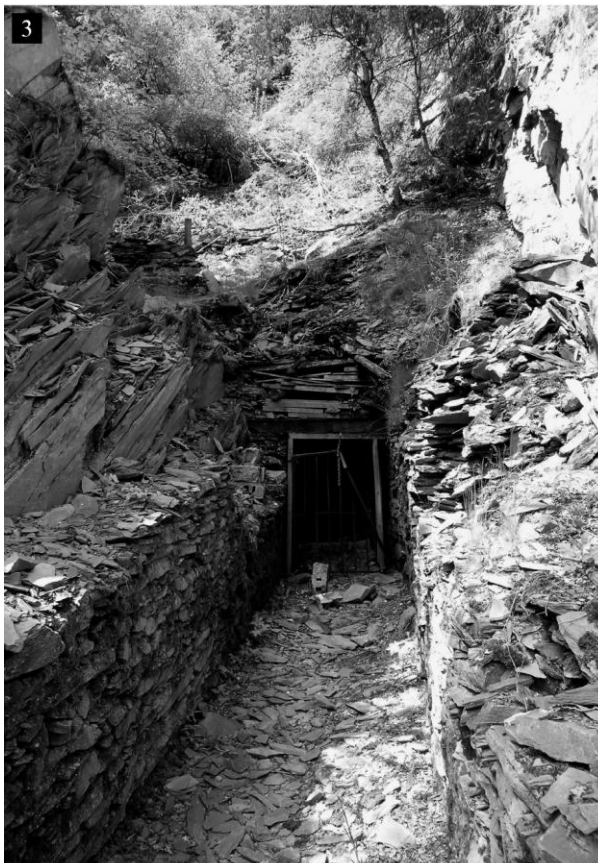
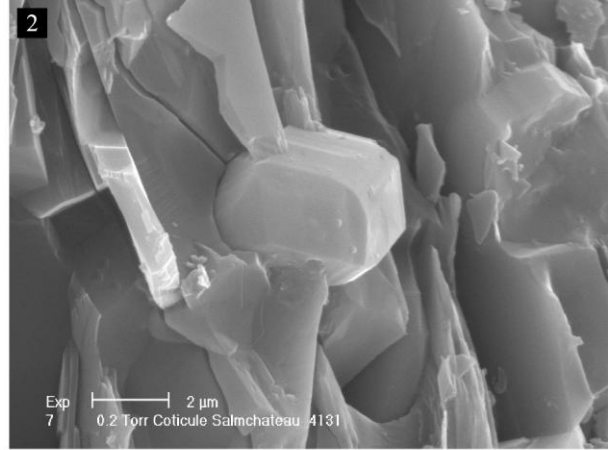
Photo 4. — Underground gallery which follows the inclination of the coticule layers. On the right, a rudimentary wooden ladder gives access to another floor. Mr. A. Piette (Extraction pit in Ottré, at the place called Oulpaix, owner J. Minet). Picture belonging to the old workshop J. Minet in Sart.

Photo 5. — Opération de polissage au lapidaire des pierres à rasoir.

Photo 5. — Polishing operation at the lapidary of razor stone.

Photo 6. — M. Joseph Minet, dans son magasin, occupé à trier par format et par qualité les pierres à aiguiser et les bouts (1978, Archives du Musée du Coticule).

Photo 6. — Mr. Joseph Minet, in his shop, sorting by size and quality the sharpening stones and "bouts" (1978, Archives of the Coticule Museum).



EXPLICATIONS DE LA PLANCHE VIII

EXPLANATIONS OF PLATE VIII

Photo 7. — Descente du mineur (M. Alix Backus) par un puits vertical rejoignant les travaux souterrains du site de Regné (Vielsalm) : un simple chevalet, une échelle (sans harnais de sécurité). Une pompe rejette les eaux en surface (Archives du Musée du Coticule).

Photo 7. — Minor (Mr. Alix Backus) going down by a vertical shaft joining the underground work of the site of Regné (Vielsalm): a simple easel, a ladder (without safety harness). A pump rejects the water to the surface (Archives of the Coticule Museum).

Photo 8. — Opération de « rhabillage d'une pierre » par M. Joseph Bidonnet (Photo A. Lejeune, Archives du Musée du Coticule).

Photo 8. — Operation of "patching up one stone" by Mr. Joseph Bidonnet (Photography A. Lejeune, Archives of the Coticule Museum).

Photo 9. — Découpage des blocs de coticule en tranches au moyen d'une scie à main actionnée par deux ouvriers. Les ouvriers sont assis sur un banc appelé « bâdet ». Photo prise entre 1900 et 1910. Vielsalm (Archives du Musée du Coticule).

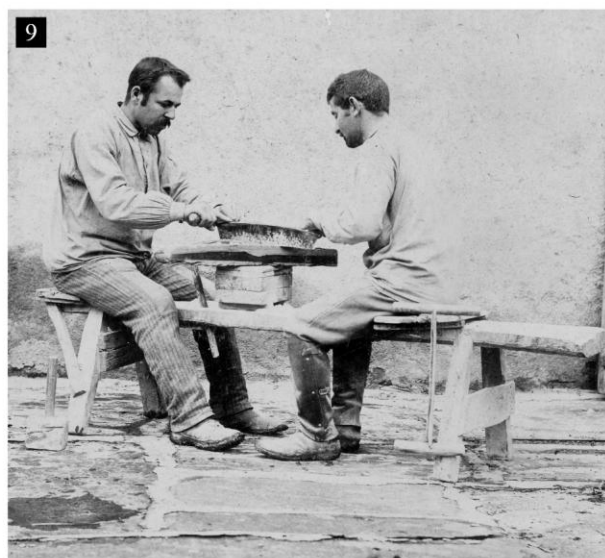
Photo 9. — Cutting coticule blocks in slices, using a hand saw operated by two workers. The workers are sitting on a bench called "bâdet". Photography taken between 1900 and 1910. Vielsalm (Archives of the Coticule Museum).

Photo 10. — Aiguisage du tranchant d'un ciseau à bois et de lames de rabots sur un coticule (Photo A. Lejeune, fin des années 1970, collection privée).

Photo 10. — Sharpening the edge of a chisel and plane blades with a coticule (Photography A. Lejeune, late 1970, private collection).

Photo 11. — Système de fermeture de la galerie Old Rock creusée à flanc de versant, adaptée aux chiroptères et permettant leur hivernage en toute quiétude. Les réseaux de galeries attirent une foule de curieux et d'aventuriers dépourvus d'autorisations dans un milieu souterrain non sécurisé.

Photo 11. — Locking system of the Old Rock gallery dug into the side slope, adapted for the chiropterans and allowing undisturbed wintering. Networks of galleries attract a crowd of curious and adventurous persons without permission in an insecure underground environment.



Frédéric Boulvain
Jean-Louis Pingot

Genèse du sous-sol de la Wallonie

Classe des Sciences
Académie royale de Belgique

Genèse du sous-sol de la Wallonie

Frédéric Boulvain est diplômé en géologie des universités de Bruxelles et Paris-Orsay, où il s'est spécialisé dans l'étude des récifs dévoniens. Après avoir travaillé au projet de carte géologique de la Wallonie, il a intégré le Service géologique de Belgique où il a poursuivi ses recherches en géologie régionale. Nommé depuis professeur à l'Université de Liège, il y dirige le laboratoire de Pétrologie sédimentaire et y enseigne la sédimentologie et la géologie de la Wallonie. Il est membre de l'Académie royale de Belgique.

Jean-Louis Pingot est Licencié en sciences géologiques et minéralogiques et Docteur en sciences de l'Université catholique de Louvain. Après sa thèse «Paragenèses métamorphiques et géochimie des schistes bleus du Bas-Olympe et de l'Ossa, Thessalie, Grèce», il a travaillé à la modernisation de la carte géologique de Wallonie. Il est co-auteur d'un Sentier géologique à la Citadelle de Namur et de plus de 12 cartes géologiques.

Sur un territoire exigu, la Wallonie concentre une incroyable diversité de formations géologiques. Cette variété, associée à une excellente qualité d'affleurement, à une grande facilité d'accès et à l'existence de nombreux travaux scientifiques s'y rapportant, ont fait et font de notre région un des hauts lieux de la géologie mondiale. Cette histoire géologique est aussi un voyage : les roches les plus anciennes se sont formées alors que notre région se situait dans l'hémisphère sud. Après être passée sous l'équateur au moment où une forêt luxuriante la couvrait au Carbonifère, elle se situe aujourd'hui par 50° de latitude nord et son périple se poursuit avec celui d'autres plaques tectoniques.

Cet ouvrage passe en revue les différentes formations géologiques de la Wallonie depuis un demi-milliard d'années. Elles sont décrites et interprétées en termes de paléoenvironnements et leur utilisation ancienne et actuelle est précisée. Les deux orogénèses qui ont façonné nos paysages sont également abordées.

La Wallonie est en effet un pays de pierres. Son histoire est tissée des nombreuses relations entre son sous-sol et ses habitants. L'exploitation immémoriale de ses ressources souterraines, depuis le silx jusqu'au calcaire, en passant évidemment par le charbon et le minerai de fer a façonné ses gens, ses paysages, ses monuments et son économie. Chaque terroir a ses racines plongées dans son sous-sol. Cette étonnante richesse géologique est aussi un atout qui doit continuer à être valorisé et protégé. Notre sous-sol est notre mémoire et ses roches doivent encore et toujours servir à embellir notre environnement. Un marbre rouge ou un grès du Condroz sont la signature d'une région, d'un village, d'une histoire. C'est une des raisons de ce livre : permettre à chacun de prendre conscience de cette richesse.



ISSN 0365-0936
ISBN 978-2-8031-0288-4
Prix. 35 €



Illustration de couverture: Marbre gris, Frasnien, Vodelée.
Photo de Fr. Boulvain

COMMENT SUSCITER L'INTERÊT POUR LES SCIENCES DE LA TERRE ? L'EXEMPLE DU SITE DE ROMAIN-LA-ROCHE AU MUSEUM CUVIER DE MONTBELIARD (DOUBS)

How to generate interest in Earth sciences? The case of the Romain-la-Roche site in the Cuvier Museum of Montbéliard (Doubs)

par Thierry MALVESY(*)

Résumé. — Le Muséum Cuvier de Montbéliard valorise les sciences de la Terre à l'aide d'outils traditionnels (expositions permanentes et temporaires, conférences et animations) ou d'outils plus particuliers (publications, bandes-dessinées, colloques). Dans le cas de la valorisation du site paléontologique et préhistorique de Romain-la-Roche (Pléistocène moyen supérieur ; -160 000 ans) d'importance européenne, tous ces outils ont été utilisés dans un laps de temps relativement court, permettant d'optimiser la diffusion de l'information et de diversifier les publics.

Abstract. — *The Cuvier Museum of Montbéliard values the Earth sciences using traditional tools (permanent and temporary exhibitions, conferences and events) or more specific tools (publications, comic books, symposia). In the case of recovery of prehistoric and palaeontological of the Romain-la-Roche site (upper middle Pleistocene, 160 000 years BP) of European importance, all these tools were used in a relatively short period of time, in order to optimize dissemination of information and diversify the public.*

Mots-clés : Pléistocène moyen supérieur, musée, Rahan, Bande-dessinée, expositions temporaire et permanente

Keywords : upper middle Pleistocene, museum, Rahan, Comic's, permanent and temporary exhibitions

I. — INTRODUCTION

Le musée du Château de la Ville de Montbéliard (Fig. 1) est un musée public mixte. Il conserve et valorise des collections en Beaux-arts & Art Contemporain, Histoire, Archéologie et Histoire Naturelle. Ces quatre secteurs ont chacun un responsable qui fait office de conservateur. Cette diversité est un atout qui se transforme en handicap en terme de lisibilité pour le public envers chaque secteur du musée pris individuellement. La section Histoire Naturelle – que l'on nomme « Muséum Cuvier » - valorise le patrimoine biologique et géologique ; la paléontologie n'est donc qu'une partie de ce patrimoine au même titre que la zoologie, la botanique, la mycologie, la minéralogie, la pétrologie et l'histoire des sciences. En utilisant l'image d'un personnage célèbre – le naturaliste montbéliardais Georges Cuvier (1769-1832) (Fig. 2) – dans sa politique de valorisation des sciences naturelles en général et de la paléontologie en particulier, le Muséum Cuvier arrive néanmoins à se créer une identification auprès du public et des instances politiques et administratives. Pour autant, la valorisation de la paléontologie utilise les outils plus ou moins habituels que l'on retrouve dans tous les musées : exposition permanente, expositions temporaires, visites guidées et animations ponctuelles, conférences scientifiques, publications et colloques scientifiques.

II. — LES OUTILS DE VALORISATION DU PATRIMOINE

1) Exposition permanente

En avril 2007, la nouvelle galerie d'histoire naturelle « Georges Cuvier » a été inaugurée. Une exposition permanente de 250 m² évoque la vie du grand naturaliste, la faune sauvage de Franche-Comté, mais aussi la théorie de l'évolution et la paléontologie régionale. La muséographie a été particulièrement mise en avant afin d'étonner le visiteur (Fig. 3).

2) Expositions temporaires

Depuis 10 ans, le muséum a présenté six expositions temporaires à vocation naturaliste, dont deux sur le thème de la paléontologie mais avec une ouverture sur un autre domaine. En 2007-2008, le musée accueille, pour la première fois en France, 77 tableaux du peintre tchèque Zdenek Burian (1905-1981) en provenance de Brno ; et en 2010-2011, le musée propose une exposition « Rahan à Romain-la-Roche » en relation avec la sortie de la BD des aventures de Rahan « L'incroyable Romain-la-Roche » en juin 2010 (voir point III ci-dessous).

(*) Muséum Cuvier, Château de la Ville de Montbéliard, BP 95287, 25205 Montbéliard cedex ; e-mail: tmalvesy@montbeliard.com



Fig.1. — Le château de Montbéliard.

Fig.1. — *The Castle of Montbéliard.*



Fig. 2. — Georges Cuvier (Montbéliard 1769 - Paris 1832).

Fig. 2. — *Georges Cuvier (Montbéliard 1769 - Paris 1832).*

3) Visites guidées et animations ponctuelles

Si depuis 2004, une personne est employée à mettre en valeur auprès des publics le patrimoine naturaliste, le conservateur continue ponctuellement, mais régulièrement, à organiser des visites guidées de la galerie Cuvier pour des groupes d'adultes ou d'enfants (soirées de prestige, associations, clubs, étudiants, lycéens mais aussi écoles primaires...). 152 visites guidées ont réuni plus de 4 500 visiteurs qui, pour bon nombre, deviendront de futurs « ambassadeurs » du musée.

4) Conférences scientifiques

Deux axes de diffusion sont privilégiés :

a) 7 thèmes de conférences grand public

Trois conférences en paléontologie, trois en partie en paléontologie et une en géologie sont proposées par le



Fig. 3. — Le dinosaure de Plaimbois-du-Miroir.

Fig. 3. — *The dinosaur of Plaimbois-du-Miroir.*

conservateur du Muséum Cuvier à longueur d'année. Elles sont dispensées aussi bien au niveau des scolaires que des adultes notamment grâce au réseau des « Universités Ouvertes » qui permet de les effectuer dans plusieurs villes de Franche-Comté. Depuis 10 ans, 115 prestations ont été effectuées pour 6 200 auditeurs.

b) des cycles de conférences

Ils se composent de plusieurs intervenants et sont organisés soit au château, soit en collaboration avec l'Université Ouverte du Pays de Montbéliard. Durant la même période, dans le premier cas, 20 conférences gratuites traitant de paléontologie ou d'évolution de la vie ont attiré 700 auditeurs (35 en moyenne par conférence) ; dans le second cas, 6 conférences payantes sur les mêmes thèmes ont été écoutées par 1 200 auditeurs (200 par conférence en moyenne).

5) Publications

Depuis 10 ans, le Muséum Cuvier a publié quatre ouvrages grand public ayant un lien plus ou moins direct avec la paléontologie : L'Herbier de Georges Cuvier (Malvesy & Vadam, 2007), Le Catalogue de la Galerie Cuvier (Malvesy, 2008), Les carnets de voyages de Charles Contejean (Malvesy *et al.*, 2008) et Charles Contejean, soldat de la science (Malvesy, 2010) ; il a participé au financement de trois ouvrages : Les Génies de la Science, spécial Cuvier (Buffetaut, 2000), Georges Cuvier, la révélation des mondes perdus (Cardot, 2009) et une BD des aventures de Rahan L'incroyable Romain-la-Roche (Chéret & Lécureux, 2010).

6) Colloque scientifique

En 1982, Evelyne Salmon créait avec les deux paléontologues Eric Buffetaut et Jean-Michel Mazin, le premier colloque « Georges Cuvier » sur la paléontologie des vertébrés. Il a été décidé de reconduire cet événement tous les 10 ans. En 1992 et 2002 eurent lieu les 2^e et 3^e éditions qui seront suivies du 4^e Symposium Georges Cuvier (Montbéliard, 8 – 12 Octobre 2012).

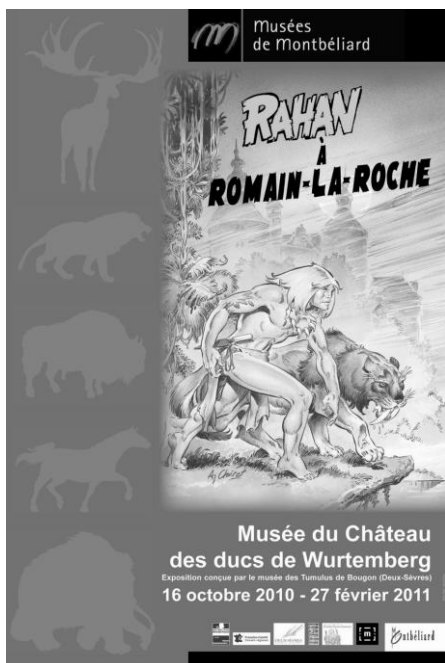


Fig. 4. — Affiche de l'exposition de Montbéliard.

Fig. 4. — Poster of the Montbéliard Exhibition.

III. — RAHAN A ROMAIN-LA-ROCHE

Une exposition de grande envergure a été proposée au Château de Montbéliard du 16 octobre 2010 au 27 février 2011 (Fig. 4), afin de fêter le 30^e anniversaire de la découverte du site paléontologique et préhistorique de Romain-la-Roche (Doubs). La mise en valeur de ce site et de cette collection d'importance européenne se sont faites en plusieurs étapes.

De 1980 à 1990, l'association Archéfaune-Comtoise a procédé à 11 campagnes de fouille d'un aven mis à jour en 1978 lors de l'exploitation d'une carrière. 150 fouilleurs bénévoles se sont succédé pendant ces années et ont extrait près de 25 000 ossements et fragments d'os d'une faune datée du pléistocène moyen final (-160 000 ans).

En 2002, la totalité de cette collection a été déposée dans le centre de conservation du Muséum Cuvier à Montbéliard. Entre temps, les bénévoles de l'association Archéfaune-Comtoise, en collaboration avec divers scientifiques, avaient numéroté, conditionné, informatisé et déterminé 12 000 ossements.

En 2004 : le musée et l'association reprennent le dossier de la monographie scientifique du site.

En 2007, lors de la réouverture de la galerie Cuvier, un espace permanent important est consacré à Romain-la-Roche.

En 2010, l'exposition temporaire « Rahan à Romain-la-Roche » permettait de faire le bilan de 30 années de fouilles et de recherche.

Un accord commercial a été passé avec les éditions Lécureux qui ont repris depuis les années 2000 la publication

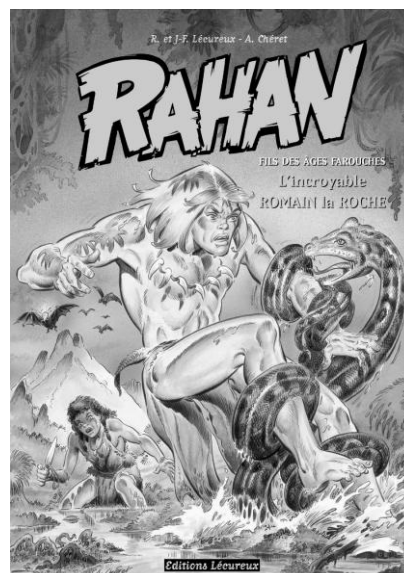


Fig. 5. — Couverture de la BD de Rahan.

Fig. 5. — Coverage of the Rahan comic strip.

des aventures de Rahan, personnage préhistorique créé par André Chéret dans les années 70. Le volume publié en juin 2010 « promène » Rahan dans la Franche-Comté préhistorique et le fait chuter dans le trou béant de Romain-la-Roche. Ce partenariat a permis au Muséum Cuvier d'occuper les 5 dernières pages du volume afin d'évoquer aux lecteurs la véritable aventure de l'aven de Romain-la-Roche et de présenter le Muséum Cuvier et ses collections (Fig. 5). Tout naturellement, une séance de dédicace de la BD fut organisée durant l'exposition en présence des auteurs André Chéret et Jean-François Lécureux. Grâce à une coordination de calendrier, cette événement fut couplé avec le week-end traditionnel du festival de BD d'Audincourt jouxtant Montbéliard, où André Chéret était l'invité d'honneur.

Une exposition itinérante sur Rahan, créée par le musée des Tumulus de Bougon (Deux-Sèvres), a servi de base muséographique à l'exposition de Montbéliard à laquelle furent intégrés des centaines d'ossements représentatifs des 63 espèces animales trouvées dans l'Aven des Mammouths aux grenouilles rousses... La location de maquettes de grande qualité reconstituant ces périodes révolues complétait l'exposition. D'autre part, nous avions pu reconstituer la faune de cette époque grâce à l'intervention du taxidermiste du musée et de la location de sculptures d'animaux disparus (Fig. 6). Enfin, tout un cycle d'animations a été proposé au public : allumage de feu, lancé avec propulseur, taille de silex, sculpture sur pierre et peinture de fresque. Une touche très particulière a été mise sur la signalétique aux abords du musée. Un chemin matérialisé par des pochoir de Rahan et de Mammouth permettait de drainer le public depuis le centre ville jusqu'au Château et des silhouettes métalliques étaient apposées le long des bâtiments de l'acropole menant au château ; enfin, un Rahan de 2,50 m de haut a été présenté entre les deux tours du château, ce qui permet de le voir de très loin (Fig. 7 a-c). En avril 2011, la monographie sur Romain-la-Roche a été publiée par la Revue de Paléobiologie de Genève dans un volume de 472 pages comprenant 17 contributions par 27 chercheurs (Malvesy & Guérin, 2011)



Fig. 6. — Reconstitution de la faune de Romain-la-Roche.
Fig. 6. — *Reconstruction of the fauna of Romain-la-Roche.*

IV. — CONCLUSION

Le Muséum Cuvier met en valeur les collections paléontologiques en employant ni plus ni moins que les outils classiques de diffusion disponibles dans chaque établissement culturel. En ce qui concerne la valorisation du site de Romain-la-Roche tous ces outils ont été mis en synergie, en permettant ainsi de satisfaire les trois missions principales d'un musée :

- « Conserver et gérer au mieux le patrimoine pour les générations futures » : en 2002, la Ville de Montbéliard a accepté de gérer les 25 000 ossements et fragments de la collection ;

- « Mettre le patrimoine à disposition du monde de la recherche » : la monographie scientifique sur Romain-la-Roche a été publiée en 2011 par la Revue de Paléobiologie de Genève ;

- « Valoriser le patrimoine pour le public actuel » : depuis 2007 une exposition permanente est consacrée à l'aven de Romain-la-Roche dans la galerie Cuvier ; une exposition temporaire entièrement dédiée à ce site a été présentée en 2010-2011 et une BD sur les aventures de « Rahan, l'homme des âges farouches » se passant en Franche-Comté et en particulier à Romain-la-Roche est sortie en 2010.



Fig. 7. — a, silhouette de Rahan entre les tours du château de Montbéliard ; b, pochoir au sol ; c, silhouette métallique au mur.

Fig. 7. — a, *silhouette of Rahan between the towers of the Montbéliard castle ; b, stencil on the ground ; c, metallic figure on the wall.*

BIBLIOGRAPHIE

BUFFETAUT E. (2000). — *Georges Cuvier, le découvreur des mondes perdus* » Pour la Science édit., Paris : 98 p.
CARDOT C. (2009). — *Georges Cuvier, la révélation des mondes perdus*. Sékoya édit., Besançon : 424 p.
CHERET A. & LECUREUX J.-F. (2010). — *L'incroyable Romain-la-Roche*, Editions Lécureux, Grigny : 60 p.
MALVESY T. (2008). — *Le catalogue de la galerie Cuvier*. Ville de Montbéliard édit., 100 p.
MALVESY T. (2010). — *Charles Contejean (1824-1907), soldat de la science*. Sékoya édit., Besançon : 468 p.

MALVESY T., AVELANGE N. & VALENCE F. (2008). — *Les Camets de voyages de Charles Contejean* [Réédition]. Ville de Montbéliard édit. : 283 p.
MALVESY T. & GUERIN C. coord. (2011). — L'aven pléistocène moyen final de Romain-la-Roche (Doubs, France). *Revue de Paléobiologie du Muséum d'Histoire Naturelle de Genève*, 29 (2) : 427-898.
MALVESY T. & VADAM J.-C. (2007). — *L'herbier de Georges Cuvier*. Ville de Montbéliard édit. : 160 p.

THE ACTUALLY BEST-PRESERVED SPECIMEN OF LOWER DEVONIAN DALMANITID TRILOBITE OF THE PRAGUE BASIN (CZECH REPUBLIC) WITH ARTICULATED HYPOSTOME

Le spécimen le mieux préservé actuellement, avec son hypostome articulé, de trilobite Dalmanitide du Dévonien inférieur du Bassin de Prague (République Tchèque)

by Petr BUDIL (*), Catherine CRÔNIER (**), Oldřich FATKA (***) and Jessie CUVELIER (**)

(Planche IX)

Abstract. — A rare, complete specimen of *Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa* (Hawle & Corda, 1847) with *in situ* articulated hypostome is described from the locality Tetín Hill near Beroun (Bohemia). This unique sample is stored in the Musée d'Histoire Naturelle de Lille (France). Dalmanitid trilobites with articulated hypostome represent very rare findings worldwide, although these trilobites show the conterminant type of the hypostome. Although these trilobites are a common component of Devonian communities inhabiting Prague Basin, only eight specimens with hypostome attached to the doublure and/or hypostome preserved very close to the doublure have been described; they all belong to the common species *Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa* and *Odontochile cristata* Hawle & Corda, 1847, respectively. The newly described specimen represents most probably a carcass. It is the best preserved specimen of this species with hypostome *in situ* and provides the opportunity to reconstruct the 3D orientation of the hypostome and its relation to the cephalon for the first time. The possible causes of the apparent paucity of specimens with hypostome *in situ* in Devonian dalmanitid trilobites are discussed.

Résumé. — *Un rare spécimen complet de Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa (Hawle & Corda, 1847) avec son hypostome articulé provenant de la localité de Tetín Hill près de Beroun (Bohême) est décrit. Cet exemplaire unique est conservé au Musée d'Histoire Naturelle de Lille (France). Les trilobites dalmanitides avec un hypostome articulé représentent de rares découvertes à l'échelle mondiale, malgré la présence d'un hypostome de type conterminant. Bien que constituant une composante commune des communautés dévoniennes du Bassin de Prague, seuls huit spécimens avec un hypostome attaché à la doublure et/ou un hypostome préservé à proximité de la doublure ont été décrits ; ils appartiennent tous à l'espèce commune Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa. Le nouveau spécimen représente très probablement une carcasse. C'est le spécimen le mieux préservé de cette espèce avec son hypostome in situ. Il fournit ainsi pour la première fois l'opportunité de reconstruire l'orientation 3-D de l'hypostome et sa relation avec le céphalon. Les causes possibles de cette rareté apparente de trilobites dalmanitides dévoniens ayant conservé un hypostome in situ sont également discutées.*

Keywords : Trilobita • Phacopida • Lower Devonian • Prague Basin • Barrandian area

Mots clés : Trilobita • Phacopida • Dévonien inférieur • Bassin de Prague • Aire Barrandienne

I. — INTRODUCTION

Devonian dalmanitid trilobites with articulated hypostome represent exceptional findings worldwide. This is surprising, because these trilobites possess the conterminant type (Fortey & Owens 1999a) of hypostome, attached by the hypostomal suture to the doublure. In many trilobites showing this attachment type, the hypostome is even ankylosed with the

doublure (see Fortey & Owens 1999a, b). Obviously, the large dimensions of these trilobites - some specimens exceeding 40 cm in length (see Šnajdr 1987; Budil *et al.* 2009a) - very probably caused certain taphonomic constraint and resulted in the predisposition to a relatively rapid decomposition of their exoskeletons. This explanation is indirectly supported by the rarity of articulated exoskeletons, as well as by the extremely rare finds of enrolled specimens (see Budil *et al.* 2008). Even

(*) Czech Geological Survey, Klárov 3, Praha 1, 118 21, Czech Republic, e-mail: petr.budil@geology.cz ; Faculty of Environmental Science, Czech University of Life Sciences, Kamýcká 129, Prague 6 – Suchbátka, 165 21, Czech Republic

(**) Université Lille 1, UFR Sciences Terre, UMR 8217 Géosystèmes, 59655 Villeneuve d'Ascq, France, e-mail: catherine.cronier@univ-lille1.fr, jessie.couvelier@univ-lille1.fr,

(***) Department of Geology and Palaeontology, Faculty of Science, Charles University, Albertov 6, Praha 2, CZ -128 43, Czech Republic; fatka@natur.cuni.cz

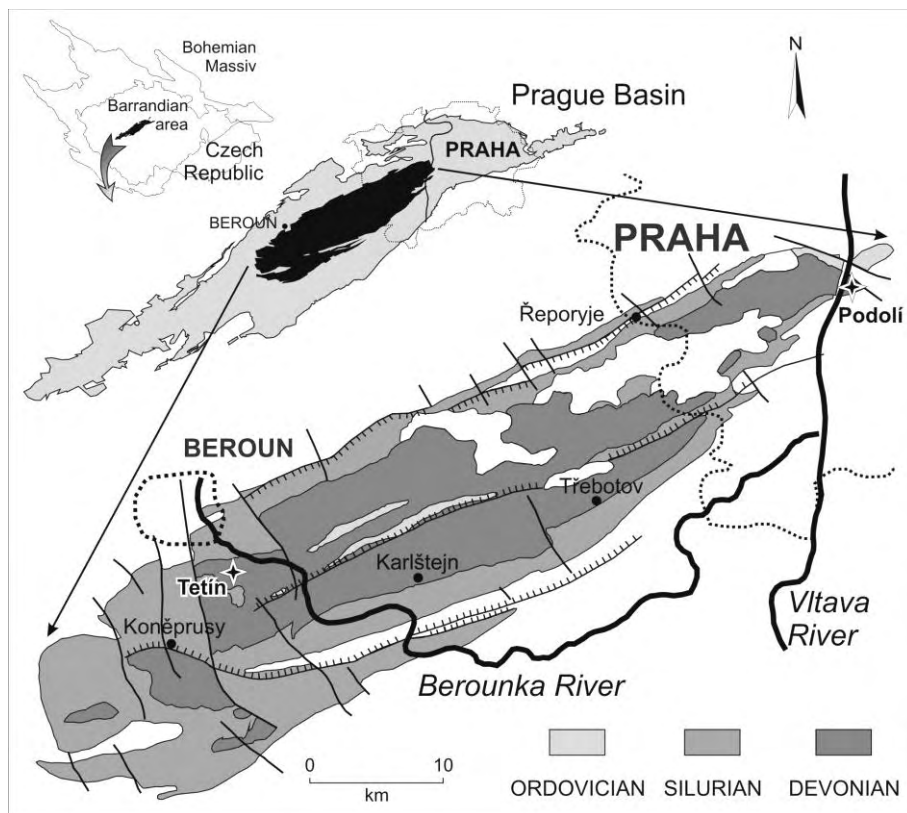


Fig. 1. — Distribution of Ordovician, Silurian and Devonian rocks in the Prague Basin (including the position of selected important localities discussed in the text). Modified after Chlupáč (1993) and Budil *et al.* (2009a).

Fig. 1. — Répartition de l'Ordovicien, du Silurien et du Dévonien dans le Bassin de Prague, y compris la localisation de sites sélectionnés importants qui sont discutés dans le texte. Modifié d'après Chlupáč (1993) et Budil *et al.* (2009a).

though the dalmanitids are a common component of Devonian trilobite communities in the Prague Basin (see Fig. 1), only eight specimens with hypostome attached to the doublure and/or lying very close to the ventral surface of the cephalon in more or less “living position” have been described. Three of them - two cephalons with parts of articulated thoraxes and one entire but very poorly preserved specimen supplemented by the cement often used in late 19th century in Bohemia called the “Fritsch matter” - are stored in collections of the National Museum, Prague; next one poorly preserved cephalon with attached hypostome is stored at the Museum of Comparative Zoology, Harvard University, U.S.A. All these specimens belong to the generally common species *Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa* (Hawle & Corda, 1847) of Lower Devonian Pragian age (Budil *et al.* 2008, 2009a).

In four other specimens of this species, disarticulated hypostomes occur close to the isolated cephalon. Such cephalon with hypostome preserved nearby, but clearly disarticulated is known also in *Odontochile cristata* Hawle & Corda, 1847 of Pragian age (see Budil 2005; see also Fig. 3 herein). Barrande (1852, Pl. 1, figs. 1-6; Pl. 2A, figs. 13-14; see also Fig. 2 herein) figured, however, exact and correct reconstruction of the cephalic ventral side with attached hypostome of *Dalmania hausmanni* Brongniart, 1822 (= *Odontochile hausmanni*). However, it is not proven if Barrande (1852) had at disposal another, nowadays unknown

specimen of *Odontochile hausmanni* (perhaps from some private collection, such as the count of Sacher-Masoch, see “Observation” mentioned in explanation remarks to the plates of Barrande, 1852) and/or if his reconstruction is based solely on his interpretation. Only one specimen at disposal, NML 17012 (AD Barrande, 1852; Pl. 2A, fig. 13) is an incomplete dorsal exoskeleton with ventral side covered by the rock (see also Horný & Bastl 1970; Budil *et al.* 2009a; Figs. 4F and 4e herein). Following the Barrande’s handwriting preserved on the rock sample (Tetin) and because of the remains of red ink below the locality name (used by Barrande to mark the figured specimens), it is not excluded that Barrande (1852) used the specimen NM L30261, *Zlichovaspis (Z.) cf. rugosa* for the reconstructions published on the Pl. 1, fig. 4 and Pl. 2A, fig. 14 (determined by Barrande as *Odontochile hausmanni*), respectively. The preservation of the specimen NM L30261 is so poor (Pl. IX, G-J herein) that this mismatch is quite understandable.

The newly discussed complete specimen has a great importance, being the only one entire, well-preserved specimen of the Lower Devonian representative with hypostome preserved *in situ* known from the Prague Basin. The unique sample is currently stored in the Musée d'Histoire Naturelle de Lille, France (MGL). This specimen MGL92636-1 (Pl. IX, L-P) belongs to *Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa* (Hawle & Corda, 1847) - for the reconstruction of this species, see Fig 3. *Zlichovaspis (Z.)*

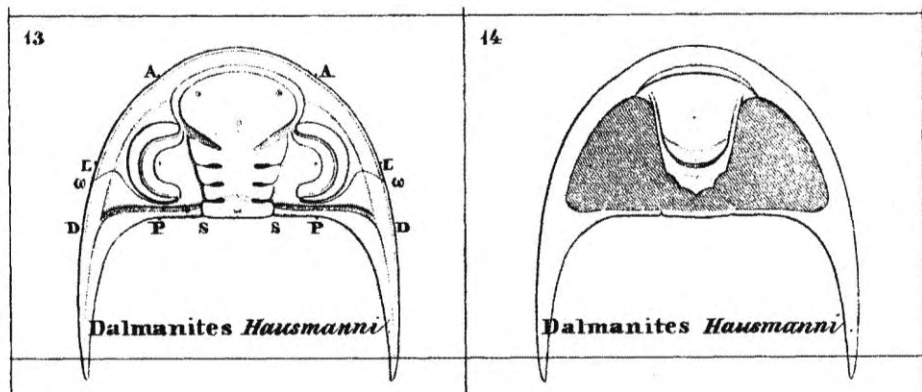
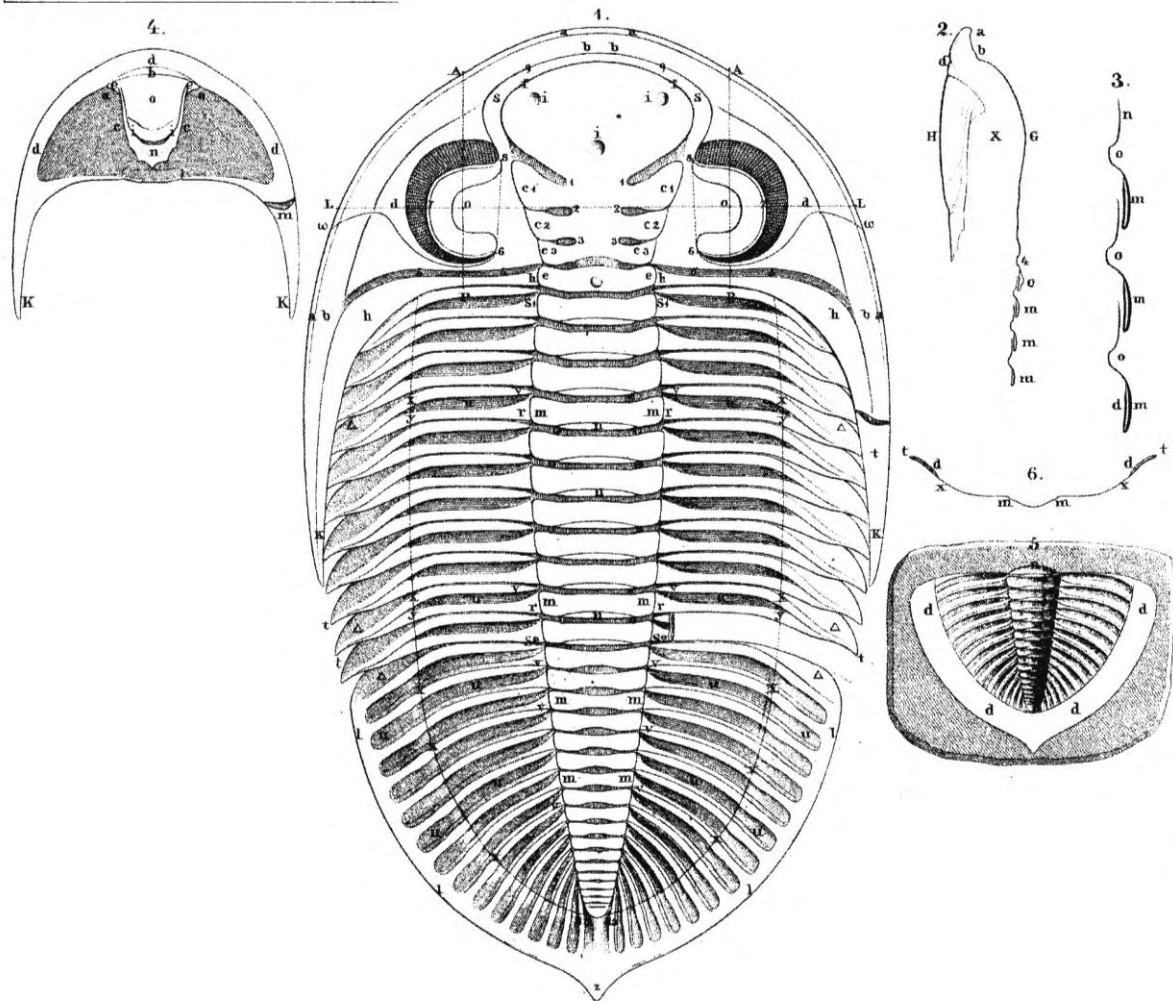


Fig. 2. — Reconstruction of the hypostome attachment in *Odontochile hausmanni* (Brongniart, 1822); compiled from Barrandé (1852, Pl. 1, figs. 1-4; Pl. 2A, figs. 13-14).

Fig. 2. — Reconstitution de l'insertion de l'hypostome d'*Odontochile hausmanni* (Brongniart, 1822); compilé d'après Barrandé (1852, Pl. 1, figs. 1-4; Pl. 2A, figs. 13-14).

rugosa rugosa is the most common dalmanitid species in the upper half of the thickness of the Praha Formation, especially in the micritic facies, e.g. in the Dvorce-Prokop Limestone (= lowermost Emsian, see Hladil *et al.* 2011). The specimen

from Lille (Pl. IX, L-O) comes from the locality Tetín Hill near Beroun (Bohemia; Fig. 1) - wrongly transliterated as "Fetín" at the included label (Pl. IX, P). The sample was collected apparently in the second half of the 19th century, in

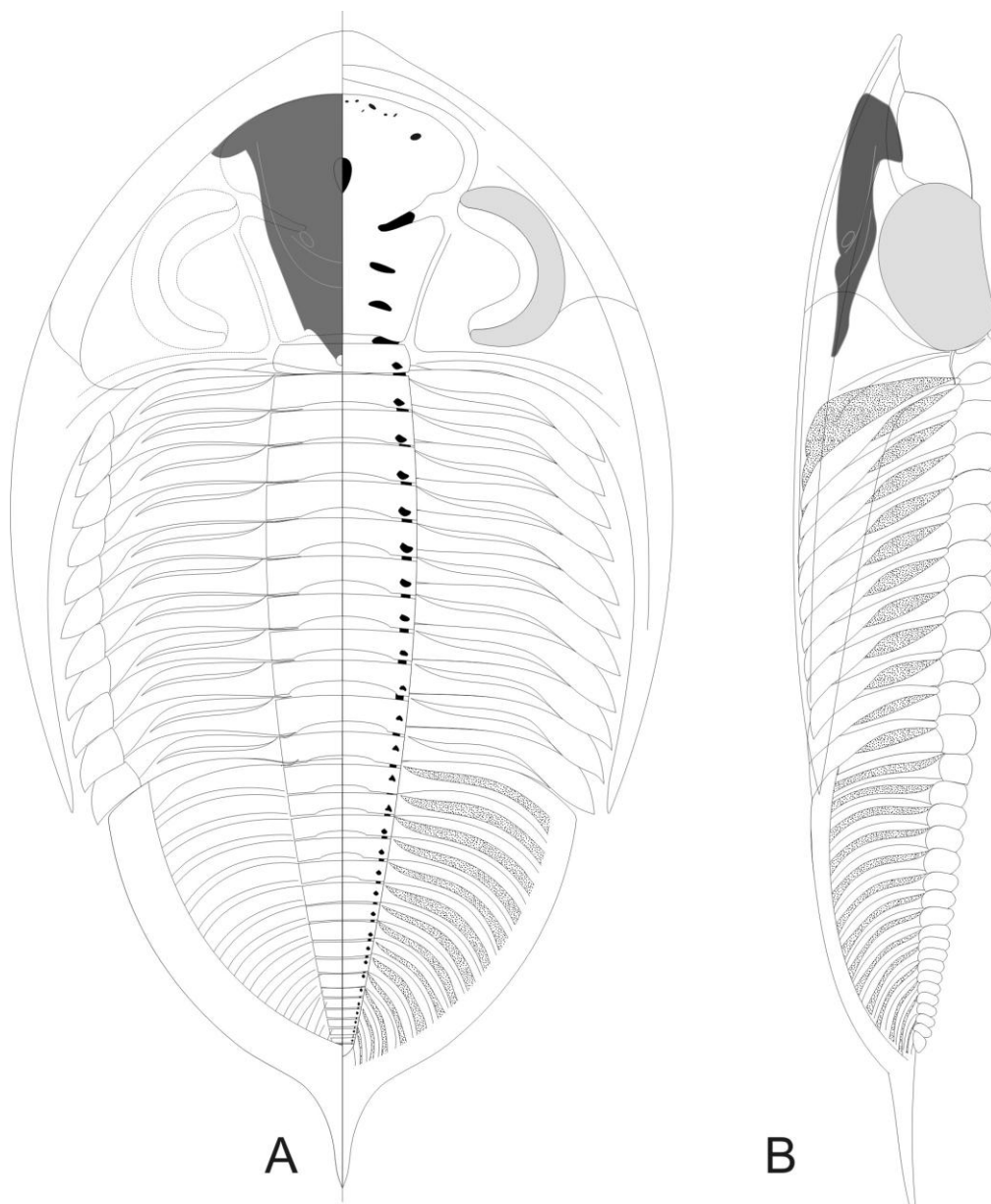


Fig. 3. — Reconstruction of *Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa* (Hawle & Corda, 1847) with the hypostome *in situ*. Modified after Budil *et al.* (2009a). A: dorsal view, B: lateral view.

Fig. 3. — Reconstitution de *Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa* (Hawle & Corda, 1847) avec son hypostome *en place*. Modifié d'après Budil *et al.* (2009a). A: vue dorsale, B: vue latérale.

the time of the most intensive mining activities and thus the acme of fossil findings at the locality. Very probably, the specimen was unknown to local palaeontologists and was sold directly to some private collection and/or directly to the museum (Lille?). One can speculate that the specimen could have been collected after the death of Joachim Barrande (1883) and Otomar Pravoslav Novák (1894), when the quarryman lost the most important customers. For the short time, the quarryman tried to sell their findings directly abroad, before the onset of important decline of collecting activities in Bohemian Devonian (Budil *et al.* 2009b). It could not be excluded, that the part of palaeontological samples of the Barrandian provenience, stored at the Musée d'Histoire

Naturelle de Lille, were originally a part of the collection of Ch. Barrois, gathered between 1900 and 1905. During the cataloguing in the French collection, probably thanks to the missing contacts with the native speaker, the wrong transliteration of the generally well-known locality Tetín (into the “Fetín”, see Pl. IX, P) had happened.

II. — DESCRIPTION OF THE SPECIMEN

The specimen corresponds well with the diagnosis of *Z. (Zlichovaspis) rugosa rugosa* (see Budil *et al.* 2009a),

showing a moderately subtriangular cephalon of length/width ratio approximately 0.55; an anterior cephalic border with a prominent concave (sag.) precranial median process; thoracic and pygidial pleural furrows deep, flat-bottomed; a pygidium rounded subtriangular in outline, of length/width ratio approximately 0.7 (estimated in the studied sample); an axis with 16-18 rings plus subtriangular terminal piece; a postaxial ridge vaulted, crossing border furrow; 13 to 14 (?15) pleural furrows; anterior pleural bands strongly vaulted, inflated distally above the inner margin of doublure; posterior pleural bands vaulted; the whole exoskeleton excluding the apodemal pits covered by dense granules, coarsest on axial rings (especially in their posterolateral parts) and postaxial region; pleural furrows very densely granulated.

The internal mould with relics of the exoskeleton is preserved in gray biomicritic limestone corresponding to the Dvorce-Prokop Limestone Facies (Lower Devonian, Pragian). However the specimen is damaged, the genal spines, eyes similarly as the posterior part of the pygidium are broken off, in addition, both cephalon and pygidium have been slightly disarticulated from the thorax during the decomposition of the specimen. The anterior cephalic part of the specimen is broken; it has been glued by a glue of poor quality; thanks to this fact, the specimen fall apart into two pieces during the manipulation. This broken-off part shows the hypostome *in situ*, mostly covered, however, by the rock. The rock sample is penetrated by a series of numerous subparallel fractures. Any mechanical preparation would lead to its disintegration and thus we decided not to risk this irretrievable step. The hypostome is oriented sub-parallel with the dorsal exoskeleton. It is obvious that the hypostome is still

positioned very close to the doublure and its orientation is original. The surface of the hypostome body is densely pitted.

III. — CONCLUSIONS

Because of the *in situ* hypostome preserved under the entire specimen, which is extremely rare exoskeleton configuration in Lower Devonian dalmanitids of the Bohemian facies development (= "odontochilids"), the sample MGL92636-1 plays an important role.

The only slightly *post-mortem* disarticulated exoskeleton most probably represents a carcass. Together with specimens MCZ 172840, NML 30261 and NM 22578, the sample provides a direct evidence of the type of hypostome articulation (Fig. 2); which was supposed already by Barrande (1852, 1872), Šnajdr (1987) and Budil *et al.* (2008, 2009a) in these trilobites.

Acknowledgement. — The study was supported by grant from the Contact Mobility – Barrande Program (Project N° MEB 021122 – PHC Barrande 24465SH) and by the Grant Agency of the Czech Republic (Project N° P210/12/2018), respectively. We would like to express many thanks to staff of the Palaeontological Department of the National Museum, Prague, namely V. Turek and M. Valent, for very enthusiastic help in searching the possible additional Barrande's figured specimens and comparative material, far beyond the curatorial responsibilities; and T. Oudoire, the curator of the Musée d'Histoire Naturelle de Lille (France).

Abbreviations: NML, National museum, Prague, Czech Republic; MGL, Musée d'Histoire Naturelle de Lille, France; MCZ, Museum of Comparative Zoology at Harvard University Boston, U.S.A.

BIBLIOGRAPHY

- BARRANDE, J. (1852). — Système silurien du centre de la Bohême. Volume I. Privately published, Prague & Paris: 935 p.
- BARRANDE, J. (1872). — Système silurien du centre de la Bohême. Supplément au vol. 1. Trilobites, crustacés divers et poissons. Prague & Paris. 647 p.
- BRONGNIART, A. (1822). — Histoire Naturelle des Crustacés Fossiles. Les Trilobites. Paris. 65 p.
- BUDIL, P. (2005). — Způsob artikulace hypostomů a způsob života odontochilinidních trilobitů ze spodního devonu pražské pánve (Česká republika) [Hypostome articulation and mode of life of the odontochilinid trilobites from the Lower Devonian of the Prague Basin (Czech Republic)]. 6th Czech-Slovak Palaeontological Meeting, Olomouc.
- BUDIL, P., HÖRBINGER, F., MENCL, R. (2009a). — Lower Devonian dalmanitid trilobites of the Prague Basin (Czech Republic). *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences and Environmental Science* 99: 61-100 (for 2008).
- BUDIL, P., MAREK, J., ŠARIČ, R. (2009b). — Trilobiti - raci z kamene (Pocta českým skalníkům). [Trilobites – stony crawfish: A tribute to Czech quarry men of the past centuries]. Czech Geological Survey: 78 p.
- BUDIL, P., THOMAS, A., HÖRBINGER, F. (2008). — The exoskeletal architecture, hypostomal morphology and mode of life of Silurian and Lower Devonian dalmanitid trilobites. *Bulletin of Geosciences*, 83(1): 1-10.
- CHLUPÁČ, I. (1993). — Geology of the Barrandian. A field trip guide. Senckenberg-Buch 69. Frankfurt am Main. Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft and Czech Geological Survey: 163 p.
- ELDREDGE, N. (1971). — Patterns of cephalic musculature in the Phacopina (Trilobita) and their phylogenetic significance. *Journal of Paleontology* 45(1): 52-67.
- FORTEY, R.A., OWENS, R.M. (1999a). — Feeding habits in trilobites. *Palaeontology*, 42(3): 429-465.
- FORTEY, R.A., OWENS, R.M. (1999b). — The trilobite exoskeleton. In SAVAZZI, E., (Ed.), *Functional morphology of the invertebrate skeleton*. John Wiley & Sons Ltd., London: 538-562.
- HAWLE, I., CORDA, A.J.C. (1847). — Prodrum einer Monographie der böhmischen Trilobiten. Calve, Prague: 176 p.
- HLADIL, J., SLAVÍK, L., VONDRA, M., KOPTÍKOVÁ, L., ČEJCHAN, P., SCHNABL, P., ADAMOVIČ, J., VACEK, F., VICH, R., LISÁ, L., LISÝ, P. (2011). — Pragian-Emsian successions in Uzbekistan and Bohemia: magnetic susceptibility logs and their dynamic time warping alignment. *Stratigraphy*, 8(4): 217-235.
- HORNÝ, R., BASTL, F. (1970). — Type specimens of fossils in the National Museum Prague, I. Trilobita. Museum of Natural History, Praha: 356 p.
- ŠNAJDR, M. (1987). — Bohemian Lower Devonian Odontochilinae (Trilobita). *Sborník geologických věd, Paleontologie*, 28: 9-60.

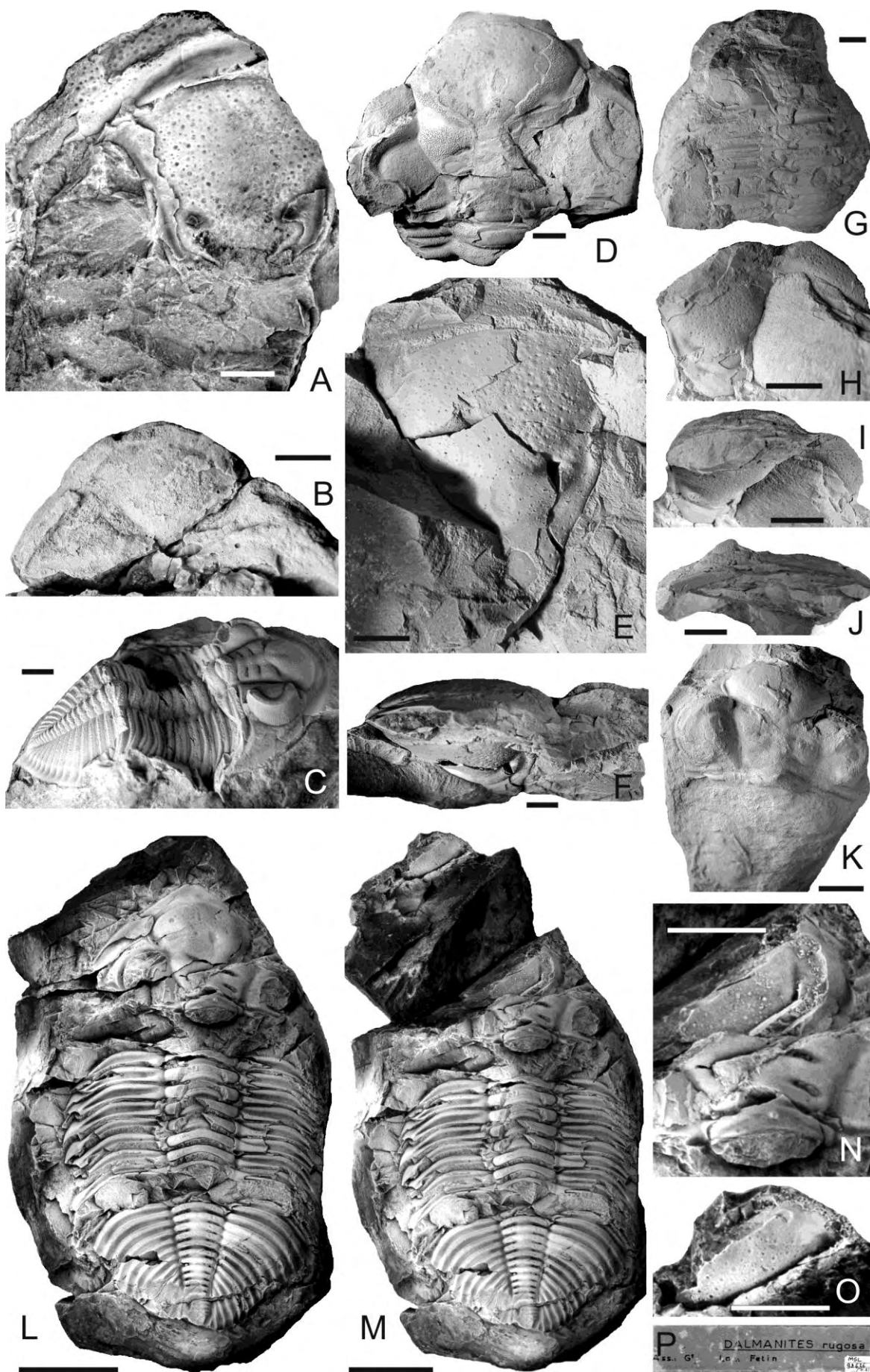
EXPLANATIONS OF PLATE IX

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE IX

All scale bar represent 5 mm.

Toutes les barres d'échelle représentent 5 mm.

- A-B, D-F, L-P** – *Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa* (Hawle & Corda, 1847). Lower Devonian, Pragian Stage, Praha Formation, Dvorce-Prokop Limestone, Damil Hill near Tetín.
- A** – incomplete, compressed cephalic doublure with hypostome *in situ*, MCZ 172840, ventral view, figured by Budil *et al.* (2008, fig. 4K);
- B** – corroded doublure with hypostome *in situ* of the entire, poorly preserved specimen cemented by the “Fritsch matter”, NM 30323, ventral view;
- D-F** – incomplete cephalon with part of articulated thorax and the disarticulated hypostome in the near *in situ* position, NM 22578. Figured by Šnajdr (1987, Pl. 12, fig. 1) and Budil (2005, fig 4J). **D** – dorsal view, **E** – ventral view, **F** – anterolateral view;
- L-P** – damaged entire specimen with hypostome preserved *in situ*, MGL92636-1. **L** – dorsal view, **M** – dorsal view of specimen with displaced anterior part of the cephalon, showing part of the hypostome *in situ*, **N** – detail of the hypostome fragment (counterpart) at the broken anterior part of the cephalon, ventral view, **O** – detail of the hypostome fragment (positive), dorsal view, **P** – label of the specimen with the erroneously written locality as “Fetín”.
- G-J** – *Zlichovaspis (Zlichovaspis) cf. rugosa* (Hawle & Corda, 1847). Lower Devonian, Pragian Stage, Praha Formation, Dvorce-Prokop Limestone, Tetín. Incomplete cephalon with part of thorax and hypostome attached *in situ*. **G** – dorsal view, **H** – ventral view, **I** – anterolateral view, **J** – part of doublure with hypostome attached *in situ*, lateral view. NML 30261, figured by Budil *et al.* (2008, fig. 4J) - possibly the specimen AD of Barrande (1852, Pl. 1, fig. 4 and Pl. 2A, fig. 14). **C** – *Odontochile hausmanni* (Brongniart, 1822), specimen NML 17012, AD specimen of Barrande (1852, Pl. 2, fig. 13), figured also by Budil *et al.* (2009a, fig. 4F). **K** – *Odontochile cf. cristata* Hawle & Corda, 1847. Cephalon with the closely lying hypostome. Lower Devonian, Pragian Stage, Praha Formation, Dvorce-Prokop Limestone, lower to middle part, Praha-Podolí, NML15027, figured by Budil (2005, Pl. 1, fig. 7).
- A-B, D-F, L-P** – *Zlichovaspis (Zlichovaspis) rugosa rugosa* (Hawle & Corda, 1847). Dévonien inférieur, Praguien, Formation de Prague, Calcaire de Dvorce-Prokop, colline de Damil près de Tetín.
- A** - doublure céphalique comprimée incomplète avec son hypostome en place, MCZ 172840, vue ventrale figurée par Budil *et al.* (2008, fig. 4K);
- B** – doublure céphalique corrodée avec l'hypostome en place d'un spécimen mal conservé cimenté, NM 30323, vue ventrale;
- D-F** – céphalon incomplet avec une partie du thorax articulé et l'hypostome désarticulé presque en place, NM 22578. Figuré par Šnajdr (1987, Pl. 12, fig. 1) et Budil (2005, fig 4J). **D** – vue dorsale, **E** - vue ventrale, **F** - vue antérolatérale;
- L-P** – spécimen complet abîmé avec son hypostome en place, MGL92636-1. **L** – vue dorsale, **M** - vue dorsale du spécimen avec la partie antérieure du céphalon déplacée, montrant une partie de l'hypostome en place, **N** - détail d'un fragment de l'hypostome (contre-partie) à la partie antérieure cassée du céphalon, vue ventrale, **O** - détail d'un fragment de l'hypostome en positif, en vue dorsale, **P** - étiquette du spécimen avec l'indication erronée de la localité “Fetín”.
- G-J** – *Zlichovaspis (Zlichovaspis) cf. rugosa* (Hawle & Corda, 1847). Dévonien inférieur, Praguien, Formation de Prague, Calcaire de Dvorce-Prokop, Tetín. Céphalon incomplet avec une partie du thorax et de l'hypostome en place. **G** - vue dorsale, **H** - vue ventrale, **I** - vue antérolatérale, **J** - partie de la doublure céphalique avec l'hypostome en place, en vue latérale. NML 30261, figuré par Budil *et al.* (2008, fig. 4J) - peut-être le spécimen AD de Barrande (1852, Pl. 1, fig. 4 et Pl. 2A, fig. 14). **C** – *Odontochile hausmanni* (Brongniart, 1822), spécimen NML 17012, spécimen AD de Barrande (1852, Pl. 2, fig. 13), refiguré par Budil *et al.* (2009a, fig. 4F). **K** – *Odontochile cf. cristata* Hawle & Corda, 1847. Céphalon avec l'hypostome situé tout à côté. Dévonien inférieur, Praguien, Formation de Prague, Calcaire de Dvorce-Prokop, partie inférieure à moyenne, Praha-Podolí, NML15027, figuré par Budil (2005, Pl. 1, fig. 7).



Patrick De Wever



Carnet de curiosités d'un géologue



Format : 19 x 24 cm • 384 pages • prix public 23 euros

Retrouvez des extraits de nos livres sur www.editions-ellipses.fr

CONTRIBUTION A LA COMPREHENSION DE L'EVOLUTION SEDIMENTAIRE ET TECTONO-VOLCANIQUE DE LA SERIE TRIASICO-LIASIQUE DE L'OUED N'FIFIKH (MESETA COTIERE, MAROC)

Contribution to the understanding of the sedimentary and tectono-volcanic evolution of Triassic and Liassic series of Oued N'Fifikh (Coast Meseta, Morocco)

par Khadija FARKI (*), Ghalem ZAHOUR (*), Youssef ZERHOUNI (*) & Hamid Wafa (*)

Résumé. — La série géologique de l'Oued N'Fifikh (région de Mohammedia, Maroc) est constituée d'un socle cambro-ordovicien grés-micacé et d'une couverture méso-cénozoïque. Cette dernière débute par des terrains triasiques constitués successivement, de la base vers le sommet, par un ensemble silto-grés-conglomératique (20m), des argillites inférieures (40m), et des coulées basaltiques (50m). Sur cette formation, se déposent des argillites supérieures évaporitiques (60m) d'âge liasique. Cette série est coiffée par des calcaires du Néogène.

L'étude tectono-volcanologique associée à une étude sédimentologique permet de proposer un modèle d'ouverture de ce bassin sous forme d'un héli-graben. Ce dernier, axé sur l'Oued N'Fifikh, s'intègre dans une dynamique distensive liée au rifting atlantique. La sédimentation et le volcanisme ont été guidés par des failles actives volcano-tectoniques héritées du socle hercynien. Celles-ci ont été réactivées lors de la distension triasico-liasique avant de rejouer pendant la compression atlasique.

Abstract. — *Geological serie of the Oued N'Fifikh (Mohammedia region) consists of psammitic Cambro-ordovician basement and Meso-Cenozoic cover. The latest one begins with Triassic geological formations formed successively, from the bottom to the summit, by alternating siltstone, sandstone and conglomerates (20m), limstones and argillites (40m), and basalts (50m). On this training, are deposited the upper evaporate argillites (60m) of Liassic age are headed by Neogene limestones. The tectono-volcanic activities associated with sedimentological studies provide a model of openness of this outcrop in the form of a half-graben. The Oued N'Fifikh basin, integrates into a dynamic related to distensive rifting Atlantic. Sedimentation and volcanism have been led by active faults inherited from the Hercynian basement. These faults were be replayed at the Triassic-Liassic rifting before resuming during compression Atlas.*

Mots-clés : Oued N'Fifikh, Trias, Lias, distension, héli-graben.

Keywords : *Oued N'Fifikh, Trias, Lias, distension, half-graben.*

I. — INTRODUCTION

L'Oued N'Fifikh parcourt la région de Mohammedia pour se déverser dans l'océan atlantique, tout en créant une profonde vallée où affleurent des formations triasico-liasiques. L'accès à ce secteur se fait soit par la route reliant Mohammedia et Ben Slimane, soit à partir de celle reliant Aïn Harrouda et Rabat (Fig. 1). Sur le plan de la géologie, la vallée de l'Oued N'Fifikh fait partie du bassin de Berrechid-El Gara-Ben Slimane (Fig. 2) qui occupe la partie NW de la Meseta nord-occidentale, et il est étroitement lié à la marge continentale ouest marocaine. Cette liaison se traduit par sa proximité et son parallélisme à l'Atlantique, et par la réactivité d'anciennes failles subméridiennes (Laville et Piqué, 1991), créant ainsi une structure d'héli-grabens d'orientation NNE-

SSW, et situés entre le bloc côtier mesetien à l'Ouest et le Massif Central marocain à l'Est.

Les principaux événements enregistrés par la série volcano-sédimentaire dans le bassin triasique de Berrechid-El Gara-Ben Slimane reflètent le comportement du socle hercynien et de la couverture au cours du Trias supérieur-Lias inférieur. L'ouverture et le remplissage de ce système de rift orienté NNE-SSW, et encaissé dans les reliefs paléozoïques de la Meseta nord-occidentale, étaient contrôlés par des failles normales synsédimentaires et des failles bordières majeures qui sont manifestées à partir de la réaction d'accidents subméridiens hérités (Lyazidi, 2004). La série de l'Oued N'Fifikh (Fig. 3) est constituée à sa base de roches silto-grés-conglomératiques surmontées par des basaltes, tous d'âge triasique (Hamid, 2003 ; Zahour *et al.*, 2004; Farki, 2009;

(*) Laboratoire de Géochimie, Géologie appliqué et Environnement, Faculté des Sciences Ben M'Sik, B.P. 7955, Sidi Othmane, Casablanca. E-mails: Farkikhadija@yahoo.fr / gh_zahour@yahoo.fr / zerhouni.y@gmail.com / h.wafa@yahoo.fr .

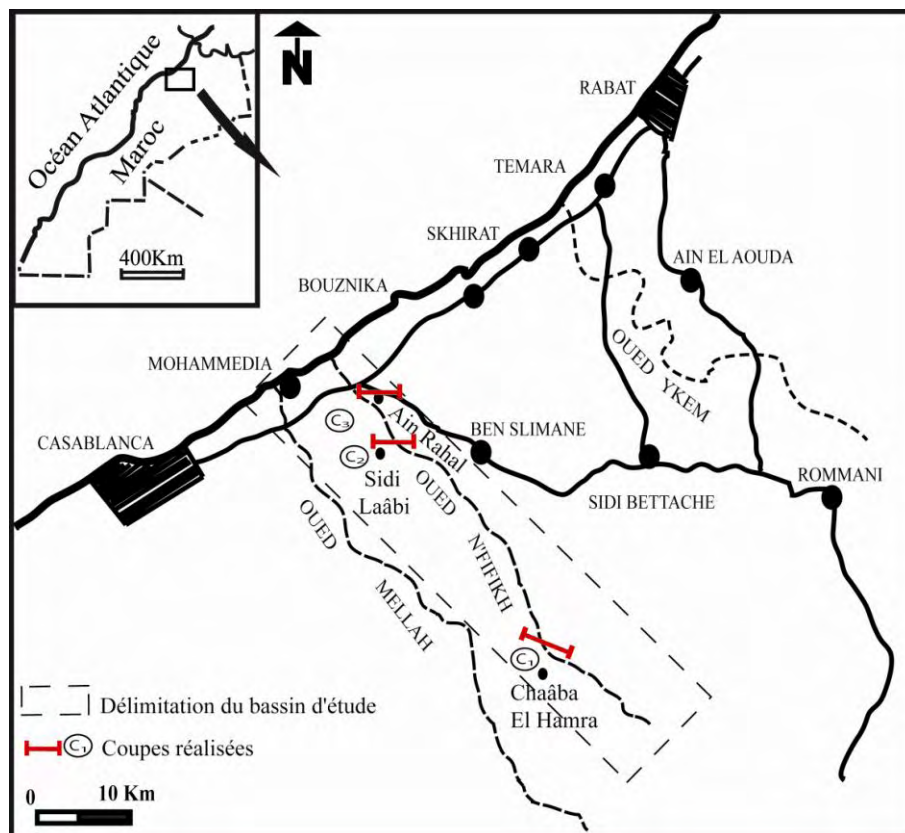


Fig. 1. — Carte de localisation de l'Oued N'Fifikh.

Fig. 1. — Location map of Oued N'Fifikh.

Zahour *et al.*, 2010). Les basaltes sont surmontés par des siltites et argilites supérieures évaporitiques. Les siltites et argilites post-basaltiques de l'Oued N'Fifikh avaient été considérées longtemps comme des dépôts attribués au Perm-Trias (Michard, 1976; Piqué, 1979) ou au Trias (Hamid, 2003; Hamid *et al.*, 2003; Zahour *et al.*, 2004). Toutefois, il convient de noter qu'à l'échelle de la Meseta, les datations radiométriques des laves basaltiques mésozoïques ont donné des âges qui correspondraient au Trias supérieur (180-200 Ma) (Westphal *et al.*, 1979) (in Medina, 1996). L'étude palynologique, fondée sur les kystes des dinoflagellés, sur les argilites suprabasaltiques de l'Oued Mellah (région de Mohammedia), a donné un âge liasique (Rouh *et al.*, 2007). Ces argilites liasiques riches en gypse, anhydrite et sel gemme, auraient été déposées dans un milieu aquatique évaporitique qui correspondrait probablement à une sebkha (Hamid, 2003; Hamid *et al.*, 2003). Notons aussi que ces dépôts sont exploités pour l'extraction de la terre cuite comme en témoigne la présence de nombreuses carrières d'argiles (Zahour *et al.*, 2010). La série triasique est coiffée par des calcaires néogènes.

Par ailleurs, d'autres travaux ont porté sur l'étude des formations triasico-liasiques de la Meseta côtière (Lecointre, 1935; Girard, 1987; Piqué, 1979). Néanmoins, beaucoup de lacunes de terrain subsistent. Cette étude se propose de combler certaines de ces lacunes en se fondant essentiellement sur l'étude lithologique, sur la caractérisation pétrographique des faciès, sur l'analyse sédimentologique et

sur l'étude tectono-volcanologique, en particulier la localisation des centres d'émissions des laves et l'impact de la tectonique sur la répartition spatiotemporelle de la sédimentation et du volcanisme.

Pour bien comprendre la dynamique sédimentaire du remplissage détritique du bassin de l'Oued N'Fifikh, et pour cerner les facteurs ayant contrôlé la mise en place d'un tel dépôt, il a été nécessaire de faire une étude sédimentologique des faciès détritiques en procédant à l'identification et à la description détaillée des lithofaciès détritiques avec la caractérisation des corps sédimentaires. Pour la détermination granulométrique, on a utilisé la terminologie de Wentworth (in Pettijohn *et al.*, 1973). Il a été de même question d'une reconnaissance et d'une analyse des associations de faciès et de leur corrélation avec les associations de Miall (1978). On note que la terminologie de Miall était créée pour les faciès continentaux caractérisés par une sédimentation liée aux courants de traction (Eyles *et al.*, 1983) et aux mouvements de masse. Mais ces faciès peuvent se retrouver dans d'autres environnements sédimentaires (El Harfi, 2001). L'analyse stratigraphique et séquentielle de ces dépôts et leur interprétation en termes de dynamique sédimentaire et géométrie du remplissage du bassin étudié vont permettre de déduire le milieu de dépôt.

L'analyse tectonique effectuée le long de l'Oued N'Fifikh, à la fois sur les terrains cambro-ordoviciens et sur les affleurements triasiques et liasiques, permet, d'une part,

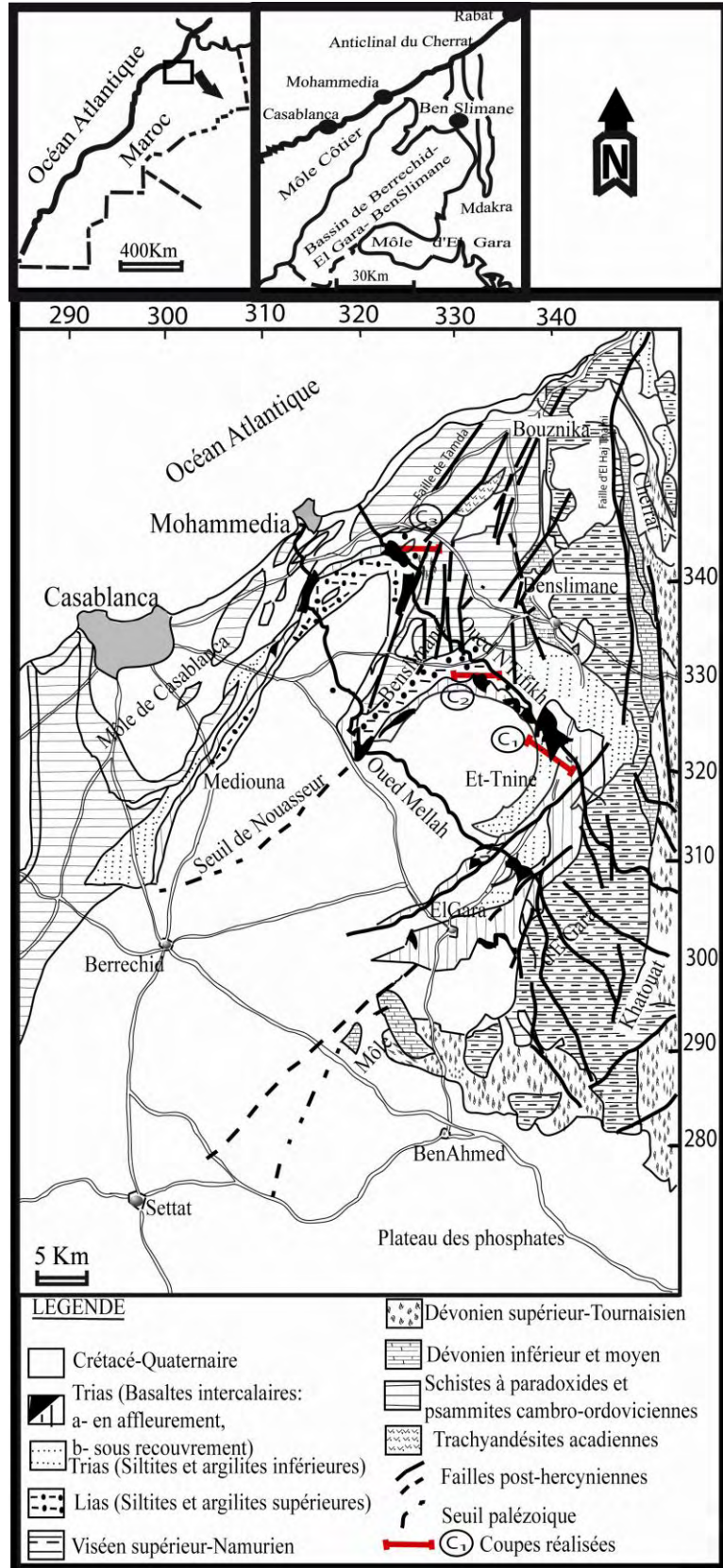


Fig. 2. — Schéma géologique et traits structuraux de la région étudiée.

Fig. 2. — Schematic geological and structural features of the study area.



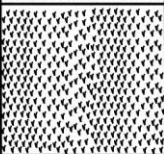
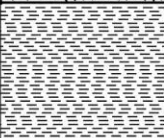


Age	Log	Lithologie	Epaisseur
Néogène		Calcaires	
Lias		Siltites et argilites supérieures	60 m
Trias		Basaltes	50 m
		Siltites et argilites inférieures	40 m
		Siltites et grès conglomératiques	20 m
Cambro-ordovicien		Soeile psammitique	

Fig. 3. — Colonne lithostratigraphique synthétique de l'Oued N'Fifikh.

Fig. 3. — Synthetic lithostratigraphic log of Oued N'Fifikh.

d'apporter des précisions sur la chronologie des principaux événements tectoniques qui ont affecté les terrains paléozoïques et mésozoïques, et d'autre part, de proposer un nouveau modèle de l'évolution structurale du secteur étudié.

II. — ETUDE LITHOSTRATIGRAPHIQUE

1) Description des coupes géologiques

1.1) Coupe de Chaâba El Hamra

La coupe réalisée au niveau de Chaâba El Hamra (Fig. 1, 4, 5 et 7) montre de la base vers le sommet :

a. Siltites et grès-conglomératiques triasiques : ils atteignent une épaisseur d'environ 20 m, et sont constitués de :

- Conglomérats polygéniques, de couleur rougeâtre, qui atteignent une épaisseur de 10m. Ils sont constitués d'éléments anguleux hétérométriques de taille allant de quelque mm à 5cm, représentés essentiellement par des fragments de psammites. Ces dernières sont issues du substratum cambro-ordovicien sous-jacent. Ces éléments sont jointifs et baignent dans une matrice carbonatée. Les éléments figurés présentent un granoclassement positif. Ces conglomérats sont ferrugineux, et recoupés par des filons subverticaux d'hématites d'épaisseur qui varie de 0.5 à 10cm et de direction NS à N30°. Les niveaux conglomératiques sont

orientés N50° et présentent un pendage faible de 5° vers le NW.

- Alternance des niveaux hématitisés (centimétriques à métriques) de siltites et de grés (10m).

b. Siltites et argilites inférieures : épaisses d'environ 40 m, elles présentent une coloration rougeâtre, et sont d'âge vraisemblablement triasique. Cette série est actuellement exploitée pour la fabrication de la céramique « carrières de Chaâba El Hamra ».

c. Basaltes triasiques : ils sont formés d'une succession de coulées vacuolaires. Ce sont des roches de coloration gris-vert sur patine, à aspect très altéré et vacuolaire ; les vacuoles sont remplies de quartz et/ou de calcite. Ils sont parcourus par des filonets de quartz et/ou calcite. Leur épaisseur est de l'ordre de 20cm.

d. Calcaires néogènes : ce sont des roches de coloration blanche, à base conglomératique. Ces derniers, de nature quartzitique et gréseuse, sont légèrement imbriqués. La matrice est carbonatée et abondante. Ils présentent une épaisseur supérieure à 5m.

L'ensemble est recoupé par la « faille de Chaâba El Hamra » (Fig. 4).

1.2) Coupe de Sidi Larbi

La succession lithologique montre de la base vers le sommet les unités suivantes (Fig. 1, 6 et 7) :

a. Basaltes : ils correspondent au même faciès que celui décrit à Chaâba El Hamra et sont formés d'une succession de coulées à sommet de laves vacuolaires dont la puissance atteint 50 m.

b. Siltites et argilites supérieures liasiques : ce sont des roches de coloration rougeâtre, tendres, dont l'épaisseur est supérieure à 20 m. Cette formation a été attribuée au Trias (Hamid, 2003). Les études micropaléontologiques récentes effectuées sur des faciès identiques et de même ordre stratigraphique dans d'autres bassins de la Meseta (argilites et siltites suprabasaltiques de l'Oued Mellah) ont permis de mettre en évidence un assemblage des kystes de dinoflagellés qui caractérisent l'époque liasique (Rouh *et al.*, 2007).

c. Calcaires : équivalents à ceux décrits à Chaâba El Hamra.

1.3) Coupe d'Ain Rahal

La coupe d'Ain Rahal (Fig.1 et 7) montre, de la base vers le sommet, les faciès suivants :

a. Basaltes triasiques qui se présentent sous forme de coulées très épaisses dépassant cette fois-ci 50m de puissance. Il s'agit du même faciès que celui déjà décrit à Chaâba El Hamra et à Sidi Larbi.

b. Siltites et argilites supérieures liasiques, dont l'épaisseur est supérieure à 60 m.

c. Calcaires du Néogène équivalents à ceux décrits à Chaâba El Hamra et à Sidi Larbi.

Les formations de la couverture méso-cénozoïques de l'Oued N'Fifikh reposent en discordance angulaire sur le socle psammitique d'âge cambro-ordovicien.

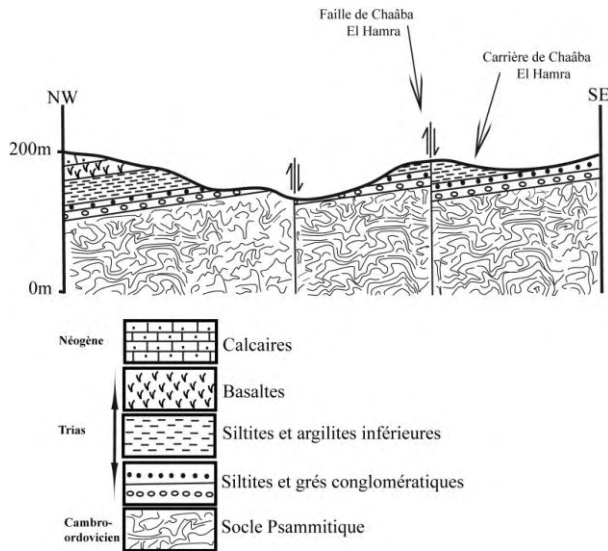


Fig. 4. — Coupe géologique de l'Oued N'Fifikh.

Fig. 4. — Geological section of Oued N'Fifikh.

2) Coupe synthétique

La coupe synthétique obtenue à partir de la corrélation des coupes sériées réalisées le long de la vallée de l'Oued N'Fifikh permet de mettre en évidence l'existence de trois grandes unités lithologiques triasico-liasiques distinctes qui reposent en discordance majeure sur un socle cambro-ordovicien psammitique (Fig.7). La base de la série géologique est soulignée par un ensemble silto-grés-conglomératique (20 m) d'âge vraisemblablement triasique. L'ensemble grés-conglomératique triasique encaisse une minéralisation ferrifère de type disséminée et filonienne (Fig. 3). Sur ces dépôts continentaux, se déposent des argilites rouges (40 m) triasiques. Ces dernières font suite à des coulées basaltiques triasiques (50 m). Sur cette formation, se déposent des siltites et argilites supérieures évaporitiques liasiques (60 m). Ces formations mésozoïques sont recouvertes par des calcaires du Néogène.

III. — CARACTERISATION PETROGRAPHIQUE DES FACIES

L'étude pétrographique a porté sur les faciès cambro-ordoviens et triasiques de l'Oued N' Fifikh.

1) Faciès du socle paléozoïque

Ces faciès sont représentés par des schistes micacés d'âge cambro-ordovicien qui affleurent à Chaâba El Hamra (Fig. 4 et 5). Ce sont des schistes légèrement métamorphisés (schistosité de fracture). Ils sont constitués essentiellement de grains de quartz engrenés et de paillettes de muscovite. La roche est marquée par des trainées d'oxydes de fer auxquelles s'associent un enchevêtrement de paillettes orientées de micas ce qui donne à la roche un aspect lité.

2) Faciès sédimentaires triasiques

Les faciès détritiques mis en évidence par l'étude microscopique sont :

- Des faciès grés-conglomératiques à ciment carbonaté (Fig. 3 et 5) : les éléments figurés de ces faciès sont dominés par des fragments lithiques de nature grés-micacé et quartzitique auxquels sont associés des minéraux de quartz et de feldspath, provenant du socle cambro-ordovicien sous-jacent. On note également la présence, même en faible pourcentage, de fragments de roches de nature volcanique (laves feldspathiques à mésostase opacifiée). Les fragments des roches présentent une forme elliptique à sphérique témoignant d'un transport court; les autres éléments figurés, tels que le quartz et les feldspaths, sont angulaires à sub-angulaires à surface rugueuse; ceci indique qu'ils n'ont pas subi un long transport et que leur source d'apport est proche de l'affleurement où ils se sont déposés. L'ensemble des éléments figurés présente un mauvais classement, et le contact entre eux est nul à ponctuel, parfois linéaire. Ceci indique qu'ils sont immatures à légèrement matures.

- Des conglomérats et grés ferrugineux (Fig. 3) : ils correspondent au stade ultime et avancé de l'oxydation des grés ferrugineux et se manifestent par une oxydation totale des éléments figurés et du ciment.

3) Basaltes

Les basaltes (Fig. 3) se présentent sous forme de plusieurs coulées aux sommets vacuolaires. Ces coulées sont parcourues de filonets d'épaisseur décimétrique (20 cm) et d'extension métrique, remplis de silice ou de calcite. Les filonets de Chaâba El Hamra montrent un cœur rempli de silice et des parois calcitiques. Au microscope, la paragenèse primaire comporte des plagioclases qui sont partiellement ou totalement englobés par des clinopyroxènes offrant ainsi à la roche une texture ophitique à sub-ophitique. On note également la présence des minéraux opaques inclus dans la mésostase avec une structure dendritique de taille généralement inférieure à 0,1 mm, soulignant ainsi un refroidissement rapide de la roche. Les basaltes vacuolaires renferment, en plus des plagioclases et des clinopyroxènes, des vacuoles sphériques millimétriques à centimétriques remplies de silice. La paragenèse secondaire comporte de la chlorite verte disséminée en plages dans la mésostase, de la silice qui remplit d'une part les vacuoles et d'autre part les veines et les filonets. Plus rarement la calcite s'associe à la silice pour tapisser les parois des filonets.

IV. — ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE

Dans la série triasico-liasique de l'Oued N'Fifikh (Fig. 5 & 7), on a pu identifier les lithofaciès suivants (Fig. 7 et 8), conformément à la classification de Miall (1978).

- **Lithofaciès C1** : il affleure uniquement à Chaâba El Hamra. Il s'agit d'un conglomérat de couleur rouge sombre, massif, induré, bréchiq ue et inorganisé. Il est constitué d'éléments anguleux, hétérométriques (3 mm à 10 cm), comprenant des galets, des graviers et des granules non classés, de composition grés-micacés, remaniés du socle.

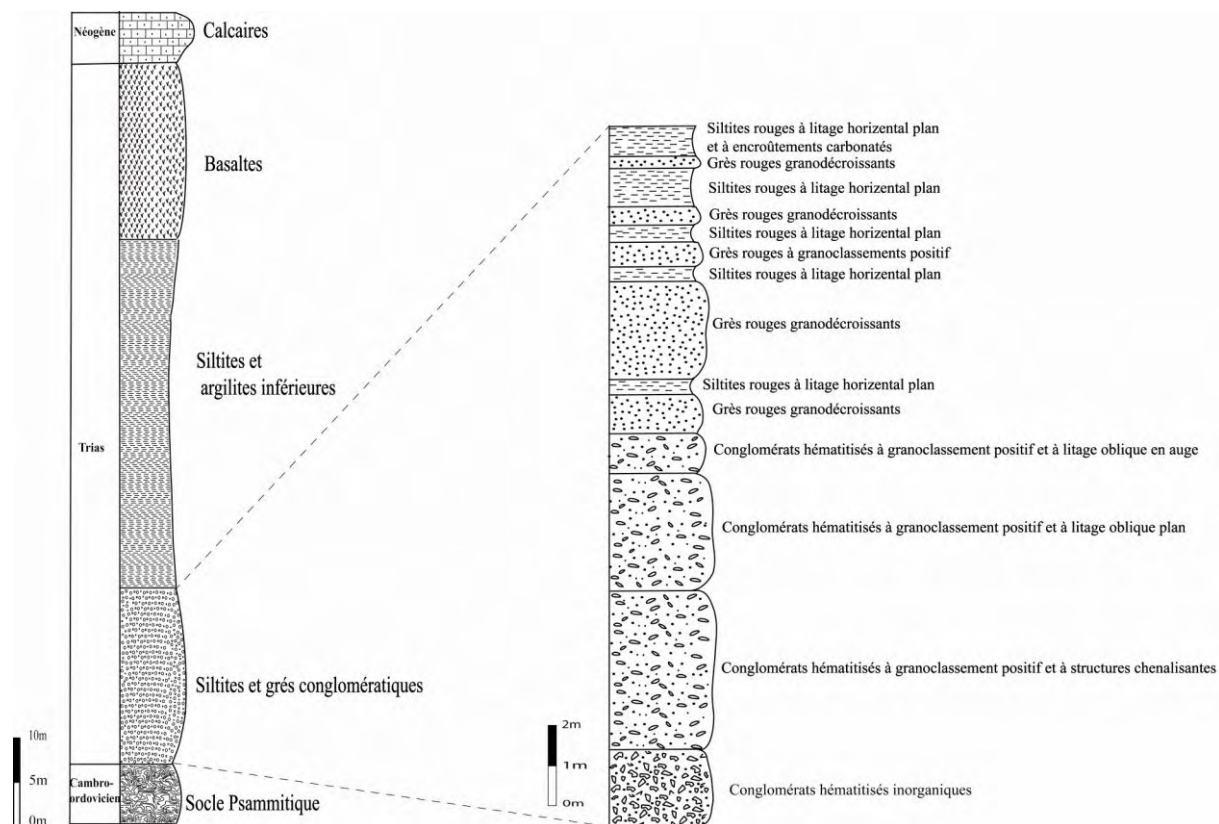


Fig. 5. — Colonne lithostratigraphique de Chaaba El Hamra.

Fig. 5. — Lithostratigraphic log of Chaaba El Hamra.

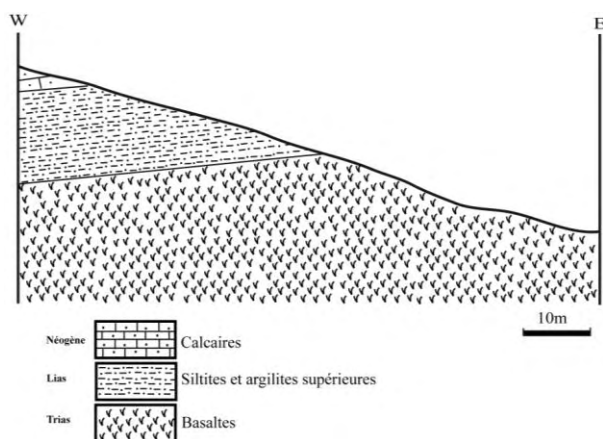


Fig. 6. — Coupe géologique réalisée au niveau de Sidi Larbi.

Fig. 6. — Geological section performed at Sidi Larbi.

Ces éléments flottent dans un ciment carbonaté. On note la dissémination au sein de ce faciès de quelques lentilles centimétriques d'argilites. Aucune figure, ni structure sédimentaire n'est visible au sein de ce faciès qui présente une épaisseur d'environ 2 m. Le mécanisme de transport ayant abouti à ces dépôts était assez court pour engendrer un bon classement des éléments transportés, ce qui a conduit à

un dépôt simultané des éléments figurés et de la matrice. Ceci est l'équivalent des dépôts de transport en masse de type coulées boueuses « Débris flow ». La forme angulaire des éléments figurés indique qu'ils n'ont pas subi un long transport. Ce lithofaciès correspondrait au faciès GmS1 décrit par Miall (1978) (Tabl. I), lequel correspond à un paraconglomérat reflétant une ambiance sédimentologique caractéristique de la partie proximale d'un cône alluvial, résultant d'un courant fluvial torrentiel.

- **Lithofaciès C2** : c'est un faciès qui a été rencontré uniquement à Chaaba El Hamra. Il s'agit d'un conglomérat hématisé, de couleur rouge violacée et présentant une épaisseur d'environ 4 m. Il est constitué d'éléments subanguleux à subarrondis, de taille variable allant de 5 à 10 cm, comprenant des galets et des graviers. Ces derniers sont de nature quartzitique et grésomiacée. Ils sont bien classés et montrent un granoclassement positif. Ces éléments flottent dans un ciment carbonaté peu abondant. Ce faciès montre des structures chenalisantes, avec des chenaux dépassant 1m de largeur. Ce faciès conglomératique pourrait correspondre, par le bon tri, le granoclassement positif de ses éléments figurés constitutifs et par le litage oblique en auge, au faciès Gt de Miall (1978) (Tabl. I) interprété comme étant un dépôt de remplissage de chenaux d'ordre décimétrique (El Harfi, 2001), résultant d'un régime fluvial de forte énergie à la base mais qui devient relativement faible vers le sommet. Miall (1978) inscrit ce faciès dans une dynamique fluviale en tresse distal (El Harfi, 2001).

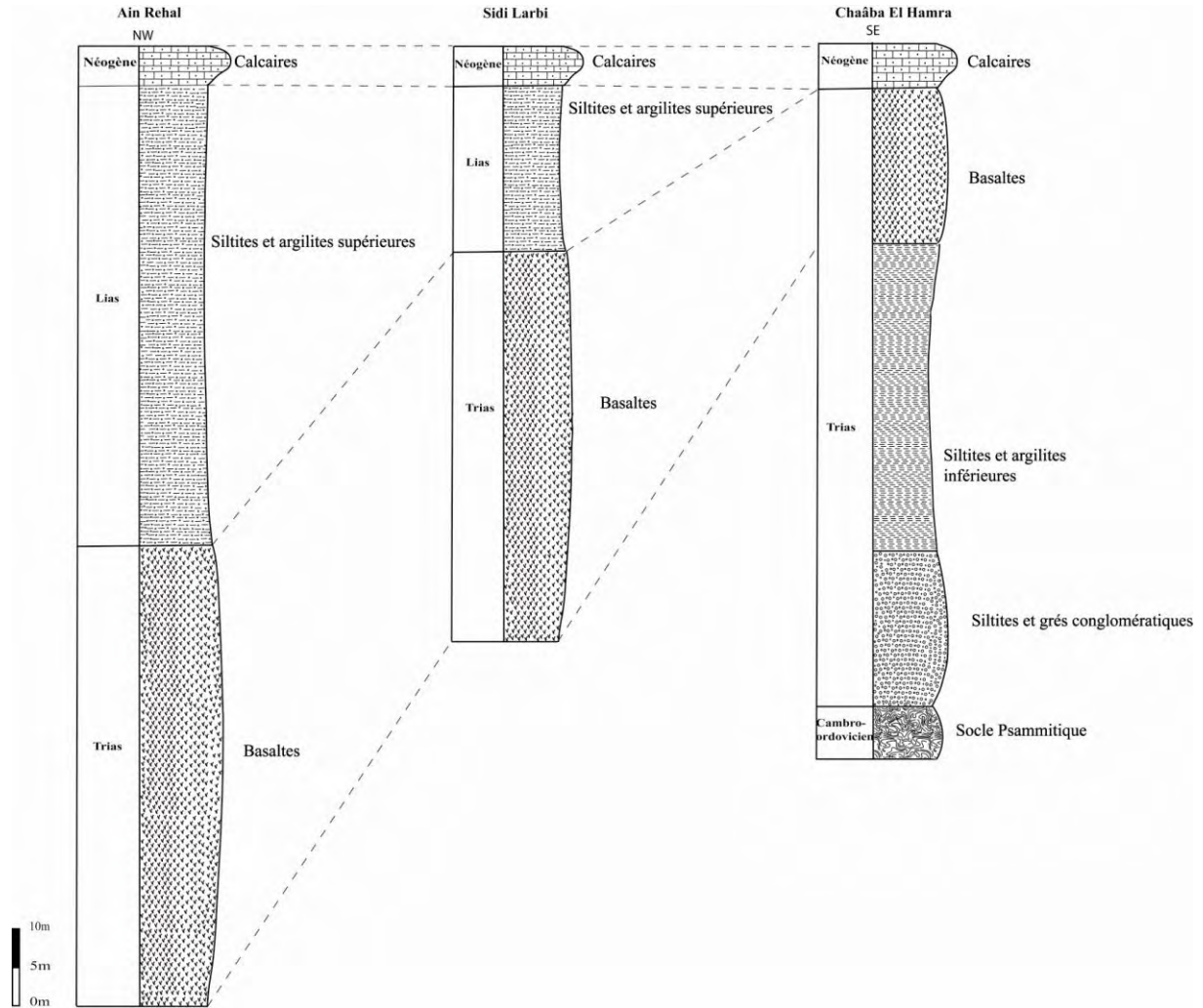


Fig. 7. — Corrélation des coupes réalisées le long de l'Oued N'Fifikh.

Fig. 7. — Correlation of sections made along the Oued N'Fifikh.

- **Lithofaciès C3** : ce faciès a été mis en évidence à Chaâba El Hamra. C'est un conglomérat hématitisé, de couleur rouge violacée et puissant d'environ 3 m. Il est constitué d'éléments de quartzite et de grès micacé. Ce sont des éléments subanguleux à subarrondis, de taille allant de 4 mm à 5 cm et présentant un granoclassement positif. Le liant réunissant ces éléments figurés est un ciment carbonaté. Ce faciès montre un litage oblique plan par lequel il correspond au faciès Gp de Miall (1978) (Tabl. I), qui l'interprète comme étant un dépôt de barres longitudinales (El Harfi, 2001).

- **Lithofaciès C4** : ce faciès a été rencontré uniquement à Chaâba El Hamra, et correspond à un conglomérat très hématitisé, à dominance gréseuse, de couleur rouge violacé et puissant d'environ 1m. Il est constitué d'éléments de quartzites et de grès micacés. Ces derniers sont subanguleux à subarrondis, de taille allant de 1 à 4 mm et présentant un granoclassement positif. Le liant est carbonaté. Ce faciès montre un litage oblique en auge. Il correspondrait, par son litage oblique en auge, au faciès St de Miall (1978) (Tabl. I), interprété par Collinson (1970) comme étant un dépôt de remplissage de chenaux mineurs incisant la surface des barres

longitudinales lors de la chute du niveau hydrodynamique (El Harfi, 2001).

- **Lithofaciès C5** : ce faciès a été rencontré uniquement à Chaâba El Hamra. Il s'agit d'un grès massif de couleur rouge brique, de puissance variable allant de 30 cm à 2,5 m. Il est très grossier à la base, parfois microconglomératique et évolue progressivement à un grès très fin vers le sommet du banc, soulignant ainsi un granoclassement positif. Ce faciès ne présente aucune figure ni structure sédimentaire. L'aspect massif de ce faciès, le granoclassement positif, l'absence de toute figure ou structure sédimentaire rapprochent ce faciès C5 du faciès Sm de Miall (1978) (Tabl. I) interprété comme résultant d'une diminution progressive du régime hydrodynamique qui l'a mis en place, comme il pourrait correspondre selon Rust (1982) (in El Harfi, 2001) aux dépôts d'un cycle de crue fluviale.

- **Lithofaciès C6** : ce faciès a été mis en évidence à Chaâba El Hamra, Il s'agit de siltites et argilites rougeâtre à fines laminations horizontales, et dont le sommet présente des figures de charges ou « load mark ». Il correspond au faciès

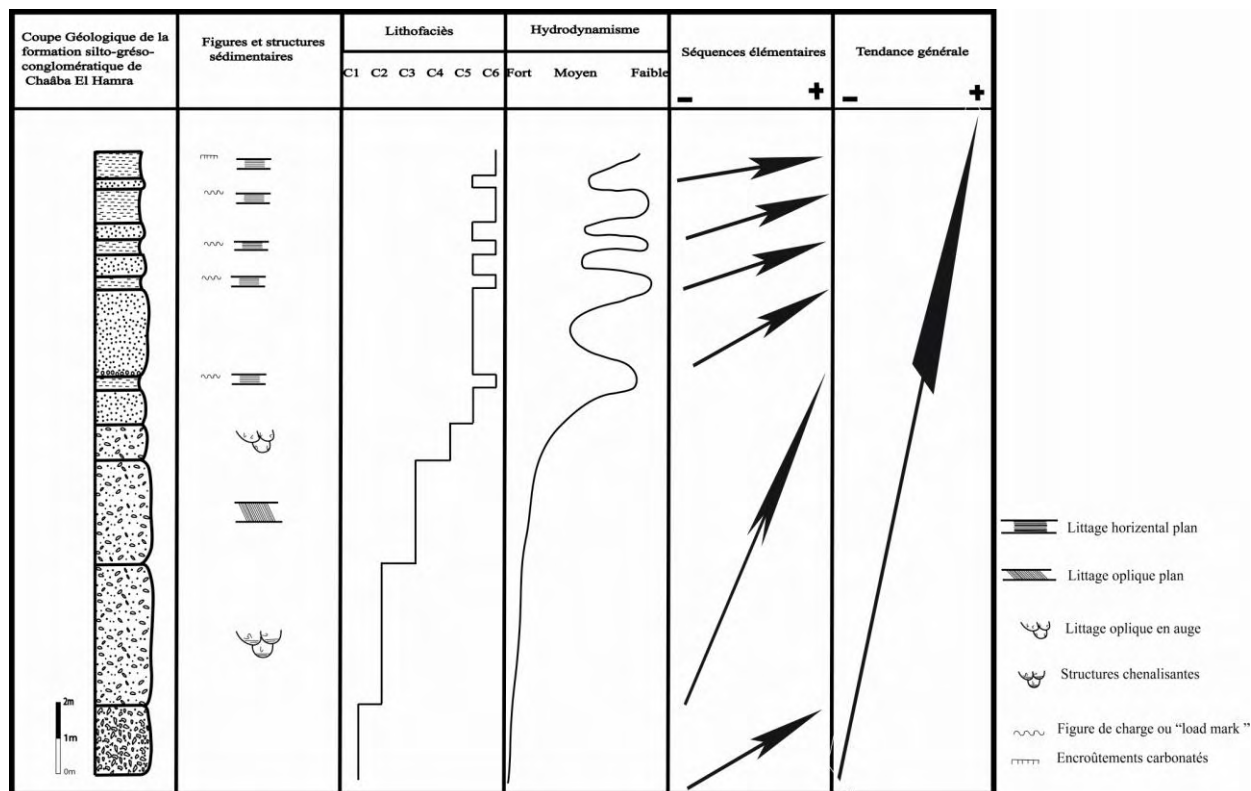


Fig. 8. — Etude sédimentologique de la formation silto-gréso-conglomératique.

Fig. 8. — Sedimentological study of the siltstone, sandstone and conglomerate formation.

F1 de Miall (1978) (Tabl. I) qui est un dépôt d'accrétion verticale caractéristique d'un écoulement laminaire de très faible énergie.

- **Niveau carbonaté** : il s'agit d'une surface à encroûtements carbonatés, rencontrés au sommet de la formation gréso-conglomératique de Chaâba El Hamra au toit du faciès C6. Ce niveau présente un litage fin horizontal sans aucune trace de racines de végétaux. Les encroûtements carbonatés peuvent être le résultat d'une recristallisation de solutions qui se filtrent le long des joints et des ruptures et mêmes des pores préexistants dans les dépôts durcis. Ces incrustations peuvent résulter d'un processus pédogénétique (El Arabi & Essamoud, 2003). Ils peuvent également être le résultat de l'émersion du banc suite aux battements de la nappe phréatique (El Youssi, 1986). Dans notre cas, le fait que ce niveau présente un litage fin horizontal ne montrant pas de vestiges de racines de végétaux, indique que ces encroûtements pourraient être le résultat des battements de la nappe phréatique.

- **Faciès silteux et argileux évaporitiques** : ils sont absents à Chaâba El Hamra et affleurent à Sidi Laâbi et Ain Rahal. Ils correspondent à des siltites et argilites de coloration rougeâtre, très fines avec des intercalations de niveaux décimétriques silteux et argileux verdâtres. Les structures sont très rares voire absentes vu les conditions d'affleurement et la végétation intense qui font de cette formation une zone de pâturage. Ce faciès est interprété comme étant un dépôt d'étang par décantation équivalent au faciès F1 de Miall (1978).

V. — ANALYSE SEQUENTIELLE ET ASSOCIATION DES FACIES

L'étude sédimentologique des faciès identifiés dans la formation silto-gréso-conglomératique de Chaâba El Hamra nous a permis de distinguer, de la base vers le sommet, les séquences élémentaires suivantes (Fig. 8) :

La séquence de type 1 : cette séquence est composée d'un seul terme représenté par les conglomérats bréchiques à éléments anguleux non classés (lithofaciès C1). Par ses caractéristiques, elle reflète une ambiance sédimentologique rappelant les coulées boueuses de la partie proximale d'un cône alluvial, résultant d'une dynamique fluvio-torrentielle. Il est probable que cette séquence présente des termes supérieurs mais qui ont probablement été sujet à l'érosion.

La séquence de type 2 : cette séquence est représentée par la superposition des faciès C2, C3, C4, C5 et C6 qui correspondent respectivement aux faciès Gt, Gp, St, Sm et Fl de Miall (1978), et qui se présentent dans l'ordre suivant :

- A la base le faciès C2 à granoclassement positif et montrant des structures chenalisantes.
- Le faciès C3 conglomératique à granoclassement positif et à litage oblique plan.
- Le faciès C4 conglomératique à granoclassement positif et à litage oblique en auge.

- Le faciès C5 grès massif rouge à granoclassement positif. Ce faciès ne présente aucune figure ni structure sédimentaire.

- Le faciès C6 représenté par les siltites et argilites à litage horizontal plan.

Les faciès C2, C3 et C4, sont interprétés par Miall (1978) comme étant des dépôts de remplissage des chenaux résultant d'un régime fluvial en tresse de forte énergie au début mais qui tend à s'affaiblir par la suite. Les grès massifs granodécroissants, sans figure ni structure sédimentaire, sont décrits par Miall (1978) comme le résultat d'une diminution progressive du régime hydrodynamique qui les a mis en place et sont appelés « waningflood » par Middleton et Trujillo (1984) (in El Harfi, 2001). Les siltites et argilites à litage horizontal plan, sont interprétés selon Miall (1978) comme étant une caractéristique d'un écoulement de très faible énergie. Le passage progressif des conglomérats aux grès puis aux siltites et argilites indique que cette séquence est granocroissante résultant d'un régime fluvial en tresse proximal de forte énergie qui tend à diminuer progressivement vers le sommet de la séquence avec une tendance séquentielle de type « finingupward ».

La séquence de type 3 : elle est formée par l'association des faciès C5 et C6, siltites et argilites évaporitiques qui correspondent respectivement aux faciès Sm et Fl de Miall (1978), elle montre successivement de la base vers le sommet :

- Le faciès C5 à granoclassement positif et ne présentant aucune figure ni structure sédimentaire ;

- Le faciès C6 à fin litage horizontal plan et se terminant par des « load mark » ;

- Le faciès silteux et argileux évaporitique.

Cette séquence est granodécroissante et résulte d'un écoulement de forte énergie qui devient progressivement plus calme et laminaire pour déposer au sommet de la séquence, par simple décantation, des siltites laminées qui confèrent à l'ensemble de l'association une tendance séquentielle de type « finingupward ». Ceci indique que cette séquence élémentaire est le résultat d'un système fluvial en tresse mais plus distal que le premier.

VI. — ETUDE TECTONO-VOLCANIQUE

1) Apport de la paléovolcanologie à la compréhension de l'évolution et la dynamique du bassin de l'Oued N'Fifikh

Si on analyse les coupes réalisées au niveau de l'Oued N'Fifikh (Fig. 7), on constate qu'à l'extrémité sud orientale de l'Oued N'Fifikh, plus précisément au niveau de Chaâba El Hamra, les dépôts silteux et argileux évaporitiques du Lias font défaut, alors que la série détritico-triasique est presque complète et montre successivement un ensemble silte-grés-conglomératique, ensuite des argilites et siltites inférieures qui succèdent par des coulées basaltiques d'une puissance réduite d'environ 20 m, passant sans transition à des calcaires néogènes.

Plus à l'Ouest, précisément à Sidi Larbi, les formations géologiques se réduisent à une succession de coulées

basaltiques aux sommets vacuolaires totalisant une épaisseur supérieure à 50 m, surmontées par un niveau décimétrique de siltites et argilites supérieures (20 m) d'âge présumé liasique. Ces dernières, sont coiffées par des calcaires du Néogène. A l'extrême nord occidental du secteur étudié, plus particulièrement à Aïn Rahal, on retrouve les mêmes formations que celles rencontrées à Sidi Larbi, néanmoins, on remarque que les coulées basaltiques sont plus puissantes (plus de 50 m) et les dépôts d'argilites supérieures sont cette fois-ci plus épais (60 m).

En résumé, la corrélation de l'ensemble des coupes réalisées montre que l'épaisseur des laves augmente progressivement du Sud-Est (20 m à Chaâba El Hamra) vers le Nord-Ouest (50 m à Aïn Rahal). Ceci indique que le centre d'émission de ces laves était, probablement, localisé au NW, à proximité d'Aïn Rahal qui correspondrait vraisemblablement au cœur de la série, où les coulées basaltiques atteignent leur puissance maximale. Il semble que cette activité magmatique soit étalée à partir du cœur du bassin situé probablement au NW (Aïn Rahal) vers sa périphérie située au SE à Chaâba El Hamra qui constituait un haut fond à l'époque. L'étude de terrain montre que l'activité volcanique est limitée à l'Est par la faille de Chaâba El Hamra. On pense donc qu'au moment de la mise en place des basaltes, le bloc oriental de Chaâba El Hamra constituait un horst à substratum cambro-ordovicien, raison pour laquelle les laves n'ont pas débordé cet accident, alors que la partie Ouest formait un bassin en héli-graben. Il est probable que la mise en place des basaltes soit liée, à un stade avancé, au fonctionnement de la faille de Chaâba El Hamra qui aurait joué en faille normale (ou listrique?) pendant le Trias comme en témoigne tout plus ou moins la présence des failles synsédimentaires dans l'ensemble silte-grés-conglomératique de base d'âge triasique.

2) Tectonique et impact sur l'évolution et la paléogéographie de l'Oued N'Fifikh

L'analyse des structures tectoniques enregistrées dans les formations triasiques et liasiques permet de mettre en évidence leur rôle primordial dans l'évolution du secteur étudié.

a) Déformation hercynienne

La série triasico-liasique de l'Oued N'Fifikh est limitée à l'Est par la faille de Chaâba El Hamra (Fig. 4) et à l'Ouest par la faille de Tamda (Fig. 2). L'accident de Chaâba El Hamra représente vraisemblablement le prolongement méridional de la faille majeure de Bouznika (Fig. 2). Celle-ci fait partie de la « Zone de Cisaillement de la Meseta Occidentale » (Piqué, 1979). Dans la Meseta côtière septentrionale, la faille sub-méridienne de Bouznika met en contact les terrains cambro-ordoviens du môle côtier à l'Ouest, avec ceux du Dévon-Carbonifère de la bande de Ben-Slimane à l'Est (Piqué, 1979 ; El Attari, 2001), et se prolonge depuis la région de Rabat au Nord jusqu'aux Jbilet au Sud. Cette faille aurait joué, au cours de l'Hercynien, en décrochement d'abord senestre puis dextre (El Attari, 2001). Ceci nous permet de penser que l'histoire évolutive d'affleurement serait contrôlée par le jeu conjugué de ces deux failles bordières. Ces accidents tectoniques pourraient être soit des failles néoformées, soit des failles préexistantes et héritées du socle hercynien et réactivées lors du Trias et

Code des faciès	Lithofaciès	Structures sédimentaires	Interprétation
Gms	Conglomérat massif à matrice dominante	Pas de structures sédimentaires	Coulée boueuse ou écoulement de débris
Gm	Conglomérat massif à stratification fruste	litge horizontal imbrication	Barre longitudinale Dépôt de résidus de déflation, Dépôt de tamissage ou de vennage
Gt	Conglomérat stratifié	Litage oblique, couche entrecroisé-couche oblique, base ravinante	Remplissage de chenaux mineurs
Gp	Conglomérat stratifié	Litage oblique, entrecroisé Litage planaire	Barre lingoïde ou accroissement delta à partir de reste de barre
St	Sable moyen à très grossier à graviers	Litage arqué ou entrecroisé ou isolé (théta)	Régime éolien (unes): bas régime de courant
Sp	Sable moyen à très grossier à graviers	Litage entrecroisé planaire, isolé (alpha) ou groupé	Barre lingoïde, transver sale; bas régime de courant
Sn	Sable très fin à très grossier	Différents types de rides de courant	Rides du bas régime de courant
Sh	Sable très fin à très grossier, peut être à gravier	Lamination horizontale et léniation des éléments	Stratification plane, régime bas ou intermédiaire
Sl	Sable fin	Litage entrecroisé avec des angles $i=10^\circ$	Remplissage de sillons, de crevasse et d'antidunes
Se	Erosion avec débris de roches sillons d'érosion	Litage entrecroisé fruste	Remplissage de chenaux
Ss	Sable fin à grossier, peut être à granules ou à gravies	Large sillon peut profond, litage oblique, entrecroisé	Remplissage de chenaux
Sse, She, Spe	Sable	Analogues à ss, sh, sp	Dépôts éoliens (dunes)
Fl	Sable, siltes, argiles	Lamination très fine avec des microrides	Dépôts d'étang par decantation
Fsc	Siltes, argiles	Lamination massive	Dépôts d'étang par decantation
Fcf	Vases ou argiles	Massif avec des mollusques d'eau douce	Dépôts d'étang par decantation
Fm	Argiles, Siltes	Massif avec des fentes de dessiccation	Dépôts alluviaux d'inondation drappage
Fr	Siltes, argiles	Présence de racines	Zone de marécage (rivage)
C	Charbon, boue carbonatée	Restes de plantes mélanges à de la boue	Marais, marécage

Tab. I. — Les lithofaciès types d'après Miall (1978).

Tabl. I. — *The type lithofacies according to Miall (1978).*

probablement lors des événements récents. La présence de fractures préexistantes enregistrées dans le socle cambro-ordovicien, localisé aussi bien à l'Ouest qu'à l'Est du secteur, permet d'opter en faveur de la seconde hypothèse.

b) *Distension triasique et liasique et impact sur la sédimentation et le volcanisme*

A l'Oued N'Fifikh, cette distension s'est manifestée par :

- Une tectonique distensive contemporaine à la sédimentation et qui semble être vraisemblable comme en témoigne la présence au sein de l'unité silto-grésoconglomératique, d'âge probablement triasique, de failles synsédimentaires sub-méridiennes, d'extension métrique et à effondrement vers l'Ouest. Ces structures montrent la même direction que celle de la faille de Chaâba El Hamra. Il est probable que ces structures aient contrôlé la subsidence ainsi que les dépôts des sédiments triasiques et liasiques.

- Des émissions de coulées de laves basaltiques. La corrélation des différentes coupes sériées (Fig. 7), réalisées le long de l'Oued N'Fifikh, a montré que la puissance des basaltes augmente progressivement de l'Est (où elle est de l'ordre de 20 m à Chaâba El Hamra), à l'Ouest (où elle atteint

une épaisseur supérieure à 50 m à Aïn Rahal et Sidi Larbi). Cette importante activité volcanique témoigne d'une distension et d'un amincissement crustal fini-triasique. Il semble que la faille de Chaâba El Hamra ait joué en faille normale (ou listrique) au cours du Trias voire même du Lias inférieur, tout en provoquant un effondrement progressif vers l'Ouest à Nord-Ouest.

- Une sédimentation grossière dans la partie orientale, mais fine dans sa partie occidentale.

Ces données structurales, sédimentaires et volcanologiques permettent de proposer une organisation du secteur d'étude en une géométrie en forme d'un héli-graben à effondrement vers l'W à WNW dont l'asymétrie serait en liaison avec l'héritage structural hercynien de Chaâba El Hamra.

c) *Compression post-triasique*

Il s'agit d'une tectonique compressive tardi-à post-Trias, manifestée par la réactivation de la faille de Chaâba El Hamra. En effet, le long de cet accident, les derniers mouvements, qui affectent à la fois l'ensemble silto-grésoconglomératique

conglomératique et les argilites inférieures sus-jacentes avec un rejet vertical de plus de 15 m (Fig. 4), témoignent d'une déformation fini-triasique à post-triasique. Dans ce dernier cas, on peut formuler l'hypothèse d'une tectonique récente, vraisemblablement atlasique. Si cette hypothèse est valable, la faille majeure de Chaâba El Hamra aurait rejoué pendant l'orogénèse atlasique (équivalent à l'orogénèse alpine en Europe) en sens inverse tout en provoquant un soulèvement et un basculement des blocs cette fois-ci vers l'Est (le rejet de la faille a été estimé à plus de 10 m sur le terrain).

VII. — SYNTHÈSE ET DISCUSSION

L'étude sédimentologique des faciès et l'analyse séquentielle de la série triasico-liasique de l'Oued N'Fifikh, indique que cette dernière est composée de trois séquences élémentaires généralement granodécroissantes positives. La première rappelle les coulées boueuses de la partie proximale d'un cône alluvial, résultant d'une dynamique fluviale torrentielle. La deuxième séquence est caractéristique d'un système fluviale en tresse proximal, mais plus distal que le premier, de forte énergie qui tend à diminuer progressivement vers le sommet de la séquence pour déposer les siltites laminées conférant ainsi à l'ensemble de la séquence une tendance séquentielle de type « finingupward ». La troisième séquence est rythmique, caractéristique d'un système fluviale en tresse mais plus distal que le précédent. Les faciès silteux et argileux évaporitiques liasiques traduisent un milieu marin épicontinental et peu profond.

Les épaisseurs des faciès grossiers diminuent progressivement de la base de la formation vers son sommet au profit des faciès fins. Ceci nous permet de dire que les six séquences élémentaires forment une mégaséquence grano- et strato-décroissante avec la première séquence élémentaire caractéristique des coulées boueuses de la partie proximale d'un cône alluvial, et cinq séquences élémentaires représentant des dépôts de la partie proximale d'un système fluviale en tresse dont l'énergie tend à diminuer progressivement de la première à la cinquième séquence comme en témoigne la diminution progressive des puissances des termes grossiers en faveur des termes fins d'une séquence à une autre .

La présence des failles synsédimentaires fossilisées dans les dépôts silto-grésos-conglomératiques, l'organisation de la série triasico-liasique en un hémigraben à vergence ouest à nord-ouest, où se déposent d'abord des dépôts continentaux détritiques grossiers au SE, puis fins au NW avant la mise en place d'un volcanisme et d'une sédimentation fine de Sebkh, sont autant d'arguments qui témoignent d'un contrôle tectonique de la sédimentation et du volcanisme lors du Trias et du Lias. La faille bordière de Chaâba El Hamra, qui correspondrait à un accident tectonique hérité du socle hercynien, aurait rejoué en faille normale (ou listrique?) pendant le Trias, voire lors du Lias inférieur. Cette faille aurait contrôlé la subsidence ainsi que la sédimentation et le volcanisme du secteur. Cette distension serait probablement liée au rifting atlantique. Ensuite, on suggère que lors des mouvements récents, probablement atlasiques, cet accident tectonique aurait été réactivé de nouveau avec un mouvement en sens inverse tout en provoquant un soulèvement au NW et ainsi un effondrement des blocs vers le SE. Ce soulèvement,

de l'ordre de 10 m de rejet environ, est enregistré par le basculement des blocs de part et d'autre de la faille de Chaâba El Hamra. Selon ce modèle, l'évolution de la série triasico-liasique de l'Oued N'Fifikh correspondrait à une dynamique sédimentaire et volcanique liée à des failles actives volcano-tectoniques héritées du socle hercynien et réactivées lors du Trias et pendant l'événement tectonique atlasique.

On peut aussi suggérer une ouverture de l'Oued N'Fifikh en « Pull Apart ». Ce dernier aurait été individualisé entre l'accident de Chaâba El Hamra au SE, et l'accident de Tamda au NW. Néanmoins, il reste à confirmer les traces du mouvement horizontal le long de ces deux accidents pendant le dépôt des formations mésozoïques. Si ce modèle est correct, la série de l'Oued N'Fifikh aurait pris naissance dans un régime tectonique en transtension- transpression (distension locale dans un contexte compressif régional). Selon cette hypothèse, ces deux accidents sub-méridiens bordiers de l'Oued N'Fifikh auraient rejoué, pendant le Trias voire même lors du Lias inférieur, en décrochement senestre lié à un raccourcissement régional orienté NW-SE.

VIII. — CONCLUSION

Sur la base des critères sédimentologiques, tectoniques et magmatiques, nous avons abouti à un modèle résumant les différentes étapes de l'évolution géodynamique de l'Oued N'Fifikh au cours des temps mésozoïques :

- Individualisation de l'affleurement de l'Oued N'Fifikh à l'aplomb de la faille de Chaâba El Hamra. Cet accident représenterait un héritage structural hercynien et constitue le prolongement méridional de la faille majeure de Bouznika;

- Dépôt des éléments détritiques terrigènes d'abord grossiers puis fins. Ceci traduit le passage d'un régime torrentiel à un régime hydrodynamique de base énergie contemporain à la pénélplanation progressive des zones d'apport. On pense que les éléments sont remaniés du substratum immédiat non loin du milieu de dépôt comme en témoigne la présence, dans les dépôts silto-grésos-conglomératiques, des éléments schisto-micacés, mais il est possible que, par moment, les sédiments soient venus d'ailleurs et plus précisément du nord comme en témoigne la présence des éléments volcaniques qui pourraient être remaniés des laves cambriennes de l'Oued Ghebbar;

- Comblement du bassin par des argilites (argilites inférieures);

- Mise en place des basaltes dont l'arrivée serait probablement liée à la distension fini-triasique traduite dans l'affleurement par le jeu de la faille de Chaâba El Hamra pendant le Trias et le Lias;

- Dépôt des siltites rouges supérieures évaporitiques (sel, gypse, anhydrite) dans un milieu marin peu profond, correspondant probablement à une sebkh.

Les phénomènes tectoniques et magmatiques que connaît l'hémigraben de l'Oued N'Fifikh sont en étroite relation avec la distension triasique généralisée à l'échelle de la Meseta et du domaine atlasique.

BIBLIOGRAPHIE

- COLLINSON J. D. (1970). — Bed forms of the Tana River, Norway. *Géograf. Ann.*, **52-A**: 31-56.
- EL ARABI E.H., FERRANDINI J. & ESSAMOUD R. (2003). — Triassic stratigraphy and structural evolution of rift basin: The Eç Cour basin, High Atlas of Marrakech, Morocco. *Journal of african earth sciences*, n°36: 29-39.
- EL ATTARI A. (2001). — *Etude lithostratigraphique et tectonique des terrains paléozoïques du môle côtier (Meseta occidentale, Maroc)*. Thèse d'Etat ès Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc: 389 p.
- EL HARFI A. (2001). — *Evolution tectono-sédimentaire du versant sud du Haut-Atlas central au cours du Cénozoïque (Bassin d'avant-chaine de Ouarzazate)*. Thèse d'Etat ès Sciences, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc: 340 p.
- EL YOUSSEF M. (1986). — *Sédimentologie et Paléogéographie du Permo-Trias du Haut Atlas central (Maroc)*. Thèse de Doctorat de l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble: 195 p.
- EYLES N., EYLES C. H. & MIAL A.D. (1983). — Lithofacies types and vertical profile models: an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite. *Sedimentology*, 30 : 393-410.
- FARKI K. (2009). — *Minéralisations ferrifères associées aux formations triasiques de l'Oued N'Fifikh (Meseta occidentale)*. Mémoire de Master, Université Hassan II Mohammedia, Casablanca (FSBM): 64 p
- GIRARD D. (1987). — Géochimie et minéralogie des laves triasiques de la Meseta côtière, Maroc. *Bull. Ins. Sci.* Rabat, N°11: 37-46
- HAMID W. (2003). — *Contribution à l'étude tectono-volcanique et sédimentologique du bassin permien et triasique de l'Oued N'Fifikh (Meseta nord occidentale, Maroc)*. Mémoire de DESA, Université Hassan II Mohammedia, Casablanca (FSBM): 77 p
- HAMID W., ZAHOUR G., BAROUDI Z. & YOUNI N. (2003). — Contribution à l'étude tectono-volcanique et sédimentologique du bassin permien et triasique de l'Oued N'Fifikh. 17ème Colloque des Bassins Sédimentaires Marocain, *Institut Scientifique* (Rabat, Octobre10-12, 2003): 23 p
- LAVILLE E. & PIQUE A. (1991). — Les distension crustale atlantique et atlasique au Maroc au début du Mésozoïque : le jeu des structures hercyniennes. *Bull. Soc. géo. France*, 162 : 1161-1171.
- LECOINTRE G. (1935). — La vallée de l'Oued Mellah (Chaouia). *Ass. Franç. Avct. nat.*, Rabat. Maroc n° 14 : p. 130.
- LECOINTRE G. (1926). — Recherches géologiques dans la Meseta marocaine. *Mém. Soc. Sci. Natur.* Maroc, n° 14 : 158 p.
- LYAZIDI A., EL WARTITI M. & FADLI D. (2003). — Evolution géodynamique du bassin triasique de Berrchid-El Gara-Ben Slimane : Dynamique sédimentaire et géométrie des dépôts (Meseta nord occidentale, Maroc). *Pangea* n° 39/40 : 23-36.
- MEDINA F. (1996). — Le Permien et le Trias du Maroc : Etat des connaissances. *Ed. Pumag*, Marrakech : 139-153
- MIAL A. D. (1978). — Fluvial Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists, *Calgary, Memoir* 5: 578-586.
- MICHARD A. (1976). — Eléments de géologie marocaine. Ed. du Service Géologique du Maroc, Rabat. *Notes et mémoires du service géologique*, n°252: 408p.
- PETTICHOHN F.J., POTTER P. E. & SIEVER E. (1973). — Sand and Sandstone, Berlin, *Springer Verlag*, New York: 618 p.
- PIQUE A. (1979). — Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne : la Meseta marocaine nord-occidentale. Thèse Es-Sciences, *U.L.P. et Sci. Géol., Mém.*, n°56: 243p.
- ROUH S., YOUSSEF Z., ZAHOUR G., HSSAIDA T & OUMALCH F. (2007). — The role of palynology for dating the Liassic successions of the silici volcanic deposits of Oued Mellah (Coastal Meseta, Morocco). *In: first MAPG (Moroccan Association of Petroleum Geologists) international convention and exhibition* (Marrakech, Octobre 28-31, 2007): 179p
- ZAHOUR G., HAMID W., BAROUDI Z & YOUNI N. (2004). — Etude tectono-volcanologique des basaltes triasiques du bassin de l'Oued N'Fifikh (Meseta côtière septentrionale, Maroc). *In: 4ème reunion du Groupe du Permien et du Trias* (Fès, juin 03, 2004) :32p
- ZAHOUR G., FARKI K & BELKHATTAB H. (2010). — Carrières de Mohammedia : impact environnemental et perspectives de réhabilitation. *In : 4ème édition du colloque international: argiles et environnement* (Oujda, Novembre 26-28, 2010): 7-8
- ZAHRAOUI M. (1991). — *La plate-forme carbonatée dévonienne du Maroc occidental et sa dislocation hercynienne*. Thèse Sci. Univ. Bretagne occidentale. Brest : 261p.

**MEDUANAROSTRUM, A NEW MIDDLE PRAGIAN RHYNCHONELLID (BRACHIOPOD)
GENUS FROM THE ARMORICAN MASSIF, NW FRANCE,
AND MEDUANAROSTRIDAE NOV. FAM.**

Meduanarostrium, un nouveau genre de rhynchonellide (brachiopode) du Praguien moyen du Massif Armoricain, NW France et Meduanarostridae nov. fam.

par Paul SARTENAER (*)

(Plates X and XI)

Abstract. — A new rhynchonellid genus, *Meduanarostrium*, with type species *M. letissieri* (Oehlert, 1877), is described from the Laval Synclinorium, Armorican Massif, where it is present in a restricted area along the Mayenne river valley. A middle Pragian age is attributed to the new genus after evaluation of the scanty stratigraphic information found in the literature. *Meduanarostrium* nov. gen. is designated as the type genus for the new family Meduanarostridae.

Résumé. — L'auteur décrit un nouveau genre rhynchonellide, *Meduanarostrium*, avec *M. letissieri* (Oehlert, 1877) comme espèce-type, en provenance du Synclinorium de Laval dans le Massif Armoricain, où elle est présente dans une aire limitée le long de la vallée de la Mayenne. Par suite de l'évaluation de la maigre information stratigraphique trouvée dans la littérature un âge praguien moyen est attribué au nouveau genre. *Meduanarostrium* nov. gen. est désigné comme type de la nouvelle famille Meduanarostridae.

Keywords : Devonian, France, paleontology, stratigraphy, systematics.

Mots-clés : Dévonien, France, paléontologie, stratigraphie, systématique.

I. — INTRODUCTION

The early Emsian genus *Straelenia* Maillieux, 1935, and various species that have been assigned to it at one time or another, are in the process of being re-evaluated. One of them, *S. letissieri* (Oehlert, 1877), coming from the Armorican Massif, is revised in the present paper.

Crest of tongue located considerably lower than the maximum shell thickness. Costae numerous, low, regular, simple, starting at or near to the beaks; parietal costae present. Dental plates, septum, and divided hinge plate thick. Septalium small. Crura raduliform, closely set, Phrygian cap-shaped in section. Cardinal process stocky, bilobed with tattered top, overlapping the hinge plate.

MEDUANAROSTRUM nov. gen.

II. — SYSTEMATIC PALAEONTOLOGY

Order RHYNCHONELLIDA Kuhn, 1949

MEDUANAROSTRIDAE nov. fam.

Type genus: *Meduanarostrium* nov. gen.

Diagnosis: Shell of medium-large to large size. Profile moderately gibbous. Outline subcircular to longitudinally ovoid. Hinge line long. Commissure slightly serrate. Sulcus very shallow, starts generally anterior to mid-length. Fold very low. Tongue low, trapezoidal. Apical angle wide. Valves thickest around mid-length.

Derivatio nominis : *Meduana* = Latin name for the Mayenne River on the east bank of which all available specimens of *Rhynchonella Le Tissieri* Oehlert, 1877 have been collected in the past.

Type species: *Rhynchonella Le Tissieri* Oehlert, 1877.

Diagnosis : Shell of medium-large to large size. Profile gibbous. Both valves semi-elliptical in transverse profile, thickest around mid-length. Outline subcircular to longitudinally ovoid. Hinge line long. Well developed ventral lunulae. *Squamae* and *glottae* present. Sulcus very shallow, fold very low, wide at front, start around mid-length. Apical angle wide. Tongue low. Costae numerous, very low, regular, start near the beaks or at the beaks; parietal costae present. Shell thick posteriorly. Teeth stout. Dental plates thick. Umbonal cavities reduced. Septum thick. Septalium small, uncovered. Hinge plate divided. Crura closely set. Phrygian cap-shaped in section. Cardinal process bilobed, stocky, overlapping the hinge plate.

(*) Département de Paléontologie, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, 29 rue Vautier, 1050 Bruxelles. E-mail: Paul.Sartenaer@naturalsciences.be

Unnamed forms assigned to the genus : No other species than the type species can presently be assigned to *Meduanarostrum* nov. gen., but representatives of the genus may be found in existing collections. These include six specimens (A-146) the author had the privilege to examine in September 1977 in the Department of Geology of the University of Oviedo (Spain). They are identified as *Straelenia* sp. and come from the Nogueras Formation west of Mezquita de Loscos in the Eastern Iberian Chains. The precise stratigraphic level indicated on the label accompanying the specimens is “D2cβ (parte alta)”, which indicate the upper part of the Nogueras Formation corresponding to the lower part of the Pragian. It is strange that Carls, who, for many years, studied various sections in the Eastern Iberian Chains in great detail, never mentioned any Pragian rhynchonellid. In a collection of the Peabody Museum, Yale University (USA), kindly loaned to the author, a single damaged dorsal valve from the Oriskany Sandstone of Maryland (Cumberland, Allegany County) could belong to the genus; it is identified as *Plethorhyncha barrandi* (Hall, 1857), and is catalogued under the number 222459.

Description

Shell of medium-large to large size. Profile moderately gibbous (both valves moderately inflated); both valves semi-elliptical in transverse profile. Outer dorsal flanks falling abruptly toward the commissure where they become sometimes vertical; ventral flanks gently convex. Dorsibiconvex with dorsal valve generally around two times thickness of ventral valve. Outline subcircular (generally) to longitudinally ovoid. Hinge line long. Postero-lateral margins concave near the commissure with, as a result, the cardinal commissure sticking out; anterior and lateral commissures sharp, slightly and very slightly serrate, respectively. *Squamae* and *glottae* present. Very shallow sulcus and very low fold, wide at front, only well delineated near front, start around mid-length, generally anterior to mid-length. Both valves thickest around mid-length, and sloping towards front margin. Maximum width anterior to mid-length. Maximum thickness around mid-length. Apical angle wide. Ventral beak wide, slightly incurved, applied on the dorsal umbonal region. Well developed ventral *lunulae* defined by strong and blunt ridges; dorsal *lunulae* reduced. Sulcus extended dorsally as low tongue with trapezoidal outline, bottom of sulcus slightly convex. Crest of tongue slightly convex, located considerably lower than the maximum shell thickness. Dorsal umbo tangent to a vertical plane. Costae numerous, well marked, very low, simple, regular, angular to angular with rounded top, starting near to the beaks or at the beaks. Parietal costae present, transitional between median and lateral costae. Shell thick posteriorly. Teeth stout, short, cyrtomatodont. Dental plates thick, short. Dental sockets wide, short. Umbonal cavities reduced. Septum thick, persisting for half shell length. Septalium small (narrow and shallow), uncovered. Hinge plate divided, thick; outer hinge plates subhorizontal, passing without sign of crural bases into raduliform crura. Crura closely set, Phrygian cap-shaped in section, almost not curved distally. Cardinal process bilobed, stocky, overlapping the hinge plate, and entering the dental sockets; its top is tattered and sticks out at both extremities. Muscular scars not observed.

Comparisons

The species *letissieri* Oehlert 1877 has been generally assigned in the literature to the genus *Rhynchonella* Fischer de Waldheim, 1809, exceptionally to the genus *Camarotoechia* Hall & Clarke, 1893, and, since 1935, to the early Emsian genus *Straelenia* Maillieux, 1935. *Straelenia* is

distinct from *Meduanarostrum* nov. gen. in a small to medium size, slightly dorsibiconvex profile, greatest width around mid-length, less deeply serrated commissure, rarely divided costae, thin dental plates, large umbonal cavities, and simple cardinal process.

The upper Emsian genus *Astraelenia* Sartenaer, 2009 and *Meduanarostrum* nov. gen., and thus the families of which they are the types, have some characters in common, e. g. a long hinge line; the presence of *squamae*, *glottae*, and well defined ventral *lunulae*; the maximum width generally located anterior to mid-length; a wide apical angle; numerous, well marked, low, regular, and simple costae, starting at or very near to the beaks; the presence of parietal costae; thick dental plates; small umbonal cavities; stout and short teeth; a small septalium; a thick divided hinge plate; and raduliform and closely set crura.

The genus *Astraelenia* can be easily separated due to a slightly smaller size; a strongly dorsibiconvex profile; the dorsal umbo extending beyond the ventral umbo; a subcircular to transversely suboval outline; a moderately to strongly serrate commissure; the maximum thickness of the ventral valve located around one third the length anterior to the beak; the maximum thickness of the dorsal valve exceptionally located around mid-length; a better marked and slightly deeper sulcus, starting more posteriorly; slightly higher fold and tongue; the tongue sometimes tending to become vertical near the commissure; a lower number of costae; a cardinal process crowned with numerous lamellae; a thinner septum; and the distal part of the crura strongly curving ventrally.

Meduanarostrum letissieri (Oehlert, 1877)

(Pl. X, fig. 1-15 ; Pl. XI, fig. 1-20)

- 1877 - *Rhynchonella* Le Tissieri, *Oehlert*; Oehlert, p. 597, pl. X, fig. 11, 11a
 1879 - *Rhynchonella* Le Tissieri; Oehlert & Davoust, p. 705
 1882 - *Rhynchonella* Le Tissieri OEHL.; Oehlert, p. 290
 non 1882 - *Rhynchonella Letissieri*, OEHLERT; Barrois, p. 269, 473, 485, 503
 non 1887 - *Rhynchonella* cf. *Letissieri*, Oehl.; Barrois, p. 160
 ? 1889 - *Rhynchonella Letissieri*, OEHL.; Oehlert, p. 750
 non 1889 - *Rhynchonella* cf. *Letissieri*, Oehl.; Barrois, p. 85, 251
 pp. 1889 - *Rhynchonella* Le Tissieri, OEHL.; Barrois, p. 328
 1902 - *Rhynchonella le Tissieri* OEHL.; Drevermann, p. 108
 non 1912 - *Rhynchonella Le Tissieri* OEHLERT; Collin, p. 42-43, 415
 non 1913a - *Rhynchonella* Le Tissieri? Oehlert; Asselberghs, p. 201, 209
 non 1913b - *Rhynchonella Le Tissieri?* Oehlert; Asselberghs, p. 30, 108-109, 128
 non 1913 - *Rhynchonella Le Tissieri?* Oehlert; Duvigneaud, p. 185
 non 1925 - *Rhynchonella Le Tissieri* OEHLERT, 1877; Couffon, p. 62
 non 1929 - *Rhynchonella Le Tissieri* OEHLERT; Péneau, p. 229-230, 263
 1935 - *Camarotoechia Le Tissieri* Oehl.; Renaud, p. 6
 1935 - *Straelenia Le Tissieri* (OEHLERT & DAVOUST); Maillieux, p. 12
 non 1936 - *Rhynchonella Letissieri* Oehlert; Termier, p. 310, 323, 1136
 1942 - *Straelenia Le Tissieri* Oehlert; Renaud, fasc. 1, p. 69, 101, 102
 non 1942 - *Straelenia Le Tissieri* Oehlert; Renaud, fasc. 1, p. 78, 84, 89; fasc. 2, p. 322-323

pp. 1942 - *Straelenia Le Tissieri* OEHLERT; Renaud, fasc. 2, p. 114-115, 358-359

pp. 1955 - *Straelenia letissieri* OEHLERT & DAVOUST; Schmidt, p. 115

non 1961 - *Rhynchonella letissieri* OEHLERT; Llopis Lladó, p. 265

non 1962 - *Straelenia le tissieri* (OEHLERT 1877); Pillet, p. 53

1988 - *Rhynchonella le tissieri*; Brice in Morzadec et al., p. 52

2009 - *Rhynchonella Le Tissieri* OEHLERT, 1877; Drevermann in Sartenaer, p. 28

Material : Twenty specimens in good state of preservation from the south-western part of the « Département de la Mayenne » in the Laval Synclinorium in the Armorican Massif: seven from Saint-Germain-le Fouilloux, five from La Baconnière, five from La Jaillerie, two from La Roussière (La Roussière quarry, now abandoned, southwest of Saint-Germain-le-Fouilloux), and one from Saint-Jean-sur-Mayenne.

Lectotype, topotypes, stratum typicum and locus typicus: All types are deposited in the collection of the « Musée des Sciences », Laval, with registration numbers prefixed ML-PAL (« Musée Laval-Paléontologie »).

Oehlert (1877, p. 597, 601, pl. X, figs 11, 11a), who had a few specimens at his disposal, figured only one specimen (dorsal and lateral views) of *Rhynchonella Le Tissieri*; it is here formally designated as the lectotype. The only stratigraphic information accompanying the original description of the species is « calcaire à *Spirigera undata* » in the “middle part of the Lower Devonian”.

Although he did not mention any precise locality in the « Département de la Mayenne », Oehlert (ibid., p. 578) indicated that La Baconnière, Saint-Germain-le-Fouilloux and Saint-Jean were the three localities he “explored with most care”. Therefore, it is reasonable to call the following specimens topotypes:

Topotypes A, ML-PAL-01453 (Pl. X, Figs 1-5), J, ML-PAL-01452. La Roussière quarry.

Topotypes B, ML-PAL-01454 (Pl. X, Figs 6-10), C, ML-PAL-01451 (Pl. X, Figs 11-15), F, ML-PAL-01459 (Pl. XI, Figs 11-15), H, ML-PAL-01455 (Fig. 1), K, ML-PAL-01457. Saint-Germain-le-Fouilloux.

Topotypes D, ML-PAL-01464 (Pl. XI, Figs 1-5), E, ML-PAL-01461 (Pl. XI, Figs 6-10), G, ML-PAL-01462 (Pl. XI, Figs 16-20), L, ML-PAL-01462. La Jaillerie.

Topotype I, ML-PAL-01460 (Fig. 2). La Baconnière.

Although highly probable, it is not certain that Oehlert had at his disposal the material described in the present paper. Only one out of the twenty specimens (Pl. 1, Figs 6-10) shows some resemblance to the specimen figured by Oehlert. This specimen is here formally designated the lectotype of the species in accordance with the International Code of Zoological Nomenclature dealing with the designation of lectotypes and type localities: Article 74.4 (“the fact that the specimen no longer exists or cannot be traced does not of itself invalidate the designation”), Article 76.1 (“if there are syntypes and no lectotype has been designated, the type locality encompasses the localities of all of them”), and Recommendation 76A.1.4 (“In ascertaining or clarifying a type locality, an author should take into account as a last resort and without prejudice to other clarification, localities within the known range of the taxon or from which specimens referred to the taxon had been taken”).

Description

Oehlert’s (1877) concise description of the external characters of the species is the only description of the species to be found in the literature; Renaud (1942, 2nd fasc., p. 115) gave an excerpt of this description.

What follows refers only to specific characters in need of further elaboration.

Width of hinge line between 59 and 77 per cent (mostly between 59 and 70 per cent) of shell width. Sulcus starts between 46 and 64 per cent (mostly between 46 and 56 per

cent) anterior to beak, or between 51 and 70 per cent (mostly between 51 and 57 per cent) of unrolled length of valve. Thickness of dorsal valve between 53 and 77 per cent (mostly between 59 and 64 per cent) of shell thickness. Maximum thickness of ventral valve located between one third and one half shell length anterior to beak. Maximum thickness of dorsal valve, and thus of shell, located between 46 and 62 per cent (mostly between 46 and 53 per cent) of shell length anterior to ventral beak. Apical angle between 102° and 125° (mostly between 107° and 117°).

Measurements of ten specimens, of which seven have been photographed, are given on Table I. Width of sulcus at front between 54 and 66 per cent (mostly between 56 and 60 per cent) of shell width. Crest of tongue located between 24 and 46 per cent (mostly between 28 and 40 per cent) below maximum shell thickness. Width of median costae at front between one and two mm. The general costal formula in median, parietal, and lateral categories derived from at least 75 per cent of the available specimens (17) in each category is $\frac{8-10}{7-9}$; $\frac{1-1}{1-1}$ to $\frac{2-2}{2-2}$; $\frac{17-24}{18-25}$; ratios of costae are given on

Table II.

Comparisons

According to Oehlert (1877, p. 601), *Rhynchonella Le Tissieri* is distinct from the late Famennian *R. laticosta* Phillips, 1841, and from the Wenlock species *R. Stricklandi* (Sowerby, J. de C. in Murchison, 1839) in its higher number of costae and its more elongated shape. Drevermann (1902, pp. 108-109), who received a few specimens from Oehlert, saw some analogy between *R. le Tissieri* and the early Emsian Eifel species *R. Dunensis* Drevermann, 1902, but declared it different in a considerably larger size, a large number of costae, and the *paries geniculatus* of the ventral valve.

Asselberghs (1913a, p. 201 and 1913b, pp. 108-109 as *R. Le Tissieri?*), who had only one strongly crushed specimen from the late Siegenian «quartzophyllades de Royvaux» of the Neufchâteau Synclinorium at his disposal, compared the species to the two lower Emsian species, *R. Dannenbergi* Kayser, 1883 from eastern Taunus, and *R. Dannebergi* mut *minor* Drevermann, 1902 from the Eifel area, and the middle Siegenian *R. papilio* Krantz, 1857 from the middle Rhine valley, and also to the New York *R. oblata* Hall, 1857 and *R. multistriata* Hall, 1857 from the Oriskany Sandstone. [Remark: Asselbergh’s specimen has been included by Maillieux (1935, p. 13) in the synonymy of *Straelenia minor*, and by Maillieux (1936, p. 9; 1941, p. 37) in the synonymy of *S. Dunensis*]. Drot (1964, p. 157) considered *Straelenia letissieri* as « très proche » to *S. losseni* (Kayser, 1880), but stated that specimens of the former are flatter.

All these comparisons do not deserve too much attention. The only comparison in the literature that carries some weight is the one made by Oehlert & Davoust (1879, p. 705) with another large Armorican species, *R. Chaignoni* Oehlert & Davoust, 1879 that they considered different in its larger size, the compression and gibbosity of its dorsal valve, its more elongated shape, and deeper sulcus. Renaud (1942, 2nd fasc., p. 115) followed suit in considering *R. Le Tissieri* and *R. Chaignoni*, also named *Straelenia? Chaignoni*, as « voisines ». The generic assignment of *Rhynchonella Chaignoni* will be discussed by the author in a forthcoming publication.

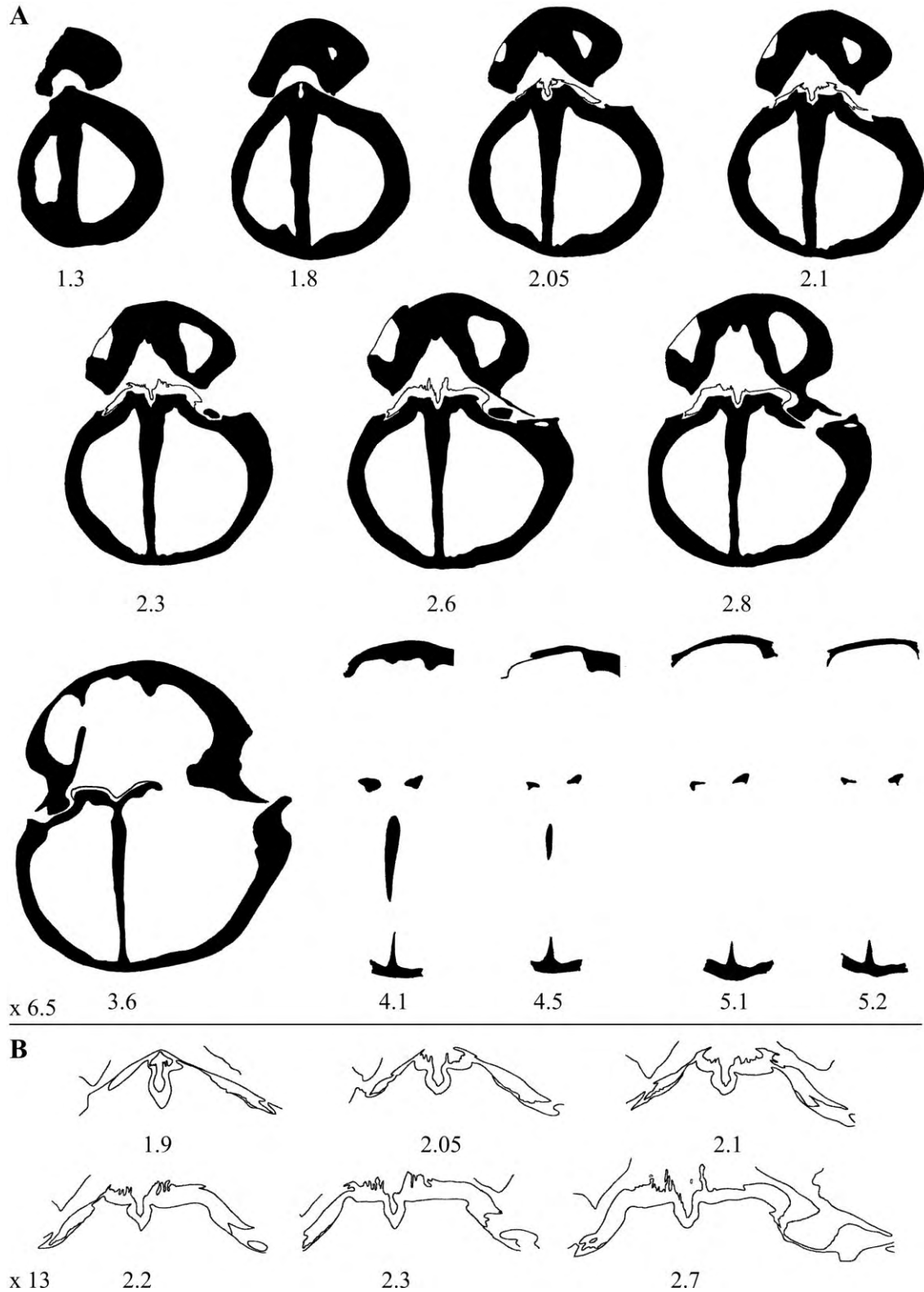


Fig. 1. — *Meduanarostrum letissieri* (Oehlert, 1877). Camera lucida drawings of serial transverse sections; figures are distances in mm forward of the ventral umbo. Topotype H, ML-PAL-01455. Saint-Germain-le-Fouilloux, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Cénére Formation, Middle Pragian. Measurements: length = 27.8 mm; width = 32.5 mm; thickness = 23.5 mm.

Fig. 1. — *Meduanarostrum letissieri* (Oehlert, 1877). Sections sériées transverses dessinées à la chambre claire; les distances sont en mm depuis l'umbo ventral. Topotype H, ML-PAL-01455. Saint-Germain-le-Fouilloux, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armoricain. Formation de Saint-Cénére, Praguien Moyen. Mesures: longueur = 27.8 mm; largeur = 32.5 mm; hauteur = 23.5 mm.

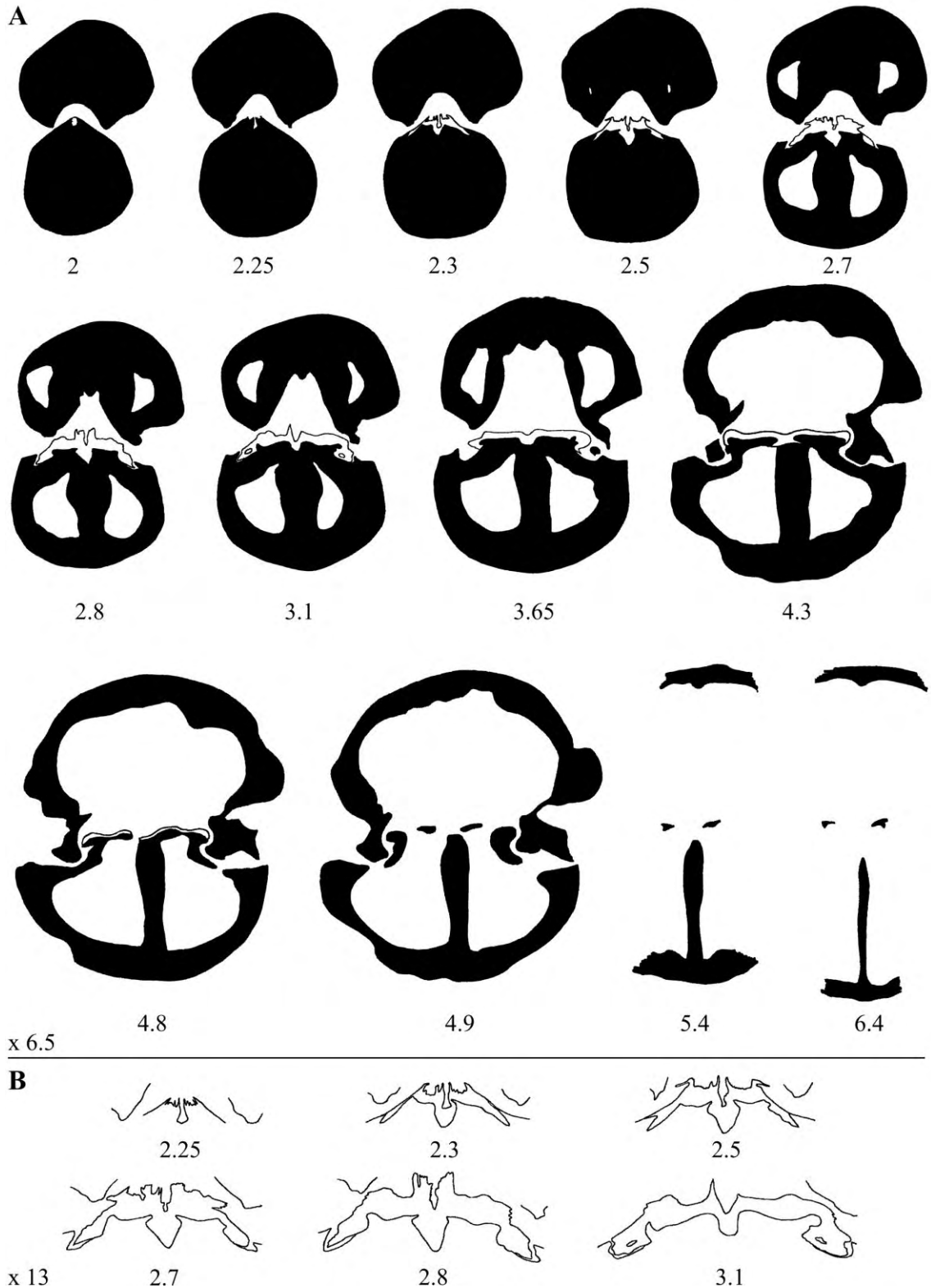


Fig. 2. — *Meduanarostrum letissieri* (Oehlert, 1877). Camera lucida drawings of serial transverse sections; figures are distances in mm forward of the ventral umbo. Topotype I, ML-PAL-01460. La Baconnière, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Céneré Formation, Middle Pragian. Measurements: length = 30.2 mm; width = 35.5 mm; thickness = 23.9 mm.

Fig. 2. — *Meduanarostrum letissieri* (Oehlert, 1877). Sections sériées transverses dessinées à la chambre claire; les distances sont en mm depuis l'umbo ventral. Topotype I, ML-PAL-01460. La Baconnière, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armoricain. Formation de Saint-Céneré, Praguïen Moyen. Mesures: longueur = 30.2 mm; largeur = 35.5 mm; hauteur = 23.9 mm.

Median costae			Parietal costae			Lateral costae		
Number of costae	Number of specimens	%	Number of costae	Number of specimens	%	Number of costae	Number of specimens	%
$\frac{7}{6}$	1	6	$\frac{1-1}{1-1}$	7	41	15+	1	6.5
$\frac{8}{7}$	5	29	$\frac{2-1}{2-1}$	2	12	$\frac{16}{17}$	1	6.5
$\frac{9}{8}$	6	35	$\frac{2-2}{2-2}$	7	41	17+	4	27
$\frac{10}{9}$	2	12	$\frac{3-3}{3-3}$	1	6	$\frac{17}{18}$	1	6.5
$\frac{11}{10}$	2	12		17	100	$\frac{18}{19}$	1	6.5
$\frac{12}{11}$	1	6				$\frac{19}{20}$	2	13.5
	17	100				$\frac{20}{21}$	2	13.5
						$\frac{24}{25}$	3	20
							15	100

Tab. I — *Meduanarostrum letissieri* (Oehlert, 1877). Number of median, parietal, and lateral costae.

Tabl. I — *Meduanarostrum letissieri* (Oehlert, 1877). Nombre de plis médians, pariétaux et latéraux.

in mm	Topotype A ML-PAL 01453	Topotype B ML-PAL 01454	Topotype E ML-PAL 01461	Topotype D ML-PAL 01464	Topotype C ML-PAL 01451	Topotype F ML-PAL 01459	Topotype J ML-PAL 01452	Topotype K ML-PAL 01456	Topotype L ML-PAL 01457	Topotype G ML-PAL 01462
l	40.7	39.1	40.7	36.7	(37.7)	35.2	(35)	(33.9)	33.2	32.1
vv unrolled	53.5	52.5	57	53	(47)	51	(46.5)	(41)	43.5	41.5
w	39.8	40.8	35.4	39.1	37.8	35.6	34.5	31.4	30.4	32
t	26.6	26.2	29.3	27.2	22	26.4	26.5	22.1	26	20.6
vv	8.1	9	9.8	7.8	6	12	11	7.6	9	9.7
tdv	18.5	17.2	19.5	19.4	16	14.4	15.5	14.5	17	10.9
l/w	1	0.96	1.15	0.94	(1)	0.99	(1)	(1.08)	1.09	1
t/w	0.67	0.64	0.83	0.70	0.58	0.74	0.77	0.70	0.86	0.64
t/l	0.65	0.67	0.72	0.74	(0.58)	0.75	(0.76)	(0.65)	0.78	0.64
Apical angle	117°	125°	102°	115°	117°	108°	?	?	(115°)	107°

Tab. II — *Meduanarostrum letissieri* (Oehlert, 1877). Measurements of ten specimens; figures in parentheses are reasonable estimates on damaged specimens. Abbreviations: l = length; w = width; t = thickness; vv = ventral valve; dv = dorsal valve.

Tabl. II — *Meduanarostrum letissieri* (Oehlert, 1877). Mesures de dix spécimens; les mesures entre parenthèses sont des estimations raisonnables sur des spécimens endommagés. Abréviations: l = longueur; w = largeur; t = hauteur; vv = valve ventrale; dv = valve dorsale.

Stratigraphic range and geographic distribution

Meduanarostrum letissieri is found in the middle Pragian in the southeastern part of the « Département de la Mayenne » in the Laval Synclinorium, Armorican Massif (see Material for details).

III. — DISCUSSION ON THE RANGE AND DISTRIBUTION OF *MEDUANAROSTRUM LETISSIERI*

The first expression referring to a level containing *Athyris undata* is due to de Tromelin & Lebesconte (1876, p. 165),

who mentioned the « Calcaires à *A. undata* » of Gahard, Izé, La Baconnière, etc., often mixed with shales, in the « Département d'Ille-et-Vilaine », and in the whole of Brittany. Oehlert (1877, p. 597, 601 ; 1882, p. 275, 288), and Oehlert (1889, p. 744, 745, 753, 755, 773, 778) were early users of similar terms: « Calcaire à *Spirigera undata* », « Calcaires à *Spirifer Rousseau* et *Athyris undata* », and « Calcaire à *A. undata* ».

In the Laval Synclinorium, this hybrid bio-, litho-, chronostratigraphic unit of the Lower Devonian has been widely used, and is still used under various names in the literature of the Armorican Massif, notably in the « Synclinorium Médian Armoricain » of Central Brittany: « calcaire à *A. undata* », « calcaires à *A. undata* », and more

generally as « schistes et calcaires à *A. undata* » or « Schistes et Calcaires à *A. undata* ». The unit has traditionally been considered as Middle Siegenian in age, and lying above a similarly vaguely defined Lower Siegenian « Grès à *Orthis Monnieri* » or « Grès à *Dalmanella monnieri* ».

Depending on its location in the Armorican Domain (North-, Central-, and South Armorican Domain) and on the author, the « Schistes et Calcaires à *Athyris undata* » or parts of them have sometimes been considered as belonging to the Lower or Upper Siegenian, and even to the Lower Emsian.

In a comparison between the Early Devonian of the “Eastern Iberian Chains and the east of Guadarrama”, Province of Aragón, and Brittany (three localities are specifically referred to: Saint-Cénére, Laval Synclinorium, « Département de la Mayenne »; Lanvéoc, « Rade de Brest », « Département de la Finistère »; and near Angers, Saint-Julien de Vouvantes – Angers Synclinorium, « Département de Maine-et-Loire »), Carls (1971, p. 195, 197-198, 204-206) stated that the « Schistes et Calcaires à *A. undata* » ranged from “deep Gedinnian to Middle Siegenian”, the « Grès à *Orthis monnieri* » being of “Lower Gedinnian” age, because of similarity to the Nogueras Formation in their fauna, lithology and stratigraphic position. Carls based the “deep Gedinnian” correlation on conodonts, and the Upper Gedinnian-Middle Siegenian one on the evolution of the brachiopod *hystericus*- and *rousseaui*-groups. Carls in Brice *et al.* (2000, p. 77) went a step further in considering that “the formerly substage-like Armorican « Schistes et Calcaires à *Athyris undata* », now obsolete, have rich faunas that were used by error to date the “middle Siegenian”.

In the Laval Synclinorium, Racheboeuf (1976, p. 28, 30) proposed to substitute the « Formation de Saint-Cénére » for the designation « Schistes et Calcaires à *A. undata* », but this substitution was not accompanied by a better definition of the age of the unit. Commenting on the Lower Gedinnian age assigned by Carls to the lower part of the « Schistes et Calcaires à *A. undata* », Racheboeuf (1976, p. 31-32) stated that no decisive argument could be used for dating the base of the Saint-Cénére Formation, because, with the exception of the Saint-Cénére, L’Asnerie and Sablé sections, nothing allowed to believe that the beginning of the carbonate sedimentation was synchronous in the whole Laval Synclinorium. Racheboeuf gave a Siegenian age to the top of the formation at Montguyon based on identification of a conodont subspecies, *Icriodus hudlei curvicauda* Carls & Gandl, 1969, by Bultynck. This taxon is now considered of late Siegenian age by Bultynck (oral communication).

In the « Mémoire de la Société géologique et minéralogique de Bretagne » (coordinator: Lardeux, H.), published the same year (1976) and devoted to the « Étude des schistes et calcaires éodévoniens de Saint-Cénére », the Saint-Cénére Formation (p. 4, 5, fig. 2, p. 6) begins in “the Upper Lochkovian (upper part of the lower Gedinnian)”, and “extends into the Pragian (Siegenian)”. In the many publications by French geologists between 1976 and 1995, an Upper Lochkovian-Lower Pragian age is favoured for the « schistes et calcaires à *A. undata* » in the Laval Synclinorium.

The author considers that *Medunarostrum letissieri* is to be found in the segment of the Saint-Cénére Formation corresponding to the middle Pragian [Remark: the species has

not been found by Drot & L’Hotellier (1976) in the road-cut section 700 m south of the village of Saint-Cénére in spite of careful collecting. Some indirect information provided by a collection from the Eastern Iberian Chains (see above) supports this declaration].

Here follows a list of localities in which the presence of *letissieri* has been mentioned in and outside the Armorican Massif:

1 - « Département de la Mayenne » (west-central part)

Oehlert, 1877, p. 597, 601, pl. X, figs 11, 11a as *Rhynchonella Le Tissieri*, « Calcaire à *Spirigera undata* », middle part of the Lower Devonian; 1882, p. 290 as *R. Le Tissieri*, calcaire dévonien; Oehlert & Davoust, 1879, p. 705 as *R. Le Tissieri*, Lower Devonian; Renaud, 1935, pp. 5-6 as *Camarotoechia Le Tissieri*, a few km NE Argentré (on the Jouanne River), Siegenian; 1942, 1st fasc., p. 69 as *Straelenia Le Tissieri*, La Baconnière, « Schistes et Calcaires à *Athyris undata* », Middle Siegenian, p. 101, 102 as *Straelenia Le Tissieri*, Grand Monceau near Argentré and Saint-Germain-le-Fouilloux, lower horizon (level) of the « grauwackes de la Mayenne », Upper Siegenian; 1942, 2nd fasc., p. 114-115, table, p. 358-359 as *S. Le Tissieri*, notably around Argentré, « Schistes et calcaires à *Athyris undata* », and Siegenian limestones; Brice in Morzadec *et al.* 1988, p. 52 as *Rhynchonella le tissieri*, La Roussière quarry, SW Saint-Germain-le-Fouilloux, Pragian.

2 - Outside the « Département de la Mayenne »

2a - In the nearby « Département de la Sarthe »

Barrois, 1882, p. 269 as *R. Letisseri*, « Aux Cortoisiers »; Renaud, 1942, 1st fasc., p. 78-79, 80 as *Straelenia Le Tissieri*, « Schistes et calcaires dévoniens de la Sarthe », including species of Siegenian, Emsian, and even Middle Devonian age.

2b - In the Saint-Julien-de-Vouvantes-Angers Synclinorium, « Département du Maine-et-Loire » et « Département de la Loire-Atlantique »

Barrois, 1887, p. 160 as *Rhynchonella cf. Letissieri*, Erbray, Erbray fauna; 1889, p. 85, 251, 328 as *R. cf. Letissieri*, one specimen in the fauna of the Erbray Limestone and in the « Faune coblenzienne de Bretagne »; Oehlert, 1889, p. 750 as *R. Letissieri*, Limestones in the immediate vicinity of Angers; Couffon, 1925, p. 62 as *R. Le Tissieri*, Saint-Barthélemy (Saint-Malo), « Département du Maine-et-Loire », Upper Coblenzian; Péneau, 1929, p. 229-230, 263 as *R. Le Tissieri*, « Calcaire d’Erbray et Calcaire d’Angers », Lower Devonian; Renaud, 1942, 2nd fasc., p. 114-115, 322-323 as *Straelenia Le Tissieri*, « calcaires d’Erbray » and « calcaires d’Angers », « Département de Loire-Inférieure » (now « Département de la Loire-Atlantique »), Lower Devonian; Pillet (1962, p. 53 as *S. le tissieri*), « Calcaire de Saint-Malo (Calcaire d’Angers) », Emsian.

2c- « Département du Finistère »

Renaud (1942, fasc. 1, p. 84, 89-90 as *Straelenia Le Tissieri*), Run-ar-Chranc, « Grauwacke du Faou » corresponding to the Lower Greywacke of the « Département de la Mayenne » (see above) = « niveau stratigraphique légèrement supérieur à celui des schistes et calcaires à *Athyris*

undata », probably Upper Siegenian [the internal cast of one specimen assigned to the species had already been mentioned by Collin (1912, p. 42-44, 415) in his published doctoral thesis at « la pointe Est de Run-ar-Chranc » in the « Troisième subdivision du Coblentzien supérieur » (= third subdivision from base of the five subdivisions recognized by him in the « Coblentzien supérieur »), equivalent to the « Grauwacke du Faou »]; Renaud (1942, fasc. 2, p. 114-115, table, p. 358-359 as *Straelenia Le Tissieri*), E Run-ar-C'hranc, Siegenian greywackes and limestones.

3 - Outside the Armorican Massif

3a - Neufchâteau Synclinorium (SE southern Ardennes)

Asselberghs (1913a, p. 201, 202, table, p. 209; 1913b, p. 29-30, 108-109, table, p. 128; and Duvigneaud (1913, p. 183, table, p. 184-185 as *Rhynchonella Le Tissieri*?). One specimen collected by Duvigneaud in the vicinity of Longlier from the « quartzophyllades de Royvaux » (corresponding to the « quartzophyllades de Longlier »), Lower Hunsrückian (Upper Siegenian). Maillieux (1935, p. 12-13) included the species in the genus *Straelenia* Maillieux, 1935, and put the specimen into the synonymy of *S. minor* (Drevermann 1902). When Maillieux (1936, p. 90) accepted Wolf's (1930, p. 68, 93) point of view that *Rhynchonella Dannenbergi* Kayser, 1880 mut. *minor* Drevermann, 1902 is a synonym of *R. Dunensis* Drevermann, 1902, he considered (p. 9) this specimen as a “very developed specimen of *S. dunensis*”, and, consequently, Maillieux (1941, p. 37) placed it into the synonymy of that species.

3b - Cantabrian Cordillera (Asturias)

Barrois (1882, p. 269, 473, 485, table, p. 503 as *R. Letissieri*), two incomplete specimens from the Arnao Limestone, Eifelian, and Nieva Limestone, Siegenian; Llopis Lladó (1961, p. 265 as *R. letissieri*), Cabo de Peñas, Nieva limestones, Upper Siegenian.

3c - Central Morocco

Termier, 1936, p. 309-310, 323, 1136 as *R. Letissieri*, one specimen from the « Calcaire de Sidi-Ahroun à *Pentamerus*

Sieberi » (Siegenian according to Maillieux), considered by Termier as the Moroccan “replica” of the Erbray Limestone.

IV. — CONCLUSIONS

The « schistes et calcaires à *A. undata* » should be properly replaced by well defined litho- or biostratigraphic units, and thus restricted or expanded, in the various localities where they have been referred to.

Precise stratigraphic information for positioning the species *Medunarostrum letissieri* is still not in sight to say the least. There is no convincing reason for disregarding the traditional Middle Pragian age given to the « schistes et calcaires à *A. undata* » on the right flank of the Mayenne River Valley North of Laval, where the lectotype of the species comes from.

All mentions of *letissieri*, with the exception of those in the western part of the “Département de la Mayenne”, are unacceptable. Some are mere citations, others are field identifications or based on collections that do not exist any more or are not available (see Synonymy). Contacts with various museums and universities of Brittany, outside of the « Musée des Sciences », Laval, have been vain. It would have been of interest, in particular, to find out if the species was actually present in the « faune des calcaires des environs immédiats d'Angers », where Oehlert (1889, p. 750), the founder of the species, mentioned its presence; Angers lies only 70 km south of Laval.

Acknowledgements. — This paper could not have been written without the full support of Mr Jérôme Tréguier in charge of the scientific collections of the « Musée des Sciences » of Laval, France, who generously put the only available collection of *Medunarostrum letissieri* at the author's disposal. He also actively participated in exploring the possibility of more specimens of that species being housed in museums and universities of Brittany. Comments on the paper by Mr Rémy Gourvenec (Université de Rennes, France) and Mrs Denise Brice (Université Catholique de Lille, France), who kindly accepted to act as referees, are gratefully acknowledged.

BIBLIOGRAPHY

- ASSELBERGHS E. (1913a). — Description des fossiles découverts par M. J. Duvigneaud aux environs de Neufchâteau. *Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, 26 (1912): M189-213.
- ASSELBERGHS E. (1913b). — Le Dévonien inférieur du bassin de l'Eifel et de l'anticlinal de Givonne dans la région Sud-Est de l'Ardenne belge. *Mémoires de l'Institut Géologique de l'Université de Louvain*, 1: 1-175.
- BARROIS C. (1882). — Recherches sur les terrains anciens des Asturias et de la Galice. *Mémoires de la Société géologique du Nord*, 2 (1): 1-630.
- BARROIS C. (1887). — Note préliminaire sur la Faune d'Erbray (Loire-Inférieure). *Annales de la Société géologique du Nord*, 14 (1886-1887): 158-164.
- BARROIS C. (1889). — Faune du calcaire d'Erbray (Loire Inférieure). Contribution à l'étude du terrain dévonien de l'Ouest de la France. *Mémoires de la Société géologique du Nord*, 3: 1-348.
- BRICE D., CARLS P., COCKS L.R.M., COPPER P., GARCÍA-ALCALE J.L., GODEFROID J. & RACHEBOEUF P.R. (2000). — Brachiopoda. In: BULTYNCK P. (ed.), Fossil groups important for boundary definition. Subcommission on Devonian Stratigraphy. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 220: 65-86.
- CARLS P. (1971). — Stratigraphische Übereinstimmungen im höchsten Silur und tieferen Unter-Devon zwischen Keltiberien (Spanien) und Bretagne (Frankreich) und das Alter des Grès de Gdumont (Belgien). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, 4: 195-212.
- COLLIN L. (1912). — Étude de la région dévonienne occidentale du Finistère. Université de Paris, Thèse de Doctorat ès Sciences naturelles (15 juin, 1912): 469 p.
- COUFFON O. (1925). — Le Dévonien en Maine-et-Loire. *Bulletin de la Société d'Études Scientifiques d'Angers*, 54 (1924): 33-98.
- DREVERMANN F. (1902). — Die Fauna der Untercoblentzschichten von Oberstadtfeld bei Daun in der Eifel. *Palaeontographica*, 49: 73-119.

- DROT J. (1964). — Rhynchonelloidea et Spiriferoidea siluro-dévonien du Maroc pré-saharien. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 178.
- DROT J. & L'HOTELLIER J. (1976). — Les Brachiopodes Rhynchonellida. In: LARDEUX, H. (coordinateur), Les schistes et calcaires éodévonien de Saint-Cénére (Massif Armoricaïn, France). Sédimentologie, paléontologie, stratigraphie. *Mémoires de la Société géologique et minéralogique de Bretagne*, 19: 263-271.
- DUVIGNEAUD J. (1913). — L'âge des couches de Royvaux. *Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, 26 (1912): 159-187.
- FISCHER de WALDHEIM G. (1809). — Notice sur des fossiles du Gouvernement de Moscou, 1, Sur les coquilles fossiles dites Térébratules. - Invitation à la séance publique de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou, le 26 octobre 1809. *Société Impériale des Naturalistes de Moscou*, Moscou: 35 p.
- HALL J. (1857). — Descriptions of new species of Palaeozoic fossils from the Lower Helderberg, Oriskany sandstone, Upper Helderberg, Hamilton and Chemung groups, extracted from Report of the Regents of the University for 1856. Albany, Charles van Benthuyssen: 146 p.
- HALL J. & CLARKE J.M. (1893-1894). — Natural History of New York, Part VI, Palaeontology, vol. VIII: An introduction to the study of the genera of Palaeozoic Brachiopoda, Part II. Geological Survey of the State of New York, Albany.
- KAYSER E. (1880). — Über hercynische und silurische Typen im rheinischen Unterdevon. *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft*, 32 (4): 819-821.
- KAYSER E. (1883). — Beschreibung einiger neuen Goniatiten und Brachiopoden aus dem rheinischen Devon. *Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft*, 35 (1): 306-317.
- KRANTZ A. (1857). — Ueber ein neues bei Menzenberg aufgeschlossenes Petrefakten-Lager in den devonischen Schichten. *Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins des preussischen Rheinlandes und Westfalens*, 14: 143-165.
- KUHN O. (1949). — Lehrbuch der Paläozoologie. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- LARDEUX H. (coordinateur) (1976). — Les schistes et calcaires éodévonien de Saint-Cénére (Massif Armoricaïn, France). Sédimentologie, paléontologie, stratigraphie. *Mémoires de la Société géologique et minéralogique de Bretagne*, 19 : 329 p.
- LLOPÍS LLADÓ N. (1961). — Estudio geológico de la región del Cabo de Peñas (Asturias). *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 72: 233-348.
- MAILLIEUX E. (1935). — Contribution à la connaissance de quelques Brachiopodes et Pélécypodes dévonien. *Mémoires du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, 70: 42 p.
- MAILLIEUX E. (1936). — La faune des quartzophyllades siegenien de Longlier. *Mémoires du Musée royal des Sciences naturelles de Belgique*, 73: 141 p.
- MAILLIEUX E. (1941). — Les Brachiopodes de l'Emsien de l'Ardenne. *Mémoires du Musée royal d'Histoire Naturelle de Belgique*, 96: 74 p.
- MORZADEC P., PARIS F. & RACHEBOEUF P. (1988). — Lower Devonian of the Armorican Massif. Guidebook of the Field Meeting. International Union of Geological Sciences, Subcommission on Devonian Stratigraphy, Brest – Rennes: 55 p.
- OEHLERT D. (1877). — Sur les fossiles dévonien du département de la Mayenne. *Bulletin de la Société géologique de France*, 5 (1876 à 1877): 578-603.
- OEHLERT D. (1882). — Notes géologiques sur le département de la Mayenne. *Bulletin de la Société d'Études scientifiques d'Angers*, 11-12 (1881-1882): 225-372.
- OEHLERT D.- P. (1889). — Sur le Dévonien des environs d'Angers. *Bulletin de la Société géologique de France*, 17 (9): 742-791.
- OEHLERT D. & DAVOUST F. (1879). — Sur le Dévonien du département de la Sarthe. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7 (1878-1879): 697-717.
- PÉNEAU J. (1929). — Études stratigraphiques et paléontologiques dans le Sud-Est du Massif armoricaïn (Synclinal de Sant-Julien-de-Vouvantes). *Bulletin de la Société des Sciences naturelles de l'Ouest de la France*, 8 (1928) (1-4): 1-300.
- PHILLIPS J. (1841). — Figures and descriptions of the Palaeozoic fossils of Cornwall, Devon and West Somerset. Longman, Brown, Green, & Longmans, London.
- PILLET J. (1962). — Contribution à l'étude du Dévonien Armoricaïn. III. Note préliminaire sur la Faune des Calcaires d'Angers-Erbray. *Bulletin de la Société d'Études scientifiques de l'Anjou*, 3: 46-61.
- RACHEBOEUF P. (1976). — Chonetacea (Brachiopodes) du Dévonien inférieur du Bassin de Laval (Massif Armoricaïn). *Palaeontographica*, Abteilung A, 152 (1-3): 14-89.
- RENAUD A. (1935). — La faune de la grauwacke dévonienne des environs d'Argenté. *Comptes rendus sommaires des séances de la Société géologique de Bretagne*, 2: 5-6.
- RENAUD A. (1942). — Le Dévonien du Synclinorium Médian Brest-Laval. *Mémoires de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne*, 7 (2 vols).
- SARTENAER P. (2009). — Two new late Emsian rhynchonellid (brachiopod) genera from the Eifel area. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, 79: 27-42.
- SCHMIDT H. (1955). — Devonische Gattungen der Rhynchonellacea (Brachiopoda). *Senckenbergiana lethaea*, 36 (1/2): 115-122.
- SOWERBY J. de C. (1839). — Mollusca and Conchifera. In: R. I. MURCHISON, The Silurian System, Part 2: Organic remains: 577-768. London.
- TERMIER H. (1936). — Études géologiques sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional. Tome 1. Les Terrains Primaires et le Permo-Trias. Tome 3. *Paléontologie. Pétrographie*. Imprimerie officielle, Rabat: 1-743, 1083-1421.
- TROMELIN de G. & LEBESCONTE P. (1876). — Observations sur les terrains primaires du nord du département d'Ille-et-Vilaine et de quelques autres parties du massif breton. *Bulletin de la Société géologique de France*, 4 (1875 à 1876): 583-623.
- WOLF M. (1930). — Alter und Entstehung des Wall-Erbacher Roteisensteins (Grube Braut im Hunsrück) mit einer stratigraphischen Untersuchung der Umgebung. *Abhandlungen der Preussischen Geologischen Landesanstalt*, 105 p.

EXPLANATIONS OF PLATE X
EXPLICATIONS DE LA PLANCHE X

All figures are natural size

Toutes les figures sont grandeur naturelle

Meduanarostrum letissieri (Oehlert, 1877)

Fig. 1 – 5. — Topotype A, ML-PAL-01453. Dorsal, ventral, anterior, posterior, and lateral views. La Roussière, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Cénére Formation, Middle Pragian. Coastal formula: $\frac{8}{7}$; $\frac{2-1}{2-1}$; $\frac{19}{20}$.

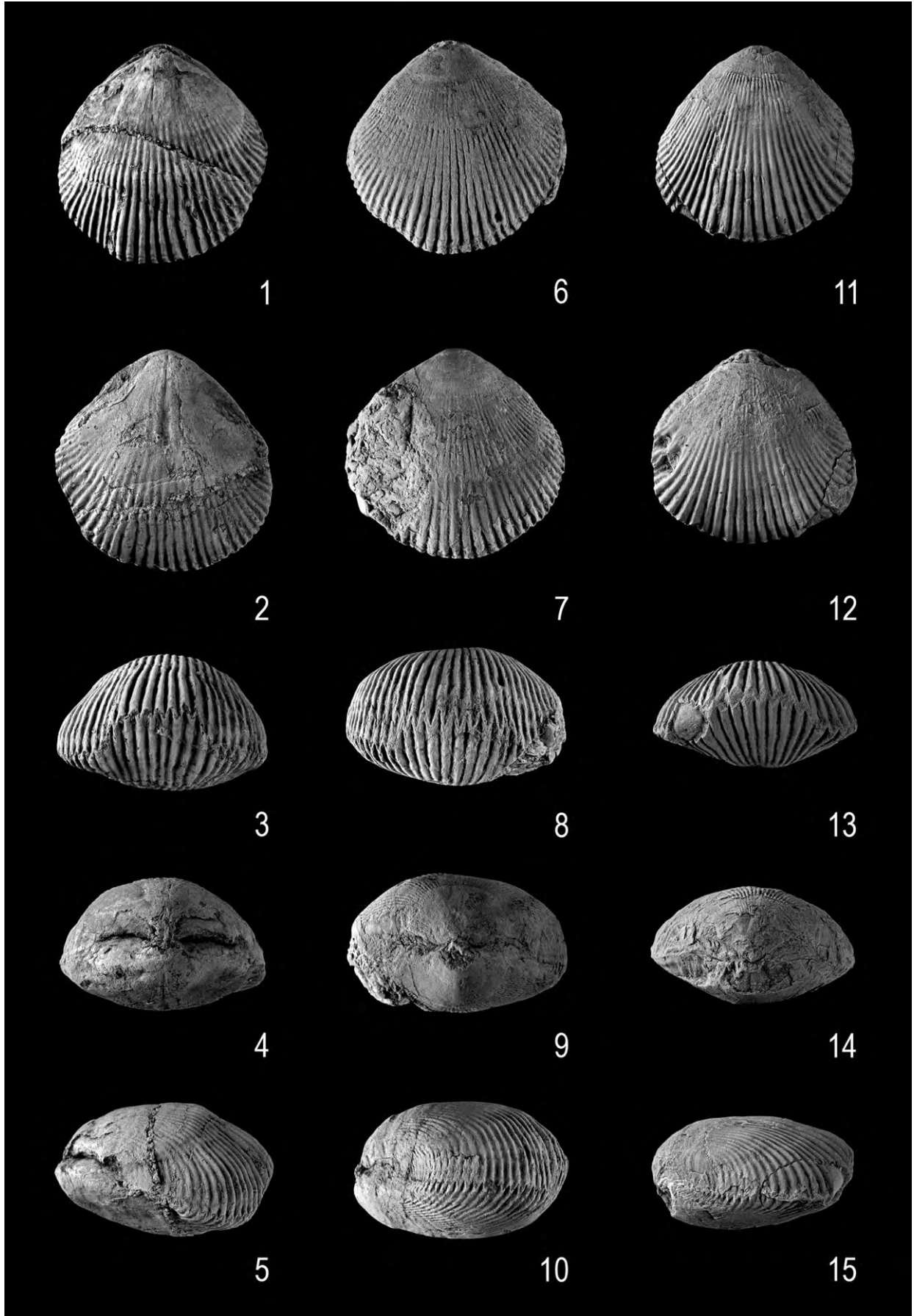
Fig. 1 – 5. — Topotype A, ML-PAL-01453. Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. La Roussière, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armoricain. Formation de Saint-Cénére, Praguien Moyen. Formule des plis: $\frac{8}{7}$; $\frac{2-1}{2-1}$; $\frac{19}{20}$.

Fig. 6 – 10. — Topotype B, ML-PAL-01454. Dorsal, ventral, anterior, posterior, and lateral views. Saint-Germain-le-Fouilloux, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Cénére Formation, Middle Pragian. Coastal formula: $\frac{9}{8}$; $\frac{2-2}{2-2}$; $\frac{24}{25}$. Shows some resemblance to the lectotype.

Fig. 6 – 10. — Topotype B, ML-PAL-01454. Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. Saint-Germain-le-Fouilloux, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armoricain. Formation de Saint-Cénére, Praguien Moyen. Formule des plis: $\frac{9}{8}$; $\frac{2-2}{2-2}$; $\frac{24}{25}$. Montre une certaine ressemblance au lectotype.

Fig. 11 – 15. — Topotype C, ML-PAL-01451. Dorsal, ventral, anterior, posterior, and lateral views. Saint-Germain-le-Fouilloux, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Cénére Formation, Middle Pragian. Coastal formula: $\frac{7}{6}$; $\frac{2-1}{2-1}$; 17+.

Fig. 11 – 15. — Topotype C, ML-PAL-01451. Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. Saint-Germain-le-Fouilloux, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armoricain. Formation de Saint-Cénére, Praguien Moyen. Formule des plis: $\frac{7}{6}$; $\frac{2-1}{2-1}$; 17+.



EXPLANATIONS OF PLATE XI
EXPLICATIONS DE LA PLANCHE XI

All figures are natural size

Toutes les figures sont grandeur naturelle

Meduanarostrum letissieri (Oehlert, 1877)

Fig. 1 – 5. — Topotype D, ML-PAL-01464. Dorsal, ventral, anterior, posterior, and lateral views. La Jaillerie, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Cénére Formation, Middle Pragian. Coastal formula: $\frac{11}{10}$;
 $\frac{2-2}{2-2}$; 17+.

*Fig. 1 – 5. — Topotype D, ML-PAL-01464. Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. La Jaillerie, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armorican. Formation de Saint-Cénére, Praguien Moyen. Formule des plis: $\frac{11}{10}$;
 $\frac{2-2}{2-2}$; 17+.*

Fig. 6 – 10. — Topotype E, ML-PAL-01461. Dorsal, ventral, anterior, posterior, and lateral views. La Jaillerie, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Cénére Formation, Middle Pragian. Coastal formula: $\frac{8}{7}$;
 $\frac{2-2}{2-2}$; $\frac{18}{19}$.

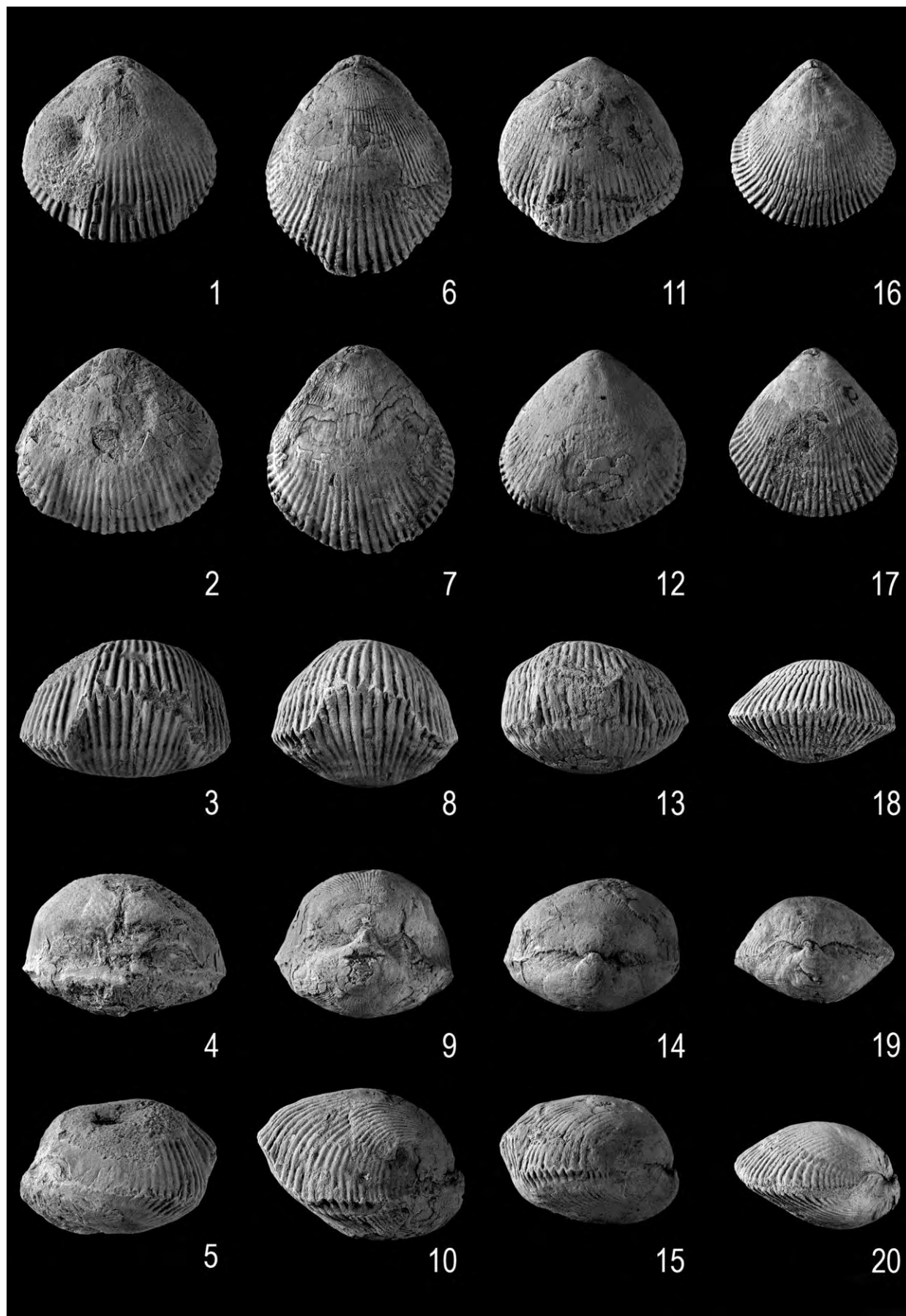
*Fig. 6 – 10. — Topotype E, ML-PAL-01461. Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. La Jaillerie, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armorican. Formation de Saint-Cénére, Praguien Moyen. Formule des plis: $\frac{8}{7}$;
 $\frac{2-2}{2-2}$; $\frac{18}{19}$.*

Fig. 11 – 15. — Topotype F, ML-PAL-01459. Dorsal, ventral, anterior, posterior, and lateral views. Saint-Germain-le-Fouilloux, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Cénére Formation, Middle Pragian. Coastal formula: $\frac{12}{11}$; $\frac{2-2}{2-2}$; $\frac{24}{25}$.

Fig. 11 – 15. — Topotype F, ML-PAL-01459. Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. Saint-Germain-le-Fouilloux, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armorican. Formation de Saint-Cénére, Praguien Moyen. Formule des plis: $\frac{12}{11}$; $\frac{2-2}{2-2}$; $\frac{24}{25}$.

Fig. 16 – 20. — Topotype G, ML-PAL-01462. Dorsal, ventral, anterior, posterior, and lateral views. La Jaillerie, « Département de la Mayenne », Laval Synclinorium, Armorican Massif. Saint-Cénére Formation, Middle Pragian. Coastal formula: $\frac{11}{10}$;
 $\frac{1-1}{1-1}$; 24.

*Fig. 16 – 20. — Topotype G, ML-PAL-01462. Vues dorsale, ventrale, antérieure, postérieure et latérale. La Jaillerie, Département de la Mayenne, Synclinorium de Laval, Massif Armorican. Formation de Saint-Cénére, Praguien Moyen. Formule des plis: $\frac{11}{10}$;
 $\frac{1-1}{1-1}$; 24.*



Commentaire sur l'article « Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet Centrales, Maroc) » de S. Nfissi, Y. Zerhouni, M. Benzaazoua, S. Alikouss, A. Chtaini, R. Hakkou & M. Samir, *Ann. Soc. géol. Nord*, t. 18, p. 43-53, 2011.

Comment on the paper “Characterisation of the tailings of abandoned quarries of Kettara and Roc Blanc (Jebilet central, Morocco)” by S. Nfissi, Y. Zerhouni, M. Benzaazoua, S. Alikouss, A. Chtaini, R. Hakkou & M. Samir, *Ann. Soc. géol. Nord*, t. 18, p. 43-53, 2011.

par Khalid EL AMARI (*), Mohamed HIBTI (*) & Abdelfattah BENKADDOUR (*)

Nfissi *et al.* (2011) présentent un travail dont l'objectif est de montrer le potentiel polluant des déchets miniers des anciennes mines de Kettara et Roc Blanc. Leur approche consiste à caractériser les résidus solides des deux mines et à leur faire subir des tests de lixiviation. Les résultats de ces tests et les mesures de perméabilités sont utilisés pour montrer le potentiel de pollution des eaux par le drainage minier acide et les métaux lourds.

Concernant l'échantillonnage, les auteurs ne semblent pas avoir pris en considération l'hétérogénéité des matériaux, car ils auraient dû distinguer, au niveau du site de Kettara, les minéraux de l'encaissant, la minéralogie primaire du gisement (paragenèse sulfurée) et les minéraux secondaires (oxydes, hydroxydes et sulfates). Ces derniers sont reconnaissables à l'œil nu et couvrent toute la surface du site. Parmi ces minéraux secondaires, seule la goethite a été identifiée par les auteurs. Au niveau de Roc Blanc, les minéraux présents dans ces tas sont : quartz, pyrite, pyrrhotite, sidérite, sphalérite, chalcopryrite, freibergite, galène, dolomite, calcite, pyrargyrite, stéphanite et phengite, dans un encaissant pelitique, avec des silicates (séricite, chlorite, biotite, muscovite) (Essarraj *et al.*, 2011).

D'après les analyses chimiques, effectuées sur les mêmes échantillons ayant servi pour la diffraction des rayons X (Nfissi *et al.*, 2011, tableau III), certains éléments chimiques présentent des teneurs trop faibles pour que les phases minérales qui les portent soient identifiées par DRX (galène, chalcopryrite, calcite, feroan par exemple). Il aurait été plus judicieux de présenter la minéralogie par échantillon pour avoir une idée sur la répartition spatiale des minéraux. On pourrait également compléter et comparer ces résultats avec les analyses chimiques de leur tableau III. Sur leur figure 3, les auteurs (Nfissi *et al.*, 2011), présentent les mêmes références (KT1, KT2 et KT 3) à deux endroits différents. Ils choisissent, pour montrer le potentiel d'impact des solides entreposés sur la nappe phréatique, deux points d'échantillonnage des eaux souterraines (puits Kp1 et Kp2) en aval de l'usine de Kettara. Sur le terrain, l'aval de l'usine (dans le sens hydrologique et hydrogéologique) se trouve vers le sud-ouest, et non vers le nord-est (Fahdi *et al.*, 2010). Les points d'échantillonnage en question, tels qu'ils sont mentionnés sur la carte, n'existent pas sur le terrain ; le puits le plus proche, dans cette direction par rapport aux tas et la piste, se trouve à environ 700 m au nord-est de Kp1 et Kp2 et

de l'autre côté de la piste. Deux autres puits, distants l'un de l'autre d'une dizaine de mètres, se trouvent à environ 650 m au sud-est et toujours en amont des tas (Fig. 1). L'absence de Cd et de Hg ou leur présence dans les eaux de ces puits, ne peut pas apporter une preuve sur l'effet des résidus, puisqu'ils sont hors de leur influence de par leur position en amont. Les travaux de Fahdi *et al.* (2010) montrent bien que les eaux de surface au pied des haldes sulfurées de Kettara sont acides (pH de 2 à 3) et que leur influence chimique sur les eaux souterraines en aval est surtout due aux sulfates. Il n'y a cependant aucune trace des métaux lourds dans ces eaux. Toughzaoui *et al.* (2012) ont montré que l'effet des haldes sulfurées n'est pas seul, mais combiné à celui des eaux usées du village de Kettara, déversées juste en aval du site. La qualité chimique de ces eaux est de potabilité moyenne (selon les normes marocaines), avec une aptitude moyenne à l'irrigation (selon les diagrammes de Riverside) et une bonne qualité pour l'élevage (selon les normes de McKeen) (Toughzaoui *et al.*, 2009).

Au niveau du site de Roc Blanc, les auteurs choisissent également deux points d'échantillonnage des eaux souterraines (RBe1 et RBe2), récoltés à une distance de 500 m l'un de l'autre à l'aval des résidus. Ces puits se trouvent, selon la carte, entre les tas de résidus, et selon l'échelle présentée, la distance entre eux est beaucoup plus courte. Sur le terrain, le puits RBe1 n'existe pas, mais il y en a un qui se trouve à une quarantaine de mètres de RBe2.

Les tests de lixiviation, sont généralement destinés à prévoir le largage de certains polluants dans la nature. Dans le cas des mines de Kettara et Roc Blanc, les résidus sont sur place depuis longtemps (trente ans pour Kettara), les tests de lixiviation ne sont pas nécessaires puisqu'on peut avoir directement les informations sur l'effet des solides sur les eaux de surface et souterraines. Les auteurs, au niveau de la conclusion de l'article, se focalisent sur le potentiel de pollution des eaux par les résidus solides. Ils en consacrent la moitié pour mettre en évidence l'urgence de l'atténuation des effets du Drainage Minier Acide et justifier des études en cours. Ces études proposent la « stabilisation des rejets miniers par des stériles riches en calcaires, issus de l'exploitation des phosphates » à partir de résultats de tests permettant d'identifier le potentiel de pollution des eaux (génération de DMA) et non pas la pollution elle-même.

(*) Laboratoire Géoresources, URAC 42, Faculté des Sciences et Techniques Marrakech BP. 549, Bd Abdelkarim Khattabi, Guéliz, 40000 Marrakech (Maroc). Courriels : elamari@fstg-marrakech.ac.ma; hibti@fstg-marrakech.ac.ma ; abbfattah@yahoo.fr.

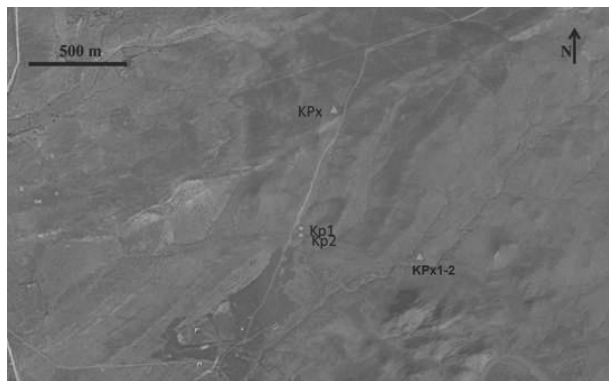


Fig.1. — Localisation des puits KPx et KPx1-2 par rapport à Kp1 et Kp2, Jebilet centrales, Maroc.

Fig.1 - Location of KPx and KPx1-2 wells as compared to Kp1 and Kp2 wells, central Jebilet, Morocco.

Pour le site de Kettara, les projets de réhabilitation, en vue de réduire le DMA, semblent inutiles, sauf si les auteurs les intègrent dans une stratégie globale d'adaptation au changement climatique en prévision d'événements pluviométriques intenses, car, jusqu'à présent le climat semi-aride a joué en faveur de la limitation du lessivage et des infiltrations. Les forts taux d'évaporation dans la région favorisent la formation de minéraux secondaires qui piègent les métaux lourds et forment une couche qui imperméabilise les milieux récepteurs des solutions acides (Fig. 2), ces milieux sont essentiellement des schistes fracturés. Les eaux des puits influencées par les sulfates provenant des résidus de Kettara peuvent être utilisées dans l'élevage et l'irrigation, la réhabilitation ne concernera pas la pollution par les eaux usées du village et enfin, le village de Kettara est relié au réseau d'eau potable contrôlé par l'Office National de l'Eau Potable Marocain (ONEP). L'alimentation du village est assurée par un puits se trouvant à environ 2,7 Km, à vol d'oiseau, en aval des tas. Pour le site de Roc Blanc, Les travaux présentés par Nfissi *et al.* (2011) méritent d'être approfondis et sont par conséquent insuffisants pour justifier des travaux de réhabilitation. Les auteurs doivent mettre en évidence la pollution spatiale et temporelle qu'engendreraient les résidus dans la chimie des eaux.

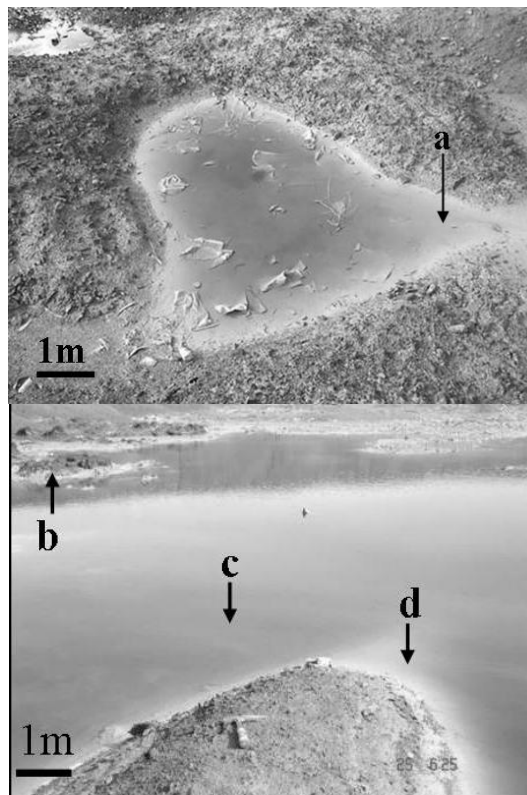


Fig. 2. — Accumulation d'eaux acides dans le site de Kettara. **a** - Détail de la couche formée par les minéraux secondaires, apparus lors de l'évaporation des eaux de la saison pluvieuse précédente et partiellement remis en solution par les eaux de la présente saison ; **b** - Sol schisteux fracturé ; **c** - Eaux acides provenant du lessivage des tas et de la remise en solution partielle des minéraux secondaires ; **d** - Couche imperméable de minéraux secondaires couvrant le sol schisteux, bloquant ainsi l'infiltration des eaux acides vers la nappe phréatique.

Fig. 2. — Acid water accumulation in the site of Kettara. a - Details of the layer formed by secondary minerals, which appeared by evaporation of water from the previous rainy season, and were partially leached by the waters of this season; b - Fractured schist; c - Acidic waters from the heap and partial leaching of secondary minerals; d - Impermeable layer of secondary minerals covering the slaty ground, blocking the acid water infiltration into the groundwater.

BIBLIOGRAPHIE

- ESSARRAJ S., LEISEN M., BOIRON M.C., CATHELINEAU M. & HIBTI M. (2011). — Minéralogie et géochimie des fluides minéralisateurs du gisement argentifères de Roc Blanc, Jebilet, Maroc. *In* : 7^{ème} Colloque International « Magmatisme, Métamorphisme et Minéralisations associées » (3MA, Kénitra, 29-30 Mai 2011). Résumé : 29.
- FAHDI G., GUERMOULI H., BENKADDOUR A., EL AMARI K., HIBTI M., MARAH H., RAIBI F. & TOUGHZAOU S. (2010). — Incidence du drainage minier acide sur la qualité des eaux souterraines au niveau de la mine de Kettara ; hydrogéochimie élémentaire et isotopique. *In* : *Integrated Water Resources Management and Challenges of the Sustainable Development* (Second International Conference, Agadir, 24–26 March 2010). Résumé : 23.
- NFISSI S., ZERHOUNI Y., BENZAAZOUA M., ALIKOUSS S., CHTAINI A., HAKKOU R. & SAMIR M. (2011). — Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet Centrales, Maroc). *Ann. Soc. géol. Nord*, **18** : 43-53.
- TOUGHZAOU S., EL AMARI K., BENKADDOUR A., HIBTI M., MARAH H. & RAIBI F. (2009). — Etude de la qualité des eaux souterraines de la région de Kettara (Maroc). *In* : 2^{ème} congrès international « Eaux, Déchets et Environnement union des pays de la méditerranée » (Eljadida, Maroc, 12-13 novembre 2009). Résumé : 122.
- TOUGHZAOU S., BENKADDOUR A., EL AMARI K., HIBTI M., MARAH H. & RAIBI F. (2012). — Incidence du drainage minier acide sur la qualité des eaux souterraines au niveau de la Mine de Kettara ; hydrogéochimies élémentaire et isotopique. *In* : *Integrated Water Resources Management and Challenges of the Sustainable Development* (Second International Conference, Agadir, 24–26 March 2010). *Proceedings. IHP-VII Series on Groundwater*, **4**: 209-214 ; UNESCO, Paris.

REPONSE AU COMMENTAIRE SUR L'ARTICLE « Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet centrales, Maroc) » de S. NFISSI *et al.*, Ann. Soc. Geol. Nord, t. 18, p. 43-53, 2011 par Khalid El Amari, Mohamed Hibti & Abdelfattah Benkaddour

ANSWER TO THE COMMENT ON THE PAPER "Characterisation of the tailings of abandoned quarries of Kettara and Roc Blanc (Jebilet central, Morocco)" by S. Nfissi *et al.*, Ann. Soc. géol. Nord, t. 18, p. 43-53, 2011 by Khalid El Amari, Mohamed Hibti & Abdelfattah Benkaddour

par Samiha NFISSI (*,****), Youssef ZERHOUNI (*,****), Mostafa BENZAAZOUA (**,****), Saida ALIKOUSS (*,****), Abdessadek CHTAINI (*,****), Rachid HAKKOU (***,****) & Mohamed SAMIR (*)

Il nous a été donné de faire le constat de l'intérêt particulier qu'a suscité notre article auprès de nos collègues de l'université de Marrakech. Nous tenons à les remercier pour avoir consacré tout le temps qu'il fallait à la lecture et aux critiques du dit article, et nous pensons que ce fait constitue une pratique louable. Notre réponse s'inscrit dans le souci de compléter les informations sur les deux sites de Kettara et de Roc Blanc dans les Jebilet au Maroc, et de poursuivre les études dans le but de proposer des scénarios qui permettraient d'atténuer le phénomène du drainage minier acide (DMA). Le choix du scénario de réhabilitation le plus approprié pour un parc à résidus miniers nécessite la caractérisation préalable des résidus et l'évaluation de leur potentiel générateur d'acide (El Adnani *et al.*, 2009). Il est actuellement admis que les rejets miniers génèrent des lixivats acides, chargés de métaux lourds, qui peuvent être toxiques pour les écosystèmes dans lesquels ils se déversent. Plus encore, le DMA ne s'arrête jamais de lui-même. Il a tendance à se poursuivre pendant plusieurs dizaines, voire milliers d'années, une fois déclenché (Aubertin *et al.*, 2002). Le stockage et la production de l'acidité peuvent donc être à l'origine de la continuité du DMA même après l'arrêt de l'oxydation des sulfures.

L'échantillonnage effectué dans les deux sites a été aléatoire, simple comme il en est de coutume dans les résidus miniers solides. Il n'a pas été question de faire un triage et encore moins un échantillonnage à caractère légal. Nous avons relevé les coordonnées des puits dans les deux sites :

A Kettara :	Kp ₁	X = 238388	-	Y = 145566
	Kp ₂	X = 238370	-	Y = 145574
A Roc Blanc :	Rbe ₁	X = 252566	-	Y = 145566
	Rbe ₂	X = 253023	-	Y = 136381

Les puits existent bel et bien et on y a fait notre échantillonnage ; seulement, ils peuvent être légèrement décalés lors de leur report sur la carte en raison des différences d'échelles. Pour ce qui est des échantillons Kt₁, Kt₂ et Kt₃, se trouvant au SE de la mine de Kettara, il faut lire Kt₆, Kt₇ et Kt₈ comme indiqué dans le tableau III de notre article (Nfissi *et al.*, 2011, p. 49). La goethite a été donnée à titre indicatif. Elle ne constitue nullement le seul minéral secondaire. Hakkou *et al.* (2006) ont dressé une liste exhaustive des minéraux secondaires incluant, entre autres, l'hématite, la magnétite, la lépidocrocite, la ferrihydrite, la maghémite Nous nous sommes plus focalisés sur les éléments chimiques que sur leurs expressions minéralogiques, sachant qu'une quantité colossale de résidus de procédés de traitement dans les deux usines s'est trouvée dans les résidus miniers. Les précipités secondaires constituent des réserves temporaires de métaux et d'acidité (Alpers *et al.*, 1994). El Amari *et al.* (2006) ont bien montré qu'une partie des eaux chargées de métaux lourds s'infiltre directement vers la nappe phréatique en insistant sur l'existence d'un système de failles NE-SW traversant les terrains complètement fracturés, ce qui confère, toujours

(*) Département de Géologie, Laboratoire de Géochimie, Géologie Appliquée et Environnement, Faculté des Sciences Ben Msik, BP : 7955, Casablanca.

(**) Université du Québec en Abitibi Témiscamingue, Chaire de recherche du Canada en gestion intégrée des rejets miniers.

(***) Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, Université Cadi Ayyad.

(****) Chaire de recherche du CRDI (Canada) en gestion et stabilisation des rejets industriels et miniers (www.gesrim.com).

E-mails : snfissi@gmail.com ; zerhouni.y@gmail.com ; Mostafa.Benzaazoua@uqat.ca ; alikooss@yahoo.fr ; achtaini@yahoo.fr ; rhakkou@fstg-marrakech.ac.ma ; samirmoha@hotmail.com.

d'après leur théorie, une grande perméabilité au substratum, facilitant l'infiltration des eaux polluées. Les eaux provenant des puits situés en aval et au NW des haldes de la mine de Kettara ne répondent pas aux normes marocaines (Toughzaoui *et al.*, 2009). L'agglomération de Kettara est actuellement en grande partie raccordée au réseau national

d'eau potable, mais cela ne devrait pas être une raison pour laisser la nappe phréatique à son sort dans une région où le potentiel générateur d'acidité est parmi les plus élevés au Maroc. Enfin, il faut juste signaler que l'atténuation du phénomène du drainage minier acide est une chose, la réhabilitation des sites miniers en est une autre.

BIBLIOGRAPHIE

- ALPERS C.N., BLOWS D.W., NORDSTROM D.K. & JAMBOR J.L. (1994). — Secondary minerals and acid mine water chemistry. *In*: Short course handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine Water (Waterloo, Ontario, May 1994). Mineralogical Association of Canada : 247-270.
- AUBERTIN M., BUSSIERE B. & BERNIER L. (2002). — *Environnement et gestion des rejets miniers*. Presse internationale polytechnique, Montréal : manuel sur cédérom.
- EI ADNANI M., SBAI L. & NEJMEDDINE A. (2009). — Etude expérimentale du potentiel de production du drainage minier acide par un déchet minier. *In* : Congrès International « Eaux, Déchets et Environnement – Union des pays de la Méditerranée » (El Jadida, Maroc, 12-13 Novembre 2009). Résumé : 75.
- EI AMARI K., HIBTI M., HANICH & ESSARRAJ S. (2006). — Potentiel d'impact de la mine de Kettara sur son milieu environnemental. *In* : 1^{er} Congrès International : Mines, Exploration, Exploitation et Impact sur l'Environnement (M3E, Bouznika, Maroc, 20-21 Avril 2006). Résumé : 41.
- HAKKOU R, BENZAAZOUA M. & BUSSIERE B. (2006). — Minéralogie secondaire associée au drainage minier acide du site abandonné de Kettara. *In* : 1^{er} Congrès International : Mines, Exploration, Exploitation et Impact sur l'Environnement (M3E, Bouznika, Maroc, 20-21 Avril 2006). Résumé : 59-60.
- NFISSI S., ZERHOUNI Y., BENZAAZOUA M., ALIKOUSS S., CHTAINI A., HAKKOU R. & SAMIR M. (2011). — Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet Centrales, Maroc). *Ann. Soc. géol. Nord*, **18** : 43-53.
- TOUGHZAOU S., EL AMARI K., BENKADDOUR A., HIBTI M., MARAH H. & RAIBI F. (2009). — Etude de la qualité des eaux souterraines de la région de Kettara (Maroc). *In* : Congrès International « Eaux, Déchets et Environnement – Union des pays de la Méditerranée » (El Jadida, Maroc, 12-13 Novembre 2009). Résumé : 122.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

établie par Alain BLIECK & Jessie CUVELIER

Membres à perpétuité (tels qu'ils ont été indiqués dans les *Annales* au moment de leur entrée dans la liste des membres en tant que membres à perpétuité — d'après les tomes 1 à 93 accessibles en ligne ; à noter qu'au fil des années, la plupart d'entre eux semble avoir perdu la qualité de membre à perpétuité, si bien que dans les années 60 seuls les trois membres de la famille Barrois et J. Gosselet étaient encore répertoriés comme tels dans les *Annales*)

ASSELBERGHS Etienne, Université de Louvain (Belgique)
BARROIS Charles, Membre de l'Institut, Faculté des Sciences de Lille
BARROIS C.E. (fils de Barrois Jean ?), Lille
BARROIS Jean, médecin à Lille
CONSTANT F., pharmacien à Lille
GOSSELET Jules, Membre de l'Institut, Faculté des sciences de Lille, fondateur de la Société Géologique du Nord
LEROUX Ed., Service des Eaux de la Compagnie du Nord à Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise) [dans le Val-d'Oise depuis 1968]
MADSEN V., directeur du Service géologique du Danemark à Copenhague
de MARGERIE E., Membre de l'Institut, Paris
MARLIERE René, Ecole des Mines du Hainaut, Havré-lez-Mons (Belgique) [l'Ecole des Mines est devenue Faculté Polytechnique de Mons puis Polytech'Mons]

Ont également été membres à perpétuité plusieurs compagnies minières qui, toutes, ont été nationalisées en 1946 au sein de Charbonnages de France, une entreprise nationale qui, elle-même, a été dissoute en 2007 [à partir du tome 50 (L) de 1970, « Charbonnage de France » n'apparaît plus en tant que membre à perpétuité] :

COMPAGNIE DES MINES D'ANICHE à Aniche (Nord)
COMPAGNIE DES MINES D'ANZIN à Anzin (Nord)
COMPAGNIE DES MINES DE BETHUNE à Bully-les-Mines (Pas-de-Calais)
COMPAGNIE DES MINES DE BRUAY à Bruay (Pas-de-Calais)
COMPAGNIE DES MINES DE COURRIERES à Billy-Montigny (Pas-de-Calais)
COMPAGNIE DES MINES DE DOURGES à Hénil-Liétard (Pas-de-Calais) [Hénil-Liétard a fusionné avec Beaumont-en-Artois en 1971 pour devenir Hénil-Beaumont]
COMPAGNIE DES MINES DE LA HOUVE à Creutzwald (Moselle)
COMPAGNIE DES MINES DE L'ESCARPELLE à Flers-en-Escrebieux (Nord)
COMPAGNIE DES MINES DE FERFAY à Auchel (Pas-de-Calais)
COMPAGNIE DES MINES DE MARLES à Auchel (Pas-de-Calais)
COMPAGNIE DES MINES DE VICOIGNE, NŒUX ET DROCOURT à Nœux-les-Mines (Pas-de-Calais)
COMPAGNIE DES MINES D'OSTRICOURT à Oignies (Pas-de-Calais)
SOCIETE HOUILLERE DE LIEVIN [devenue Compagnie des Mines de Liévin] à Liévin (Pas-de-Calais)

SOCIETE HOUILLERE DE SARRE ET MOSELLE (devenue Compagnie des Mines de Sarre et Moselle] à Paris.
SOCIETE DES MINES DE LENS [devenue Compagnie des Mines de Lens] à Lens (Pas-de-Calais)

Membres titulaires

A. D. R. E. M. A. P. (association), Grande Synthe (59)
A. GEO. L. (association), Villeneuve d'Ascq (59)
AMEDRO Francis, professeur SVT, Calais (62)
A. P. B. G. (association), Sibiville (62)
APPORA Irma, Palais de l'Univers et des Sciences, Cappel-la-Grande (59)
AUGUSTE Patrick, CNRS, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
AVERBUCH Olivier, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
BAILLON Christophe, ingénieur, Lille (59)
BECKARY Sophie, Ville de Lille (59)
BERNARD Renaud, étudiant, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
BERREHOUC Géraldine, Service des risques, Ville de Lille (59)
BEUN Noël, Université de Picardie Jules Verne, Amiens (80)
BLIECK Alain, CNRS, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
BOUTON Pascal, Oolite SARL, La Bournaire (44)
BRETON Gérard, conservateur, Musée d'Histoire Naturelle, Le Havre (76)
BRICE Denise, émérite, Université Catholique de Lille – FLST & ISA, Lille (59)
CAPETTE Ludovic, Namur (Belgique)
CHARLET Jean-Marie, Hornu (Belgique)
COEN-AUBERT Marie, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB), Bruxelles (Belgique)
COULON Hervé, Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE) Nord-Picardie, Sequedin (59)
CUIR Pierre, Ronchin (59)
CUVELIER Jessie, CNRS, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
DANELIAN Taniel, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
DE BAERE Jean-Pierre, Lambersart (59)
DELMER André, Bruxelles (Belgique)
DEROO Gérard, L'Etang La Ville (78)
DEZWARTE Jean-Marie, Marcq-en-Baroeul (59)
DUPUIS Christian, Polytech'Mons, Mons (Belgique)
FERRANDON Alain, Paris (75)
GOEMAERE Eric, Service Géologique de Belgique, Bruxelles (Belgique)
GOURVENNEC Rémy, CNRS, Université de Bretagne Occidentale, Brest (29)
GRAVELEAU Fabien, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
GUILLOT François, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
GUYETANT Gaëlle, Conservatoire d'Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais, Lillers (62)

- HENNION Marie, étudiante, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
- HUBERT Benoit, Université Catholique de Lille – FLST & ISA, Lille (59)
- HUVELIN Paul, Naix aux Forges (55)
- IZART Alain, Longeville lès Metz (57)
- KHATIR-DERYCKE Claire, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
- LAUWERS Alain, société Lhoist, Bouge (Belgique)
- LAVEINE Jean-Pierre, Musée d'Histoire Naturelle (Musée de géologie), Lille (59)
- LECAILLE Sybil, Néchin (Belgique)
- LEGRAND Philippe, Lempdes (63)
- LEGRAND Philippe, Gradignan (33)
- LEGRAND-BLAIN Marie, Gradignan (33)
- LEMOINE Guillaume, Etablissement Public Foncier du Nord – Pas-de-Calais, EurLille (59)
- LEPLAT José, Linselles (59)
- LESAGE Francis, Steenwerk (59)
- LOONES Christian, Loos (59)
- MAGNIEZ Jean-Michel, Saint Léonard (62)
- MAILLET Sébastien, Orchies (59)
- MATRION Antoine, PRES Université Lille Nord de France, Lille (59)
- MATRION Bertrand, A. G. A., Pont Sainte Marie (10)
- MEILLIEZ Francis, émérite, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
- MISTIAEN Bruno, Université Catholique de Lille – FLST & ISA, Lille (59)
- MORTIER Thierry, Polytech'Mons, Mons (Belgique)
- MOTTEQUIN Bernard, Université de Liège, Sart Tilman (Belgique)
- MOULLET Jean-Marc, La Madeleine (59)
- NICOLLIN Jean-Pierre, Université Catholique de Lille – FLST & ISA, Lille (59)
- OUALI MEHADJI Abdelkader, Université d'Oran (Algérie)
- OUDOIRE Thierry, Musée d'Histoire Naturelle (Musée de géologie), Lille (59)
- PAMART Laëticia, Jolimetz (59)
- PINTE Pierre, Groupe Eiffage, Noyelles Godault (62)
- PLATEVOET Richard, Douai - Lauwin Plancke (59)
- POTY Edouard, Université de Liège, Sart Tilman (Belgique)
- PRUDHOMME Victor, Marcq-en-Baroeul (59)
- PUPIN François, Lille (59)
- QUESNEL Bernard, Calais (62)
- REYNAUD Jean-Yves, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
- RICOUR Jean, Marseille (13)
- ROBASZYNSKI Francis, Polytech'Mons, Mons (Belgique)
- ROBITAILLE Yves, Carrières du Boulonnais, Ferques (62)
- ROHART Jean-Claude, professeur SVT, Dunkerque (59)
- ROUGE Jacques, Lompret (59)
- SARTENAER Paul, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB), Bruxelles (Belgique)
- SCHIETTECATTE Jean, Mouvaux (59)
- SCHRAEN Patrick, Villeneuve d'Ascq (59)
- SOMME Jean, émérite, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
- STYZA André, Armentières (59)
- TIEGHEM Gilbert, Wattrelos (59)
- TRENTESAUX Alain, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
- VALLOIS Bruno, Angres (62)
- VAN VLIET-LANOE Brigitte, Université de Bretagne Occidentale, Plouzane (29)
- VAN WELDEN Aurélien, Mouchin (59)
- VANDENBERGHE Noël, Katholieke Universiteit Leuven (Belgique)
- VANDYCKE Sara, Polytech'Mons, Mons (Belgique)
- VERNIERS Jacques, Universiteit Gent (Belgique)
- VIDIER Diane, Coulogne (62)
- VILLAIN Alain, Président de "Escaut Vivant / Levende Schelde", Valenciennes (59)
- YANS Johan, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP), Namur (Belgique)
- ZERHOUNI Youssef, Faculté des Sciences Ben Msik, Casablanca (Maroc)

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Ligne éditoriale

Les *Annales de la Société Géologique du Nord* sont une revue annuelle consacrée à tous les aspects de la recherche en Sciences de la Terre (géosciences). Elles publient des résultats originaux consacrés en particulier au nord de la France et aux régions limitrophes. Cependant, des résultats issus d'autres régions françaises et d'autres pays y trouvent aussi leur place. Les *Annales* peuvent publier aussi des fascicules thématiques sous la responsabilité d'un ou de plusieurs éditeurs invités.

Informations générales

Soumettre un article pour publication aux *Annales* implique que celui-ci n'ait pas été soumis à une autre revue. Un formulaire de cession des droits d'auteur devra être signé avant l'acceptation définitive du « manuscrit », en particulier pour autoriser la mise en ligne sur Internet des articles des *Annales*. Les droits de reproduction des articles, y compris de leurs illustrations, sont réservés à la revue. La reproduction en nombre de tout ou partie d'un article doit faire l'objet d'une demande écrite préalable ou d'un courriel adressé à la Rédaction.

Les aspects nomenclaturaux des articles de systématique (paléontologie) devront se conformer aux recommandations des éditions les plus récentes des divers codes internationaux de nomenclature des organismes : *Code international de nomenclature zoologique*, *Code international de nomenclature botanique*, *Code international de nomenclature des bactéries*, taxonomie des virus (*classification Baltimore* ou classification de l'*International Committee on Taxonomy of Viruses*), ...

Les spécimens types des organismes fossiles et autres spécimens décrits, figurés et/ou mentionnés dans les articles des *Annales* doivent être enregistrés et déposés dans une institution de statut national qui seule peut en assurer la conservation et l'accessibilité. Les numéros d'inventaire doivent être précisés.

Les objets et sites stratigraphiques décrits, figurés et/ou mentionnés dans les articles des *Annales* doivent se conformer à l'édition la plus récente du *Guide stratigraphique international* (guide de classification, terminologie et procédure en stratigraphie) de l'Union Internationale des Sciences Géologiques : <http://www.iugs.org/>.

Chaque manuscrit est évalué par au moins deux rapporteurs. L'auteur peut suggérer au comité éditorial des *Annales* les noms de deux relecteurs avec leurs coordonnées (courriel, adresse, téléphone).

Structure et format des « manuscrits »

Soumission : Les « manuscrits » doivent suivre rigoureusement les recommandations aux auteurs et sont adressés à la revue :

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
c/o Université Lille 1 – Sciences et Technologies
UFR des Sciences de la Terre, bâtiment SN5
F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex (France)
Jean-Pierre De Baere, Directeur de la Publication :
debaere.jeanpierre@yahoo.fr

Les « manuscrits » (textes et illustrations) seront soumis par voie électronique au format 'doc' de préférence. Tout manuscrit non conforme peut être retourné.

Structure : Le texte doit être traité avec la police Times ou Times New Roman, taille 12, à double interligne avec des marges d'au moins 2,5 cm. Chaque page doit être numérotée. Il est recommandé aux auteurs de se reporter à un fascicule récent des *Annales*.

Les articles sont rédigés en français ou en anglais de style scientifique. Les auteurs francophones se reporteront avantagement à l'ouvrage suivant : David L. 1984 - *Géocriture ou l'art d'écrire la géologie*. B. R. G. M., Manuels et Méthodes, n° 10 : 150 p. ; Orléans. Les articles en anglais pourront suivre les conseils de Lindemann & Cartwright (2000) : <http://www.skidmore.edu/~mmarx/sewid/geosci.htm>. Ils doivent comporter les rubriques suivantes :

- Titre en français ;
- Titre en anglais (traduction exacte) ;
- Prénom(s) et NOM(S) de(s) auteur(s) avec en appel (*) leur(s) adresse(s) professionnelle(s) et électronique(s) ;
- Résumé en français n'excédant pas 350 mots ;
- Abstract en anglais (traduction exacte) ;
- 5 mots clés en français ;
- 5 key words en anglais (traduction exacte) ;
- Texte de l'article avec la chronologie suivante des titres :

I. — INTRODUCTION ;

1) Historique ;

a) premières études ;

éventuellement un paragraphe de remerciements mentionnant les rapporteurs.

- Dans le texte courant, les références aux illustrations et/ou aux tableaux de l'article seront présentés de la façon suivante : (Fig. 1), (Fig. 2A-B), (Fig. 5-6), (Pl. I), (Pl. II, fig. 1a), (Tabl. 1) ; les références aux auteurs seront au format suivant : Dupont (1971), Dupont (2005, fig. 7), (Dupond, 1956), (Dupond, 1956, 1981), Dupont & Martin (2003), (Dupont & Martin, 2003), Dupont & Dupond (1934, p. 45) ;

- La présentation des descriptions systématiques doit se conformer aux usages courants dans les revues de paléontologie : nom du taxon avec auteur et date, synonymie, matériel type, étymologie, matériel étudié, niveau stratigraphique type, localité type, diagnose, description, comparaisons; utiliser nov. sp., nov. gen., nov. fam., nov. comb., etc. ; utiliser les italiques pour les noms de genres et d'espèces ;

- Bibliographie dans l'ordre alphabétique suivant la forme ci-dessous :

NOM Initiale du prénom, 2^{ème} NOM Initiale du prénom, etc. (Année). — Titre. *Revue*, **Volume** [en gras] : pages.

NOM Initiale du prénom, 2^{ème} NOM Initiale du prénom, etc. (Année). — *Titre du livre ou du volume*. Collection [facultatif] ; Editeur, Ville : pages.

NOM Initiale du prénom, 2^{ème} NOM Initiale du prénom, etc. (Année). — Titre. *In* : NOM Initiale du prénom, 2^{ème} NOM Initiale du prénom, etc. (ed.), *Titre du livre ou du volume*. Collection [facultatif] ; Editeur, Ville : pages.

NOM Initiale du prénom, 2^{ème} NOM Initiale du prénom, etc. (Année). — Titre. *In* : NOM Initiale du prénom, 2^{ème} NOM Initiale du prénom, etc. (ed.), *Titre du volume ou du fascicule*. *Revue*, **Volume** [en gras] : pages.

NOM Initiale du prénom (Année). — *Titre de la thèse*. Université, Nom du diplôme (Date) : pages.

- Les légendes des illustrations et des tableaux (Exemple : Fig.1. — ; Tabl. I. —) sur une ou des feuilles séparées avec l'indication des échelles et la signification des abréviations, en français et en anglais.

Illustrations : Les figures, tableaux et/ou planches sont au format 'jpeg' avec une bonne résolution (2000 pixels de large pour une page verticale). La taille des figures ou planches ne doit pas être supérieure à 165 mm de large sur 240 mm de haut (sur deux colonnes) ou 80 mm de large sur 240 mm de haut (sur une seule colonne). Des illustrations en couleurs pourront être publiées moyennant une participation financière des auteurs suivant la facturation de l'imprimeur.

Epreuves : Les épreuves seront adressées sous forme de fichiers 'pdf' à l'auteur correspondant et devront être retournées corrigées dans un délai raisonnable.

Diffusion des articles des Annales : Les tirages-à-part sur papier des articles des *Annales* ont été abandonnés depuis quelques années ; désormais, les articles sont distribués aux auteurs sous le format électronique 'pdf' aux conditions suivantes :

- pour un 1^{er} auteur membre de la SGN : pdf gratuit (sous réserve que l'auteur se sera acquitté des frais de dépassement au cas où l'article ferait plus de 8 ou 10 pages — voir ci-dessous) ;

- pour un 1^{er} auteur non-membre : pdf gratuit (sous réserve que l'auteur se sera acquitté des frais de publication appliqués aux non-membres — voir ci-dessous).

Pour toute autre personne désirant acquérir un article des *Annales*, il lui sera fourni au format pdf contre la somme de 20 € (tarif réduit de 10 € pour un étudiant sur présentation d'un justificatif).

Pour de plus amples informations sur la réalisation technique d'un article, vous pouvez consulter Philippe Recourt : philippe.recourt@univ-lille1.fr.

Conditions de publication aux Annales (version révisée)

Il faut normalement être à jour de 3 années de cotisation + abonnement à la Société pour pouvoir soumettre un article aux Annales dans les conditions accordées aux membres. Une seule cotisation annuelle ne suffit pas. La franchise accordée annuellement est de 8 pages [texte, illustrations et bibliographie compris - une page complète des *Annales* comportant environ 8 200 caractères et espaces] pour les membres de la SGN à jour de leur cotisation + abonnement ; cette franchise peut être portée à 10 pages si plusieurs co-signataires de la même note sont membres de la Société (à jour de leur cotisation + abonnement). Le prix de la page de texte de dépassement est fixé à 12 €, avec une possibilité de réduction de la facturation au cas par cas, sur décision du Conseil d'administration (*) ; la planche N&B est à 24 € ; la planche couleur et/ou les figures et illustrations au prix coûtant facturé par l'imprimeur (compte-rendu du CA du 27 mai 2009 et procès-verbal de l'Assemblée générale du 4 mai 2011). Pour les non-membres, le prix d'une page aux *Annales* est de 37 € (compte-rendu du CA du 9 novembre 2009) ; la planche N&B est à 50 € ; la planche couleur et/ou les figures et illustrations au prix coûtant facturé par l'imprimeur.

(*) Si un article qui a été sollicité par la SGN dépasse les 8 ou 10 pages de franchise, la Société peut envisager d'en prendre en charge au moins une partie. Ce point est négociable.

Pour toute question complémentaire, veuillez contacter l'une des personnes du Conseil d'administration de la SGN dont la composition de l'année en cours est imprimée en page II de chaque fascicule des *Annales*.

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Scope of the journal

The *Annales de la Société Géologique du Nord* are a yearly journal devoted to various aspects of Earth Sciences (Geosciences). It publishes original results particularly on northern France and surrounding regions. However, results from other French regions and from other countries are welcome. Thematic issues may be published under the responsibility of one or several guest editors.

General information

The submission of a manuscript to the *Annales* implies that it is not being simultaneously offered for publication elsewhere. A copyright assignment form must be signed before the final acceptance, particularly in order to authorize the online publication of the papers. Copyright of the published papers, including illustrations, becomes the property of the journal. Requests to reproduce in great number part or whole of a paper from the *Annales* should be addressed to the Editor, either by surface mail or by e-mail.

Nomenclatural aspects of systematic (palaeontological) papers should follow the recommendations of the most recent editions of the international codes of organismal nomenclature : *International Code of Zoological Nomenclature*, *International Code of Botanical Nomenclature*, *International Code of Nomenclature of Bacteria*, virus classification (*Baltimore Classification* or *International Committee on Taxonomy of Viruses*), ...

Preservation of type specimens of fossil organisms, and other specimens which are described, figured and/or mentioned in the *Annales* papers must be registered and deposited in an appropriate national institution, with staff and facilities capable of ensuring their conservation and availability for future reference in perpetuity. Their collection numbers should be indicated.

The geological objects and stratigraphic sites which are described, figured and/or mentioned in the *Annales* papers must follow the most recent edition of the *International Stratigraphic Guide* (A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure) of the International Union of Geological Sciences: <http://www.iugs.org/>.

Each manuscript will be reviewed by at least two referees. The author may suggest to the *Annales* editorial committee the names and coordinates (e-mail, address, phone) of two referees.

Structure and format of the « manuscripts »

Submission: Manuscripts conforming strictly to the present instructions should be sent to the journal:

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

c/o Université Lille 1 – Sciences et Technologies

UFR des Sciences de la Terre, bâtiment SN5

F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex (France)

Jean-Pierre De Baere, Directeur de la Publication :

debaere.jeanpierre@yahoo.fr

Manuscripts (text and illustrations) are to be submitted by e-mail, preferably with a 'doc' format. Manuscripts that do not conform to the present instructions will be returned.

Structure: The text must be processed with a Times or Times New Roman font, size 12, double spaced, with margins of at least 2,5 cm. All pages must be numbered. To complete these instructions, please refer to a recent issue of the *Annales*.

Papers are to be written in simple, concise and scientific French or English. French authors should follow the following book: David L. 1984 - *Géocriture ou l'art d'écrire la géologie*. B. R. G. M., Manuels et Méthodes, n° 10 : 150 p. ; Orléans. English papers could follow the instructions of Lindemann & Cartwright (2000) : <http://www.skidmore.edu/~mmarx/sewid/geosci.htm>. They should be organized as follows:

- Title in English;
- Title in French (exact translation);
- First name(s) and surname(s) of author(s), followed by their full professional address(es) and e-mail(s);
- Abstract in English, no more than 350 words long;
- Résumé in French (exact translation, the journal may provide help for translation);
- 5 key words in English;
- 5 mots clés in French (exact translation);
- Text of the article, in the following order:

I. — INTRODUCTION ;

1) Historical context ;

a) first studies ;

and eventually a section of acknowledgements with reference to the referees.

- References to illustrations and/or tables in the text will be indicated as follows: (Fig. 1), (Fig. 2A-B), (Fig. 5-6), (Pl. I), (Pl. II, fig. 1a), (Tabl. 1); references to authors will be presented as follows: Dupont (1971), Dupont (2005, fig. 7), (Dupond, 1956), (Dupond, 1956, 1981), Dupont & Martin (2003), (Dupont & Martin, 2003), Dupont & Dupond (1934, p. 45);

- Each systematic description should be arranged as is usual in most palaeontological journals, that is: name of the taxon with author and date, synonymy, type material, etymology, material examined, type horizon, type locality, diagnosis, description, remarks; use nov. sp., nov. gen., nov. fam., nov. comb., etc.; use italics for names of genera and species;

- Bibliographical references should be presented in alphabetical order as follows:

NAME First name initial(s), 2nd NAME First name initial(s), etc. (Year). — Title. *Journal*, **Volume** [in bold] : pages.

NAME First name initial(s), 2nd NAME First name initial(s), etc. (Year). — *Book or issue title*. Collection [eventually]; Publisher, Town : pages.

NAME First name initial(s), 2nd NAME First name initial(s), etc. (Year). — Title. *In*: NAME First name initial(s), 2nd NAME First name initial(s), etc. (ed.), *Book or issue title*. Collection [eventually]; Publisher, Town : pages.

NAME First name initial(s), 2nd NAME First name initial(s), etc. (Year). — Title. *In*: NAME First name initial(s), 2nd NAME First name initial(s), etc. (ed.), *Book or issue title*. *Journal*, **Volume** [in bold] : pages.

NAME First name initial(s) (Year). — *Thesis title*. University, Degree title (Date) : pages.

- Captions of illustrations and tables (e.g., Fig.1. — ; Tabl. I. —), on a separate sheet, should include abbreviations and scale values, both in English and French.

Illustrations: Figures, tables and/or plates are provided with a 'jpeg' format with a good definition (2000 pixels wide for a vertical page). Size of figures and plates will not exceed 165 mm width x 240 mm height (for two columns), or 80 mm width x 240 mm height (for a single column). Colour illustrations may be published if a financial contribution is provided by the author(s), in agreement with rating of the printer.

Proofs: Proofs will be sent as 'pdf' files to the corresponding author, and will have to be corrected and returned in a reasonable time.

Distribution of the *Annales* papers: Hard copies or separates (offprints) are no more provided; papers are now distributed as 'pdf' files at the following conditions:

- if the first author is a SGN member, the pdf is free of charge (subject to the payment by the author of expenses in case of papers of more than 8 or 10 pages — see here below) ;

- if the first author is not a SGN member, the pdf is free of charge (subject to the payment by the author of publishing expenses as applied to non-members — see here below).

For any other individual who wants to get a paper from the *Annales*, the latter will be provided as a pdf file after payment of 20 € (a reduced rate of 10 € is applicable for a student with a regular student ID).

For more informations on the technical processing of a paper, please contact Philippe Recourt : philippe.recourt@univ-lille1.fr.

Conditions for publishing in the *Annales* (revised version)

To be subject to conditions applied to members of the Société Géologique du Nord, the author must have been a regular paying member (annual subscription to the Society + annual subscription to the *Annales*) for at least three years to be authorized to submit a paper to the *Annales*. A single yearly subscription is not enough. Under such conditions, each SGN member may publish a 8 page-long paper per year, free of charge [including text, illustrations and reference list — one full page of text of the *Annales* includes ca. 8200 characters and spaces]. In case of more than one author, and if at least two are SGN members (having paid their subscriptions to the Society and the *Annales*), the paper may be 10 page-long, free of charge. Each exceeding text page is rated at 12 €; in case of too many pages, there is a possibility of a reduced rate after submission to and decision of the Executive Committee of the Society (*); a black-and-white plate is rated at 24 €; a colour plate and/or illustrations (figures) are paid in agreement with rating by the printer (decision of the EC dated May 27, 2009, and the General Assembly dated May 4, 2011). For non-members, one text-page is rated at 37 € (decision of the EC dated November 9, 2009); a black-and-white plate at 50 €; and a colour plate and/or illustrations (figures) in agreement with rating by the printer.

(*) In case of a paper which has been asked for by the Society, and is more than 8 or 10 page-long, part or whole of the extra-expenses may be paid by the Society. This is negotiable.

For any complementary question, please contact one of the members of the Executive Committee of the Society whose list is printed on cover-page II of each issue of the *Annales*.

Sont en vente au Siège de la Société :

Mémoires de la Société Géologique du Nord : derniers tomes disponibles (*)

Tome I	n° 1. — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétacé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p.	30,00 €
	n° 2. — P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pennsylvanie</i> , 1882, 178 p.	25,00 €
	n° 3. — R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p.	2,50 €
Tome IV	n° 1. — J. GOSSELET, <i>Etudes sur les variations du Spirifer Verneuilli</i> , 1894, 63 p., 7 pl.	12,00 €
Tome VI	n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri</i> , B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl.	7,00 €
Tome VIII	n° 2. — Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria</i> , 1929, 50 p., 5 pl.	10,00 €
Tome IX	n°1. — G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl.	30,00 €
Tome X	n° 2. — J. LAVERDIÈRE, <i>Terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl.	14,00 €
Tome XII	— D. LEMAITRE, <i>Faune des calcaires dévoniens du Bassin d'Ancenis</i> , 1934, 268 p., 18 pl.	30,00 €
Tome XIII	— P. BRICHE <i>et al.</i> , <i>Flore infraliasique du Boulonnais</i> , 1963, 145 p., 11 pl.	25,00 €
Tome XIV	— G. WATERLOT, <i>Les Gigantotraces du Siluro-Dévonien de Liévin</i> , 1966, 23 p., 5 pl.	7,00 €
Tome XV	— J. MANIA, <i>Gestion des Systèmes aquifères. Applications au Nord de la France</i> , 1978, 228 p.	15,00 €
Tome XVI	— A. BOUROZ <i>et al.</i> , <i>Essai de synthèse des données acquises dans la genèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers</i> , 1983, 118 p., 10 pl.	20,00 €

Publications de la Société Géologique du Nord (*)

Publication N° 1.	— J. CHOROWICZ, <i>Etude géologique des Dinarides le long de la transversale Split-Karlovac (Yougoslavie)</i>	10,00 €
Publication N° 2.	— J. CHARVET, <i>Essai sur un orogène alpin : Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Saravejo (Yougoslavie) (volume de texte épuisé ; carte disponible)</i>	5,00 €
Publication N° 3.	— J. ANGELIER, <i>Néotectonique de l'arc égéen</i>	11,00 €
Publication N° 4.	— J.J. FLEURY, <i>Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grèce continentale et Péloponnèse du Nord). Evolution d'une plate-forme et d'un bassin dans leur cadre alpin</i>	12,00 €
Publication N° 5.	— M. COUSIN, <i>Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie</i>	12,00 €
Publication N° 6.	— F. THIEBAULT, <i>L'évolution géodynamique des Héliénides externes en Péloponnèse méridional</i>	14,00 €
Publication N° 7.	— P. DEWEVER, <i>Radiolaires du Trias et du Lias de la Téthys</i>	13,00 €
Publication N° 8.	— J. FERRIERE, <i>Paléogéographie et tectoniques superposées dans les Hellénides internes : les massifs de l'Othrys et du Pélion (Grèce continentale)</i>	14,00 €
Publication N° 9.	— H. MAILLOT, <i>Les Paléoenvironnements de l'Atlantique sud : Apport de la géochimie sédimentaire</i>	9,00 €
Publication N° 10.	— Cl. BROUSMICHE, <i>Les Fougères sphénoptériennes du Bassin Houllier Sarro-Lorrain</i>	15,00 €
Publication N° 11.	— B. MISTIAEN, <i>Phénomènes récifaux dans le Dévonien d'Afghanistan (Montagnes Centrales). Analyse et systématique des Stromatopores</i>	15,00 €
Publication N° 12.	— T. HOLTZAPFFEL, <i>Les minéraux argileux. Préparation, analyses diffractométriques et détermination</i>	6,00 €
Publication N° 13.	— J.L. MANSY, <i>Géologie de la Chaîne d'Ormeica des Rocheuses aux plateaux intérieurs (Cordillère Canadienne). Evolution depuis le Précambrien</i>	15,00 €
Publication N° 14.	— C. BECK, <i>Géologie de la Chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela)</i>	10,00 €
Publication N° 15.	— J.M. DEGARDIN, <i>Le Silurien des Pyrénées : Biostratigraphie, Paléogéographie</i>	10,00 €
Publication N° 16.	— J. SIGAL, <i>Les recherches sur les Foraminifères fossiles en France des environs de 1930 à l'immédiat après-guerre</i> ..	7,00 €
Publication N° 17.	— F. DELAY, <i>Etude et cartographie géologiques du Massif pyrénéen de l'Agly (Fasc. 1 : Evolution tectono-métamorphique ; Fasc. 2 : Traitement informatique des microanalyses chimiques ; Fasc. 3 : Carte géol. en couleurs 1/25000 Massif Agly</i>	27,00 €
Publication N° 18.	— A. KHATIR, <i>Structuration et déformation progressive au front de l'allochtone ardennais (Nord de la France)</i>	11,00 €
Publication N° 19.	— C. LAMOUREUX, <i>Les mylonites des Pyrénées. Classification. Mode de formation. Evolution</i>	11,00 €
Publication N° 20.	— G. MAVRIKAS, <i>Evolution Crétacé-Eocène d'une plate-forme carbonatée des Hellénides externes. La plate-forme des Ori Valtou (Massif du Gavrovo), Zone de Gavrovo-Tripolitza (Grèce continentale)</i>	11,00 €
Publication N° 21.	— P. BRACQ, <i>Effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux, apport de l'analyse morphostructurale</i>	11,00 €
Publication N° 22.	— N. FAGEL, <i>Flux argileux du Néogène au Quaternaire dans l'Océan Indien Nord, mise en évidence et interprétation</i> ..	11,00 €
Publication N° 23.	— G. BUSSON et A. CORNÉE, <i>L'événement océanique anoxique du Cénomaniens supérieur-terminal</i>	10,00 €
Publication N° 24.	— B. LOUCHE, <i>Limites littorales de la nappe de la Craie dans la région Nord Pas-de Calais. Relations eaux souterraines-eaux superficielles-mer</i>	11,00 €
Publication N° 25.	— J. G. BREHERET, <i>L'Aptien et l'Albien de la fosse vocontienne (des bordures au bassin). Evolution de la sédimentation et enseignements sur les événements anoxiques</i>	22,00 €
Publication N° 26.	— T. PLETSCHE, <i>Clay minerals in Cretaceous deep-water formations of the Rif and the Betic Cordillera (N. Morocco and S. Spain)</i>	10,00 €
Publication N° 27.	— E. VENNIN, <i>Architecture sédimentaire des Bioconstructions permo-carbonifères de l'Oural méridional (Russie)</i>	13,00 €
Publication N° 28.	— Actes des 1 ^{ères} journées régionales Nord/Pas-de-Calais du Patrimoine géologique.....	5,00 €
Publication N° 29.	— F. LACQUEMENT, <i>L'Ardenne Varisque. Déformation progressive d'un prisme sédimentaire préstructuré ; de l'affleurement au modèle de chaîne</i>	12,00 €
Publication N° 30.	— R. PLATEVOET, <i>Diversité des formations pyroclastiques s.l. du strato-volcan du Cantal au Miocène. Elaboration d'une méthodologie de corrélation</i>	12,00 €
Publication N° 31.	— F. PELLENARD (2003) <i>Message terrigène et influences volcaniques dans les bassins de Paris et du sud-est de la France</i>	14,00 €
Publication N° 32.	— S. LALLAHEM, <i>Structure et modélisation hydrodynamique des eaux souterraines. Application à l'aquifère de la bordure nord du bassin de Paris</i>	14,00 €
Publication N° 33.	— C. DERYCKE-KHATIR (2005) <i>Microrestes de vertébrés du Paléozoïque supérieur de la Manche au Rhin</i>	14,00 €

Autres éditions (*)

<i>Esquisse géologique du Nord de la France, Fascicule IV : Terrains quaternaires</i> , par J. Gosselet (1903) ; texte imprimé + planches sur CD [ou en fac-similé]	10 €
<i>Des roches aux paysages dans le Nord – Pas-de-Calais — Richesse de notre patrimoine géologique</i> (dans le cadre de l'Inventaire National du Patrimoine Géologique et de l'Année Internationale de la Planète Terre), par F. Robaszynski & G. Guyétant (coord., 2009), co-édition Conserv. Sites Natur. Nord & Pas-de-Calais & Soc. Géol. Nord	20 €

Les membres abonnés bénéficient d'une réduction de 20% sur un exemplaire de chacune de ces publications.

Les prix sont augmentés des frais de port et d'emballage quand les volumes ne sont pas pris directement au dépôt.

(*) Tous les prix sont indiqués T.T.C. (TVA 5.50% incluse).

SOMMAIRE
Tome 19 (2^{me} série)
parution 2012

	pages
Avant-propos : GeoReg 2011 et vie de la Société.	3
La SGN il y a 50 ans et aujourd'hui.	7
Francis AMÉDRO, Bertrand MATRION, Rodolphe TOUCH & Jean-Marie VERRIER. — Extension d'un niveau repère Riche en <i>Inoceramus Crippsi</i> [bivalve] dans le Cénomaniens basal du Bassin Anglo-Parisien.	9
Pascal BOUTON & Jean Pierre CAMUZARD. — Le Givétien de la Villede-d'Ardin (sud du massif Armorica, France) : une série discordante sur un socle Cadomien ?	25
Rémi LEQUINT & Eric FOUACHE. — Apports de la Géoarchéologie à l'étude de la baie de Wissant (Pas-de-Calais, France).	35
Bruno MISTIAEN, Denise BRICE, Christian LOONES & Anthony DE SOUSA. — Un affleurement temporaire exposant le contact entre les formations de Beaulieu et de Ferques (Frasnien, Boulonnais).	39
David MATHON & Gugliemina OLIVEROS-TORO — Déviation de la route nationale 10 à Lisle et Pezou (Loir-et-Cher) : prise en compte du contexte géologique dans l'exploitation de la route.	49
Jean-Michel VAILLANT. — Prise en compte de l'aléa « cavités » dans la définition de campagnes géotechniques.	57
Jacques AVOINE. — La protection du patrimoine géologique en France : bilan et perspectives.	67
Nathalie CAYLA & Anne GUYOMARD. — Le Projet « Hint » (heritage interpretation through new technologies), une coopération internationale au service de la valorisation des géopatrimoines.	75
Bernard MOTTEQUIN, Laurent BARCHY, Emmanuel CHEVALIER, Jean-Marc MARION & Edouard POTY. — Aménagement et préservation du patrimoine géologique en province de Liège (Belgique) : les géosites d'Ampsin et des Tchaforis (Engis).	81
Eric GOEMAERE, Pierre-Yves DECLERCQ & Yves QUINIF. — Vingt siècles d'exploitation des argiles plastiques d'Andenne (Belgique) : du gisement au musée de la céramique.	87
Gaëlle GUYÉTANT. — Rôle des conservatoires d'espaces naturels dans la protection du patrimoine géologique – exemple de la réserve naturelle régionale des anciennes carrières de Cléty (Pas-de-Calais).	99
Max JONIN. — La Bretagne et son patrimoine géologique : intention, opportunités et pragmatisme, un siècle déjà.	105
Guillaume LEMOINE. — Intérêt, gestion, protection et valorisation des terrils miniers dans le Nord – Pas-de-Calais.	109
Eric GOEMAERE & Pierre-Yves DECLERCQ. — Le «Coticule» de Vielsalm et Liernex (Belgique) : une pierre à aiguiser au passé mondial.	117
Thierry MALVEZ. — Comment susciter l'intérêt pour les sciences de la Terre ? L'exemple du site de Romain-la-Roche au Museum Cuvier de Montbeliard (Doubs).	133
Petr BUDIL, Catherine CRÔNIER, Oldřich FATKA & Jessie CUVELIER. — The actually best-preserved specimen of Lower Devonian dalmanitid trilobite of the Prague Basin (Czech Republic) with articulated hypostome.	137
Khadija FARKI, Ghalem ZAHOUR, Youssef ZERHOUNI & Hamid WAFI. — Contribution à la compréhension de l'évolution sédimentaire et tectono-volcanique de la série Triasico-Liasique de l'Oued N'Fifikh (Meseta Cotière, Maroc).	145
Paul SARTENAER. — <i>Meduanarostrum</i> , A new middle Pragian rhynchonellid (brachiopod) genus from the Armorican Massif, NW France, and Meduanarostridae Nov. Fam.	157
Khalid EL AMARI, Mohamed HIBTI & Abdelfattah BENKADDOUR. — Commentaire sur l'article « Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet Centrales, Maroc) » de S. NFISSI, Y. ZERHOUNI, M. BENZAAZOUA, S. ALIKOUSS, A. CHTAINI, R. HAKKOU & M. SAMIR, <i>Ann. Soc. Géol. Nord</i> , T. 18, p. 43-53, 2011.	171
Samiha NFISSI, Youssef ZERHOUNI, Mostafa BENZAAZOUA, Saida ALIKOUSS, Abdessadek CHTAINI, Rachid HAKKOU & Mohamed SAMIR. — Réponse au commentaire sur l'article « Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet Centrales, Maroc) » de S. Nfissi <i>et al.</i> , <i>Ann. Soc. Géol. Nord</i> , T. 18, p. 43-53, 2011 par Khalid EL AMARI, Mohamed HIBTI & Abdelfattah BENKADDOUR.	173
Liste des membres de la Société Géologique du Nord.	175
Instructions aux auteurs.	177

© 2012 Société Géologique du Nord Editeur, Lille

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage est interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteurs.

Imprimé en France (Printed in France)

