



Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 18 (2^{ème} série)

parution 2011

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 (2011)

	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 occidentale, 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).

(*Tous les prix sont indiqués en € TTC à 5.50% incluse).



Société
Géologique du
Nord

ANNALES

Tome 18 (2^{ème} série)
parution 2011

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 2011-2012 —

<i>Présidente d'honneur</i>	M ^{elle} Denise BRICE
<i>Président</i>	M. Alain BLIECK
<i>Premier Vice-Président</i>	M. Bruno MISTIAEN
<i>Seconds Vice-Présidents</i>	M. Olivier AVERBUCH (2 ^{ème} second vice-président : poste vacant)
<i>Secrétaire</i>	M. José LEPLAT
<i>Trésorier</i>	M. Bernard QUESNEL
<i>Bibliothécaire</i>	M. Christian LOONES
<i>Directeur de la Publication</i>	M. Jean-Pierre DE BAERE
<i>Conseillers</i>	M. Francis AMÉDRO M ^{me} Claire DERYCKE M. Thierry OUDOIRE M. Francis ROBASZYNSKI M. Patrick SCHRAEN M. Alain TRENTESAUX
 <i>Site Web</i>	
<i>Administrateur</i>	M. Alain BLIECK
<i>Webmestre</i>	M. Pascal CIURLIK

CONSEIL SCIENTIFIQUE et ÉDITORIAL

— 2011-2012 —

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 18

Olivier AVERBUCH (Université Lille 1)
Cécile BAETEMAN (Service Géologique de Belgique)
Alain BLIECK (Université Lille 1)
Jacques CHARVET (Université d'Orléans)
Hervé COULON (CETE Nord-Picardie Laboratoire Régional de Lille)
Catherine CRONIER (Université Lille 1)
Jean-Pierre DE BAERE (Société Géologique du Nord)
Rémy GOURVENNEC (Université de Brest)
Francis MEILLIEZ (Université Lille 1)
Pierre PINTE (EIFFAGE TP Est QSE Industries)
Alain TRENTESAUX (Université Lille 1)

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

2011 : UNE ANNEE BIEN REMPLIE

par Alain BLIECK, président 2010-2012

2011 aura été une année particulièrement active pour la Société Géologique du Nord, dans la continuation des années précédentes. Le programme proposé aux membres comprenait les activités suivantes:

- 23 février : conférence de M. Thomas Servais (directeur de la FRE 3298 du CNRS – Université Lille 1 “Géosystèmes”) sur la grande biodiversification de l’Ordovicien, à la Maison Régionale de l’Environnement et des Solidarités (MRES) à Lille ;
- 26 mars : sortie dans le Boulonnais (Baie de Wissant) dirigée par M. Francis Amédéo, suivie de la visite du musée de l’ADREMAP (Association pour le Développement, la Recherche et l’Etude en matière de Minéralogie, Archéologie et Paléontologie) à Grande Synthe [59], dirigée par son président, M. Fleuris Vanduren ; ce fut l’occasion pour la SGN d’être interviewée par la chaîne locale de télévision en ligne ASTV : <http://archives.tele-astv.fr/video-2837-forum--06-avril-2011.html>
- 4 mai : Assemblée générale à la MRES avec quatre communications orales données en hommage à M. Jacques Chalard, ancien ingénieur aux houillères du Nord – Pas-de-Calais, ancien président de la SGN (1987-1988), décédé en novembre 2010 ; suivie d’une communication de Taniel Danelian sur la géologie du Petit Caucase (Arménie) ; une partie de ces communications est publiée dans le présent tome des *Annales* ; cette Assemblée générale a été aussi l’occasion d’élire de nouveaux membres, d’élire M^{lle} Denise Brice présidente d’honneur, de soumettre au vote des membres les nouveaux statuts, le nouveau règlement intérieur et les instructions aux auteurs d’articles pour les *Annales*, et d’élire les six conseillers externes du nouveau Conseil Scientifique et Editorial (CSE) qui remplace les deux anciens conseils du même nom ;
- 23 septembre : sortie en Avesnois dans les carrières du Bassin de la Sambre (carrières de Limont-Fontaine – Groupe Carrières du Boulonnais) dirigée par M. José Leplat ;
- 23-27 octobre : Forum GeoReg, Forum de la Fédération Française des Géosciences (FFG) organisé par la SGN et Geologica Belgica – voir ci-dessous ;
- 16 novembre : conférence de M. Taniel Danelian (professeur à l’Université Lille 1) sur la géobiologie du microplancton siliceux, à la MRES.

Le président et les membres du Conseil d’administration ont participé aux réunions suivantes : une réunion concernant la demande d’autorisation de mise en ligne des numéros anciens des *Annales* (17 janvier), quatre réunions du conseil d’administration (14 février, 4 mai, 19 septembre, 28 novembre), plusieurs réunions du Comité d’organisation du Forum GeoReg, une réunion du Conseil scientifique et éditorial (20 juin), participation à l’Assemblée générale du Conservatoire d’Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais (CENNPC) à Roost-Warendin [59] (16 avril / association dont la SGN est l’un des membres fondateurs), participation au débat organisé par les Amis de la Terre sur les gaz de roche (baptisés “gaz de schiste” dans la presse régionale et nationale) à la MRES (10 mai), participation à l’inauguration de la Réserve Naturelle Régionale à composante géologique de Mimoyecques [62] (21 mai), participation à l’Assemblée générale de la FFG à la Maison de la Géologie à Paris (9 juin), parrainage scientifique du congrès “Geobiology and environments of silica biomineralizers” organisé par T. Danelian et ses collègues à l’Université Lille 1 (4-7 septembre), participation aux Journées du Patrimoine sur le thème de l’eau à la MRES (17 septembre) ; visite commentée des fresques géologiques murales de l’ancienne Faculté des sciences par M. Francis Meilliez), réunion de concertation avec le Service Commun de Documentation de l’Université Lille 1 pour la gestion du fonds bibliothécaire de la SGN pendant les travaux de la bibliothèque centrale (18 novembre), participation à l’Assemblée générale de la MRES à Lille (25 novembre).

Le nombre de nos membres est en constante progression depuis 2006 (12 en 2006, 35 en 2008, 65 en 2009-2010) et dépasse actuellement les 80. On peut voir dans ce bilan le résultat de l'engagement des équipes du conseil d'administration des six dernières années. Les finances de la SGN sont saines mais le coût d'impression des *Annales* pèse de plus en plus sur le budget. Si le bilan financier de l'organisation du Forum GeoReg est suffisamment positif, il permettra de financer au moins en partie le tome 19 (2012) des *Annales*. Il faudra trouver des sources de subvention extérieures dans un avenir proche, par l'intermédiaire d'un programme de parrainage et de recherche de soutiens financiers (subventions et/ou sponsoring). Le président et plusieurs membres de la Société ont ouvert un dossier sur l'histoire de la SGN et de la géologie dans le Nord – Pas-de-Calais ; plusieurs articles sont en cours de rédaction et pourront être réunis dans une *Publication* spéciale qui pourrait voir le jour soit à la fin de 2012 soit en 2013. Le site Web de la SGN s'est enrichi de rubriques nouvelles (historique, statuts et règlement intérieur, ressources, archives ...) qui sont mises à jour régulièrement : <http://geosystemes.univ-lille1.fr/sgn.php>

Mais c'est au cours du Forum GeoReg que l'activité renaissante de la SGN a été le plus visible. Ce Forum était dédié aux "Géosciences des régions de France et des pays environnants" et avait pour objectif de faire se rencontrer, sur des thèmes régionaux, des spécialistes des milieux dits académiques (universités, CNRS, INRAP, VITO en Flandre belge ...), des praticiens tant des entreprises privées (pétroliers, carriers, bureaux d'étude ...) que des établissements publics ou mixtes et des collectivités territoriales (Région, Département, villes, Andra, BRGM, IFPEN ...), des médiateurs (musées, centres de culture scientifique), des associations, des amateurs. Il s'est tenu sur le terrain et en salle : une journée de "géologie en Lille" le dimanche 23 octobre, organisée par M. Eric Berthollon, M^{elle} Denise Brice et M. Bruno Mistiaen ; trois journées (24-26 octobre) dans les locaux de Polytech'Lille, l'école polytechnique de l'Université Lille 1, avec des séances plénières, des ateliers, une salle d'exposition, des panneaux de posters et des panneaux des Réserves Naturelles de France (RNF, amenés par notre collègue Gaëlle Guyétant, du CENNPC) ; une journée sur le terrain et en musée le jeudi 27 octobre sur le thème de "Bernissart et ses ignanodons", organisée par nos collègues belges Johan Yans des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix (Namur) et Pascal Godefroit de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (Bruxelles). Le bilan chiffré de GeoReg s'établit comme suit : 165 inscrits de 10 pays différents (France, Belgique, Luxembourg, Grande-Bretagne, Portugal, Allemagne, Espagne, Norvège, Algérie, Maroc) + une quarantaine d'étudiants en auditeurs libres pour l'atelier A3 sur les métiers des géosciences, soit au total près de 200 participants ; 73 communications orales ; 30 posters + les panneaux RNF ; 98 résumés ; 11 stands d'exposants dont deux collectifs (MHNL, Université Lille 1, ISA) ; et SGN, CENNPC, SGMB + UFG - revue *Géologues* ; 26 inscrits à la sortie pré-Forum à Lille ; 30 inscrits à la sortie post-Forum en Belgique. Parmi les activités « grand public » du Forum, les participants ont apprécié, entre autres, l'installation d'une reconstitution d'un jeune iguanodon dans le hall de Polytech'Lille par le Musée d'Histoire Naturelle de Lille, et les séances de dégagement *in situ* des cérithes géants (*Campanile giganteum*) du tuffeau lutétien de Fleury-la-Rivière [51] organisées par les viticulteurs du champagne Legrand-Latour ... Le volume des résumés est téléchargeable à l'adresse suivante : http://geosystemes.univ-lille1.fr/sgn/pdf/GeoReg_vol_resum_FULL_optim.pdf

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 ci-dessous et le transmettre tel qu'indiqué ci-dessus.

BULLETIN D'INSCRIPTION À LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD (SGN)

Nom et prénom :

Adresse postale :

Adresse courriel :

Téléphone :

Charte SGN : devenir membre de la Société géologique du Nord implique :

de s'acquitter en début d'année civile de la cotisation (et abonnement souhaité), de participer aux activités au mieux des possibilités, de promouvoir la Société (par exemple en ralliant de nouveaux membres), de refuser le mercantilisme (commerce, vente d'objets géologiques récoltés, à la place d'échanges).

Je soussigné(e) suis en pleine connaissance des points de la charte et les accepte

Date et signature:

JACQUES CHALARD (1921 – 2010)

par Jean-Pierre LAVEINE (*)
avec la collaboration technique de Jessie CUVELIER (**)



Monsieur Jacques Chalard, membre de la Société Géologique du Nord, et l'un des acteurs majeurs de la phalange des géologues houillers qui ont contribué, après la Seconde guerre mondiale, à gagner la 'bataille du charbon' dans le Bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais, nous a quittés le 16 Novembre 2010. Le présent portrait va tenter de retracer brièvement la vie et le parcours professionnel et scientifique de cet éminent collègue, dont le talent n'avait d'égal que sa pudeur et sa discrétion.

I. — LE CONTEXTE FAMILIAL

Son père, Jean-Baptiste Chalard, ingénieur de l'Ecole des Mines de Saint Etienne (Fig. 1), travaillait à la mine de Thivencelles de la Compagnie des Mines de Fresnes-sur-l'Escaut.



Fig. 1. — Jean-Baptiste Chalard, en uniforme de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne.

Sa mère, Suzanne Hollande (Fig. 2), était issue d'une famille d'imprimeurs et banquiers, bien connue à Valenciennes. Dernier d'une famille de quatre enfants (trois garçons et une fille) dont le premier (André) meurt en bas âge, Jacques Chalard est né le 12 Janvier 1921 à Valenciennes.



Fig. 2. — J.-B. Chalard et son épouse, avec leurs deuxième et troisième enfants.

(*) Musée de Géologie de la Ville de Lille, 19 rue de Bruxelles, 59000 Lille, France.

(**) Université Lille 1- Sciences et Technologies, UFR Sciences de la Terre (bâtiment SN5), FRE 3298 du CNRS 'Géosystèmes', 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex.

Il n'a pratiquement pas connu son père étant donné que celui-ci décède le 8 Septembre de la même année, sa santé ayant été fortement altérée par les conditions de (sur)vie dans les tranchées durant la Première guerre mondiale. Confrontée à ce coup du sort, la famille est recueillie par les grands-parents maternels, Monsieur et Madame Hollande (Fig. 3), habitant rue de l'Intendance, à Valenciennes. Jacques Chalard va conserver de sa prime jeunesse (Fig. 4) le souvenir de longues promenades avec son grand-père dans le Jardin de la Rhônelle, un parc à l'anglaise, poumon vert de la ville.



Fig. 3. — Monsieur et Madame Georges Hollande-Delcourt, grands-parents maternels de Jacques Chalard.



Fig. 4. — Jacques Chalard, à 5 ans.

Malheureusement, il perd ce grand-père attentionné alors qu'il a à peine sept ans. Lui reste donc essentiellement comme point de repère masculin son frère aîné, Jean, un jeune homme brillant qu'il admire beaucoup. Malheureusement une fois de plus, ce dernier, de santé assez fragile, meurt en 1937, moins d'un an après sa sortie de l'Ecole Polytechnique. Cette nouvelle disparition prématurée marque à vie Jacques Chalard. Ce dernier et terrible coup du sort laisse en lui une profonde tristesse qui ne s'atténue qu'avec la rencontre de Mademoiselle Marie-Raphaële Cuvelier, qu'il épouse en 1959, et qui lui donne trois filles, Aude, Laurence et Emmanuelle (Fig. 5). Et avec elles, épouse et filles, Jacques Chalard va enfin trouver du ciel bleu dans son existence.



Fig. 5. — Jacques Chalard et son épouse, à la naissance de leur première fille.

II. — LE PARCOURS SCOLAIRE ET UNIVERSITAIRE

Jacques Chalard suit ses études secondaires à Valenciennes, au Collège Notre-Dame, et obtient son baccalauréat, option Mathématiques élémentaires, en 1937, à l'âge donc de seize ans et demi.

Il s'inscrit ensuite à la Faculté catholique de Lille en vue de la préparation d'une Licence ès Sciences. Les deux premières années universitaires, 1937-38 et 1938-39 se passent normalement, avec l'obtention de diverses parties relatives aux Mathématiques générales, Chimie générale et Physique générale, mais ensuite le parcours va, par la force des choses, devenir plus chaotique. Avec la déclaration de guerre début Septembre 1939 et la mobilisation qui s'ensuit, les enseignements sont désorganisés ou supprimés pour partie. Suite à l'invasion allemande en Mai 1940, Jacques Chalard et sa mère vont évacuer. Ils se retrouvent tous deux en Bretagne. Face à l'avancée allemande, ils vont devoir se séparer. Jacques Chalard achète un vélo d'occasion et va entreprendre un périple mouvementé et très aléatoire qui, de Juin à Septembre 1940, va le mener de Rennes à Montpellier, via Nantes, La Rochelle, Royan, Bordeaux, Bayonne, Lourdes, Pau, Bergerac, et Toulouse.

Une fois à Montpellier il va, dans la mesure du possible, tenter de reprendre ses études. En 1940-41, il est inscrit aux cours de Botanique et de Zoologie (1^{ère} année), et obtient parallèlement (du 1^{er} Janvier 1941 au 11 Octobre 1942) un poste d'aide-technique au laboratoire de Botanique, sous la direction du Professeur Louis Emberger. Après le certificat de

Botanique en 1941, il obtient le certificat de Zoologie en 1942. Mais le 12 Octobre 1942 il est incorporé, en principe pour un an, dans l'armée d'armistice. Cependant, suite à l'invasion de la zone Sud par les Allemands, il se retrouve consigné à Sète, puis démobilisé fin Novembre 1942. Il essaie de reprendre ses études à Montpellier mais est redirigé vers ses foyers à Valenciennes, où il arrive dans la nuit de Noël 1942. Il s'inscrit alors à la Faculté des Sciences de Lille pour suivre les cours de Géologie (1^{ère} année) et Minéralogie. Il obtient le certificat de Minéralogie en Juin 1943 (mention TB).

Toutefois, il est apparemment écrit que son parcours universitaire ne peut en aucun cas être un long fleuve tranquille. Fin Juin 1943, il est requis par le STO (Service du Travail Obligatoire). Afin de le soustraire à un transfert en Allemagne, le Directeur général de la Compagnie des Mines d'Anzin, Mr. J. Demandre, lui propose un emploi dans sa Compagnie. Jacques Chalard se retrouve donc pour un temps ouvrier du fond aux Mines d'Anzin puis, compte tenu de l'orientation de ses études, il est chargé des études géologiques à ladite Compagnie minière. Parallèlement il est autorisé, un jour par semaine, à suivre les cours de Géologie (2^{ème} année) à la Faculté des Sciences. Il obtient le certificat de Géologie (mention B) en Juin 1944. La Compagnie des Mines d'Anzin lui propose à l'automne 1944 un poste d'ingénieur, offre qu'il décline car il envisage dans un premier temps de préparer l'Agrégation, après la soutenance le 31 Octobre 1944 d'un Diplôme d'Etudes Supérieures de Géologie devant la Faculté des Sciences de Lille. Mais, en cette période troublée, il se voit contraint de renoncer à cette orientation. Il est alors accepté, fin Octobre 1944, comme élève à l'Ecole Nationale de Géologie appliquée de Nancy, parcours qui est de nouveau interrompu le 12 Mars 1945 par un appel sous les drapeaux. Il est incorporé à Nancy, puis transféré à Nîmes où il suit le peloton d'instruction. Il en sort Maréchal des Logis début Juillet 1945, puis est successivement muté à Vincennes, Paris, Mantes-La-Jolie, avant d'être finalement démobilisé fin Novembre 1945.

Le 1^{er} Janvier 1946 il obtient un poste d'Assistant en Géologie et Minéralogie à la Faculté des Sciences de Lille, poste qu'il occupe jusque fin Septembre 1947, date à laquelle il accepte le poste d'Ingénieur-Géologue proposé par les Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Sa carrière s'y déroule enfin normalement, parallèlement à la préparation de son Doctorat ès Sciences, soutenu le 19 Décembre 1958 (Fig. 6). Elle se poursuit par sa nomination en tant que Chef du Service Géologique des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, suite au départ pour Paris de Monsieur Alexis Bouroz. Jacques Chalard fait valoir ses droits à la retraite le 1^{er} Avril 1971.

III. — L'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE

Avant d'entrer pleinement dans ce chapitre, il semble approprié d'en rappeler le contexte historique. Quand, en Juin 1943, Jacques Chalard, afin d'échapper à la déportation en Allemagne au titre du STO, accepte le travail proposé par la Compagnie des Mines d'Anzin, le Bassin du Nord-Pas-de-Calais est encore exploité par 18 Compagnies minières privées qui, avant la guerre, étaient en concurrence et pratiquaient le goût du secret. En dépit des contraintes induites par un tel état de fait, la connaissance géologique du bassin



Fig. 6. — Jacques Chalard, à l'époque de sa soutenance de thèse.

avait néanmoins connu des avancées majeures dans les premières décennies du 20^{ème} Siècle. Grâce aux travaux décisifs de Charles Barrois et de ses proches collaborateurs et élèves, Paul Bertrand et Pierre Pruvost, les principales structures étaient assez bien identifiées, en s'appuyant notamment sur la reconnaissance et la localisation des niveaux marins et la distribution des faune et flore fossiles (cette dernière initiée dès la fin du 19^{ème} Siècle pour le Bassin du Nord avec les travaux de Nicolas Boulay et surtout de René Zeiller). De même, à l'initiative de Walter Jongmans aux Pays-Bas, d'Armand Renier en Belgique, et de Walter Gothan en Allemagne, un premier Congrès pour l'Avancement des Etudes de Stratigraphie Carbonifère se tient en 1927 à Heerlen, aux Pays-Bas, avec pour objectifs principaux : 1.- un premier essai de corrélation des formations houillères s'étendant de la Grande Bretagne à la partie européenne de l'Union Soviétique ; 2.- une nomenclature commune pour les principales subdivisions stratigraphiques du Carbonifère. Un deuxième Congrès, de nouveau à Heerlen, a lieu en 1935 pour mesurer les progrès accomplis dans les divers domaines liés à l'exploitation du charbon. La seconde guerre mondiale va évidemment interrompre cette belle dynamique collective. Pendant la guerre, les installations minières du Nord-Pas-de-Calais, aux mains de l'occupant, sont gérées sans souci de leur entretien à long terme, et sont en partie détériorées. A la Libération, les anciennes compagnies privées sont nationalisées par ordonnance fin 1944, le fait étant entériné par la loi de nationalisation votée en Mai 1946. Huit groupes d'exploitation se substituent aux anciennes concessions (d'ouest en est : Auchel, Bruay, Béthune, Lens-Liévin, Hénin-Liétard, Oignies, Douai, Valenciennes ; les deux premiers groupes vont être par la suite rapidement fusionnés). Un service central de géologie est créé, et il est prévu d'affecter un géologue à chacun de ces groupes. C'est ainsi que Jacques Chalard accepte en 1947 le poste d'Ingénieur-géologue qui lui est proposé, et son affectation au groupe de Valenciennes-Anzin apparaît toute naturelle, compte tenu de ses antécédents. Dans l'intervalle, la 'bataille du charbon' (qui représente à l'époque 85% de l'énergie utilisée en France) est lancée en 1945. Il faut gagner la bataille de la productivité, notamment par la modernisation des installations et la mécanisation de l'exploitation. Dans un tel contexte, le règne de la concurrence sauvage et le goût du

secret, qui prévalaient au temps des compagnies privées, ne sont plus de mise, bien au contraire. Il devient impératif par exemple d'établir un tableau de concordance des veines pour l'ensemble du bassin. Mais pour cela il faut déjà améliorer les coupes stratigraphiques normales pour chaque siège, ce qui n'est pas une mince affaire dans un bassin aussi plissé et faillé que le Bassin du Nord-Pas-de-Calais. Qui plus est, le géologue est maintenant au contact direct avec les exploitants, c'est-à-dire les chefs de siège. Les chefs de siège ne sont certes pas opposés aux recherches portant sur la reconnaissance générale de la structure du bassin houiller, bien au contraire, mais ils veulent aussi connaître la localisation précise et les caractéristiques de la veine qu'ils vont mettre en exploitation, étant donné qu'avec la mécanisation la superficie des panneaux d'exploitation augmente grandement d'une part (et corrélativement le coût de préparation du chantier augmente dans les mêmes proportions), et que d'autre part la moindre petite faille dans le secteur concerné peut entraîner de graves difficultés dans la rentabilité et même compromettre gravement la poursuite d'un chantier. Le degré de précision demandé aux géologues change donc d'échelle. Certes, les niveaux marins de la Passée de Laure (vers la base du Westphalien), de Poissonnière (limite Westphalien A/Westphalien B, respectivement maintenant Langsetien et Duckmantien) et de Rimbert (limite Westphalien B/Westphalien C, respectivement Duckmantien et Bolsovien) sont toujours de première importance. Mais quand on sait par exemple que l'épaisseur de la stampe entre Poissonnière et Rimbert est de 620 m à la Fosse Cuvinot, que dans d'autres sièges du Groupe de Valenciennes-Anzin la stampe entre la Passée de Laure et Poissonnière avoisine 350 m d'épaisseur, on comprend le besoin impérieux de trouver des niveaux-repères supplémentaires pour répondre aux exigences de l'exploitation. Ces niveaux-repères sont essentiellement d'ordre paléontologique, et d'ordre lithologique et sédimentologique. Leur mise en évidence va exiger une discipline rigoureuse, et l'accumulation de données récoltées pas à pas. Une fois ce travail fondamental réalisé, des corrélations plus fines deviennent possibles, qui à leur tour permettent une amélioration des interprétations structurales. En conséquence, les travaux scientifiques de Jacques Chalard peuvent être répartis en trois catégories principales : 1.- Paléontologie, 2.- Sédimentologie et Stratigraphie, 3.- Géologie structurale. Cette subdivision n'est toutefois opérée que pour des commodités de présentation, car les recherches afférentes ont été nécessairement menées de front, comme en témoigne la liste bibliographique de Jacques Chalard.

Dernier détail, mais qui n'est pas sans importance, la limite orientale du Groupe de Valenciennes-Anzin dont Jacques Chalard a la responsabilité est la frontière franco-belge, ce qui signifie qu'il doit aussi prendre en compte les travaux réalisés et interprétations structurales proposées par une valeureuse et très active équipe de géologues belges. Heureusement ses rapports avec ces derniers sont extrêmement chaleureux, ce qui va lui faciliter la tâche dans de nombreux domaines.

Dans le domaine paléontologique, Jacques Chalard, comme tous ses collègues géologues officiant dans les autres Groupes, est un fin connaisseur des végétaux du Carbonifère. C'est non seulement une nécessité quand on doit suivre pas à pas le creusement d'une nouvelle bowette, ou étudier un sondage carotté, et que l'on doit relever tous les horizons fossilifères qui permettent de localiser la séquence dans l'échelle stratigraphique générale, mais qui sont éventuellement susceptibles de constituer aussi, pour certains

d'entre eux, des niveaux-repères au moins locaux par exemple à cause de l'abondance particulière d'une espèce. Pour Jacques Chalard, ce nécessaire voisinage des plantes fossiles est aussi un plaisir, qui date de son séjour à Montpellier sous la houlette du Professeur Louis Emberger, et qui s'est poursuivi par ses contacts avec le Professeur Paul Corsin. Comme certains de ses collègues (André Dalinval, Michel Buisine) il aurait pu entreprendre une thèse sur un groupe particulier de végétaux carbonifères. Les particularités du Groupe de Valenciennes-Anzin vont en décider autrement. En effet, dans la partie orientale du bassin, les couches supérieures du Westphalien ne sont pas conservées, hormis essentiellement et partiellement dans une étroite bande allongée centrée sur la Fosse Cuvinot. En revanche, c'est dans cette partie orientale que les séries inférieures sont les mieux développées, et les plus épaisses pour le Bassin du Nord. Qui plus est, il a été proposé en 1927 de fixer la limite entre le Namurien et le Westphalien à l'horizon à *Gastrioceras subcrenatum* (Frech), une espèce bien précise d'Ammonioïde du groupe des Goniatites. La stratigraphie fine du Namurien étant encore relativement mal connue dans le Bassin du Nord et sa limite d'avec le Westphalien imprécise, Jacques Chalard décide de s'atteler à cette tâche. Ce n'est pas une mince affaire, car le Namurien n'affleure nulle part dans le Bassin houiller du Nord de la France. Tout repose donc sur les données fournies soit par des sondages, soit plus généralement par les travaux miniers souterrains. Seuls ceux qui ont été confrontés à ce genre de contraintes savent réellement le travail de bénédictin que représente l'arpentage au fond de kilomètres et de kilomètres de bowettes, qu'il faut 'déshabiller' à intervalles plus ou moins réguliers à la recherche de niveaux fossilifères et autre repères pétrographiques, et ceci dans des conditions d'éclairage restreintes. En comparaison, le débitage au jour de carottes de sondages apparaît comme une récréation, mais avec le désavantage évident que les fossiles recherchés, déjà rares par nature, ne se trouvent pas nécessairement en plein centre de la carotte de sondage. Ces quelques remarques permettent d'apprécier à sa juste mesure la thèse de Jacques Chalard, intitulée 'Contribution à l'étude du Namurien du Bassin houiller du Nord de la France', imprimée en 1960 (par l'Imprimerie Hollande Fils) mais soutenue en Décembre 1958, après plus de dix années de recherches, et qui comprend un volume Texte (avec 12 planches photographiques illustrant les Goniatites récoltées au cours de ses patientes recherches) et un second volume rassemblant 66 planches détaillant les profils des bowettes et les logs des sondages étudiés. Rien qu'à feuilletter ce dernier volume on ne peut qu'être frappé par l'ampleur de la besogne accomplie par l'auteur. Grâce à ses investigations, et avec le soutien de ses collègues et amis belges d'une part (A. Delmer, J.M. Graulich, W. Van Leckwijck et J. Bouckaert) et anglais d'autre part (F. Hodson et W. Ramsbottom), il retrouve la succession des zones reconnues dans les pays limitrophes où le Namurien est mieux caractérisé. Il identifie de bas en haut les zones E1 et E2 (à *Eumorphoceras Girty*), H1 et H2 (à *Homoceras Hyatt*) et R1 (à *Reticuloceras Bisat*). Malheureusement, les taxons caractérisant les zones R2 [à *Reticuloceras bilingue* (Salter)] et G (à *Gastrioceras Hyatt*) n'ont pu être découverts, d'où l'impossibilité de situer avec précision la position de la limite Namurien/Westphalien dans le Bassin houiller du Nord de la France. Cette impossibilité va d'ailleurs conduire le Service Géologique du Bassin à séparer les notions d'Assises locales et de Subdivisions internationales. C'est pourquoi le niveau marin de la Passée de Laure, facilement identifiable dans tout le Bassin houiller du Nord de la France, a été choisi comme limite entre l'Assise de Flines et l'Assise de Vicoigne pour des

commodités cartographiques, alors que la limite Namurien/Westphalien se situe quelque part vers le tiers supérieur de l'Assise de Flines. Notons qu'en 1960, quelques Goniatites caractérisant la partie inférieure de la zone R2 vont être découvertes dans le Groupe de Douai (Chalard & Dalinval, 1960).

Dans le domaine sédimentologique et stratigraphique, il convient de mettre en exergue que Jacques Chalard est le découvreur (1951) des premiers tonstein dans le Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais (au toit de la veine 4bis et au toit de la veine 15 à la Fosse Cuvinot, respectivement à 100 m et 480 m au-dessus du niveau marin de Rimbart ; le second, initialement décrit sous l'appellation de 'Tonstein bicolore' sera dénommé par la suite Maxence). Les tonstein (littéralement pierres argileuses) forment des lits généralement de couleur claire et d'épaisseur réduite (centimétrique ou décimétrique). Ils étaient déjà connus dans un certain nombre de bassins, et notamment dans le Bassin de la Sarre, où les bancs généralement de quelques décimètres (et très exceptionnellement plusieurs mètres) d'épaisseur peuvent se suivre sur de grandes étendues, constituant de ce fait d'excellents repères stratigraphiques. Dans le Bassin du Nord leur épaisseur est en général réduite, et ils ne sont pas toujours de couleur claire. Leur découverte témoigne donc de la sagacité et de la pugnacité de Jacques Chalard. Cette première découverte dans le Bassin du Nord va être le départ d'une belle aventure pour tous les acteurs du Service Géologique du Bassin du Nord-Pas-de-Calais, et qui va porter notamment sur deux points.

Le premier va consister bien évidemment en une recherche systématique des tonstein dans tous les groupes d'exploitation du Bassin du Nord-Pas-de-Calais. Cette recherche aboutit dès 1953 (Bouroz *et al.*) à une première 'échelle' des tonstein pour l'ensemble de l'Assise de Bruay (à l'époque considérée comme entièrement d'âge Westphalien C) du Bassin du Nord-Pas-de-Calais. Dans ce travail, une codification des désignations des tonstein est proposée (les noms des tonstein localisés dans le Westphalien A, devront adopter la désinence 'a', exemple 'Graziella' ; ceux du Westphalien B la désinence 'b' ou 'be', exemple 'Viterbe' situé juste sous le niveau marin de Rimbart ; ceux du Westphalien C la désinence 'c' ou 'ce', exemple 'Maxence', déjà cité).

Le second point va se focaliser sur l'origine des tonstein. Cette question a fait l'objet de nombreuses controverses, portant essentiellement sur l'origine de la kaolinite qui est le constituant argileux principal des tonstein. Trois interprétations principales sont en présence. La première propose une synthèse chimique ou biochimique, la seconde une transformation des minéraux argileux détritiques en kaolinite, la troisième une kaolinisation de cendres volcaniques déposées par voie éolienne dans le bassin. Au début des années 1960 cette dernière interprétation finit par s'imposer pour les tonstein indiscutables. Jacques Chalard publie en 1967 une remarquable note de synthèse sur la question dans les *Annales de la Société Géologique du Nord*. Bien entendu, cette confirmation d'une origine volcano-sédimentaire fait des tonstein des repères chronologiques majeurs, en quelque sorte le troisième top de l'horloge parlante à l'échelle des temps géologiques. Le principal problème rémanent est de les localiser approximativement dans un premier temps dans la séquence stratigraphique, ce qui se fait essentiellement sur des bases paléontologiques, et notamment paléobotaniques. Une fois ce

premier calage réalisé, les tonstein apportent un degré de précision inégalé, d'où leur importance en stratigraphie houillère.

C'est ainsi que dès 1953, dans la note précitée (Bouroz *et al.*, 1953) le tonstein Patrice est choisi comme limite stratigraphique entre les Faisceaux de Six-Sillons et d'Ernestine, et le tonstein au toit de la veine Arago (du Groupe de Lens-Liévin, tonstein qui sera dénommé plus tard tonstein Talence) pour limite entre les faisceaux d'Ernestine et de Du Souich. Par ailleurs, sur incitation de la Commission de Stratigraphie des Congrès du Carbonifère, une proposition de choisir le tonstein Maxence, avec les modifications paléobotaniques qui l'accompagnent, comme stratotype de limite de la base du Westphalien C est présentée en 1967 au Sixième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère à Sheffield (Bouroz *et al.*, 1969). En dépit de la valeur des arguments paléontologiques avancés (et déjà circonscrits pour une bonne part d'entre eux par Zeiller dès 1886-1888, puisqu'il avait localisé à ce niveau la limite entre ses zones paléofloristiques B3 et C1), cette proposition n'a pas été (sagement !) retenue, du fait de l'éventuelle inaccessibilité ultérieure pour les futurs chercheurs de la séquence-type proposée, en cas de fermeture du bassin. Notons en outre que la comparaison de la distribution des tonstein entre les Bassins de Sarre-Lorraine et du Nord de la France (Bouroz, 1967) a permis, conjointement avec de nouvelles données paléobotaniques, d'affirmer la présence de la partie inférieure du Westphalien D dans le Nord de la France, autrement dit de conclure que l'Assise de Bruay ne correspond pas qu'au seul Westphalien C, comme il était admis jusque-là. On mesure là, en l'espace d'une quinzaine d'années, toute l'importance pour la stratigraphie du Bassin houiller du Nord de la France de la découverte par Jacques Chalard en 1951 des premiers tonstein dans le bassin.

Pour ce qui concerne la géologie structurale, il va de soi que seules des analyses stratigraphiques fines peuvent permettre de progresser pas à pas dans ce domaine.

A titre d'exemple, le premier travail de Jacques Chalard, publié en 1945 par la Société Géologique du Nord (et marquant la reprise des publications après cinq années d'interruption), est le fruit de son activité aux Mines d'Anzin pendant la période où il était requis par le STO. Par une étude détaillée des coupes stratigraphiques pour la Fosse Sabatier, il montre que la succession lithologique encadrée par les niveaux marins de la Passée de Laure (située vers le tiers inférieur du Westphalien A) et de Poissonnière (= limite entre le Westphalien A et le Westphalien B) est bien trop épaisse comparée à la même séquence dans les concessions voisines. Utilisant toutes les approches disponibles : géométriques, paléontologiques, notamment par la mise en évidence d'un niveau particulièrement riche à *Pinakodendron ohmannii* Weiss, une lycophyte bien particulière, et en général assez rare, il arrive à faire des correspondances veine à veine et à montrer que la séquence stratigraphique 'normale' (et trop épaisse !) de la Fosse Sabatier est le fruit d'un redoublement résultant du passage de la faille de Vicoigne, restée jusqu'alors inaperçue à la Fosse Sabatier parce qu'elle est parallèle aux veines. Il établit donc le tracé de la Faille de Vicoigne dans la concession de Sabatier. Etendant cette étude aux concessions voisines il établit que la Faille de Vicoigne est une faille plissée dont le plissement a été contemporain de la formation même des veines de houille. Ainsi, dès ses débuts, pourtant effectués dans des conditions difficiles, Jacques Chalard montre

l'étendue de ses talents et la palette de ses compétences. Il est à la fois structuraliste, paléontologue et stratigraphe.

A partir de là, en fonction du développement des travaux au fond, et de la précision accrue résultant de la découverte de niveaux-repères additionnels, les interprétations structurales vont pouvoir s'affiner graduellement, en particulier dans le groupe d'exploitation où opère Jacques Chalard, particulièrement difficile compte tenu de sa grande étendue géographique. Ainsi paraît en 1948 une note sur la Faille Barrois et le Cran de retour dans le Groupe de Valenciennes. Trois années plus tard, en collaboration avec A. Bouroz et M. Stiévenard, une note sur les relations tectoniques des bassins de Valenciennes et du couchant de Mons est publiée dans les *Annales de la Société Géologique du Nord*, dans laquelle est établie une tentative de concordance, des deux côtés de la frontière, entre les massifs et les grandes failles qui les séparent (Bouroz *et al.*, 1951). Dans cet essai, le Cran de retour par exemple s'étend du sud du groupe de Douai jusqu'au-delà la frontière belge avec un raccordement à la Faille de Boussu. En 1961, après dix années d'investigations intensives sur l'ensemble du Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais par le Service Géologique du bassin, le tracé des différentes failles et leurs raccordements éventuels est réactualisé. Une importante note (Bouroz *et al.*, 1961) est publiée, à nouveau dans les *Annales de la Société Géologique du Nord*, intitulée 'La structure du bassin houiller du Nord de la région de Douai à la frontière belge'. Il est impossible de résumer en quelques lignes ce travail extrêmement dense. A titre de détail, les nouvelles investigations ont mené à la conclusion que c'était la Faille Barrois, et non le Cran de retour, qui se raccordait à l'est à la Faille de Boussu. Notons également que plus au Nord, grâce aux analyses stratigraphiques détaillées de Jacques Chalard faites dans un premier temps au Siège d'Arenberg, une faille importante a été découverte, et a de ce fait été dédiée à son découvreur. La Faille Chalard serait le prolongement de la Faille Pruvost bien identifiée dans le bassin du Pas-de-Calais. L'apothéose de cette intense activité de recherche menée par l'ensemble des acteurs du Service Géologique aboutit à la publication en 1963 de la carte géologique des zones stratigraphiques à la cote -300, véritable synthèse des interprétations du Service Géologique concernant la structure du Bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais (Bouroz *et al.*, 1963). Comme toujours, les interprétations peuvent être

remises en cause, comme l'a souligné J. Chalard lui-même en 1997, en introduction à une séance spécialisée de la Société Géologique du Nord consacrée aux bassins houillers du Nord de la France et du Sud de la Belgique. Mais, si les interprétations peuvent varier en fonction de l'évolution des connaissances, il restera toujours à disposition l'extraordinaire et scrupuleuse accumulation de données réalisée, un fonds documentaire d'autant plus irremplaçable et inestimable que le dernier mineur est remonté du fond voilà plus de vingt ans.

IV. — CONCLUSION

La liste bibliographique de Jacques Chalard comporte un nombre important de travaux publiés par la Société Géologique du Nord dont il a été un membre éminent et assidu. Cela lui valut d'être appelé par deux fois à la présidence, une première fois en 1962, alors qu'il était en activité, et une seconde fois en 1987 de manière quelque peu imprévue alors qu'il n'était plus en activité et qu'il n'avait pas fait acte de candidature, ce qui témoigne de l'estime dans laquelle il était tenu.

En 1962, en plus de l'animation des séances ordinaires, tous les membres de l'époque ont encore en mémoire la traditionnelle mais inoubliable 'Excursion du Président' début Juin 1962, au cours de laquelle les participants arrivèrent directement au fond, dans le terrain houiller, en empruntant une 'descenderie' partant de la surface dans le bois de Bonsecours et purent, 'dans la foulée', visiter la taille de la veine St Georges, la veine exploitable la plus basse de la série stratigraphique du bassin du Nord. Ce fut le dépaysement garanti !

Enfin, cette notice, déjà incomplète au plan de son œuvre scientifique, le serait encore plus si elle n'évoquait pas, si succinctement que ce soit, l'homme, profondément respectueux des autres, et en particulier de ses subordonnés, une humanité naturelle probablement amplifiée par les difficultés auxquelles il avait été confronté dans sa jeunesse. Aucun doute, c'est un parfait honnête homme qui nous a quittés le 16 Novembre 2010.

Remerciements. — Nous remercions très vivement Madame M.-R. Chalard qui a eu l'extrême amabilité de mettre à notre disposition les documents familiaux présentés dans cette notice.

BIBLIOGRAPHIE

(Références autres que celles figurant dans la bibliographie de J. Chalard)

- BOUROZ, A. (1967). — Corrélations des tonsteins d'origine volcanique entre les bassins houillers de Sarre-Lorraine et du Nord Pas-de-Calais. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, (D), **264** : 2729-2732.
- ZEILLER, R. (1886-1888). — Bassin houiller de Valenciennes. Description de la flore fossile. *Études des Gîtes minéraux de la France*, Texte (1888) : 1-731, Atlas (1886) : pl. I-XCIV.

BIBLIOGRAPHIE DE JACQUES CHALARD

- CHALARD J. (1945). — La faille de Vicoigne du terrain houiller du Nord de la France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXV**: 177-196.
- BOUROZ A., CHALARD J. & STIÉVENARD M. (1951). — Sur les relations tectoniques des bassins de Valenciennes et du couchant de Mons. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXXI**: 58-79.
- CHALARD J. (1948). — Faille Barrois et Cran de retour dans le groupe de Valenciennes. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **71** (fascicule spécial): 419-435.
- CHALARD J. (1951). — Les tonstein du bassin houiller du Nord de la France dans la région de Valenciennes. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXXI**: 110-123.

- CHALARD J. (1951). — Niveaux-repères caractéristiques dans le houiller inférieur du comble nord à la fosse Agache. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXXI**: 155-171.
- CHALARD J. (1951). — Tonstein à leverriérite dans le bassin houiller du Nord de la France. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **232**: 1502-1503.
- CHALARD J. (1951). — Nouvelles découvertes de tonstein dans le bassin houiller du Nord de la France. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **233**: 882-883.
- CHALARD J. (1952). — Tonstein du bassin houiller du Nord de la France. *Compte Rendu du Troisième Congrès pour l'Avancement des Etudes de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère* (Heerlen 1951): 73-78.
- BOUROZ A., CHALARD J. & DOLLÉ P. (1953). — Extension géographique et valeur stratigraphique des niveaux de tonstein du bassin houiller du Nord de la France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXXIII**: 98-152.
- CHALARD J. (1958). — Découverte d'un banc à *Hudsonoceras proteum* (Brown) dans le Namurien de la région de Valenciennes. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **246**: 2635-2636.
- CHALARD J. (1958). — Gisement à goniatites '*Hudsonoceras proteum* (Brown)' à la fosse Sabatier dans la région de Valenciennes. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXXVIII**: 127-135.
- CHALARD J. (1960). — Contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Nord de la France. Thèse d'Etat, Université de Lille (19 Décembre 1958). — *Etudes géologiques pour l'Atlas de topographie souterraine, III: Stratigraphie, 1^{er} fasc.*, Houillères du bassin du Nord et du Pas-de-Calais, Douai, Texte: 299 p., 12 pl. photo. ; Atlas: 66 pl.
- CHALARD J. (1960). — Les horizons à Goniatites du Namurien du Nord de la France. *Compte Rendu du Quatrième Congrès pour l'Avancement des Etudes de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère* (Heerlen 1958): **1**: 87-92.
- CHALARD J. & DALINVAL A. (1960). — Découverte de *Reticuloceras metabilingue* Wright et *R. wrighti* Hudson au Siège de Sessevalle du Groupe de Douai des H.B.N.P.C. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXXX**: 5-10.
- BOUROZ A., CHALARD J., DALINVAL A. & STIÉVENARD M. (1961). — La structure du bassin houiller du Nord de la région de Douai à la frontière belge. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXXXI**: 173-220.
- BOUROZ A., STIÉVENARD M., BUISINE M., CHALARD J., DALINVAL A., DOLLÉ P., PINEL G. & PUIBARAUD G. (1963). — Carte des zones stratigraphiques à la cote -300. Service des Ressources et des Etudes Géologiques, Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. (Edition 1963, Institut Géographique National).
- BOUROZ A., BUISINE M., CHALARD J., DALINVAL A. & DOLLÉ P. (1964). — Voyage d'étude n°1. Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. *Compte Rendu du Cinquième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère* (Paris 1963), **1**: 3-33.
- CHALARD J. (1967). — Réflexions sur la définition et la genèse des tonstein (Application possible au calcul des temps de dépôt relatifs du charbon et des stériles). — *Annales de la Société Géologique du Nord*, **LXXXVII**: 87-93.
- BOUROZ A., CHALARD J., CORSIN P. & LAVEINE J.-P. (1969). — Le stratotype du Westphalien C dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais: limites et contenu paléontologique. *Compte Rendu du Sixième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère* (Sheffield 1967) **1**: 99-108.
- CHALARD J. (1997). — Séance spécialisée sur les bassins houillers du nord de la France et du sud de la Belgique, rappel historique. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **5** (2^{ème} série), **1**: 5-6.

DETAILED LITHOLOGY AND FAUNAL OCCURRENCE OF THE FROMELENNES FORMATION IN THE TYPE AREA (MIDDLE/UPPER GIVETIAN, SOUTHERN PART OF THE DINANT SYNCLINORIUM, ARDENNE)

Description lithologique détaillée et distribution faunique de la Formation de Fromelennes dans la région type (Givétien moyen/supérieur, bord sud du synclinorium de Dinant, Ardenne)

par Sébastien MAILLET (*), Bruno MILHAU (**), & Emilie PINTE (*)

Abstract. — The Flohimont and Nichet sections, located in the southern part of the French Ardenne, expose parts of the Fromelennes Formation series (Middle/Upper Givetian - Middle Devonian). This work presents the detailed, bed by bed, stratigraphic columns for the two sections along with data on the macro- and microfauna occurrence and abundance. Characteristic beds and zones are recognized. Correlations between these different sections and the close Cul d’Houille section allow proposing the most complete up to date stratigraphic synthesis for the Fromelennes Formation in the type area.

Résumé. — *Les coupes de Flohimont et de Nichet, situées dans la partie méridionale des Ardennes françaises, permettent d’observer différentes séquences de la série sédimentaire de la Formation de Fromelennes (Givétien moyen/supérieur - Dévonien moyen). Ce travail présente les colonnes stratigraphiques détaillées de ces deux coupes ainsi qu’un relevé, banc par banc, de l’abondance des macro- et microfaunes. L’identification de bancs et zones repères permet de corrélérer entre eux ces différents affleurements et la coupe du Cul d’Houille et de reconstituer ainsi la séquence stratigraphique la plus complète possible à ce jour pour la Formation de Fromelennes dans la région type.*

Keywords. — Flohimont, Nichet, Stratigraphic columns, Microfauna, Correlations.

Mots clés. — Flohimont, Nichet, Colonnes stratigraphiques, Microfaune, Corrélations.

I. — INTRODUCTION

The Fromelennes Formation, firstly recognized along the Meuse river in Ardenne as a carbonated unit by Gosselet (1871) and defined by Errera *et al.* (1972), has never been completely studied in detail despite the fact that two different reference sections are usually mentioned (Bultynck, 1974; Brice, 1980; Bultynck *et al.*, 1991; Brice & Mistiaen, 2008) : respectively the Flohimont section along the Flohimont-Fromelennes road (D46) and the Cul d’Houille section on the western bank of the Houille stream.

After the detailed work on the Cul d’Houille section (Hubert & Pinte, 2009; Maillet *et al.*, 2010), this paper describes, bed by bed, the lithology and the occurrence and abundance of the main macro- and microfaunas in two other complementary sections : the Flohimont section and the new Nichet section.

Finally, the correlation of the three studied sections, by means of fifteen characteristic beds or zones allow to propose the most complete stratigraphic column for the Fromelennes Formation in its type area.

II. — STRATIGRAPHY

The Givet Group (Errera *et al.*, 1972) is currently divided into 4 formations from the Trois-Fontaines Formation at the base to the Fromelennes Formation at the top (Fig. 1) : the latter is subdivided into three members (Flohimont Member, Moulin Boreux Member and Fort Hulobiet Member) (Bultynck *et al.*, 1991).

According to Bultynck (1974), Cornet (1975), Bultynck *et al.* (1991), Bultynck (2001), Lacquement *et al.* (2006) and Maillet *et al.* (2010), the historical boundary between the Mont d’Hairs Formation and the Fromelennes Formation is defined at the base of the first clayey bed containing brachiopods. We considered this boundary here.

The Fromelennes Formation is usually reported to Upper Givetian (Milhau, 1983; Bultynck *et al.*, 1991). Nevertheless, according to the sub-commission on Devonian Stratigraphy (Becker, 2007; Bultynck & Gouwy, 2008), the Middle/Upper Givetian boundary is fixed at the transition between *P. varcus* and *S. hermanni* conodonts zones. Then, the Flohimont Member displaying *P. varcus* and *P. ansatus*

(*) Laboratoire de Paléontologie stratigraphique, FLST-ISA, Géosystèmes FRE 3298 CNRS, 41 rue du Port, F-59046 Lille cedex, France. E-mail : sebastien.maillet@icl-lille.fr, emilie.pinte@icl-lille.fr

(**) Laboratoire de Paléontologie stratigraphique, FLST, 41 rue du Port F-59046 Lille cedex, France. E-mail : bruno.milhau@icl-lille.fr

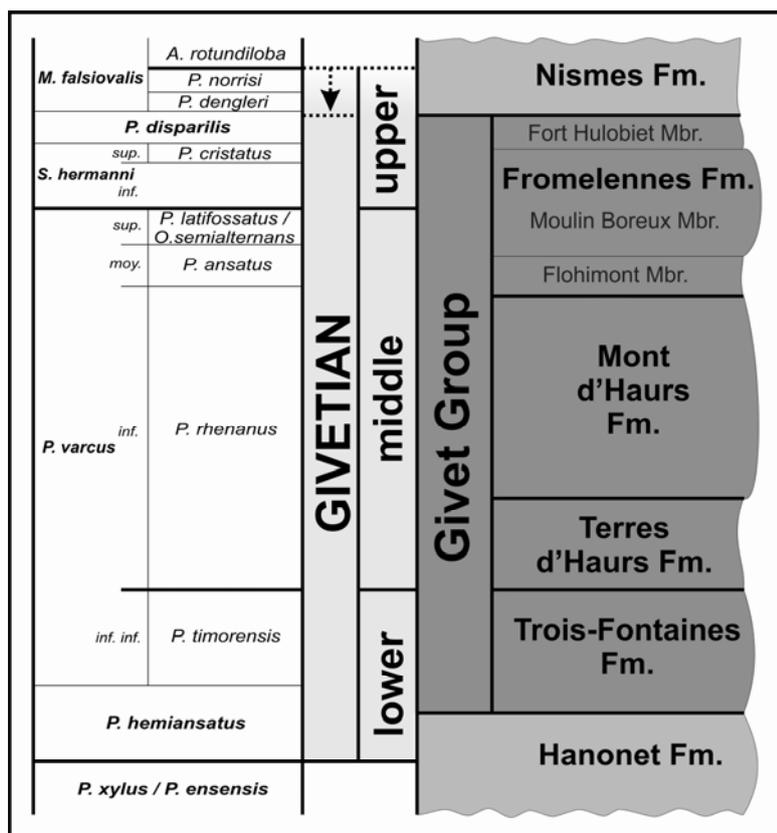


Fig. 1. — Standard conodont zonation, chronostratigraphy and lithostratigraphy in the southern border of the Dinant synclinorium.
 Fig. 1. — Zonation standard des conodontes, chronostratigraphie et lithostratigraphie pour le bord sud du synclinorium de Dinant.

(Bultynck *et al.*, 1991; Bultynck, 2001; Gouwy & Bultynck, 2003), is consequently referred to Middle Givetian. Defining the beginning of the Upper Givetian, *S. hermanni* appears 83 meters above the base of the Fromelennes Formation in the Flohimont section, in the second half of the Moulin Boreux Member (Gouwy & Bultynck, 2003).

The Givetian/Frasnian (Middle/Upper Devonian) boundary is located inside the Nismes Formation (Casier, 1987; Bultynck *et al.*, 1991; Lacquement *et al.*, 2006). However, this boundary currently tends to be considered as closer to the lithostratigraphical boundary between the Fromelennes Formation and the Nismes Formation (Casier & Pr at, 2009).

III. — STUDIED SECTIONS

The Givet area belongs to the southern border of the Dinant synclinorium (Fig. 2A). Several outcrops expose the carbonated Fromelennes Formation. Three sections have been sampled.

1) Cul d’Houille section

In this section, located on the western bank of the Houille stream (Fig. 2B1), the Fromelennes Formation is about 136

meters-thick (Hubert & Pinte, 2009 *emend* Maillet *et al.*, 2010). The contacts Mont d’Haus Formation/Fromelennes Formation and Flohimont Member/Moulin Boreux Member have been recognized (Maillet *et al.*, 2010). The Moulin Boreux Member is visible in an abandoned quarry but the contact between the Moulin Boreux Member and the Fort Hulobiet Member was not identified. The upper part of the Fort Hulobiet Member is lacking.

2) Flohimont section

This section crops out along the road D46, from the north of Flohimont to the south of Fromelennes, on the eastern bank of the Houille stream (Fig. 2B2). The Fromelennes Formation is about 84 meters-thick. The lower contact (Mont d’Haus Formation/Fromelennes Formation) and the upper contact (Fromelennes Formation/Nismes Formation) are well exposed (Bultynck, 1974; Milhau, 1983). Boundaries between the different members are faulted and unclear.

3) Nichet section

This new section is located in Fromelennes, along the way leading to the Nichet caves (Fig. 2B3). Only the upper half of the Fromelennes Formation and the base of the Nismes Formation were studied. The Fort Hulobiet Member is about 13 meters-thick but all the boundaries are faulted.

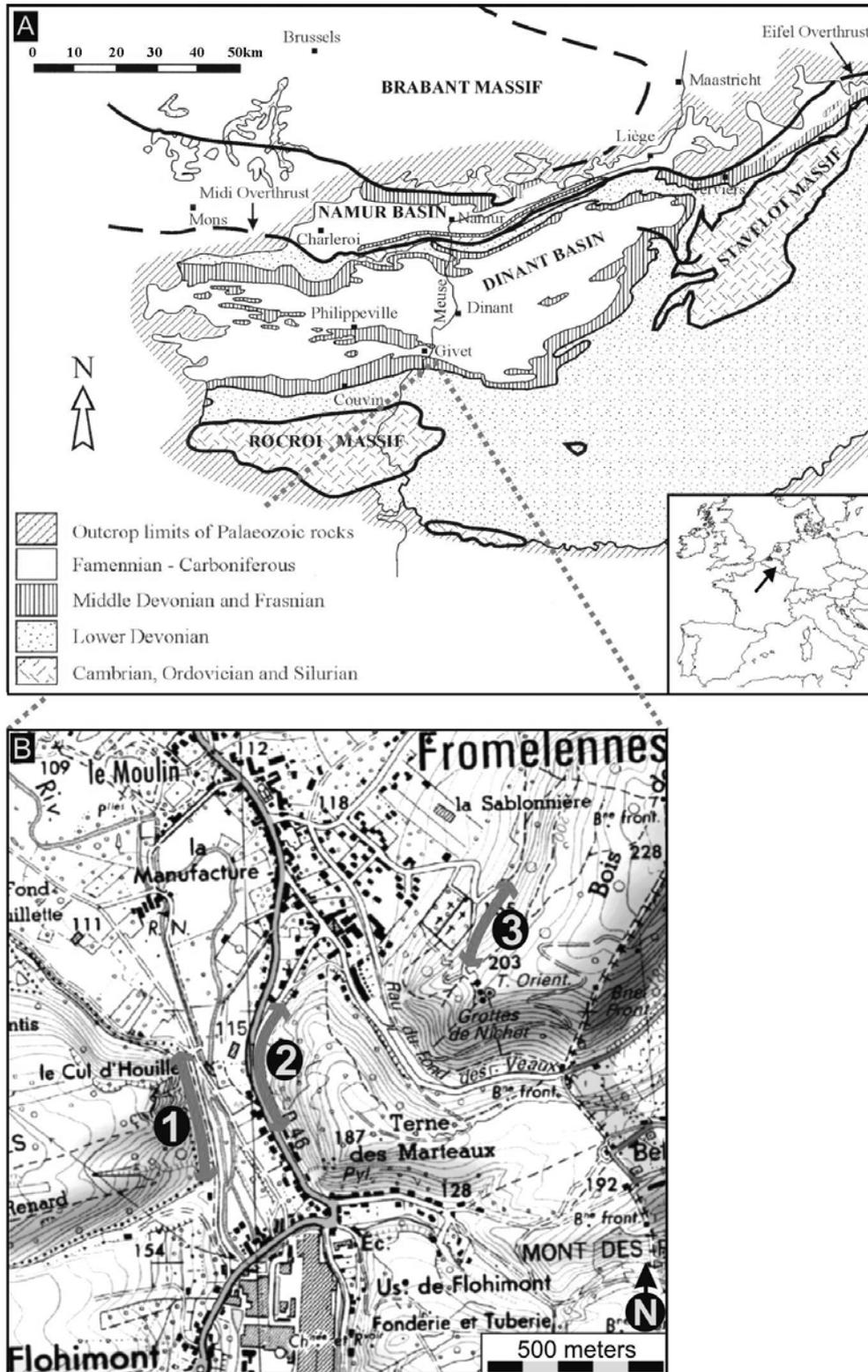


Fig. 2. — Location of the studied sections, A. in the Dinant synclinorium (modified from Bultynck *et al.*, 2001). B. in the Fromelennes area (topographic map of Givet (25,000^e), IGN France, <http://www.brgm.fr/numerique.jsp>). 1. Cul d'Houille section; 2. Flohimont section (D46); 3. Nichet section.

Fig. 2. — Localisation des coupes étudiées, A. à la bordure sud du synclinorium de Dinant (modifié d'après Bultynck *et al.*, 2001). B. dans la région de Fromelennes (carte topographique de Givet au 25 000^e, IGN France, <http://www.brgm.fr/numerique.jsp>). 1. Coupe du Cul d'Houille ; 2. Coupe de Flohimont (D46) ; 3. Coupe de Nichet.

IV. — PREVIOUS WORKS

Historical review of the Cul d'Houille section works can be found in Hubert & Pinte (2009) *emend* Maillet *et al.* (2010).

Few authors studied the Flohimont section. Thus, Coen & Coen-Aubert (1971) described lithological units and macrofauna in the F1a (currently the Flohimont Member). Bultynck (1974) focussed his work on boundaries and conodonts in the upper part of the Mont d'Hours Formation and the base of the Fromelennes Formation. Cornet (1975) described the reefal organisms (stromatoporoids, rugose and tabulate corals) in the upper part of the Mont d'Hours Formation. Milhau (1983) was the first one to study ostracodes from the base and the top of the Fromelennes Formation. Coen (1985) studied ostracodes from the lower part of the Flohimont Member. Bultynck (2001) recorded the occurrences of conodonts taxa at the Mont d'Hours Formation/Fromelennes Formation transition. Boulvain *et al.* (2009a and b) published sedimentological studies, magnetic susceptibility measurements and provided a synthetic stratigraphic column of the section.

The Nichet section has never been studied.

V. — MATERIAL AND METHODS

Sampling of the Cul d'Houille section was made according to the stratigraphic column of Hubert & Pinte (2009) and Maillet *et al.* (2010). Bed by bed measurements and sampling have been performed in the Flohimont and Nichet sections. More than 250 samples were collected (Tabl. I.).

To extract ostracodes and other calcitic microfossils from the carbonated gangue, we used the well known hot acetolysis method (Milhau, 1983 and 1984; Coen, 1985; Lethiers & Crasquin-Soleau, 1988; Casier & Pr at, 2009).

More than 12,000 carapaces, valves and fragments of ostracodes have been collected and identified under binocular lens.

The material and fossils are housed in the collections of the Facult  Libre des Sciences et Technologies (FLST) in Lille.

VI. — DESCRIPTION OF THE SERIES

The upper part of the Mont d'Hours Formation and the Fromelennes Formation are described, from bottom to top, for the Flohimont and Nichet sections. For the Cul d'Houille section, refer to Hubert & Pinte (2009) and Maillet *et al.* (2010).

1). Flohimont section.

In this section, the sedimentary series presents a N70 orientation and a reversed dip of 70°S.

a). The Mont d'Hours Formation

The described upper part of the Mont d'Hours Formation is 29.7 meters-thick (beds 969-1000; Annex I).

Bed 969 : 0.25m, calcareous, macrofauna composed of stromatoporoids and tabulate corals. Calcitic bevel-edged base due to a fault.

Bed 970 : 0.80m, sedimentary bias.

Beds 971 to 975 : 3.10m, calcareous, macrofauna composed of some stromatoporoids, rugose and branching tabulate corals (*Thamnopora* sp.), rare brachiopods and gastropods.

Bed 976 : 1.60m, sedimentary bias.

Beds 977 to 980 : 7.05m, massive, calcareous, macrofauna composed of some laminar stratifications and rare stromatoporoids, tabulate corals and brachiopods.

Bed 981 : 0.45m, nodular, calcareous.

Beds 982 to 985 : 6.15m, thick reef-limestone, providing rugose corals, stromatoporoids and brachiopods (*Stringocephalus burtini* DEFRANCE, 1827). Poor microfauna with some brachiopods, crinoids, echinoids spines and sponge spicules.

Beds 986 to 987 : 3.75m, massive biostromal unit, with abundant stromatoporoids (Amphiporidae), tabulate corals (*Thamnopora* sp., *Scoliopora* sp. and *Caliapora* sp.), solitary rugose corals, some brachiopods and crinoids. Microfauna mainly composed of brachiopods, gastropods and crinoids.

Beds 988 to 992 : 3.65m, thinner reef-limestones with solitary rugose corals and massive and branching tabulate corals (*Crassialveolites* sp., *Thamnopora* sp.) alternating with crinoidal limestones. Common microfossils, particularly ostracodes, brachiopods, crinoids and tentaculitids.

Beds 993 to 1000 : 2.90m, thin crinoidal argillaceous limestones. Very abundant macro- and microfauna with numerous ostracodes, brachiopods, gastropods and crinoids, some reefal organisms, conodonts and trilobites fragments, presence of tentaculitids, perireefal charophyta (*Sycidium* sp., D. Vachard pers. comm.) and foraminifera.

b). The Fromelennes Formation

The Fromelennes Formation crops out on about 92 meters in this section, compared to about 136 meters in the Cul d'Houille section (Tabl. I), due to numerous faults.

- Flohimont Member (Annex I)

Bed 1001 : 0.45m, incompetent argillaceous limestone showing a brachiopods coquina (1001), accompanied by crinoids. Microfauna well diversified, including charophyta (*Sycidium* sp.), tentaculitids, gastropods, reefal organisms fragments and very abundant brachiopods, crinoids and ostracodes (*Quasillites fromelennensis* MILHAU, 1983 as dominant species).

Beds 1002 to 1005 : 2.30m, thin argillaceous crinoidal limestones, rich in brachiopods. Some solitary rugose corals and bioclasts. Well diversified microfauna, with dominant ostracodes, brachiopods and crinoids.

Section	Cul d'Houille	Flohimont (D46)	Nichet	Synthetic stratigraphical column
Fromelennes Fm. thickness	136.00m	92.20m	23.75m	140.00m
Flohimont Mb.	29.60m	12.15m	-	29.60m
Moulin Boreux Mb.	84.80m	64.60m	Only 11.05m sampled, more about 25.00m	84.80m
Fort Hulobiet Mb.	21.60m	15.45m	12.70m	25.60m
Number of samples	122	121	15	258
Number of ostracodes	7.100	4.900	350	12.350

Tabl. I. — Data synthesis for the Fromelennes Formation.

Tabl. I. — Synthèse des données pour la Formation de Fromelennes.

Bed 1006 : 0.70m, incompetent bioclastic siltstone, showing a plate-splitting. Microfauna mainly composed of brachiopods, crinoids and tentaculitids.

Beds 1007 to 1013 : 2.15m, bioclastic to crinoidal argillaceous limestones with brachiopods, some trilobites and tabulate corals. Abundant microfauna, with numerous ostracodes, brachiopods, crinoids and tentaculitids, some reefal organisms, trilobites and conodonts fragments, foraminifera (*Parathuramina* sp.), gastropods, echinoids spines and sponges spicules.

Bed 1014 : 1.10m, sedimentary bias.

Bed 1015 : 0.20m, calcareous. Poor microfauna.

Bed 1016 : 0.75m, sedimentary bias.

Bed 1017 : 0.30m, nodular, calcareous. Common microfauna providing ostracodes, echinoids spines, rare brachiopods and reefal organisms fragments.

Bed 1018 : 0.65m, sedimentary bias.

Bed 1019 to 1026 : 3.55m, nodular calcareous unit, with abundant small trilobites exuviae (*Dechenella* sp., C. Crônier pers. comm.) and brachiopods. Very abundant crinoids in the lower part. Some solitary rugose corals, branching and massive tabulate (*Thamnopora* sp., Alveolitidae) at the top. Bed 1023 particularly rich in gastropods. Well-diversified microfauna, with abundant ostracodes, brachiopods and trilobites fragments.

Bed 1027 : 15m, sedimentary bias. In comparison with the close Cul d'Houille section (Hubert & Pinte, 2009 ; Maillet *et al.*, 2010), most of the Flohimont Member is missing, due to a fault.

- *Moulin Boreux Member* (Annex I)

Beds 1028 to 1038 : 6.45m, decimeters-thick dark thin-grained limestones, with some bioclasts, crinoids and rare stromatoporoids. Microfauna displaying abundant gastropods,

some ostracodes, crinoids, algae, rare brachiopods and reefal organisms fragments.

Bed 1039 : 2.50m, sedimentary bias.

Bed 1040 : 0.25m, thin, argillaceous, with some bioclasts and brachiopods valves. Microfauna providing abundant ostracodes and some brachiopods, gastropods, reefal organisms fragments, sponges spicules, charophyta and foraminifera.

Beds 1041 to 1042 : 2.75m, massive biostromal limestones, providing stromatoporoids and solitary rugose corals.

Beds 1043 to 1044 : 0.40m, thin, calcareous, with rare crinoids.

Beds 1045 to 1046 : 4.40m, massive thin-grained limestones, with some bioclasts and brachiopods valves. Poor microfauna with rare ostracodes, crinoids and algae.

Bed 1047 : 1.00m, sedimentary bias.

Beds 1048 to 1050 : 3.65m, massive thin-grained limestones. Bed 1049 is biostromal, with stromatoporoids and solitary rugose corals.

Beds 1051 to 1061 : 7.70m, decimeters to meters-thick limestones, showing some brachiopods valves and rare crinoids, bioclasts and small solitary rugose corals. Poor microfauna.

Beds 1062 to 1065 : 4.35m, massive biostromal limestones, providing abundant stromatoporoids, some solitary rugose corals, rare tabulate corals fragments and crinoids. Bed 1065 especially rich in large globular stromatoporoids. Poor microfauna.

Beds 1066 to 1074 : 10.75m, massive meters-thick thin-grained limestones. Bed 1067 yielding some solitary rugose corals.

Bed 1075 : 3.30m, massive bioclastic limestone, with some globular stromatoporoids.

Beds 1076 to 1077 : 3.40m, thick limestones showing clayey seals, the latter with rugose corals.

Beds 1078 to 1080 : 2.05m, massive limestones alternating with thin argillaceous beds, showing rare crinoids. Very rare microfauna.

Bed 1081 : 0.25m, very nodular, irregular brown siltstone, with a conglomeratic appearance and containing rare badly-preserved rugose corals fragments.

Beds 1082 to 1085 : 1.60m, thin-grained limestones, with iron oxides, rare crinoids, rugose corals and bioclasts.

Beds 1086 to 1089 : 5.25m, massive reef-limestones, with rugose corals and globular stromatoporoids and rare tabulate corals fragments.

Beds 1090 to 1095 : 4.55m, decimeters to meter-thick thin-grained limestones, with iron oxides, rare bioclasts and some solitary rugose corals, especially in bed 1095.

Bed 1096 : 17.00m, sedimentary bias.

Fort Hulobiet Member (Annex I)

Beds 1097 to 1101 : 1.50m, calcareous, sometimes nodular, with some brachiopods and bioclasts. Microfauna well diversified at the base of this unit. Abundant ostracodes, with *Cavellina rhenana* KRÖMMELBEIN, 1954 as dominant species.

Bed 1102 : 0.70m, sedimentary bias.

Bed 1103 : 0.40m, thin argillaceous limestone, providing abundant small gastropods.

Bed 1104 : 1.00m, sedimentary bias.

Beds 1105 to 1107 : 0.60m, competent reef-limestones, showing a bevel surface with striated calcite due to a fault. Very abundant tabulate (*Thamnopora* sp., *Crassialveolites* sp.) and rugose corals (particularly *Disphyllum virgatum* HINDE, 1890). Abundant and diversified ostracodes.

Beds 1108 to 1111 : 0.65m, nodular argillaceous limestones. Microfauna essentially yielding foraminifera and algae (Umbellidae).

Beds 1112 to 1116 : 1.50m, competent limestones unit, sometimes slightly dolomitic, with massive and branching tabulate corals and abundant solitary rugose corals. Bed 1114 particularly rich in *Disphyllum virgatum* HINDE, 1890.

Beds 1117 to 1122 : 1.00m, thin argillaceous dolomitic limestones, with some rugose corals, brachiopods, bivalves, bioclasts and crinoids. Common microfauna with abundant ostracodes.

Beds 1123 to 1124 : 0.50m, siltstones, with very abundant rugose corals, some crinoids and bioclasts. Bed 1124 very rich in disphyllids. Microfauna mainly composed of ostracodes, brachiopods, echinoids spines and foraminifera.

Beds 1125 to 1128 : 1.20m, competent bioclastic limestones. Very rare macrofossils. Common microfauna with abundant ostracodes.

Beds 1129 to 1130 : 0.65m, siltstones, very poor in fauna.

Bed 1131 : 0.15m, thin dolomitic limestone, with brachiopods and bivalves.

Beds 1132 to 1148 : 3.40m, thin-grained limestones, with rare macrofossils. Microfauna mainly composed of ostracodes, brachiopods and echinoderms fragments and foraminifera. Beds 1149 to 1153 : 2.20m, nodular limestones unit, rich in brachiopods. Abundant microfauna, mainly with well-diversified ostracodes, brachiopods, echinoderms fragments, foraminifera (*Nanicella* sp., D. Vachard pers. comm.) and tentaculitids.

c) The Nismes Formation

Beds 1154 to 1166 : 4.75m, incompetent brown siltstones, with abundant huge brachiopods (Spiriferids, Atrypids...), belonging to the "zone des monstres" (Gosselet, 1871; Errera *et al.*, 1972).

2) Nichet section

In this section, the sedimentary series present a mean N40 orientation and a reversed dip of 70°S.

a) The Fromelennes Formation

The lower part of the Fromelennes Formation (Flohimont Member and base of the Moulin Boreux Member) is not exposed, hidden by the access to the Nichet cave. Only the upper part of the formation can be observed on a few tens of meters, of which about 23 meters were sampled for this study. We especially focussed on the boundary between the Moulin Boreux and the Fort Hulobiet members.

- Moulin Boreux Member (Annex II)

About 25 meters of thick dolomitic limestone beds, belonging to this member, could be observed below the following described series.

Bed 86 : 1.00m, massive meter-thick grey reef-limestone, very rich in stromatoporoids. Some rugose corals. Bed identical to the stromatoporoid wall in the Cul d'Houille quarry (bed 136 in Hubert & Pinte, 2009).

Beds 87 to 89 : 0.35m, thin nodular very bioclastic limestones, with some rugose corals.

Beds 90 to 99 : 5.20m, bioclastic limestones alternating with reef-limestones, with some crinoids, rugose corals and stromatoporoids.

Bed 100 : 1.25m, massive reef-limestone, with some stromatoporoids. Bed analogous to the bed 165 in the Cul d'Houille section (Hubert & Pinte, 2009).

2.00m, sedimentary bias.

Beds 101 to 102 : 0.45m, thin bioclastic, slightly dolomitic limestones, providing a monospecific ostracodes fauna (*Cryptophyllus* sp.3 *sensu* Magne, 1964).

0.80m, sedimentary bias.

- Fort Hulobiet Member (Annex II)

Beds 103 to 105 : 0.60m, very calcitic limestones, with striated calcite and iron oxides. Change into the orientation of the series (N50), putting forward a fault.

Beds 106 to 108 : 0.95m, thin dark dolomitic and bioclastic limestones, with iron oxides, some dislocated brachiopods valves and rugose corals. Abundant ostracodes.

6,00m, sedimentary bias.

Bed 109 : 0.50m, argillaceous limestone, rich in small gastropods.

0,50m, sedimentary bias.

Beds 110 to 111 : 0.85m, dolomitic limestones, rich in gastropods. Microfauna mainly composed of ostracodes, gastropods and algae (Umbellidae). Change in the orientation of the series (N40) and bed 110 with a bevel-edged base and striated calcite due to a fault. Presence of a reworked globular stromatoporoid in this bed.

Bed 112 : 0.40m, bioclastic argillaceous limestone. Rare microfauna.

0,50m, sedimentary bias.

Bed 113 : 0.50m, competent limestone, with abundant rugose corals, branching and massive tabulate corals (*Thamnopora* sp., *Crassialveolites* sp.), some brachiopods and bioclasts. Very abundant *Disphyllum virgatum* HINDE, 1890, comparable to the bed 1114 in the Flohimont section. Common microfauna.

Beds 114 to 115 : 0.90m, bioclastic limestones, with brachiopods and some tabulate corals. Microfossils quite rare, with some ostracodes and algae (Umbellidae).

1,00m, sedimentary bias.

b) *The Nismes Formation* (Annex II).

Bed 116 and above : 2.15m, incompetent brown siltstones alternating with brown argillaceous limestones, with huge brachiopods (Spiriferids, Atrypids...). Unit similar to the beds cropping out in the Flohimont section and belonging to the "zone des monstres" (Gosselet, 1871; Errera *et al.*, 1972).

VII. — CORRELATIONS

Lithology, macrofossils, ostracode populations and associated microfauna contents allow recognizing fifteen characteristic beds or zones. Then, fine correlations between the three complementary studied sections (Fig. 3) provide an almost complete 140 meters-thick sedimentary series for the Fromelennes Formation in the Givet area.

We can recognize the following characteristic beds and zones:

1) A 3 meters-thick biostrome (reef-limestone), with abundant tabulate and solitary rugose corals, and stromatoporoids (particularly amphiporidae) : Flohimont bed 986 and Cul d'Houille bed 85''.

2) A brachiopod argillaceous-carbonated coquina bed, at the base of the Fromelennes Formation : Flohimont bed 1001 and Cul d'Houille bed 102''a.

3) A *Quasillites fromelennensis* MILHAU, 1983 and *Poloniella tertia* KRÖMMELBEIN, 1953 very rich zone around the Mont d'Hours Formation/Fromelennes Formation

boundary : Flohimont beds 997 to 1026 and Cul d'Houille beds 95'' to 108''.

4) Calcareous beds bearing small trilobites : Flohimont beds 1019 to 1026 and Cul d'Houille beds 103'' to 108''.

5) Two beds bearing gastropods and serpulids (*Spirorbis* sp.) and also providing *Evlanella germanica* BECKER, 1964 and *Kozlowskiella* aff. *boloniensis* MILHAU, 1983 : Cul d'Houille beds 109''g and 109''h. No equivalence was found in the other sections, but these characteristic beds might be use for basin-wide correlation.

6) A thick biostrome : Flohimont bed 1041 and Cul d'Houille bed 11.

7) A biostromal unit with abundant globular stromatoporoids : Flohimont beds 1063 to 1065 and Cul d'Houille beds 53 to 58.

8) A paleosol bed, already reported by Boulvain *et al.* (2009a) : Flohimont bed 1081 and Cul d'Houille bed 109.

9) A one meter-thick biostrome ("stromatoporoids wall") : Cul d'Houille bed 136 and Nichet bed 86.

10) *Cryptophyllus* sp.3 *sensu* Magne, 1964 almost monospecific beds at the top of the Moulin Boreux Member : Cul d'Houille beds 138 to 165 and Nichet beds 90 to 108.

11) Few beds with dominant *Cavellina rhenana* KRÖMMELBEIN, 1954, sometimes in association with *Evlanella germanica* BECKER, 1954, *Cryptophyllus* sp.3 *sensu* Magne, 1964 and *Kozlowskiella plana* (KUMMEROV, 1953) at the base of the Fort Hulobiet Member : Flohimont beds 1097 to 1103, Cul d'Houille beds 166 to 190, and Nichet beds 109 to 112.

12) A succession of disphyllids (rugose corals) beds. The first one is rather argillaceous : Cul d'Houille bed 198. The second one is more calcareous : Flohimont bed 1114, Cul d'Houille bed 209 and Nichet bed 113. The third one is again argillaceous : Flohimont bed 1124.

13) An abundant *Cryptophyllus* aff. *materni* BASSLER & KELLET, 1934 bearing unit below the disphyllids calcareous bed : Flohimont beds 1105 to 1113 and Cul d'Houille beds 199 to 208.

14) Calcareous beds bearing bivalves : Flohimont beds 1117 to 1119 and Cul d'Houille coquina limestone bed 211.

15) Beds bearing *Polyzygia beckmanni beckmanni* KRÖMMELBEIN, 1954, at the base of the Nismes Formation (Lethiers, 1974; Milhau, 1983; Casier, 1987; Bultynck *et al.*, 1991; Lethiers & Raymond, 1991; Lacquement *et al.*, 2006) : Flohimont beds 1154 to 1166 and Nichet beds 116 and above.

We can note that Maillet *et al.* (2010) reported a faunal renewal in the uppermost part of the Mont d'Hours Formation in the Cul d'Houille section, shyly beginning above the thick biostromal bed 85'' and becoming more distinct from bed 93''. This diversification event, characterized by the appearance of deeper platform faunas, is also clearly discernable in the Flohimont section, beginning above the thick biostromal bed 986 and becoming clearer from bed 992. In relation with a Givetian major transgressive episode

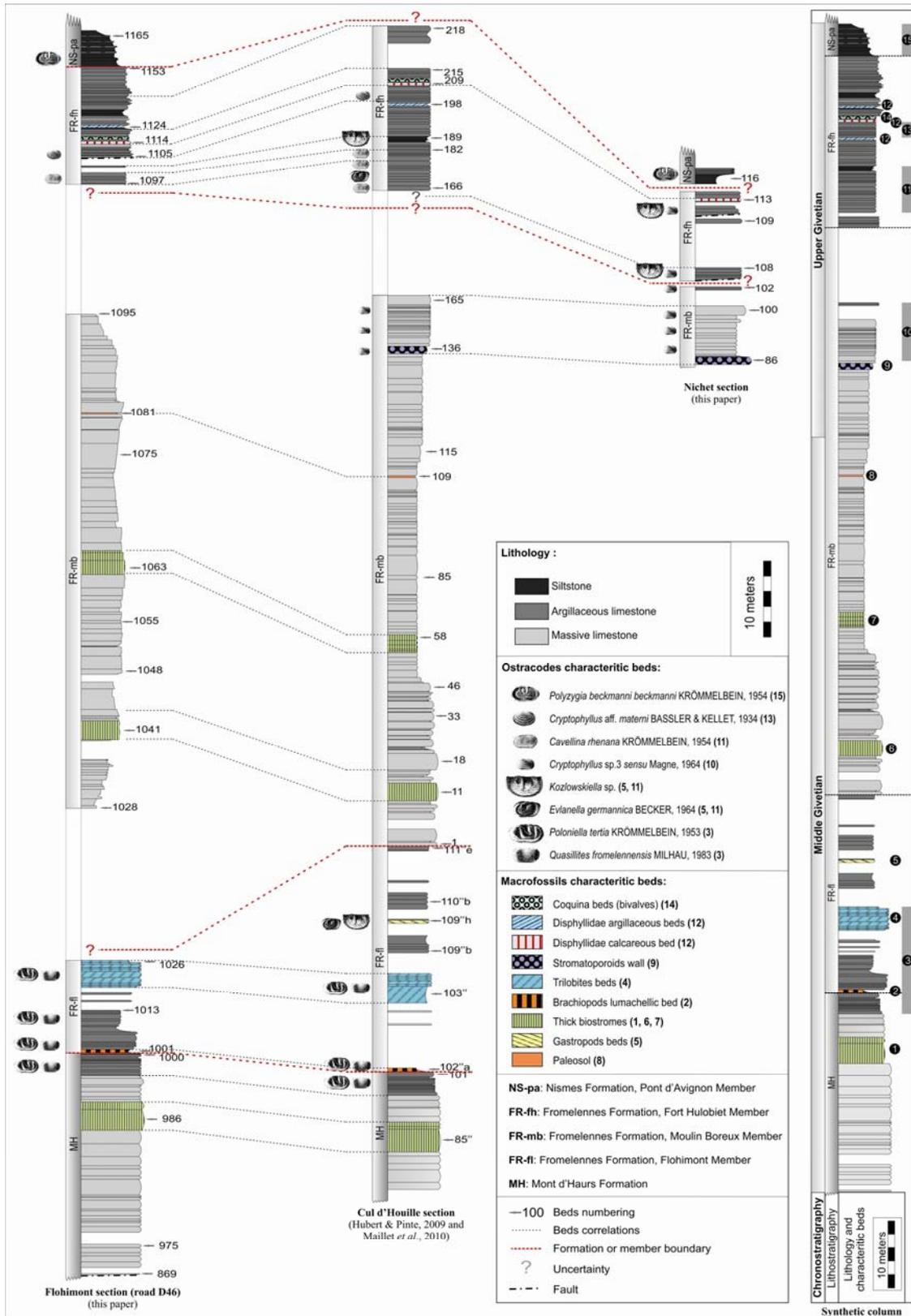


Fig. 3. — Correlation of the Flohimont, the Cul d’Houille and the Niche sections and synthetic stratigraphic column of the Fromelennes Formation in the Givet area.

Fig. 3. — Corrélation des coupes de Flohimont, du Cul d’Houille et de Niche et colonne stratigraphique composite synthétique de la Formation de Fromelennes dans la région de Givet.

(Milhau, 1983; Bultynck *et al.*, 2001), this faunal and sedimentary event should be found beyond the type area, and could be a useful correlation criterion in the Dinant synclinorium.

VIII. — CONCLUSION

The Fromelennes Formation, in its type area, is frequently faulted and the series, whatever the section, always presents numerous sedimentary biases.

The two studied sections, Flohimont and Nichet, in addition to the previously studied Cul d’Houille section, allow identifying, both on macro- and microfaunal criteria, fifteen characteristic beds or zones.

Correlations between the three sections lead to propose a new up to date synthetic stratigraphic column in which the Fromelennes Formation appears, using the same historical boundaries, to be slightly thicker than previously said : 140 meters instead of 135 meters-thick.

Finally, this work, bringing new data on the distribution and abundance of the macro- and microfauna, is a new contribution to the Givetian database of the southern border of the Dinant synclinorium. Adding to previous works (Hubert, 2008a and b; Hubert & Mabilles, 2009; Hubert & Pinte, 2009; Maillet *et al.*, 2010) it will be useful for future correlations.

Acknowledgements. — We are especially grateful to P. Deville, B.L.M. Hubert and J.-P. Nicollin (Laboratoire de Paléontologie stratigraphique FLST – ISA) for their support and their advices during this study. We express thanks to C. Crônier and D. Vachard for trilobites and foraminifera identifications. Thanks also to the Fromelennes town council, the O.N.F., the Conservatoire d’Espaces Naturels de Champagne-Ardenne and the Ardennes prefecture for all the sampling authorizations in the “Réserve de la Pointe de Givet”, to M. Vigneron, owner of the Nichet caves, and to the Flohimont residents. Finally, we are thankful to C. Crônier and to R. Gourvennec for their useful comments and critical reviewing of the manuscript.

BIBLIOGRAPHY

- BECKER R.T., (2007). — Correlation of the proposed Middle Givetian substage with the global ammonoid record. *Subcommission on Devonian Stratigraphy Newsletter* **22**, 17-23.
- BOULVAIN F., MABILLE C., POULAIN G. and DA SILVA A.C., (2009a). — Towards a palaeogeographical and sequential framework for the Givetian of Belgium. *Geologica Belgica*, **12** (3-4), 161-178.
- BOULVAIN F., MABILLE C., POULAIN G. and DA SILVA A.C., (2009b). — A magnetic susceptibility curve for the Devonian Limestone from Belgium. *Geologica Belgica*, **13**, 113-117.
- BRICE D., (1980). — Le Givétien in Les étages français et leurs stratotypes, CAVELIER C. & ROGER J. (Coord.). *Mémoire du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, **109** : 9-25.
- BRICE D. & MISTIAEN B., (2008). — Le stratotype du Givétien à Givet. Livret-guide d’excursion, mars 2008, *Société Géologique du Nord, Lille*, 18p.
- BULTYNCK P., (1974). — Conodontes de la Formation de Fromelennes du Givétien de l’Ardenne Franco-Belge. *Bulletin de l’Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, **XII** (31), 50/10, 30 p.
- BULTYNCK P., (2001). — Fromelennes-Flohimont. Middle-Late Givetian (Coen & Coen-Aubert, 1971; Bultynck, 1974) in BULTYNCK P., CASIER J.-G., COEN-AUBERT M. & GODEFROID J. (2001). — Préconférence field trip (V1) : Couvin – Philippeville – Wellin area, Ardenne (May 11-12, 2001). 15th International Senckenberg Conference, Joint Meeting IGCP 421/Subcommission on Devonian Stratigraphy, *Field Trips Guidebook*, 1-44.
- BULTYNCK P., COEN-AUBERT M., DEJONGHE L., GODEFROID J., HANCE L., LACROIX D., PREAT A., STAINIER P., STEEMANS P., STREEL M. and TOURNEUR F., (1991). — Les Formations du Dévonien Moyen de la Belgique. *Mémoire explicatif des cartes géologiques et minières de la Belgique, Service Géologique de Belgique*, **30**, 106 p.
- BULTYNCK P. & GOUWY S., (2008). — Reference sections for the Middle Givetian substage. *Subcommission on Devonian Stratigraphy Newsletter* **23**, 21-31.
- CASIER J.G., (1987). — Etude biostratigraphique et paléocéologique des ostracodes du sommet du Givétien et de la base du Frasnien à Ave-Et-Auffe (Bord sud du bassin de Dinant, Belgique). *Bulletin de la Société Belge de Géologie, Bruxelles*, **96** (1), 23-34.
- CASIER J.G. & PREAT A., (2009). — Late Givetian to Middle Frasnian ostracodes from Nismes (Dinant Synclinorium, Belgium) and their lithological context. *Bulletin de l’Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, **79**, 87-115.
- COEN M., (1985). — Ostracodes givétiens de l’Ardenne. *Mémoire Institut Géologique de l’Université de Louvain*, **32**, 48 p.
- COEN, M. & COEN-AUBERT M., (1971). — L’assise de Fromelennes aux bords sud et est du Bassin de Dinant et dans le Massif de la Vesdre. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **94**, 5-20.
- CORNET P., (1975). — Morphogenèse, caractères écologiques et distribution des stromatopores dévoniens au bord sud du bassin de Dinant (Belgique). *Thèse, Université Catholique de Louvain, Tome II*, 195 p.
- ERRERA M., MAMET B. and SARTENAER P., (1972). — Le Calcaire de Givet et le Givétien à Givet. *Bulletin de l’Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles*, **48** (1), 59 p.
- GOSSELET, (1871). — Esquisse géologique du département du Nord et des contrées voisines. III - Terrain dévonien. *Bulletin Scientifique du Département du Nord, Lille*, 81-82, 153-159, 210-218, 255- 261, 291-301, 316-325.
- GOUWY S. & BULTYNCK P., (2003). — Conodont based graphic correlation of the Middle Devonian formations of the Ardenne (Belgium) : implications for stratigraphy and construction of a regional composite. *Revista Española de Micropaleontología*, **35** (3), 315-344.
- HUBERT B. L. M., (2008a). — Detailed lithology and faunal abundance of the historical Givetian section : the fortifications of the Mont d’Hairs (Givet, France). *Annales de la Société Géologique du Nord*, **15** (2ème série), 45-57.
- HUBERT B. L. M., (2008b). — Glageon Quarry : Lithostratigraphy and faunal occurrence in the Middle Givetian (Devonian) of Avesnois, France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **15** (2ème série), 67-75.

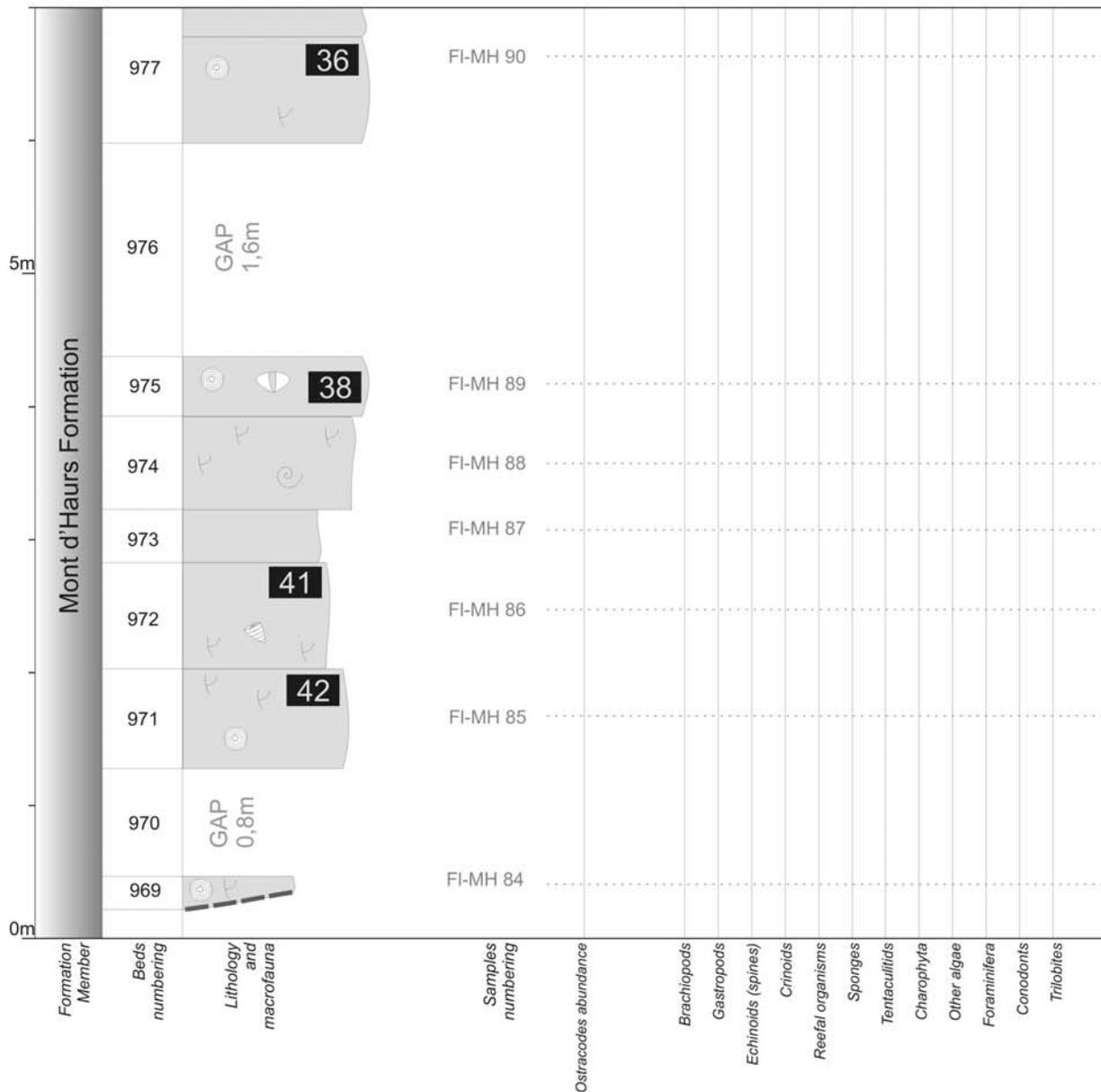
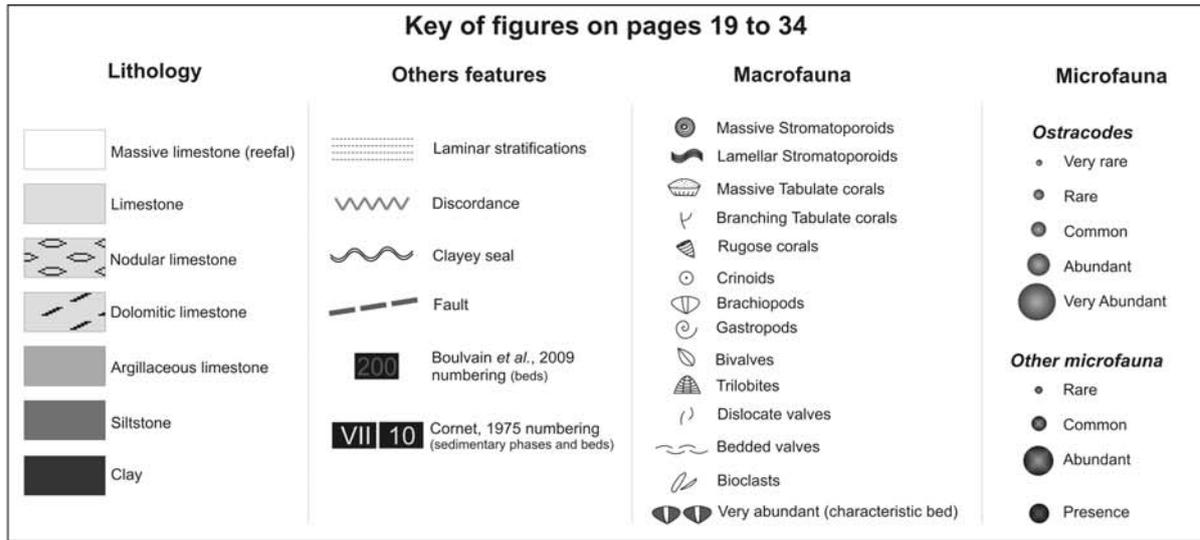
- HUBERT B. L. M. & MABILLE C., (2009). — Detailed lithology and faunal occurrence of the Marenne - East and Centre sections – Quarry (Givetian, Middle Devonian, Belgium). *Annales de la Société Géologique du Nord*, **16** (2ème série), 1-8.
- HUBERT B.L.M. & PINTE E., (2009). — Detailed lithology, faunal abundance and correlations of the Cul d’Houille Section (Middle Devonian, Givetian, Avesnois, France). *Annales de la Société Géologique du Nord*, **16** (2^e série), 79-89.
- LACQUEMENT F., MANSY J.L., MEILLIEZ F. and VAN VLIET-LANOË B., (2006). — Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Givet (40) (seconde édition), Orléans : BRGM, 108 p. Carte géologique par Mansy J.-L. *et al.* (2006). ISBN-10 : 2-7159-1040-1 ; ISBN-13 : 978-2-7159-1040-9.
- LETHIERS F., (1974). — Biostratigraphie des Ostracodes dans le Dévonien supérieur du Nord de la France et de la Belgique. *Newsletters on Stratigraphy*, **3** (2), 73-79.
- LETHIERS F. & CRASQUIN-SOLEAU S., (1988). — Comment extraire les microfossiles à tests calcitiques des roches calcaires dures. *Revue de micropaléontologie*, **31** (1), 56-61.
- LETHIERS F. & RAYMOND D., (1991). — Les crises du Dévonien supérieur par l’étude des faunes d’ostracodes dans leur cadre paléogéographique. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **88**, 113-146.
- MAGNE, F. 1964. Données micropaléontologiques et stratigraphiques dans le Dévonien du Boulonnais (France) et du bassin de Namur (Belgique), 172p. Phd thesis, Université de Paris, Direction, Exploitation et Production, Centre de Recherches de Pau, S.N.P.A.
- MAILLET S., MILHAU B. and HUBERT B.L.M., (2010). — New insight on the « Cul d’Houille » section near Flohimont (Givetian, Middle Devonian). *Annales de la Société Géologique du Nord*, **17** (2ème série), 53-57.
- MILHAU B., (1983). — Valeur biostratigraphique et paléocéologique des ostracodes du Givétien supérieur de la région-type (Ardenne). *Geobios, Lyon*, **16** (3), 347-359.
- MILHAU B., (1984). — Microfossil technique – Bourbon’s disintegration. *Newsletter of the Geological Society of New Zealand*, **65**, 33.

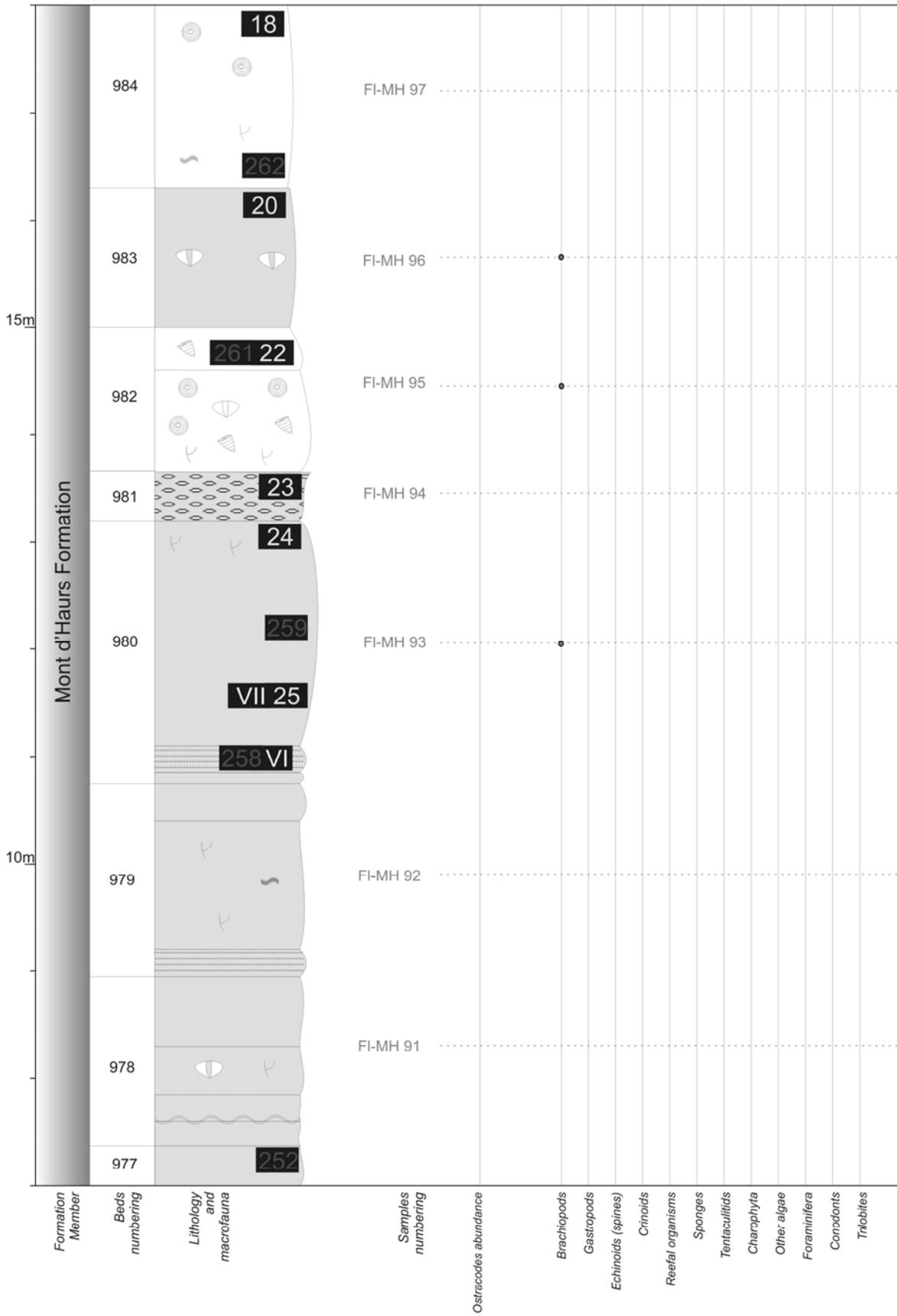
ANNEXES

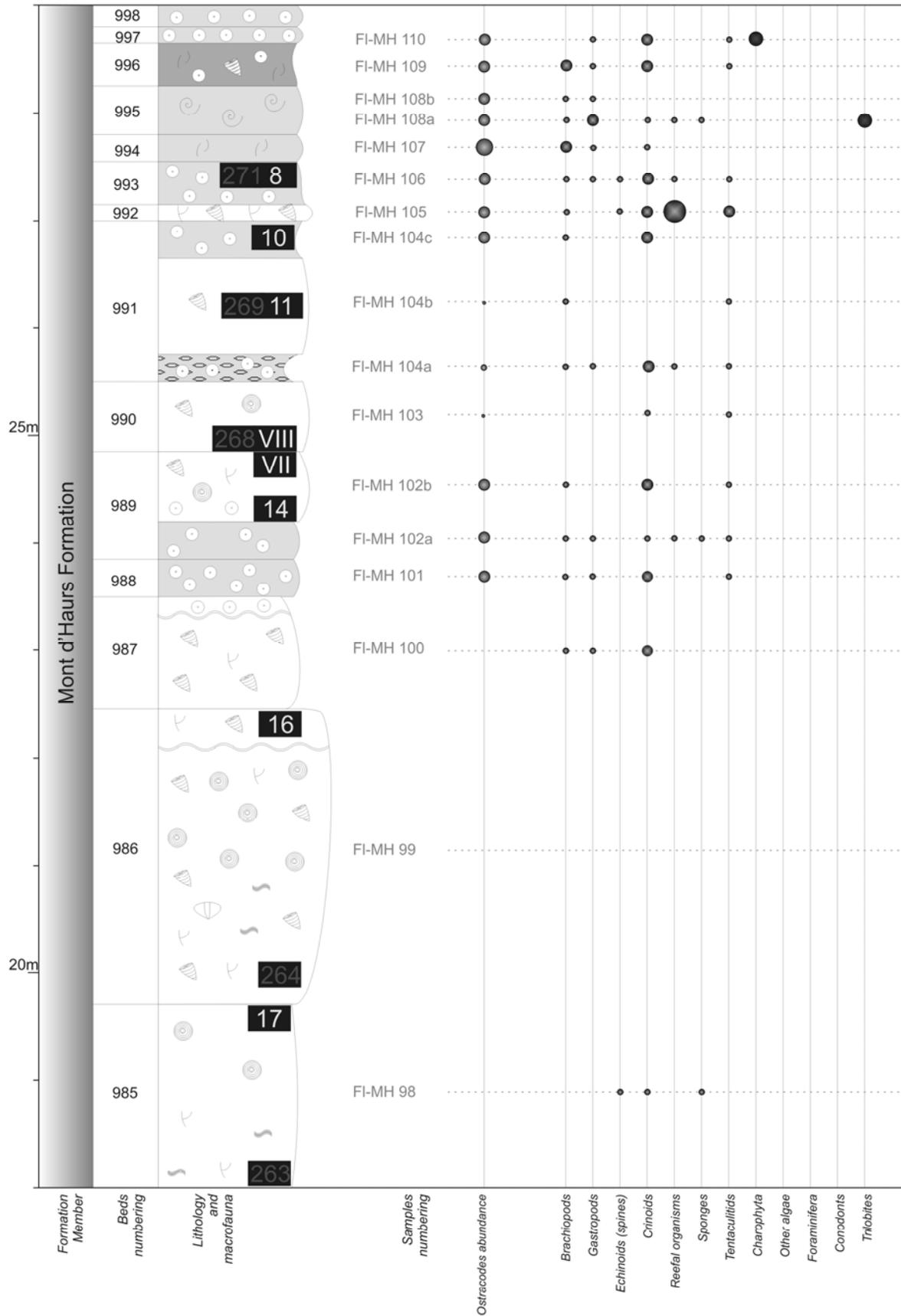
Annex I (pages 21-33)

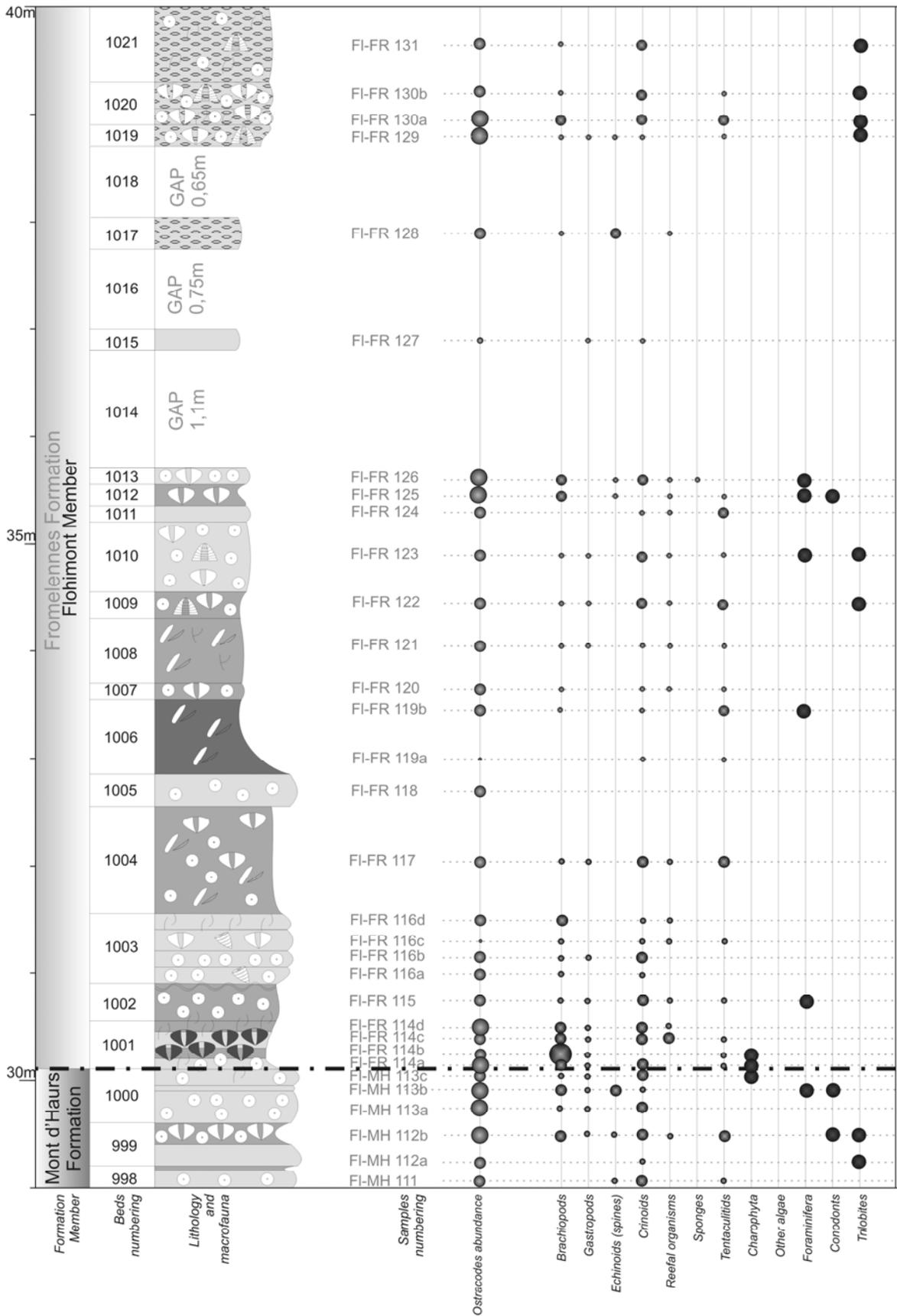
Detailed stratigraphic column of the Flohimont section (lithology and macrofauna, left part) and microfauna distribution (right part).
For caption, see Annex I, p.21.

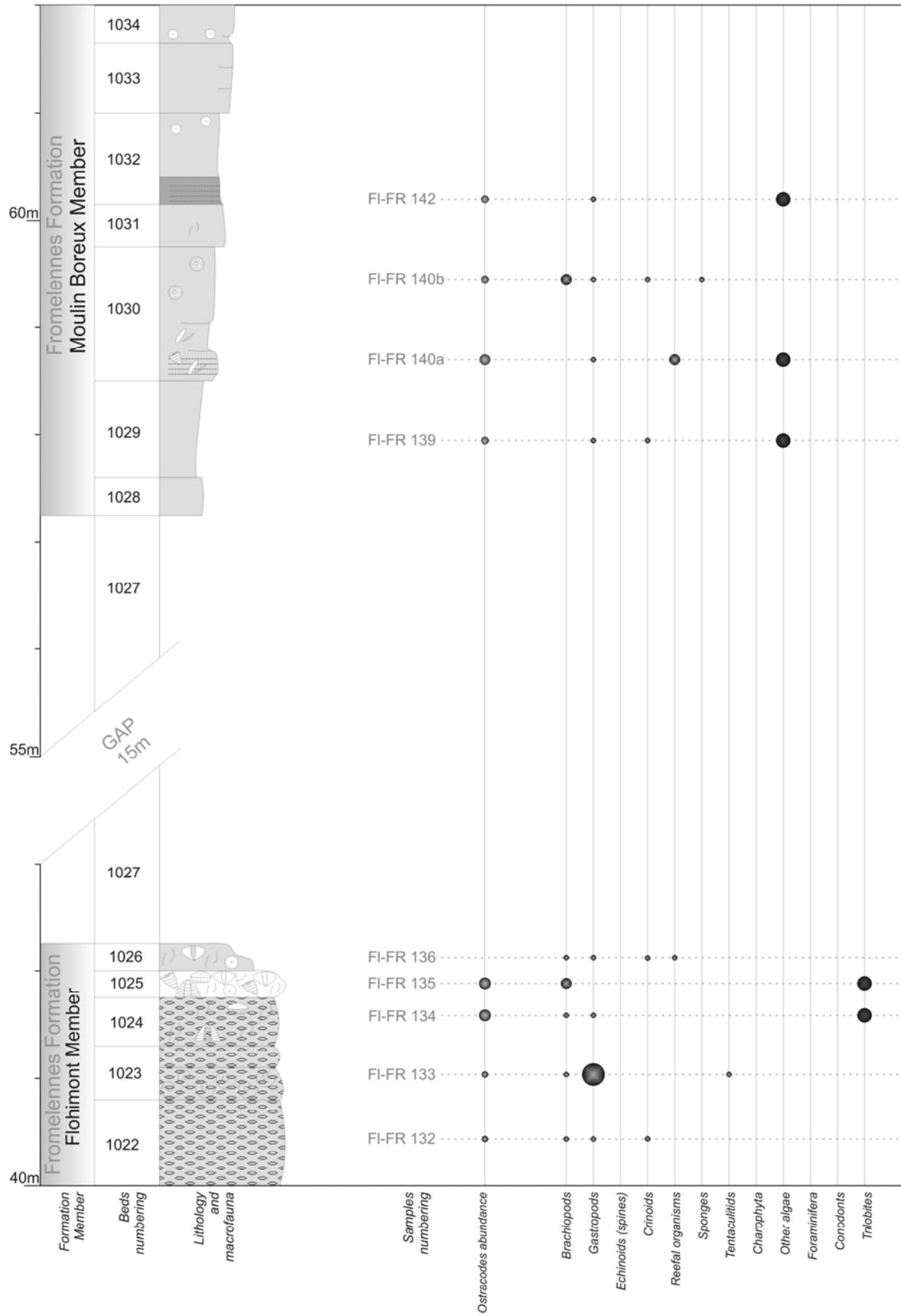
*Colonne stratigraphique détaillée de la coupe de Flohimont (lithologie et macrofaune, partie gauche)
et répartition de la microfaune (partie droite). Voir légende Annexe I, p. 21.*

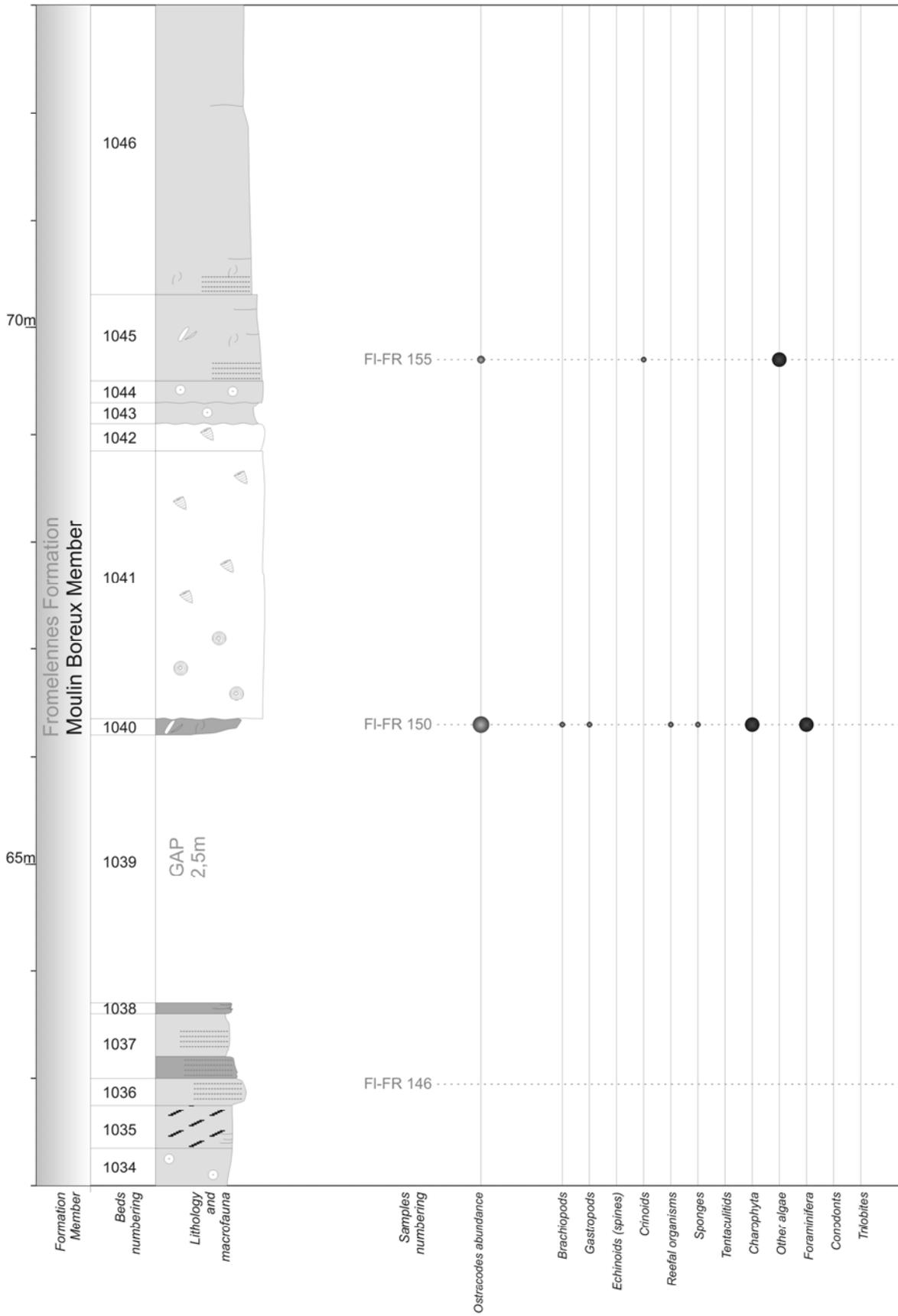


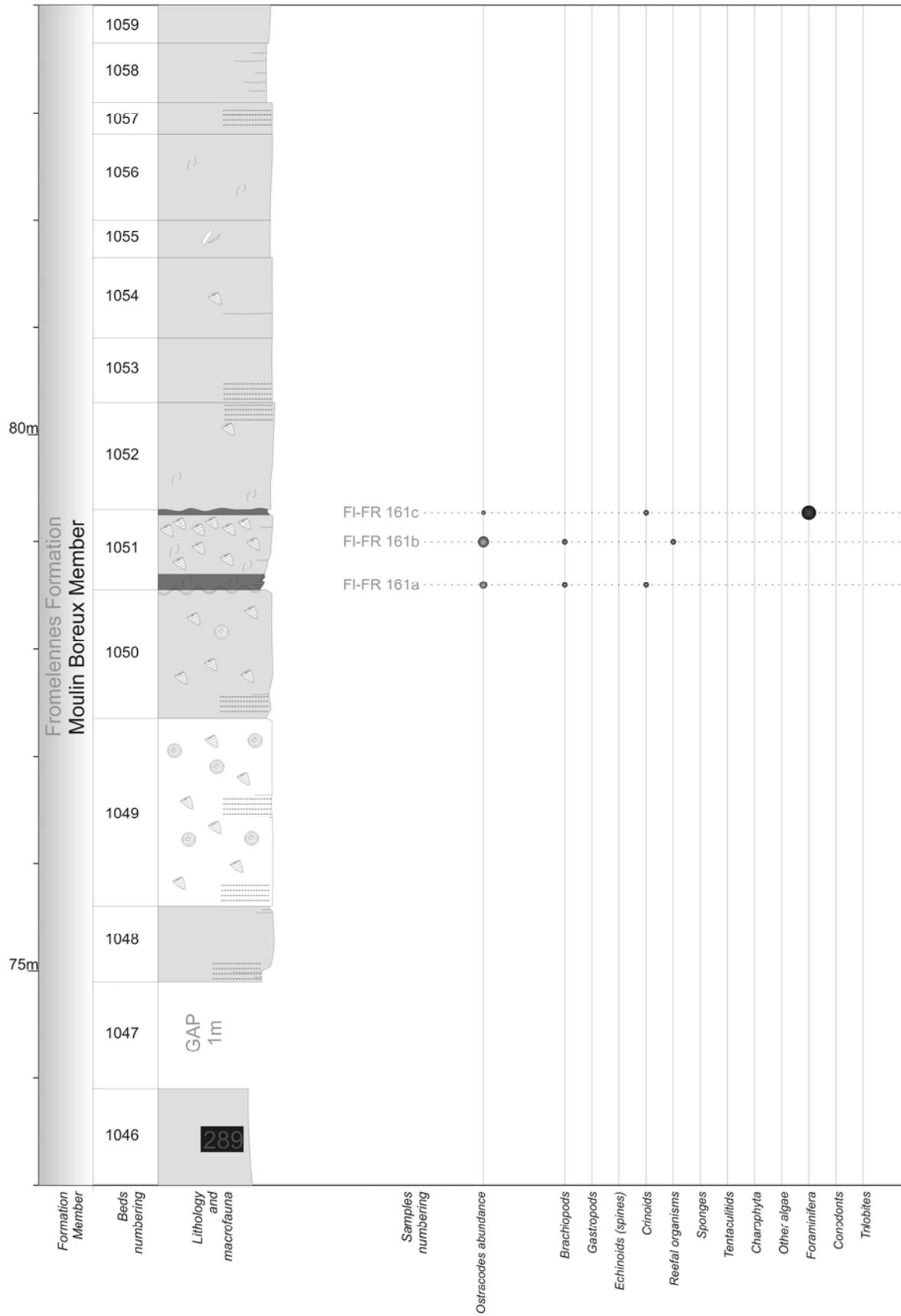


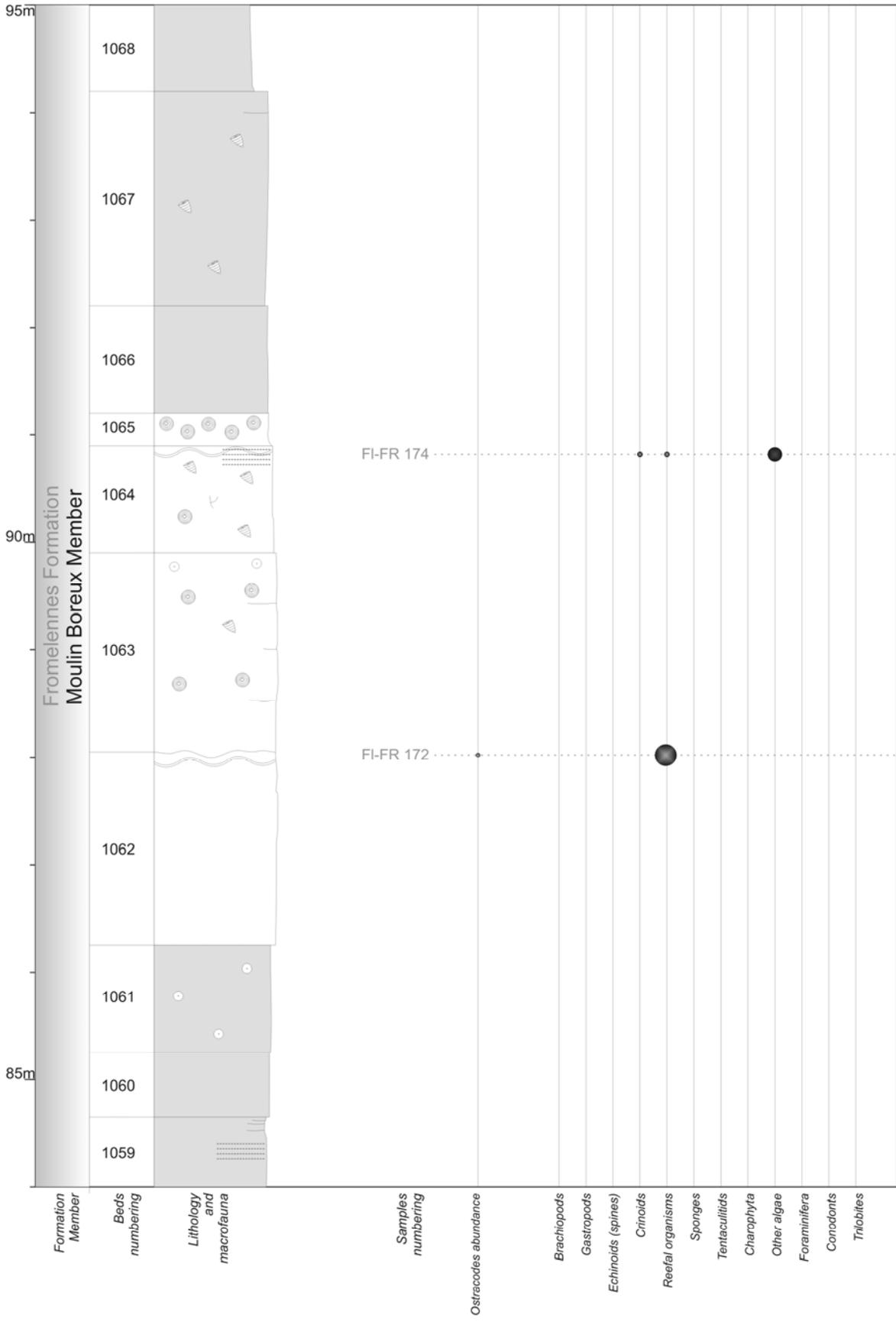


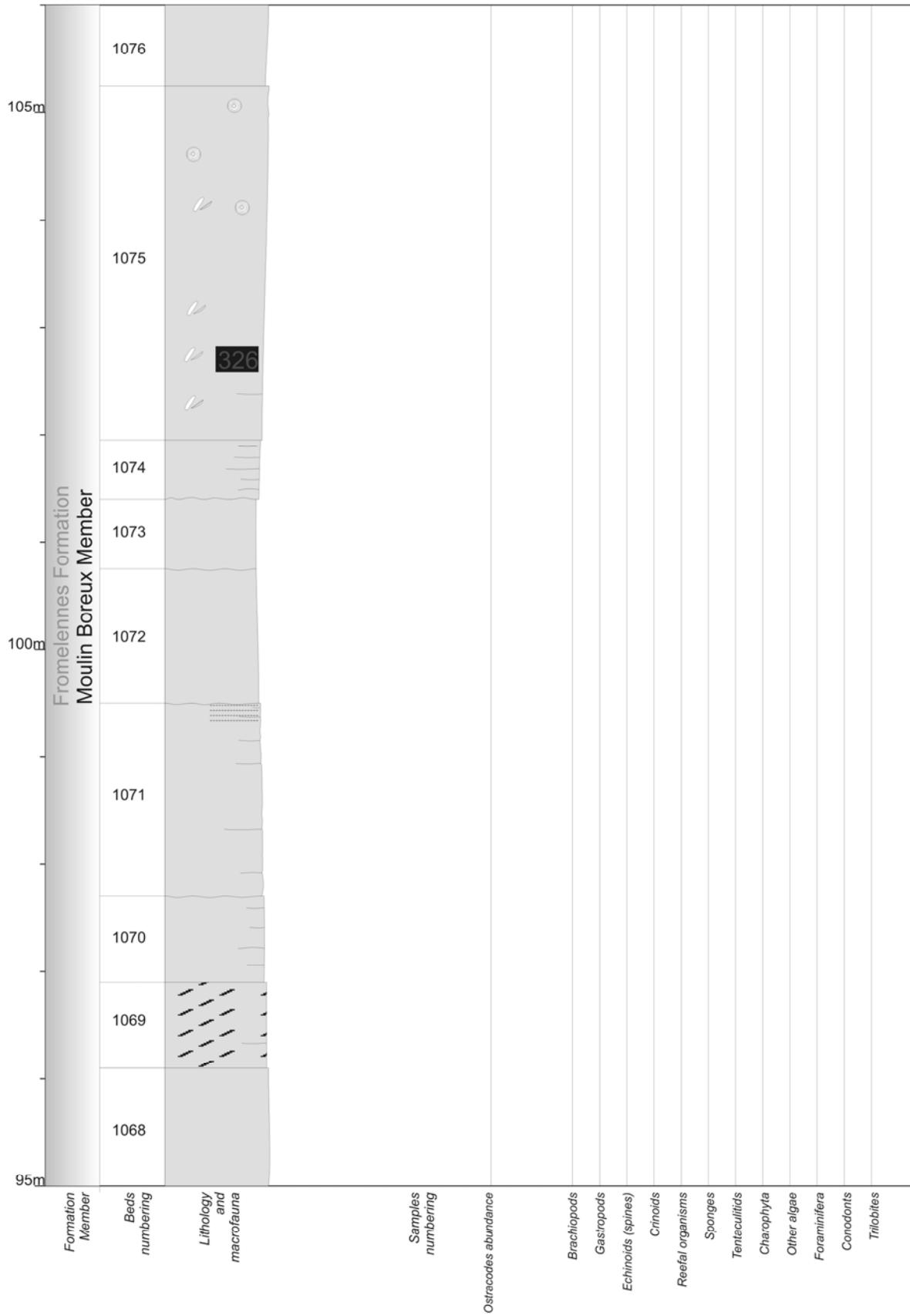


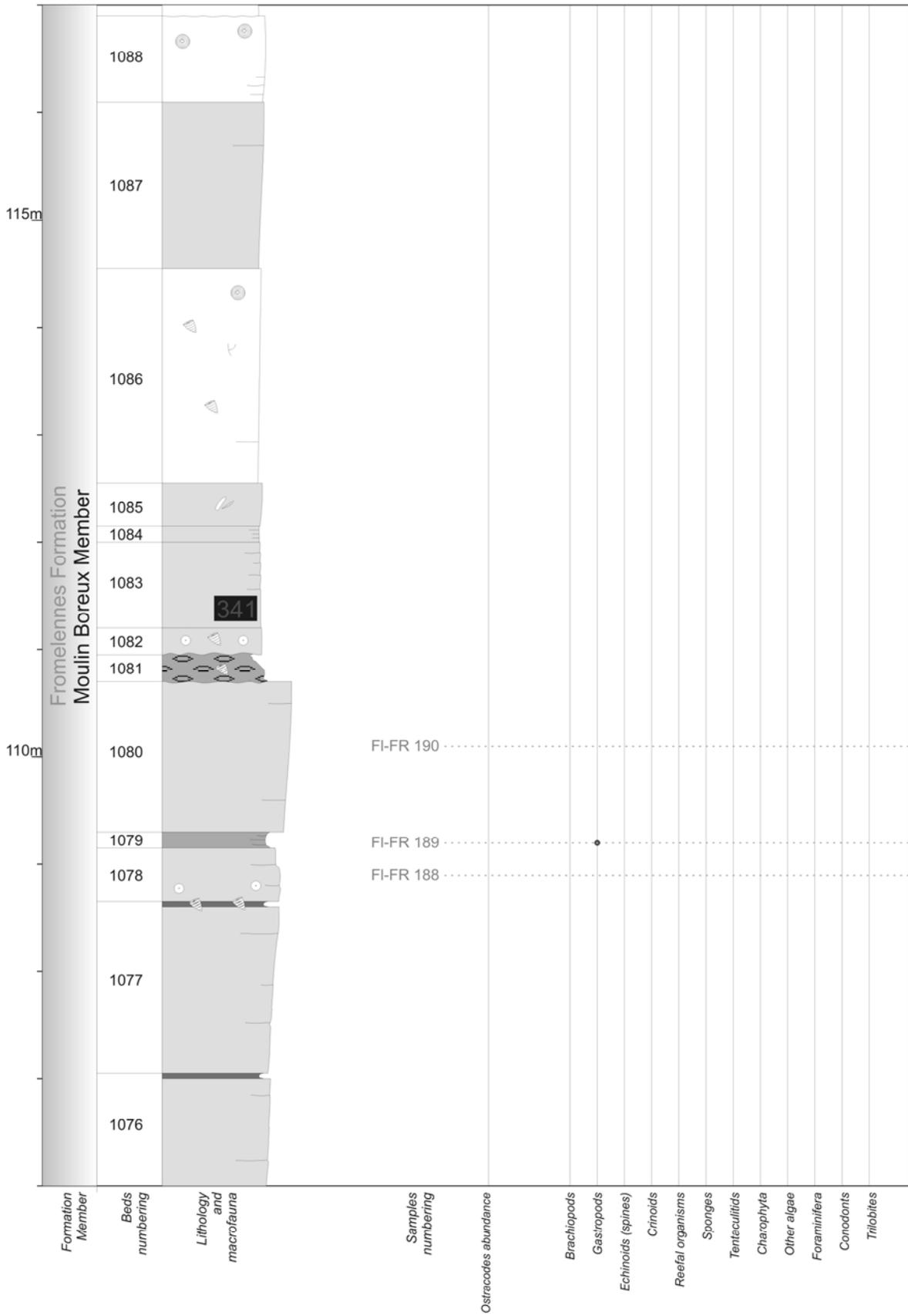


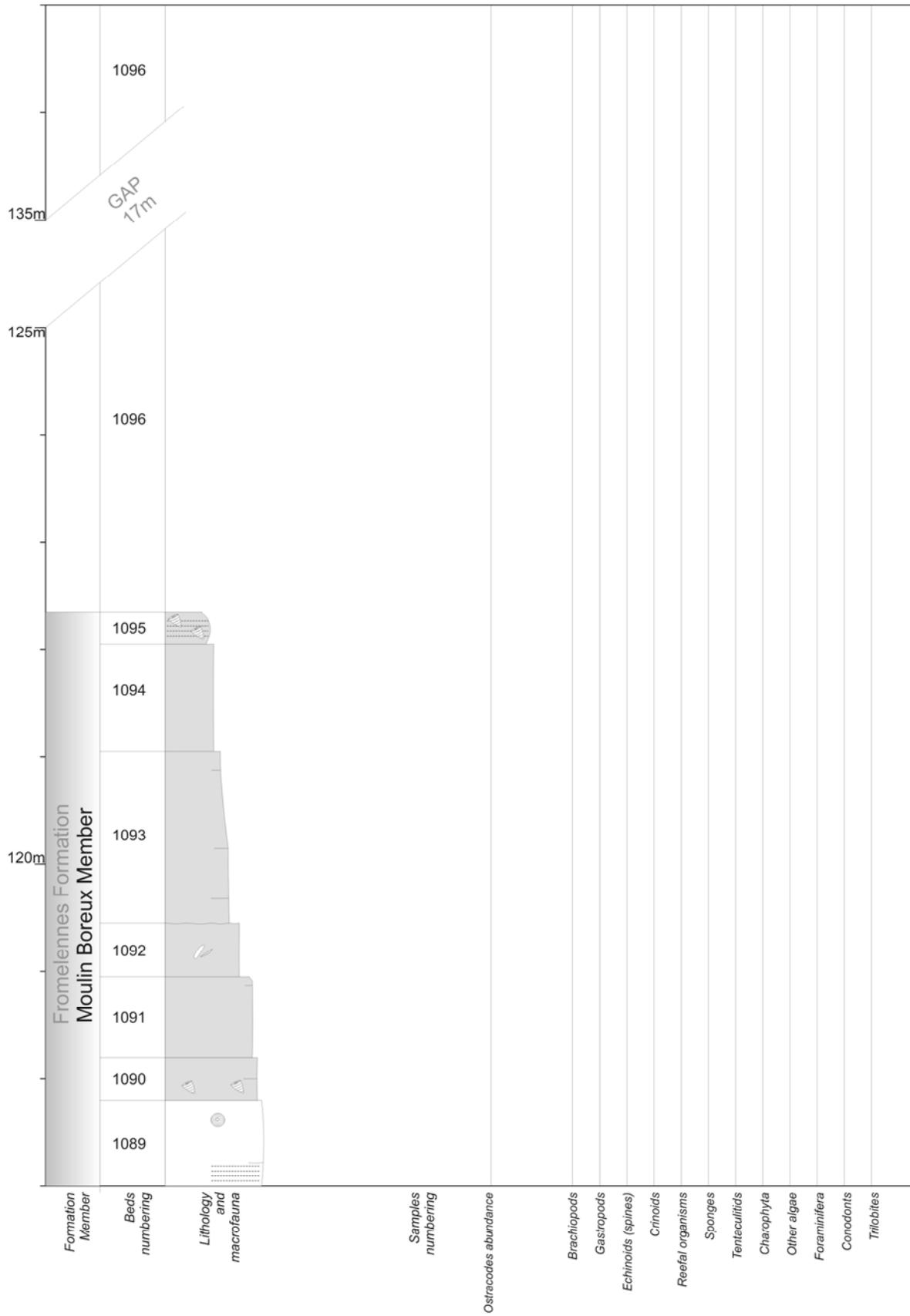


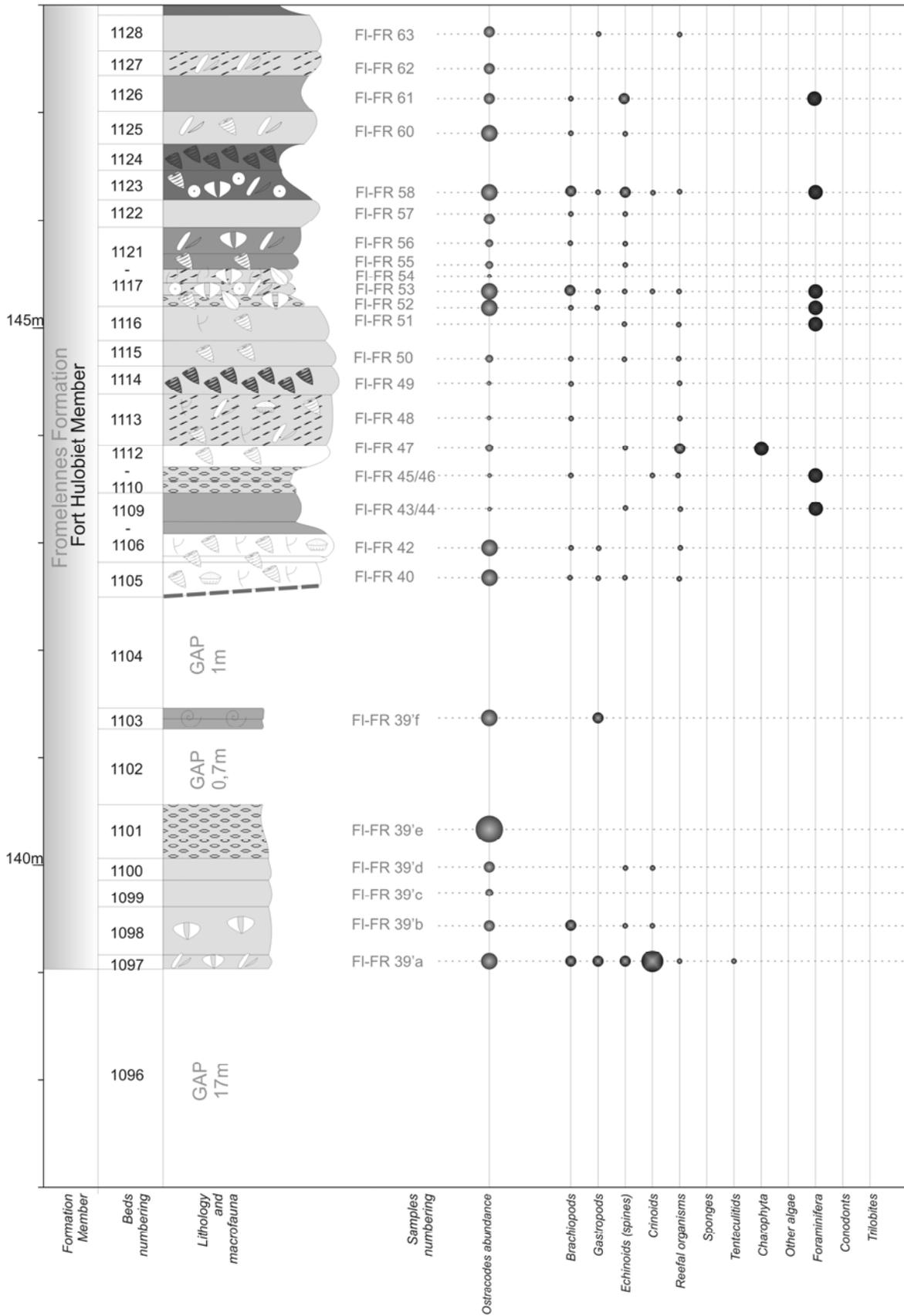


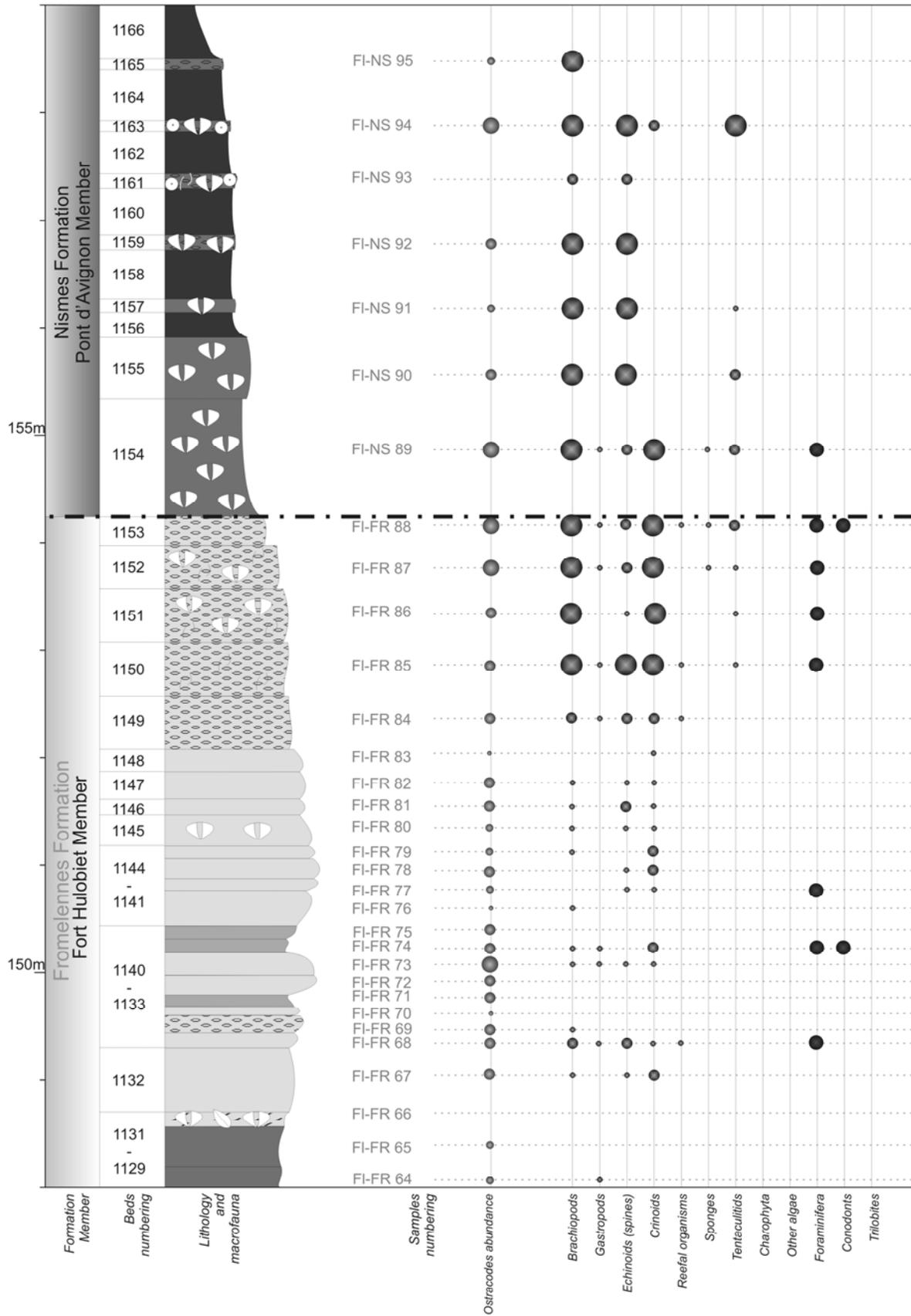








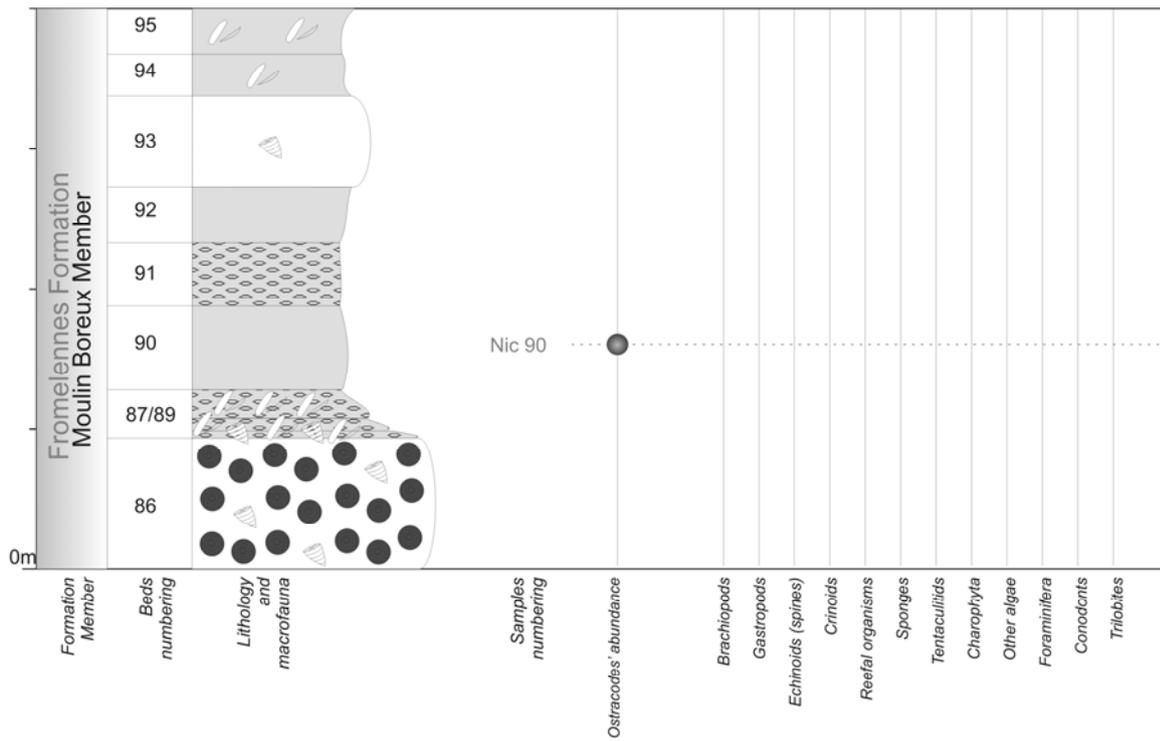


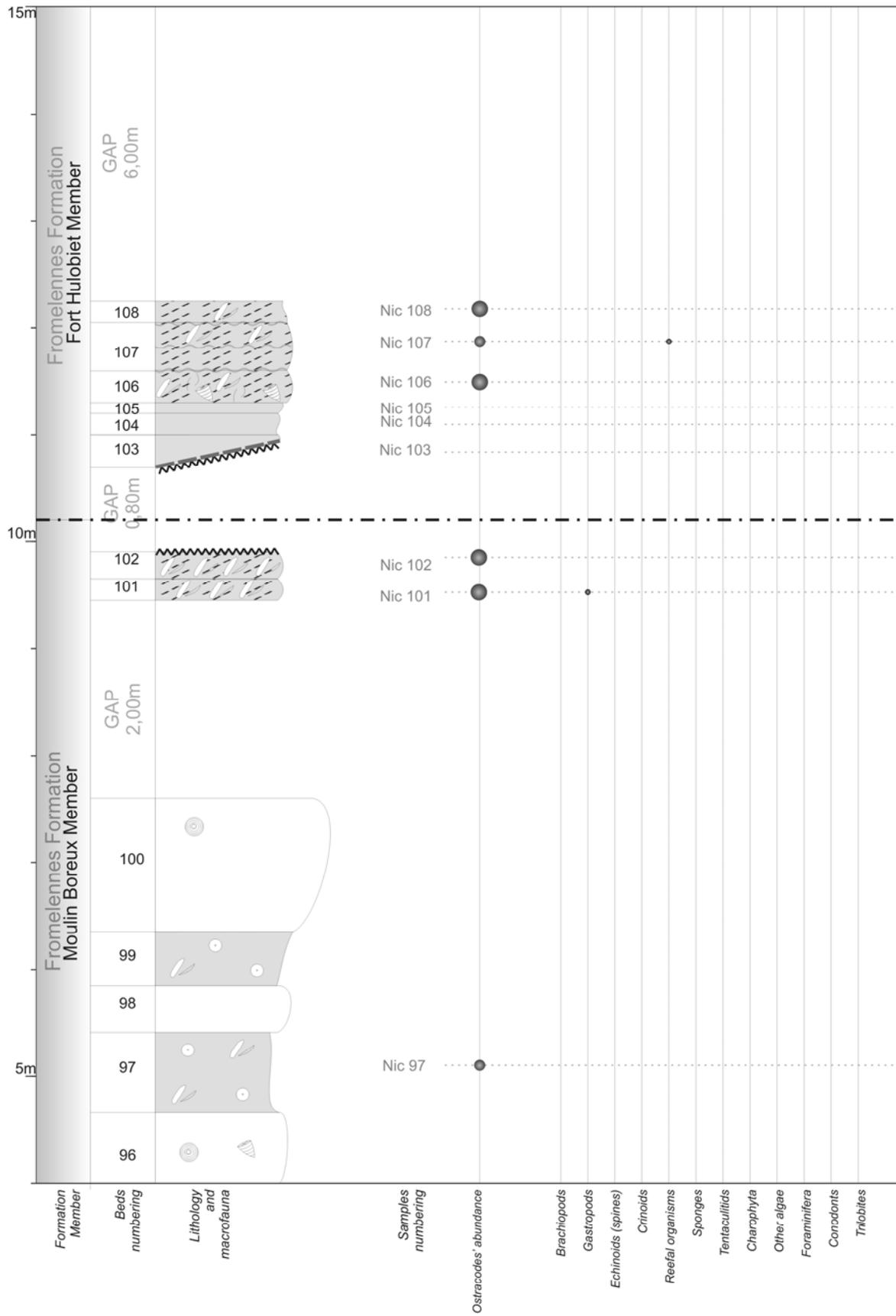


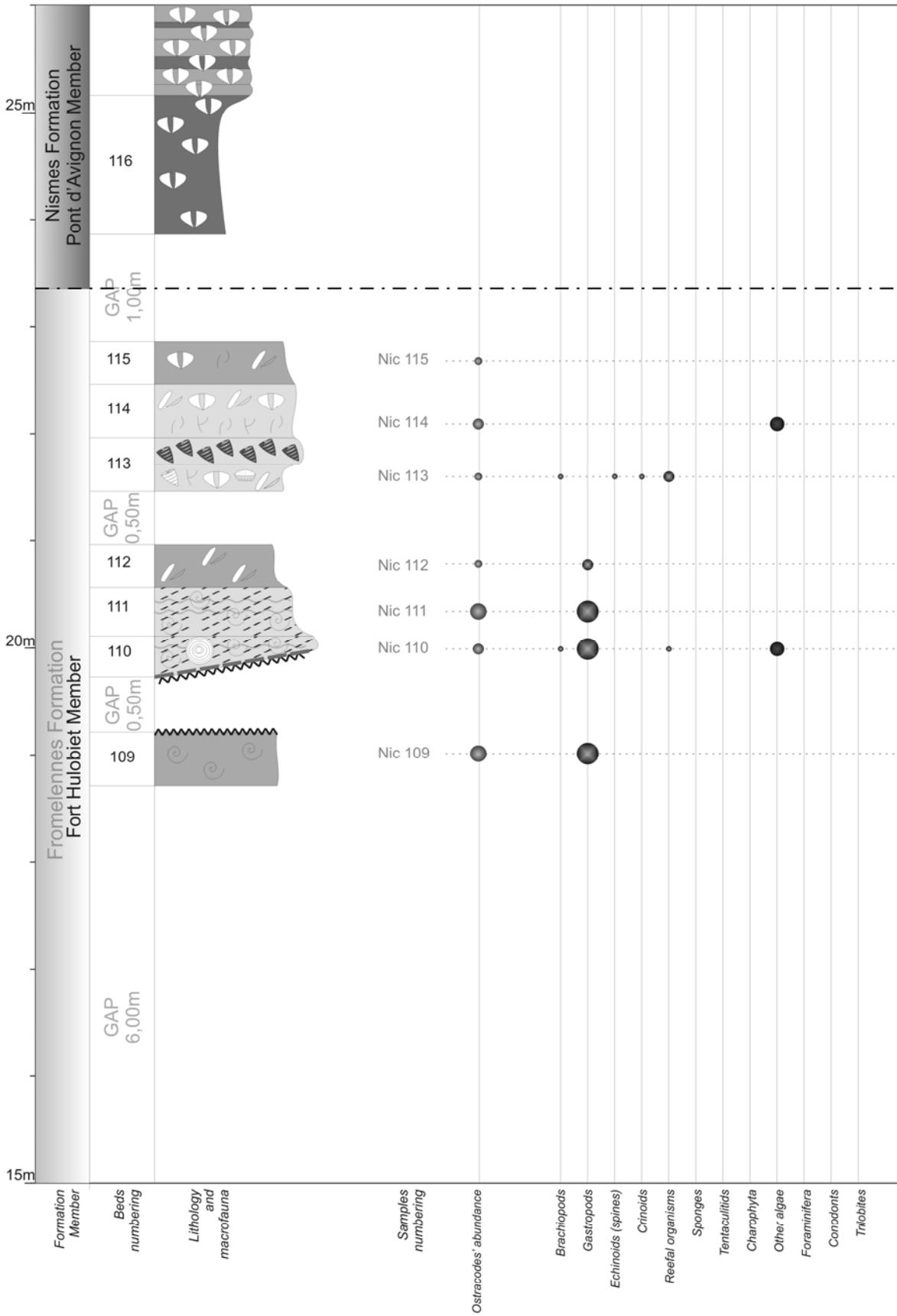
Annex II (pages 34-36)

Detailed stratigraphic column of the Nichet section (lithology and macrofauna, left part) and microfauna distribution (right part). For caption, see Annex I, p. 21.

Colonne stratigraphique détaillée de la coupe de Nichet (lithologie et macrofaune, partie gauche) et répartition de la microfaune (partie droite). Voir légende Annexe I, p. 21.







SUR L'ÂGE ET L'ORIGINE DE LA DUNE DECALCIFIÉE DE GHYVELDE-ADINKERKE (NORD, FRANCE).

About the age and origin of the decalcified dune of Ghyvelde-Adinkerke (Northern France).

par Guillaume LEMOINE (*)

Résumé. — L'âge et l'origine de la dune interne de Ghyvelde (Nord, France) ont fait au cours du 20^{ème} siècle l'objet de diverses interprétations. Initialement décrite comme la trace d'un cordon dunaire allant d'Adinkerke (Belgique) à Armabouts-Cappel marquant une étape du recul du trait de côte, la dune devient un élément du Pléistocène suite à la découverte par Bouly de Lesdain (1912a et b) d'une faune fossile insolite d'affinité méditerranéenne. Cela en a fait, dans l'esprit de nombreux d'entre nous, un cordon fossile marquant la trace d'un rivage ancien édifié avant un brusque refroidissement climatique. Aujourd'hui deux expertises s'opposent. Une première tend à démontrer que le cordon de Ghyvelde fut dès l'origine édifié il y a 5000 ans cal BP en situation d'arrière-dune à plusieurs kilomètres d'un rivage existant (Baeteman, 2001, 2004). Une autre suppose que la dune s'est formée il y a 3000 ans cal BP sur le bord d'une plateforme sableuse en bordure de rivage (Anthony *et al.*, 2010). L'appellation «profane» de dune «fossile» est de son côté impropre ; la dune n'étant pas recouverte par d'autres dépôts.

Abstract. — Throughout the 20th century there have been different interpretations about the age and origin of the inland Ghyvelde Dune. Initially it was described as the remains of a 7 km-long stretch of dunes between Adinkerke (Belgium) and Armabouts-Cappel, marking a stage in the receding coastline. Following the discovery by Bouly de Lesdain (1912a et b) of an unusual fossil, similar to those found in the Mediterranean, it was considered that the dune was of Pleistocene age indicating a former shoreline position established before a sudden climatic cooling. Nowadays, two recent studies propose opposite interpretations of the Ghyvelde Dune. On one hand Baeteman (2001, 2004) describes the dune as being, from the beginning, an inner dune, several kilometres from the shoreline 5000 years cal BP ago. On the other hand Anthony *et al.*, (2010) suggest the dune evolved from an existing shoreline at the edge of a sandy platform 3000 years cal BP ago. The term "fossil" dune used in grey literature is in itself inappropriate; the dune being free of overlying deposits.

Mots-clés : épistémologie, dune interne, amas coquillers, kjokken-moddings, plaine supratidale, Conservatoire du littoral
Keywords : epistemology, inland dune, concentration of shells, Kjokkenmoddings, supratidal sand flat, French coastal conservancy

I. — INTRODUCTION

La partie nord-est de la plaine maritime flamande française accueille un massif dunaire «interne» situé 3 km à l'intérieur des terres sur la commune de Ghyvelde (59). Ce massif se poursuit sur 7 km jusqu'à la commune de De Panne (Adinkerke) en Belgique sous le nom de domaine Cabour (Fig. 1). Jusqu'au début du 21^{ème} siècle, l'origine de la dune fossile de Ghyvelde semblait être connue et relativement simple d'explication. Elle représentait aux yeux de nombreux naturalistes régionaux la trace du trait de côte présent il y a environ 5 000 ans. Ces informations, bien que ne résultant pas de publications scientifiques, sont reprises dans de nombreuses publications promotionnelles du Département du Nord et du Conservatoire du littoral. La première trace bibliographique retrouvée est dans les écrits de l'AGUR (agence d'urbanisme de Dunkerque) (Nave, 1982) puis dans

les documents de la DRAE (Délégation régionale à l'architecture et à l'environnement) (Locoge *et al.*, 1987).

La prise en compte de cet élément du patrimoine géomorphologique à la demande du Département (service Espaces naturels sensibles) dans l'inventaire du patrimoine géologique régional réalisé par la DREAL et coordonné par le Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais (Guyétant, 2011) a permis d'entreprendre une réflexion sur l'origine de ce cordon sableux au sein de la Commission régionale du patrimoine géologique (CRPG). Il s'agit ici de présenter l'historique des interprétations sur son origine et de comprendre pourquoi la littérature non scientifique se basant sur les données pittoresques de Bouly de Lesdain (1912a et b) ont conduit à une mauvaise interprétation de l'origine de ce massif dunaire et le maintien dans la littérature profane de nombreuses erreurs. Il ne s'agit pas, par contre, de juger les différentes hypothèses récentes et divergentes existantes sur son âge et ses lieux et modes d'édification.

(*) 9 résidence de l'Étrille, 58 rue de l'abbé Cousin, 59493 Villeneuve d'Ascq. oggmm.lemoine@orange.fr

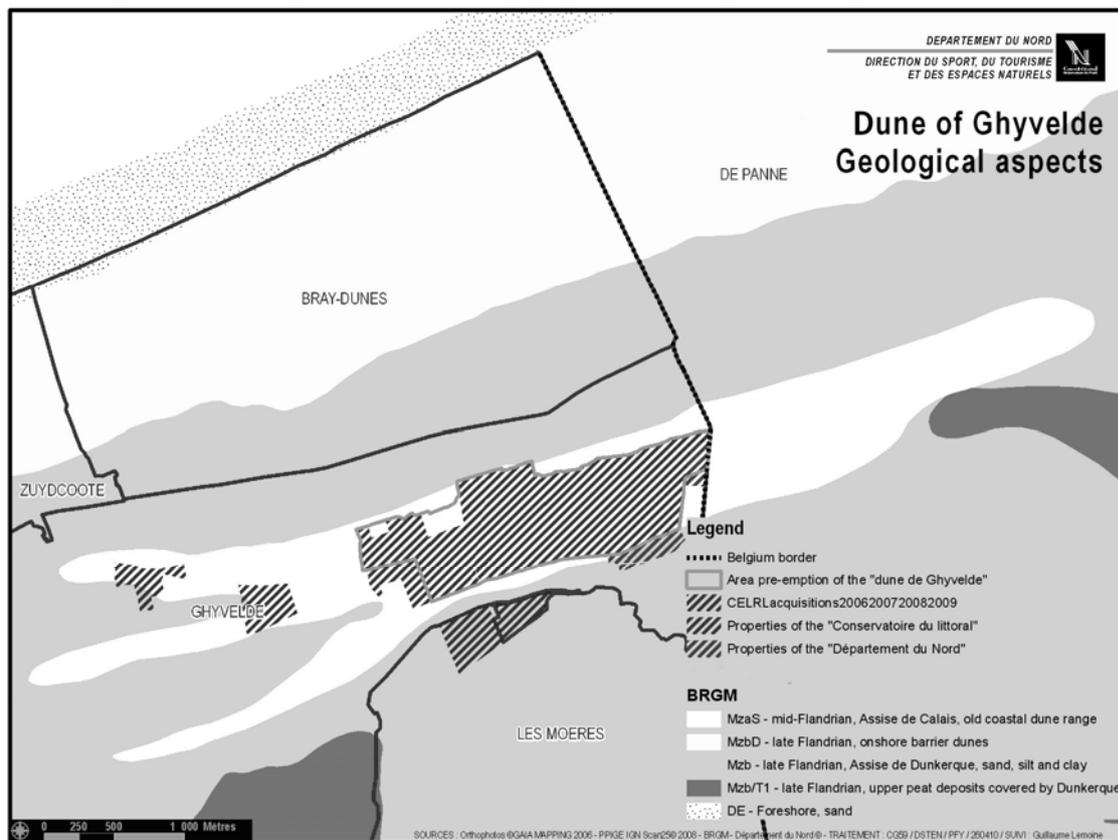


Fig. 1. — Formations géologiques de la dune interne de Ghyvelde.

Fig. 1. — Geological formations about Inland Ghyvelde dune.

II. — HISTORIQUE

La première mention retrouvée sur l'origine du cordon de Ghyvelde est à attribuer à l'abbé G. Delépine (1909) qui présente à la Société Géologique du Nord une des particularités géographiques de la région littorale des Flandres «qui ne semble pas, à ses yeux, avoir été étudiée jusqu'à présent». Il reprend une note qu'il a réalisée pour le Comité Flamand de France en date du 22 février 1906 intitulée «Les cordons littoraux de Flandre française». Pour lui, il s'agit d'une partie d'un cordon de 20 km de long situé entre Adinkerke et Armbouts-Cappel, constitué de dunes vives (Fig. 2) au niveau de la frontière et se poursuivant à partir du sud de Leffrinckoucke par de simples affleurements discontinus. Ce cordon est le produit de «premières venues» de sable qui se sont amassées sur des hauts-fonds ou sur des îlots présents dans la plaine maritime autour desquels la mer pénétrait librement. Cette chaîne d'îlots sur lesquels s'appuient quelques dunes forme un cordon littoral discontinu que l'auteur compare aux côtes de la Frise. Au cours des mêmes années Blanchard (1906) cité par Sommé (1977) considère dès cette époque la dune de Ghyvelde comme un banc d'âge flandrien. Pour Bardou & Constant (1910) la dune de Ghyvelde correspond à une «chaîne ancienne de dunes qui a séparé de la mer, en des temps indéterminés, le grand étang des Moères, actuellement drainé par les waterings et cultivé d'une façon prospère». Nous retrouvons ensuite en 1912 trois importants écrits qui vont fortement influencer

l'interprétation profane de l'histoire de ce cordon sableux (Douxami, 1912 ; Bouly de Lesdain, 1912a et b). Ces documents font état des découvertes de Maurice Bouly de Lesdain. Douxami dépose le 6 mars 1912 sur le bureau de la Société Géologique du Nord, au nom de Bouly de Lesdain, une brochure intitulée «Les dunes pléistocènes de Ghyvelde (Nord)» et présente à cette occasion le travail de l'auteur qui décrit sur Ghyvelde une dune pléistocène en partie recouverte d'une dune holocène. Henri Douxami commente le texte relatant la découverte sur ce site d'une faune marine et continentale originaire d'Afrique du Nord ou du sud de la France. L'analyse de Bouly de Lesdain lui permet d'affirmer la présence ancienne, à l'époque de l'édification de la dune, d'un climat nettement plus chaud qu'aujourd'hui. Bouly de Lesdain publie, quant à lui, le 16 juin de la même année, un compte-rendu sur le même sujet (Bouly de Lesdain, 1912b). La découverte par Bouly de Lesdain d'une faune «insolite» (extrarégionale) thermophile est à l'origine de nombreuses hésitations et erreurs d'interprétation (Lemoine, 2011). Une douzaine d'années plus tard, Dubois (1924 *in* Sommé, 1977), qui a réétudié les fameuses coquilles, rattache les sables à une époque encore plus ancienne : le Tyrrhénien ou l'Eémien (avant-dernière période du Pléistocène) bien qu'il admette que cette conclusion reste hypothétique. Briquet (1923), quant à lui, réfute cette opinion alors généralement admise du Pléistocène. Pour lui «ces dunes sont des formations littorales très anciennes, probablement postérieures à l'établissement définitif du niveau actuel de la mer», et il date par la suite la



Fig. 2. — Vue générale de la dune de Ghyvelde.

Fig. 2. — General view of Ghyvelde dune.

dune du Flandrien ancien (Briquet, 1930). Rappelons qu'à cette époque, il n'y avait pas de datations au radiocarbone, il s'agit de datation relative d'après les types de dépôts et les types de coquilles identifiées (M.-H. Ruz, comm. pers.). Pour Briquet, la dune de Ghyvelde semble marquer le tracé de l'ancien rivage. Il dit «sur toute cette côte (...) la mer reconquiert actuellement à l'est de Dunkerque un territoire (...) le long duquel elle avait édifié une série de cordons littoraux qui marquaient (...) les étapes de son recul. Le banc de Ghyvelde (...) fut vraisemblablement l'ébauche d'un cordon littoral jamais achevé. (...) Le banc de Ghyvelde, les filots sableux de Leergewelt et d'Armbouts-Cappel longeraient ainsi le tracé de l'ancien cordon littoral» (Briquet, 1930). Bourdrier (1957) d'après Sommé (1977) considère comme «étrange» la présence d'une faune terrestre à caractère nord-africain. En 1967 le même auteur (Bourdier, 1967 in Sommé 1977) parle même d'une «erreur» qui aurait été faite sur l'origine des coquilles de Ghyvelde et le caractère insolite des trouvailles de Bouly de Lesdain n'a jamais été confirmé depuis, bien que l'information soit reprise par Francis Nave dans son dossier réalisé préalablement au classement de la dune fossile (Nave, 1982). Sommé (1977) considère quant à lui que le banc de Ghyvelde s'est formé antérieurement aux dernières phases transgressives de Calais (la transgression Calais IV est donnée entre 4550 et 3750 ans BP / voir glossaire).

Précisons toutefois que l'existence d'une transgression Calais IV est remise en question par la communauté scientifique. On a parlé par la suite de submersions marines liées à des ruptures de cordon. D'après des recherches plus récentes (Baeteman, 2001, 2004), il semble que le site connu sous le nom de «dune fossile» ne fut pas à proprement parler un véritable massif dunaire bordier. Il s'agirait de dépôts sableux qui se sont formés dès l'origine à plusieurs kilomètres du littoral en situation d'arrière-dune. Pour Baeteman (2001, 2004) le trait de côte était situé beaucoup plus au large que sa situation actuelle. Pour Anthony *et al.*, (2010), la dune s'est édifiée sur le bord d'une plate-forme sableuse en bordure de rivage. Ces dépôts sableux sont apparus lors du comblement holocène de la plaine maritime flamande. Il s'agit probablement d'une des plus anciennes formations sableuses arrière-littorales, bien

visibles, de la région Nord - Pas-de-Calais. Ces dunes ont été édifiées en plusieurs phases de construction qui ont débuté dans leur partie ouest. Pour Baeteman (2001, 2004) le cœur du massif se serait formé à partir de 5 000 ans cal BP dans une plaine supratidale (qui est située au-dessus du niveau moyen des marées hautes de vive-eau en bordure interne d'une vaste plate-forme sableuse recouverte par les marées de fort coefficient). Pour Anthony *et al.* (2010), l'édification de la dune aurait eu lieu y a 3000 ans cal BP sur le bord d'une plate-forme sableuse en bordure de rivage à partir d'une «barre sableuse» engraisée par des dépôts apportés par les tempêtes et les grandes marées. Ce type de formation est connu en région Nord Pas-de-Calais. Il existe actuellement des sites au fonctionnement proche entre Calais et Dunkerque, au niveau des Hem de Mark et au niveau du Platier d'Oye (M.-H. Ruz, comm. pers.). Cette «barre» soit a été engraisée par d'autres dépôts apportés par la mer ou les tempêtes pour lesquels la migration des bancs a joué un rôle important (Anthony *et al.*, 2010), soit a servi par la suite de base d'accroche à des dépôts exclusivement éoliens (Baeteman, 2001) qui firent croître le cordon vers l'est (Adinkerke). Baeteman *et al.* (2011) réprécisent la position des deux hypothèses dans un article en cours de publication. Les premiers auteurs (Anthony *et al.*, 2010 in Baeteman *et al.*, 2011), suggèrent que cette dune s'est formée à la suite d'un apport soudain de sable lorsqu'une barre littorale est venue s'accrocher à la côte, celle-ci ayant migré vers la côte en réaction à une série de tempêtes survenues au milieu de l'Holocène. La position de cette dune serait donc directement reliée à l'endroit où la barre est venue se souder à la côte. Baeteman *et al.* reprennent quant à elles que cette dune serait plus ancienne, et se serait formée à la suite d'une tempête. Autrement dit, la position de cette dune ne représente pas la limite d'une ancienne ligne de rivage, qui témoigne d'un niveau marin plus élevé, mais plutôt la limite des dépôts laissés par une tempête, qui témoigne d'un haut niveau marin temporaire correspondant à un phénomène plus éphémère. (Baeteman *et al.*, 2011). Au cours du temps et en parallèle à la constitution de cette dune, son environnement immédiat a également évolué (comblement et formation de tourbe entre 5 000 et 2 000 ans cal BP).

III. — DISCUSSION

Les sondages récents effectués dans ou à proximité de la dune montrent la présence de nombreuses valves et coquilles de mollusques marins ou estuariens (*Cerastoderma edule*, *Scrobicularia plana* et *Hydrobia ulvae*) qui auraient été apportées par la mer. Baeteman (2001) avance également l'hypothèse, sans que cela soit vérifié, d'apports humains pour justifier la présence de la plus grosse des espèces (*C. edule*). Cette hypothèse fut déjà proposée par Bouly de Lesdain (1912) qui voyait des coquilles de *Cardium edule* (aujourd'hui appelé *Cerastoderma edule*) en mélange de débris de cuisine du Moyen-Âge (poteries, ossements) (Fig. 3) sur les parties de la dune qu'il considérait comme récentes (Fig. 2). Beauchamp *et al.* (1995) développent la même analyse dans le cadre des expertises archéologiques qu'ils ont menées sur la dune. Ils mentionnent la présence de deux couches de coques distinctes, qu'ils identifient comme *Cerastoderma glaucum*, issues très probablement de dépôts détritiques ou «déchets alimentaires». Les fouilles de Beauchamp *et al.* (1995) situées à proximité de l'établissement de soins «la dune aux pins» montrent une



Fig. 3. — Débris de cuisine d'une fosse-dépotoir.

Fig. 3. — *Kjekken-moddings*.

occupation humaine de la dune de Ghyvelde depuis la période romaine (découverte d'une poterie sigillée datant de la fin du I^{er} siècle ou début du II^{ème} siècle après J.C. ainsi que des tessons du Moyen-Âge : VIII^{ème} et XIV^{ème} siècles). Ces résultats ainsi que la présence de nombreuses fosses-dépotoirs et amas coquillers (ou *kjekken-moddings*) riches en échantillons de poterie confortent l'hypothèse d'une présence humaine ancienne sur ce site (Fig. 4). Aujourd'hui les espèces identifiées dans les sables du cordon «fossile» ou à proximité sont encore présentes sur nos côtes et peuvent montrer une constance climatique entre la période d'édification et notre époque. En effet, la coque (*Cerastoderma edule*) abondante à proximité des terriers de lapins (Fig. 5) de la dune «fossile» se rencontre sur l'estran de Bray-Dunes ainsi que dans l'ensemble des dépôts holocènes de la plaine littorale comme l'espèce suivante : la scrobiculaire (*Scrobicularia plana*) qui est aujourd'hui présente dans l'estuaire de l'Yser à Nieuport (Becker & Willaert, 2002) et *Hydrobia ulvae* qui se rencontre sur les vases des estuaires et slikke de notre littoral.

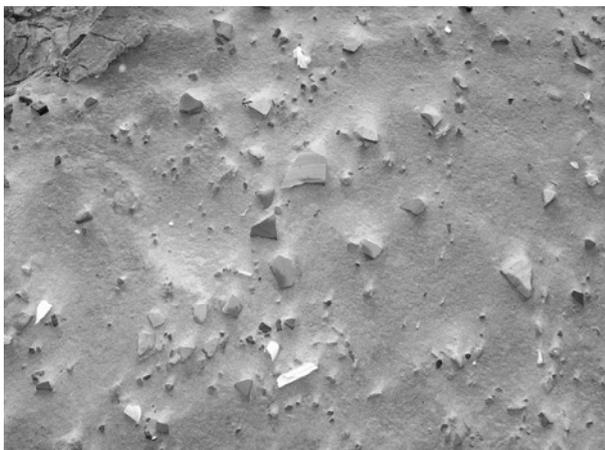


Fig. 4. — Fragments de poteries du Moyen-Âge dans la dune de Ghyvelde.

Fig. 4. — *Broken pieces of Middle-Age potteries in Ghyvelde dune.*



Fig. 5. — Coquilles de *Cerastoderma edule*.

Fig. 5. — *Cerastoderma edule* cockles.

Les valves et coquilles vides des deux dernières espèces peuvent également se retrouver sur les plages. Précisons que l'utilisation du terme de «fossile» utilisé dans la littérature grand public sous-entendant que la dune est recouverte par d'autres dépôts qui l'ont fossilisée, ce qui n'est pas le cas, est inapproprié... Il est donc opportun de parler de dune «interne».

Le cordon de Ghyvelde n'aurait acquis sa morphologie actuelle qu'au cours du Moyen-Âge et des remaniements eurent encore lieu au XVI^{ème} siècle (Baeteman, 2001, 2004). L'absence de certitude quant à son âge et l'insuffisance d'informations très précises par rapport aux variations climatiques (Baeteman, comm. perso.) ne permettent pas d'affirmer que sa formation puisse ainsi, être imputée à un quelconque réchauffement climatique et recul plus ou moins brutal du trait de côte contrairement à de nombreuses hypothèses véhiculées jusqu'à présent par la littérature ancienne (Bouly de Lesdain, 1912a et b) ou non scientifique (Nave 1982 ; Locoge *et al.*, 1987). Il n'y eut vraisemblablement pas de grandes variations de température depuis plus de 5 000 ans, mis à part les optimums climatiques romains (autour de l'an 0) et du Moyen-Âge (de 700 à 1 300 ans de notre ère avec + 1°C) et le Petit Âge Glaciaire (1 450 à 1 850 ans de notre ère). Ces changements ont cependant pu avoir des conséquences sur le régime des vents, sur la végétation et la remobilisation des sables (M.-H. Ruz, comm. pers). Ces faibles variations n'ont ainsi pas forcément eu de répercussion directe sur le niveau marin. En revanche une détérioration du climat (avec l'augmentation du nombre de

tempêtes) a pu avoir de lourdes répercussions sur la place du trait de côte qui pouvait reculer bien que le niveau marin n'ait pas bougé (Trentesaux, comm. perso.).

IV. — CONCLUSION

La dune interne de Ghyvelde est aujourd'hui inactive éloignée du littoral de plus de 3 km. Elle s'étend sur près de 7 km entre Ghyvelde et Adinkerke (Belgique). 200 ha en sont aujourd'hui protégés par le Conservatoire du Littoral qui en a la propriété et par le Département du Nord qui en assure la gestion au titre de la politique des Espaces naturels sensibles (Fig. 6). Ce cordon sableux dunifié constitue une entité naturelle relique unique de 600 ha, permettant une meilleure compréhension de l'histoire géologique et géomorphologique du littoral flamand. Il s'agit probablement d'un des seuls exemples en France de dépôts sableux d'époque holocène de ce type. Par ailleurs, les sables qui le composent en surface sont aujourd'hui presque totalement décalcifiés par dissolution progressive des éléments calcaires d'origine (coquilles, débris, ...) ce qui en fait un biotope acidocline original à plus d'un titre (Fig. 7).

Remerciements. — L'auteur tient à remercier : Gaëlle Guyétant (Conservatoire d'espaces naturels du Nord et du Pas-de-Calais) et Marie-Hélène Ruz (Université du Littoral Côte d'Opale) pour leurs

relectures assidues et discussions, Alain Blicq, Alain Trentesaux, Cécile Baeteman et Jean-Pierre De Baere pour leurs relectures techniques et l'aide apportée à la mise en forme définitive du texte, ainsi que Lynn Seddon pour la traduction anglaise du résumé et Dominique Bérubé géomorphologue côtier à la Direction des études géologiques du Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick (Canada) pour la traduction française de textes anglais.

Glossaire :

BP : Before Present : échelle de temps utilisée en archéologie et géologie pour indiquer l'âge d'un matériel à partir d'un niveau de référence arrêté à 1950 (date du développement des datations au radiocarbone)

cal BP: années calendaires calculées à partir de l'année présente

Holocène : période débutant il y a 10 000 ans (cette période est divisée en stades qui peuvent avoir des significations différentes selon les auteurs. Parmi ces divisions, on peut citer le Calaisien et le Flandrien).

Pléistocène : période antérieure à l'Holocène et allant jusqu'à -2 millions d'années. [attention : désormais fixée à la base du Gélisien à - 2,59 Ma : voir recommandations de l'ICS à : <http://www.stratigraphy.org/view.php?id=23> ; et l'actuelle charte stratigraphique internationale à : <http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2009.pdf>].

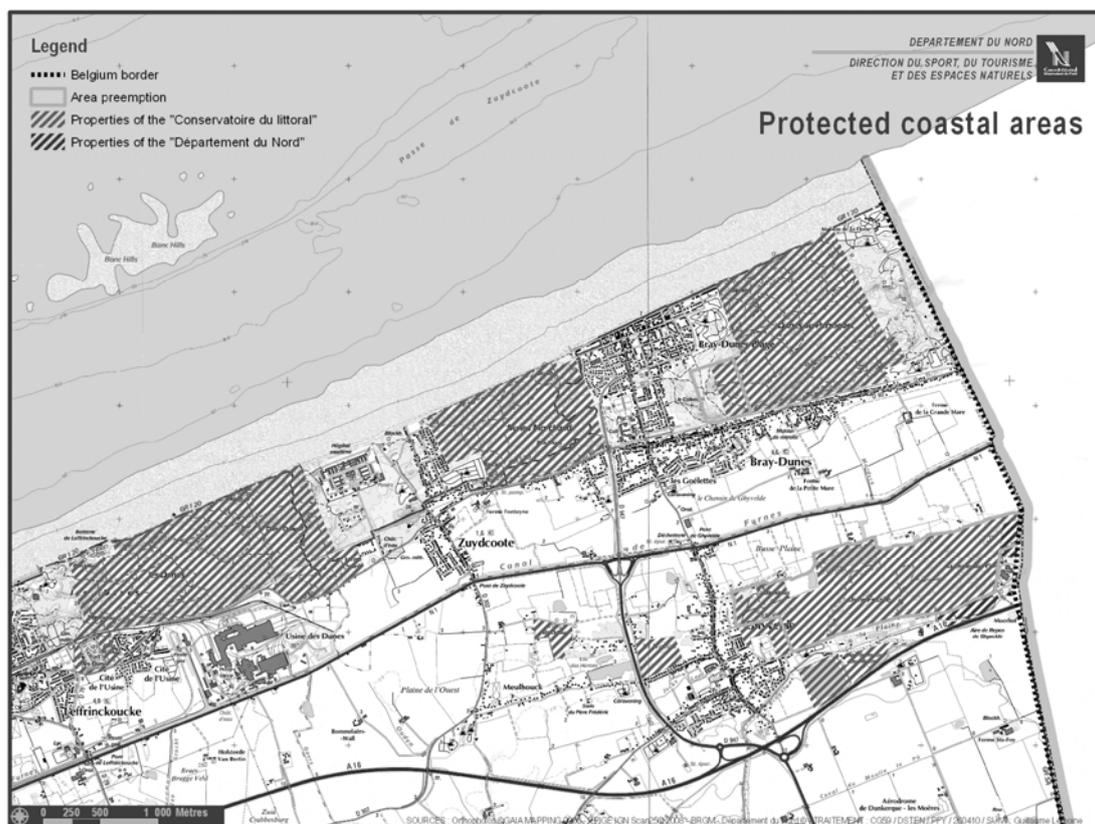


Fig. 6. — Localisation de la dune interne de Ghyvelde.

Fig. 6. — Inland Ghyvelde dune situation.



Fig. 7. — Les pelouses acidoclines de la dune décalcifiée de Ghyvelde.

Fig. 7. — Acidic dry grasslands of Ghyvelde decalcified dune.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTHONY E.J., MRANI-ALAOUI M. et HÉQUETTE A. (2010). — Shoreface sand supply and mid- to late Holocene aeolian dune formation on the storm-dominated macrotidal coast of the southern North Sea, *Marine Geology*, **276** (1-4) : 100-104.
- BAETEMAN C., (2001). — De Moeren and inland dunes, Holocene depositional history. *Excursion guide, Geologica Belgica*, June 2001, Belgian Geological Society, Brussels, 20 p.
- BAETEMAN C., (2004). — The Holocene development of a tide-dominated coastal lowland. Western coastal plain of Belgium. *Field Guide. The QRA Third International Postgraduate Symposium Fieldtrip*, September 17th 2004. Belgian Geological Survey, Brussels, Belgium, 76 p.
- BAETEMAN C. et MAUZ B., (2011). — Comments on « Shoreface sand supply and mid- to late Holocene aeolian dune formation on the storm-dominated macrotidal coast of the southern North Sea » by E.J. ANTHONY, M. MRANI-ALAOUI. and A. HÉQUETTE. (*Marine Geology* (2010) 100-104)2010). *Marine Geology, sous presse*
- BARDOU P. et CONSTANT F. (1910). — Recherches sur la constitution des Dunes du Nord de la France. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **XXXVIII** : 362-368.
- BEAUCHAMP Y., LIÉVIN D. et WESTEEN F. (1995). — Ghyvelde, dunes fossiles, rapport de fouille, GRAL ; Dunkerque, 27 p.
- BECKER S. et WILLAERT C. (2002). — Les laisses de mer de Gravelines à Nieuwpoort, Écoguide Tjifjaf, Centre Permanent d'Initiatives en Environnement Flandre Maritime, Zuydcoote, 75 p.
- BLANCHARD R. (1906). — La Flandre, étude géographique de la plaine flamande, en France, Belgique et Hollande, Lille, 530 p., 76 fig., 2 pl. h. t., rééd. 1970, Handzame.
- BOULY DE LESDAIN M. (1912a). — Les dunes pléistocènes de Ghyvelde (Nord). La feuille des jeunes naturalistes, 5^{ème} série, 41 années, n°493 ; 1 janvier 1912.
- BOULY DE LESDAIN M. (1912b). — Compte rendu de la réunion extraordinaire annuelle de la Société géologique du Nord et de la Faculté des sciences de Lille aux dunes internes de Ghyvelde le 16 juin 1912. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **XXXII** : 161-170.
- BOURDIER F. (1957). — Quaternaire de la France, in *Lexique Stratigraphique international*, Pruvost P. édit. Paris, vol. 1, Europe, fasc. 4b.
- BOURDIER F. (1967). — *Préhistoire de France*. Flammarion édit., Paris, 412 p. 152 fig.
- BRIQUET A. (1923). — Roches exotiques et glaces flottantes. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **XXXVIII** : 184-187.
- BRIQUET A. (1930). — *Le littoral du nord de la France et son évolution morphologique*. Armand Colin édit., Paris : 439 p. + 35 p. d'annexes (plans, graphiques).
- DELÉPINE G. (1909). — Phénomènes géologiques récents du littoral de la Flandre française. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **XXXVIII** : 357-362
- DOUXAMI H. (1912). — Sur l'âge des dunes de Ghyvelde (Nord). *Annales de la Société Géologique du Nord*, **XXXII** : 101-109.
- DUBOIS G. (1924). — *Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France*, Thèse Sc. Lille, 355 p., 41 fig., 6 pl. h. t.
- GUYÉTANT G. (2011). — *Inventaire du patrimoine géologique de la Région Nord Pas-de-Calais*. 3^{ème} édition. Conservatoire d'Espaces Naturels du Nord et du Pas-de-Calais/DREAL, Lillers : 295 p.
- LEMOINE, G. (2011). — La datation de la dune interne de Ghyvelde (59, FM-E02, 01) par la malacofaune, *Le Héron*, **43** (2) : à paraître
- LOCOGE P. et GOHIER J.-M. (1987). — *Fichier-atlas des sites et des espaces protégés*. DRAE/Région Nord Pas-de-Calais, Lille : 285 p.
- NAVE F. (1982). — *Site de la dune fossile de Ghyvelde*. Dossier préalable au Classement, DRAE/AGUR, Dunkerque : 25 p. + 8 plans en annexe.
- SOMMÉ J. (1977). — *Les plaines du Nord de la France et leur bordure*. Honoré Champion édit., Paris, 810 p.

CARACTERISATION DES RESIDUS MINIERES DES MINES ABANDONNEES DE KETTARA ET DE ROC BLANC (JEBILET CENTRALES, MAROC)

Caracterisation of the tailings of abandoned mines of Kettara and Roc Blanc (Jebilet central, Morocco)

par Samiha NFISSI (*,****), Youssef ZERHOUNI (*,****), Mostafa BENZAAZOUA (**,****), Saida ALIKOUSS (*,****),
Abdessadek CHTAINI (*,****), Rachid HAKKOU (**,****) & Mohamed SAMIR(*)

Résumé. — Au sein des sites miniers abandonnés de Kettara (amas sulfuré) et de Roc Blanc (filons polymétalliques), situés dans les Jebilet centrales au Maroc, de grandes masses de résidus d'exploitation ont été entreposés en surface. Le phénomène du drainage minier acide (DMA) a été étudié au voisinage de ces deux mines et a permis d'évaluer leur potentiel générateur d'acidité et son effet sur le relargage des métaux lourds et leur impact sur l'environnement. Des analyses chimiques par ICP, fluorescence X, diffractométrie aux rayons X, essais de perméabilité... ont été réalisées dans le but d'apprécier l'ampleur du DMA et ses conséquences sur l'écosystème avoisinant. Elles ont permis de mettre en relief le degré élevé de pollution, notamment pour As, Pb et Zn qui sont respectivement de l'ordre de 328g/t, 774g/t et 131g/t pour Kettara et 6550g/t, 6181g/t et 4519g/t pour Roc Blanc. Les résidus miniers de ces deux mines constituent un risque potentiel de pollution. Les simulations réalisées à partir de travaux de laboratoire ont pour objectif de trouver des solutions permanentes et définitives de traitement de ce risque et d'évaluer leur applicabilité sur les deux sites investigués et sur d'autres cas similaires au Maroc et ailleurs.

Abstract. — Within the abandoned mine sites Kettara (massive sulphide) and Roc Blanc (polymetallic veins) located in Jebilet central in Morocco, great masses of waste were stored on the surface. The phenomenon of acid mine drainage (AMD) has been studied in the vicinity of these mines and helped to assess their generating potential acidity and its effect on the release of heavy metals and their impact on the environment. Chemical analysis by ICP, XRF, X-ray Diffraction, Permeability tests ... have been retained in order to assess the extent of DMA and its harm on the surrounding ecosystem. They have helped to highlight the high degree of pollution, especially for As, Pb and Zn are respectively of about 328g / t, 774g / t and 131g / t for Kettara and 6550g / t, 6181g / t and 4519g / t for Roc Blanc. The tailings from these two mines are a potential pool of pollutants, hence the need to perform simulations, from laboratory work that will find permanent and final solutions to this phenomenon and assess their applicability on two cities in question and many others in Morocco and elsewhere.

Mots-clés : Résidus miniers, métaux lourds, drainage minier acide, environnement, polluants.

Keywords : Mine tailings, heavy metals, acid mine drainage, environmental, pollutants.

I. — INTRODUCTION

L'industrie minière rejette plusieurs milliers de tonnes de déchets miniers. Les résidus de concentrateurs miniers et les stériles peuvent être une source de pollution aux métaux lourds due au phénomène de drainage minier acide (DMA) (Aubertin *et al.*, 2002). Ce phénomène se déclenche quand des minéraux sulfureux sont exposés à l'eau et à l'air. L'oxydation libère alors l'acidité dans le milieu, favorisant ainsi la mise en solution de métaux lourds. Les carbonates se dissolvent pour neutraliser l'acidité produite. Une fois le potentiel de

neutralisation épuisé, le milieu s'acidifie et le DMA s'amplifie.

La production du DMA par les résidus miniers est un des problèmes environnementaux les plus importants pour l'industrie minière en général. Le DMA n'est pas un problème nouveau, et on en connaît l'existence depuis longtemps. Ce n'est qu'au cours des années 1980 et 1990 que l'on s'est véritablement intéressé à cette problématique, tant du point de vue des incidences environnementales que des contrôles législatifs.

(*) Département de Géologie, Laboratoire de Géochimie, Géologie Appliquée et Environnement, Faculté des Sciences Ben Msik, BP : 7955, Casablanca.

(**) Université du Québec en Abitibi Témiscamisque, Chaire de recherche du Canada en gestion intégrée des rejets miniers.

(***) Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, Université Cadi Ayyad.

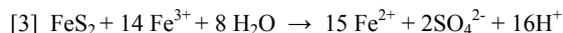
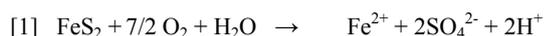
(****) Chaire de recherche du CRDI (Canada) en gestion et stabilisation des rejets industriels et miniers (www.gesrim.com).

E-mails : snfissi@gmail.com ; zerhouni.y@gmail.com ; Mostafa.Benzaazoua@uqat.ca ; alikoouss@yahoo.fr ; achtaini@yahoo.fr ; rhakkou@fstg-marrakech.ac.ma ; samirmoha@hotmail.com.

Dans les parcs à résidus, l'oxydation des minéraux sulfureux tels que la pyrite (FeS₂) et la pyrrhotite (FeS) a lieu spécifiquement dans la zone non saturée et peu profonde, où il y a généralement un apport d'oxygène abondant et une population de bactéries développée (Benzaazoua, 2009). Des réactions tampons : dissolutions des carbonates, des silicates alumineux et des hydroxydes d'aluminium, ont parfois lieu et ont comme effet de diminuer l'acidité du DMA et de rendre le pH presque neutre (Chtaini *et al.*, 1997). L'extraction de minéraux suivie par un contact avec des éléments tels que : oxygène, eau ou tout agent oxydant, peut entraîner une oxydation des sulfures présents et particulièrement celle de la pyrite. Cette particularité résulte de la présence de paire S₂²⁻, espèce plus réactive que les sulfures S²⁻. L'état de valence admis actuellement repose sur un mélange de deux degrés de valence -2 et 0, soit S²⁻ et S⁰ (Divet, 1996). A côté de cette pyrite, il peut exister un autre type plus réactif avec une forme framboïdale (Wilkin & Barns, 1997).

Le minéral sulfureux le plus abondant dans les rejets miniers est la pyrite (FeS₂). L'oxydation de cette dernière peut être directe ou indirecte.

L'oxydation directe se produit lors d'une réaction chimique [1] entre la pyrite à l'état solide avec l'oxygène et l'eau (Stumm et Morgan, 1981).



La réaction [1] se produit à des valeurs de pH proches de la neutralité (5 < pH < 7) (Sracek *et al.*, 2004).

Concernant l'oxydation indirecte de la pyrite, elle se produit par une réaction qui met en jeu un oxydant tel le fer ferrique (Fe³⁺). Lorsqu'il y a dissociation de la pyrite [2], le fer ferreux (Fe²⁺) produit peut s'oxyder. Si le pH est suffisamment élevé, le fer ferrique précipitera sous forme d'hydroxyde [3], cela peut contribuer à l'acidification du milieu. Quand le pH est bas (<3), Fe³⁺ reste en solution et devient un agent oxydant pouvant oxyder la pyrite [4]. L'oxyde de fer, la jarosite et le gypse sont les principaux types de minéraux secondaires qui se trouvent dans les lixiviats produits lors de DMA (Robertson, 1989).

Les préoccupations environnementales associées aux activités minières sont reliées aux quantités de rejets produits. Au Maroc, l'intérêt de l'industrie minière pour la protection de l'environnement et la préservation du patrimoine écologique, est relativement récent. Le Maroc a tout récemment mis en place des lois et des règles sur la gestion du secteur minier national. La loi 11-03, en date de 2003, a permis la mise en application effective du principe <<pollueur- payeur>> par intégration de normes et de standards environnementaux.

Si aujourd'hui, les grandes compagnies minières qui travaillent sur le sol marocain possèdent la technologie nécessaire à la conception, à la construction et à la fermeture des parcs à résidus miniers, selon la législation en vigueur, en revanche de nombreuses mines abandonnées, non soumises à ces obligations réglementaires par le passé, sont laissées à l'abandon. Les mines de Kettara et de Roc Blanc, situées dans

les Jebilet centrales au Maroc, en constituent un exemple significatif.

Cette note essayera de fournir des éléments d'information à connaître et des facteurs à examiner, relatifs aux déchets miniers solides des deux sites abandonnés de Kettara et de Roc Blanc. Elle a pour objectifs de les caractériser, d'étudier leur incidence sur l'environnement et d'évaluer les nuisances causées par l'abandon, sans réhabilitation, des ces sites.

Chaque site minier possède ses caractéristiques propres et le taux de production de DMA dépend étroitement des caractéristiques particulières des résidus miniers provenant de chaque parc. Les deux exemples choisis contribuent à mieux comprendre les phénomènes mais ne peuvent être généralisés à l'ensemble des sites miniers abandonnés.

II. — GEOLOGIE ET GITOLOGIE DE KETTARA ET DE ROC BLANC

1) Les Jebilet centrales

Le massif des Jebilet est situé au nord de la ville de Marrakech. Il encaisse plusieurs types de minéralisations d'intérêt économique certain. Il forme un chaînon atlasique de 170 km de longueur, orienté E-W, perpendiculairement aux structures hercyniennes. Le réseau hydrographique, de densité moyenne, confère au massif un modelé de plaines rocheuses peu accidentées.

Selon Huvelin (1977), ce massif est constitué de trois grandes unités (Fig.1) :

- * l'unité occidentale, dite mole stable, à matériel cambro-ordovicien à carbonifère

- * l'unité centrale, dont les formations sont rapportées au Viséen supérieur

- * l'unité orientale, composée de terrains cambro-ordoviens dans sa partie occidentale et du Viséen supérieur dans sa partie orientale.

L'unité des Jebilet centrales est constituée d'une formation volcano-sédimentaire, formée de schistes de « Sarhlef », de passées lenticulaires de calcaires bioclastiques et de grès (Bordonaro, 1984). Leur dépôt a été accompagné d'une activité magmatique préorogénique intense qui se manifeste par des laves et des sills de roches éruptives, de cinérites, de jaspes et de tufs acides. Les minéralisations des Jebilet sont pour la plus part liées à une activité magmatique précoce de la chaîne hercynienne et caractérisent une époque métallogénique carbonifère.

Du point de vue structural, les Jebilet centrales sont affectés par quatre phases de déformation souple et cassante (Birlea, 1990).

2) Le site de Kettara

a) Situation géographique et historique de la mine

La mine de Kettara est située à 32 km au nord de la ville de Marrakech, au bord de la route N° 9 menant à la ville côtière de Safi (Fig.2).

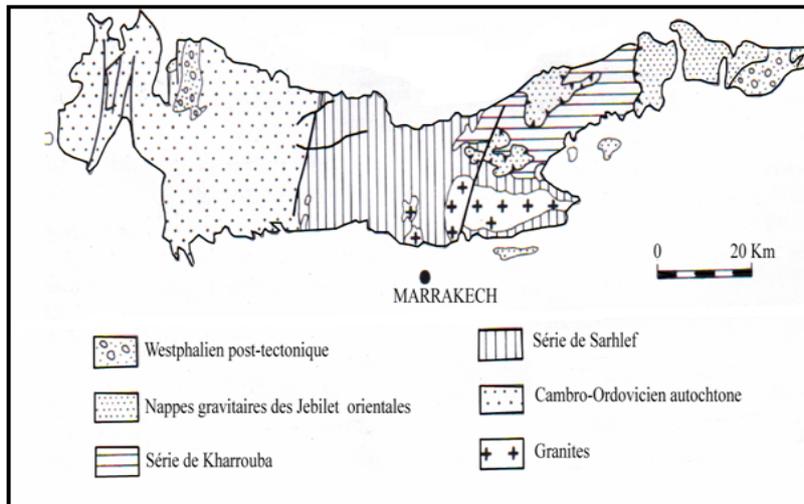


Fig. 1. — Les trois unités des Jebilet (Huvelin, 1997).

Fig. 1. — The three units of jebilet (Huvelin, 1997).

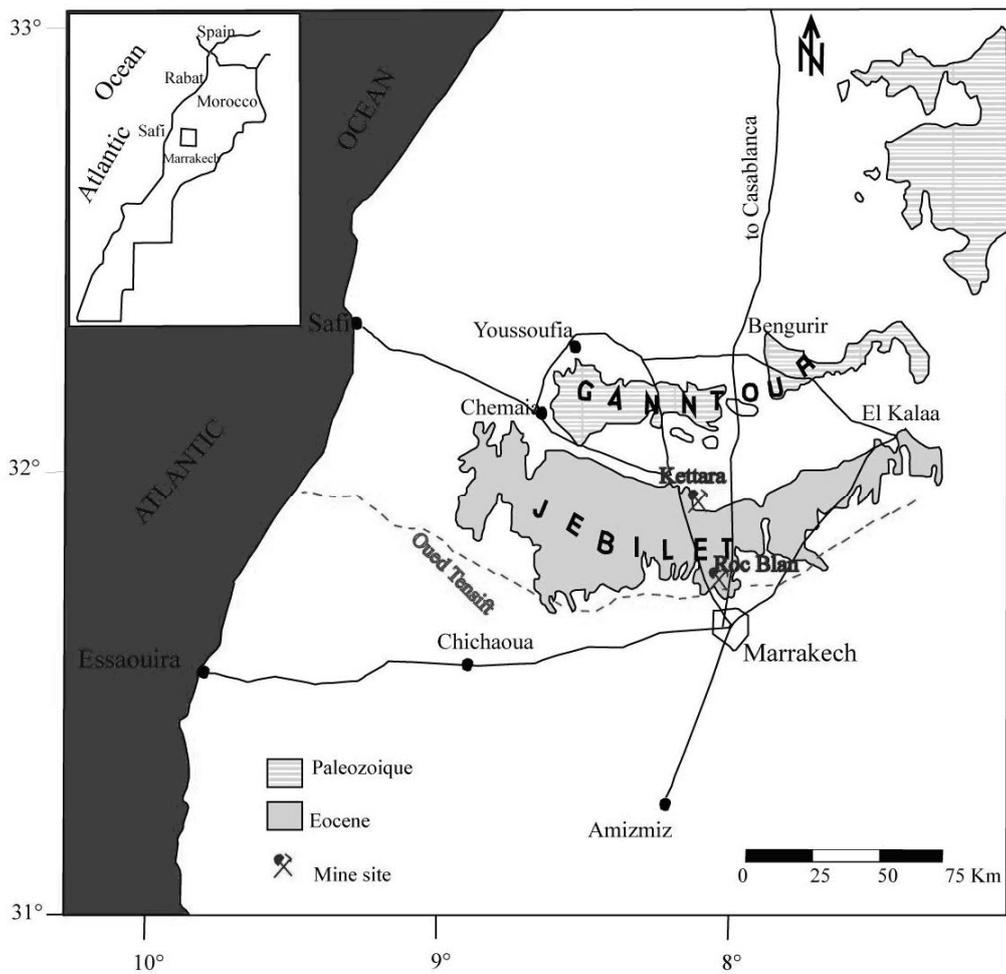


Fig. 2. — Situation des deux sites miniers Kettara et Roc Blanc (Hakkou *et al.*, 2008a)

Fig. 2. — Situation of the two mine sites Kettara and Roc Blanc (Hakkou *et al.*, 2008a)

Il a été exploité depuis 1938 jusqu'à 1981. L'exploitation a concerné d'abord le chapeau de fer (oxydes de fer), puis la zone de cémentation (minerais de cuivre) et enfin le protore (minerai de pyrrhotite). Le corps minéralisé de Kettara est à prédominance de pyrrhotite, mais pauvre en métaux de base. Le tonnage global, toute minéralisation confondue, a été estimé à 21 Mt à 55% Fe, 20% S et 0,5% Cu en moyenne (Fournier *et al.*, 1987).

L'encaissant de la minéralisation est constitué d'une série grésopélitique non carbonatée. Toute cette série encaissante est traversée par des dykes de gabbro, de dolérite et rarement de rhyolite (Esteyries, 1984).

Le climat de la zone est semi-aride. La pluviométrie est de l'ordre de 250 mm/an et l'évapotranspiration peut atteindre 2500 mm/an. Il s'agit là de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et non réelle (ETR) (Sinan, 2000). L'humidité relative, quant à elle, est estimée à 73%.

b) *Cadre structural de la mine de Kettara*

L'amas sulfuré de Kettara se trouve sur le flanc Est d'une mégastructure synclinale. Les corps minéralisés sont parallèles à la schistosité et la stratification des formations encaissantes. Cette structure plissée est affectée par un important accident cisailant qui se suit sur une longueur de plusieurs kilomètres, parallèlement à l'axe de la mégastructure synschisteuse. En bordure de ce cisaillement, la schistosité est intensément déformée et présente des plis en chevrons qui indiquent un décrochement dextre (Hibti, 2001).

c) *Gîtologie de la mine de Kettara*

Selon Huvelin (1977), l'amas sulfuré de Kettara correspond à des lentilles concordantes à la minéralisation sulfurée complexe, en raison des pièges sédimentaires et structuraux et en fonction des paramètres physico-chimiques et des solutions hydrothermales. La structure minéralisée s'étend sur environ 1500 m, suivant une direction N30, nettement sécante sur la stratification. Elle est de puissance variable de 0,5 à 70m et s'enracine sur plus de 500m. Les corps minéralisés, sub-verticaux et indépendants de l'encaissant, montrent trois zones qui se distinguent par leur épaisseur, leurs genèses minérales et l'altération qui les affectent. Ce sont les zones classiques d'oxydation (50m), de cémentation (5 à 10m) et de stagnation ou protore (plus de 500m).

La première zone est riche en oxydes de fer, malachite, azurite et chalcantite, la seconde est riche en chalcopryrite, chalcosine, covelline et pyrite secondaire. Le protore renferme de la pyrrhotite, pyrite, marcassite, galène, blende, mispickel et magnétite.

L'altération hydrothermale caractérisant la minéralisation de Kettara, est matérialisée sur le terrain par le développement de la séricite et de produits blanchâtres pulvérulents qui jalonnent le corps minéralisé sur toute son extension. En profondeur, c'est une altération à chlorite et séricite avec existence d'un réticulum siliceux centimétrique plissé aux épontes de l'amas (Fournier *et al.*, 1987).

d) *Conclusion*

L'amas sulfuré de Kettara est caractérisé par une minéralisation dominée par la présence de la pyrrhotite et il est appauvri en métaux de base.

Le minerai principal de Kettara est constitué de pyrrhotite. D'autres paragenèses sulfurées coexistent avec la pyrrhotite, en l'occurrence la pyrite, la marcassite, la chalcopryrite, la galène, le mispickel et la magnétite qui passe vers le toit de l'amas à des oxydes de fer.

3) **Le site de Roc Blanc**

a) *Situation géographique et historique de la mine*

La mine de Roc Blanc est située à 20 km au Nord de la ville de Marrakech, et à 2km à l'Ouest de la route principale qui mène vers Casablanca (Fig. 2).

Les filons argentifères de Roc Blanc ont fait l'objet de nombreuses études effectuées depuis 1925 et jusqu'au 1984, totalisant 2280 m de galeries, 3300 m de sondages et 280 m de puits. Le tonnage du tout venant est de l'ordre de 192 000 tonnes à 635 g d'argent à la tonne, à 0,5% de plomb et 0,74 g de zinc (Chouhaidi, 1986).

Les terrils sont répartis autour de l'ancienne usine de traitement de minerais d'une part et à une centaine de mètres à l'ouest d'autre part. Ils couvrent une superficie de moins d'un hectare et une épaisseur d'environ 6m.

Le climat de la zone est semi aride. La pluviométrie est en moyenne de 200 mm/an, le couvert végétal est par ailleurs rare ou absent.

b) *Cadre structural de la mine de Roc Blanc*

La série de Roc Blanc est affectée par des plis serrés à axes peu pentés. Mais elle révèle aussi des structures synclinales très ouvertes dessinées par un banc de quartzite sombre (Gsabi & Rulinda, 1985).

Les filons argentifères de Roc Blanc constituent un faisceau relativement dense encaissé dans des schistes, d'âge viséen, faiblement tachetés. Sept filons mal visibles en surface, ont été dénombrés. Ils présentent une direction sub-méridienne, à pendage compris entre 40 et 60° E. l'extension des filons est de l'ordre de 300 à 600m. la puissance varie de quelques centimètres à 1 m. Les filons sont sub-parallèles et sont parfois recoupés de failles de faible rejet. Il est cependant possible de les voir par endroits se ramifier latéralement en deux ou plusieurs branches et sont légèrement sécants sur la schistosité de l'encaissant (Chouhaidi, 1986).

c) *Gîtologie de la mine de Roc Blanc*

Belhadi *et al.* (1983) ont distingué des paragenèses complexes des filons constituées de pyrite, mispickel, blende, chalcopryrite, marcassite, galène, meneghinite, owyheelite, polybasite, tennantite, tétraédrite, binnite, pyrargyrite, argentite et freibergite. Le remplissage, essentiellement formé d'éléments de schistes d'épentes cimentés par du quartz minéralisé en sulfures, montre une structure feuilletée ou bréchique.

d) *Conclusion*

Les filons argentifères sont subconcordants avec la schistosité de l'encaissant. La minéralisation est caractérisée par quatre groupes, celui des minerais ferrifères, plombifères et stannantimonures de plomb et d'argent, minerais

argentifères et enfin ceux de la gangue. La minéralisation s'y répartit en colonnes et présente une structure rubanée ou bréchique.

III. — MATÉRIELS ET MÉTHODES

1) Stations d'échantillonnage

Tous les échantillons ont été prélevés dans des endroits représentatifs dans toutes les zones de stockage afin de s'assurer de la prise en compte de la variabilité. En effet, les résidus miniers peuvent être hautement hétérogènes puis que les différents matériaux sont déposés à différentes étapes de la vie de la mine.

Afin de caractériser ces résidus miniers, une dizaine d'échantillons ont été prélevés au niveau du parc à résidus et dans la halde à stérile de la mine de Kettara. (Fig. 3). Huit échantillons sont des résidus solides (Kt₁ à Kt₈) et les deux autres (Kp₁ et Kp₂) sont des échantillons d'eaux prélevés dans de deux puits situés à environ 800 m en aval de l'usine.

Les échantillons prélevés au niveau du parc à résidus miniers de Roc Blanc (Fig. 4), sont au nombre de sept : cinq sont des résidus miniers solides (Rc₁ à Rc₅), les deux autres sont des échantillons d'eau de puits (Rbe₁ et Rbe₂), récoltés à une distance de 500 m l'un de l'autre à l'aval des résidus de Roc Blanc. L'échantillon (Rbe₁) récolté du puit situé au pied de la halde à environ 800 m de l'usine. Le second échantillon

(Rbe₂), localisé à proximité de l'usine se distingue de Rbe₁ par son aspect trouble dégageant une odeur de plomb.

2) Analyses physico-chimiques

Le pH et le potentiel redox (Eh) ont été mesurés à l'aide d'un pH-mètre type (HANNA pH209) et la conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre type (HANNA) à 25°C dans les eaux de puits et les lixiviats préparés.

Le protocole de préparation du lixiviat a consisté en un mélange de 150 g de résidus miniers à 300 ml (Rapport 1/2) de l'eau distillée, avec agitation permanente. Au bout d'une semaine, on a procédé à la filtration puis aux mesures de pH et du Eh.

Afin de caractériser la phase minérale de ses résidus, nous avons utilisé un diffractomètre type XPert Pro - PANalytical. Le pourcentage des carbonates dans les échantillons a été dosé par calcimétrie.

Le spectromètre d'émission plasma (inductively coupled plasma ICP) de type Jabin Yvan ULTIMA2 et le Spectromètre de fluorescence X (FX) de type AXIO-PANalytical ont été utilisés à fin de déterminer la composition chimique globale des échantillons.

Une étude granulométrique a été réalisée afin de déterminer la fraction dominante dans les résidus miniers et leur perméabilité.



Fig. 3. — Localisation des échantillons prélevés dans le site minier de Kettara (Hakkou, 2003).

Fig. 3. — Locations of samples in the mining site of Kettara (Hakkou, 2003).



Fig. 4. — Localisation des échantillons prélevés dans le site minier de Roc Blanc (Chouhaidi, 1986).

Fig. 4. — Location of samples collected from the mining site of Roc Blanc (Chouhaidi, 1986).

VI. — RESULTATS ET DISCUSSION

La diffraction des rayons X indique que les principaux minéraux sulfurés dans le site de Kettara sont la pyrrhotite ($\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$) et la pyrite (FeS_2), accompagnées par de petites quantités de chalcopryrite, sphalérite, galène, vermiculite, goéthite, quartz, clinocllore, pyrophyllite, ferroan, zeolite, talc et muscovite. Ces résultats sont tout à fait concordants avec les travaux antérieurs (Nfissi, 2008 et Hakkou *et al.*, 2009).

Le principal carbonate a été identifié comme étant la calcite. La minéralogie dominante (silicates, aluminosilicates et goéthite) est en parfait accord avec les concentrations en Si, Al, K, Mg, Na et Fe. La jarosite et le gypse, qui sont des minéraux secondaires, ont été détectés dans les résidus oxydés récoltés à la surface (résidus miniers) mais ils n'ont pas été détectés dans les haldes principales et les stériles (Hakkou *et al.*, 2008).

Dans la mine de Roc Blanc, on note la présence de quartz, cuprite, zinwaldite, malladrite, zircon, magnétite, muscovite, illite, birnessite et spinelle.

Pour ce qui est du dosage des carbonates, nous avons constaté que la quantité de calcaire à Kettara varie de 2 à 4 % et à Roc Blanc elle est de 1 à 4 %. Elle est donc insignifiante dans les deux sites, et n'agira que très peu sur la neutralisation du milieu.

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage ont montré que les échantillons de Kettara ont une texture plus grossière que les échantillons de Roc Blanc. Les matériaux moyens à grossiers de Kettara sont équivalents à des sables moyens à grossiers (Tabl. I) qui sont perméables par rapport à ceux de Roc Blanc, à l'exception de l'échantillon (Rc4) qui est un peu fin. Les matériaux constituants ces résidus sont des grains grossiers (Tabl. II) permettant un bon drainage et une oxydation plus poussée dans les sites miniers, notamment à Kettara.

Les résultats de la spectrométrie de fluorescence X ont montré qu'à Kettara la teneur en oxydes de fer (Fe_2O_3) varie entre 10 et 36 %, celle de SO_3 varie entre 8 et 26 % et celle de SiO_2 est comprise entre 4 et 53 % (Tabl. III) ; pourtant, à Roc Blanc les résultats des résidus miniers présentent des teneurs élevées en SiO_2 (33 à 52 %) et en Fe_2O_3 (5 à 9 %) (Tabl. IV).

Les résultats de l'analyse chimique par ICP des résidus miniers solides et les lixiviats à Kettara révèlent des teneurs faibles en Cd et une absence de Hg, Ba, B, Ti, et P sont aussi absents (Hakkou *et al.*, 2008) (Tabl. V et VI). Les résidus solides de la mine de Kettara sont caractérisés par des concentrations élevées en métaux lourds (As, Cr, Ni, Cu, Mn) (Fig. 4a). Le fer est présent en quantités relativement plus élevées (2,476% - 13,342 %) à Kettara qu'à Roc Blanc (1,587 - 2,216%).

Les concentrations élevées de certains contaminants sont susceptibles de causer des dommages à l'environnement. Ces

Echantillons		Coefficient de Perméabilité K (m/s)
Kettara	Kt ₁	3.2.10 ⁻³
	Kt ₂	1.3.10 ⁻³
	Kt ₃	4.3.10 ⁻⁴
	Kt ₄	1.1.10 ⁻³
	Kt ₅	1.8.10 ⁻³
	Kt ₆	1.7.10 ⁻³
	Kt ₇	4.9.10 ⁻⁴
	Kt ₈	2.10 ⁻⁴
Roc Blanc	Rc ₁	2.3.10 ⁻³
	Rc ₂	6.4.10 ⁻⁴
	Rc ₃	3.1.10 ⁻³
	Rc ₄	3.5.10 ⁻⁶
	Rc ₅	4.13.10 ⁻²

Tabl. I. — Résultats des essais de perméabilité sur les résidus miniers de Kettara et Roc Blanc.

Rc : Résidus miniers de Roc Blanc, Kt : Résidus miniers de Kettara.

Tab. I. — Results of permeability tests on tailings of Kettara and Roc Blanc.

K (m/s)	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Type de sol	Gravillon		Sable		Silt et mélange et argile				Argile	
Classe de perméabilité de sol	Perméable									
Drainage	Bon				Mauvais		Pratiquement Imperméable			

Légende	
←	: Résidus miniers de Kettara
→	: Résidus miniers de Roc Blanc

Tabl. II. — Perméabilité des résidus miniers de Kettara et Roc Blanc.

Tab. II. — Permeability of tailings of Kettara and Roc Blanc.

éléments chimiques peuvent être considéré comme étant des variables résultantes mesurables et qui serviront d'indicateurs relatifs de la qualité de l'environnement.

Le pH joue un rôle très important dans la mobilité des métaux. Un pH acide entraîne la mise en solution de sels

métalliques, la mise en solution de phases de rétention, la désorption des cations et l'adsorption des anions (Lions, 2004). Les pH bas auront un effet sur la solubilité d'une certain nombre de métaux lourds (As, Zn, Cu, Co, Pb...) qui proviendraient des minéraux primaires contenus dans les rejets miniers.

La caractérisation physico-chimique du DMA associé à l'ancienne mine de pyrrhotine de Kettara et de filons argentifères de Roc Blanc a montré que les lixiviats de la première mine sont très acides (1.5 <pH < 2.9). Ce pH bas favorise une grande solubilité et donc une concentration assez forte des métaux lourds. Ce phénomène reste présent mais, n'est pas de cette même ampleur pour la deuxième mine (6 <pH < 6.6) (Tabl. VI).

A propos des eaux de puits, le pH est plus ou moins neutre et le potentiel redox (Eh) et la conductivité sont assez faibles, traduisant une concentration minimale en sels minéraux dissous.

Les lixiviats de la mine de Kettara se distinguent par leurs fortes teneurs en fer par rapport à ceux de Roc Blanc (Fig. 5b et 6b). As, Fe, Cr et Pb sont plus importants au sommet de l'amas des résidus dans le site de Kettara, ceci s'explique par un pH acide à la surface de l'amas qui est en contact direct avec l'oxygène (Tabl. VI). Les eaux de puits dans la zone de Kettara (Kp₁ et Kp₂) ne contiennent ni Cd ni Hg.

Hg est absent dans tous les lixiviats du site minier de Roc Blanc. Cette mine est marquée par des teneurs élevées en As, Pb, Zn. Les haldes les plus lointaines de la mine sont pauvres en Cu et Ni contrairement à celles qui sont à proximité de l'usine (Fig. 6a). La comparaison des concentrations en métaux lourds des eaux de puits des deux sites avec les seuils imposés pour l'eau potable (ONEP 1993) (Tabl. VII) montre que tous les échantillons entrent dans les normes, exception faite pour l'échantillon Rbe₂. Cette eau est considérée par la population comme non potable d'où son utilisation uniquement pour l'irrigation des plantations de légumineuses avoisinantes. Cette pratique est néanmoins problématique car les risques de concentration des polluants dans les espèces végétales sont très vraisemblables.

Composition chimique	Kt ₁	Kt ₂	Kt ₃	Kt ₄	Kt ₅	Kt ₆	Kt ₇	Kt ₈
SiO ₂	5,914	11,7	52,52	13,37	13,09	5,76	6,313	4,856
Al ₂ O ₃	2,716	3,438	1,834	5,088	4,57	1,031	1,644	0,6095
MgO	1,511	2,197	0,6059	2,773	2,729	0,6902	1,112	0,6543
CaO	0,1435	0,2822	0,5833	0,6847	0,7912	0,2236	0,2697	0,09163
Na ₂ O	0,1172	0,138	0,1675	0,124	0,1422	0,07325	0,08626	0,07451
K ₂ O	0,1021	0,1655	0,1293	0,2681	0,1761	0,1025	0,1367	0,06253
TiO ₂	0,09362	0,1796	0,1854	0,2062	0,1965	0,0974	0,1265	0,04446
MnO ₂	0,01823	0,01954	-	0,06824	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	33,3	24,39	10,19	23,56	27,24	35,92	30,66	17,65
P ₂ O ₅	7,914	0,07691	0,04807	4,832	0,05005	0,02671	5,967	0,00964
CuO	0,2387	0,1206	-	0,1545	0,2728	0,1062	0,2441	0,08561
SO ₃	16,28	21,83	22,25	8,981	9,317	13,02	15,82	25,57
As ₂ O ₃	0,0249	-	0,02201	0,02403	0,06759	0,0439	-	-
PbO	-	0,03197	-	-	-	-	0,06492	0,04591
SeO ₂	-	0,008069	0,2299	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	0,006467	0,01399	0,006825	0,008158	0,003193	0,005673	-
Cl	0,0315	0,03502	-	0,02916	0,02717	-	0,02094	0,02335

Tabl. III. — Composition chimique des résidus miniers de Kettara en%.

Tab. III. — Chemical composition of tailings of Kettara in %.

Composition chimique	Rc ₁	Rc ₂	Rc ₃	Rc ₄	Rc ₅
SiO ₂	50,13	51,6	39,53	38,58	33,66
Al ₂ O ₃	15,99	14,51	12,54	15,54	14,65
MgO	1,919	1,892	1,917	1,388	1,431
CaO	1,364	0,9218	1,173	0,7297	1,041
Na ₂ O	0,7248	0,433	0,4047	0,4316	0,5217
K ₂ O	2,473	2,396	2,015	2,346	2,151
TiO ₂	0,6368	0,513	0,5671	0,6756	0,5935
MnO ₂	0,5215	-	0,524	0,2373	0,2293
Fe ₂ O ₃	7,672	8,837	6,697	5,938	5,994
P ₂ O ₅	0,1407	0,1137	0,0971	0,1011	0,09105
CuO	-	-	-	0,03249	0,01894
SO ₃	1,884	2,045	2,487	0,996	0,7393
As ₂ O ₃	0,6154	0,6546	0,7082	0,3082	0,1419
PbO	0,2004	0,145	0,1701	0,3917	0
ZrO ₂	0,02985	0,01624	0,02685	0,03428	0,03116
Cl	0,0925	0,06237	0,09266	0,08271	0,08791
BaO	0,08106	0,04277	-	0,07119	0,06099
Rb	0,03394	0,01861	0,02985	0,03654	0,03378

Tabl. IV. — Composition chimique des résidus miniers de Roc Blanc en %.

Tab. IV. —: Chemical composition of tailings of Roc Blanc in %.

Le secteur de Kettara, de par sa nature géologique est le siège d'une nappe phréatique. L'écoulement s'effectue du NE vers le SW.

Les eaux de la nappe dans la partie amont ont des conductivités de l'ordre de 1,5 ms ; elles augmentent en aval de la mine pour atteindre 3 ms. Elles présentent des concentrations élevées en éléments chimiques spécialement les sulfates et le magnésium, témoignant ainsi de la pollution des eaux souterraines causée par la mine (Fahdi *et al.*, 2010).

Les mesures du potentiel net de génération d'acide de Kettara (Hakkou *et al.*, 2008) ont donné un potentiel d'acidification (PA) compris entre 51 et 453 kg CaCO₃/t et le Potentiel net de neutralisation (PNN) entre -453 à -22,5 kg CaCO₃/t ce qui montre que tous les résidus miniers de Kettara sont potentiellement générateurs d'acide.

	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Fe (%)
Rc ₁	3402,105	9,654	13,645	59,072	36,008	2192,299	77,762	722,109	1173,529	1,901
Rc ₂	3886	1,526	11,052	57,008	36,652	1965,492	123,961	489,664	270,213	1,587
Rc ₃	4960,127	20,233	14,504	87,331	35,17	2681,305	101,04	749,595	2377,276	2,018
Rc ₄	6549,902	37,698	19,14	85,073	253,864	2188,728	28,154	6181,51	4519,019	2,216
Rc ₅	1414,027	11,296	22,312	120,093	474,437	1338,007	44,972	1578,51	1415,311	1,86
Kt ₁	165,03	≤0,2124	39,633	44,885	2721,709	375,845	95,444	53,109	139,762	13,221
Kt ₂	88,14	≤0,182	26,573	33,583	1257,002	406,629	28,146	38,268	130,661	8,724
Kt ₃	31,06	≤0,218	4,373	27,188	175,683	74,42	22,919	50,258	40,836	2,476
Kt ₄	268,055	≤0,212	35,981	42,948	3473,563	670,25	6,953	90,731	258,12	10,251
Kt ₅	275,479	≤0,202	62,648	53,571	3258,878	467,584	7,798	101,575	216,806	11,98
Kt ₆	327,913	≤0,213	18,642	14,303	774,272	106,371	53,99	131,468	69,301	13,342
Kt ₇	263,139	≤0,223	64,157	20,704	1457,689	163,927	45,087	158,517	151,144	11,3
Kt ₈	210,03	≤0,213	44,348	20,521	1145,315	78,741	14,574	145,19	90,665	7,763

Tabl. V. — Composition chimique des résidus minier solides de Kettara et Roc Blanc en ppm.

Rc : Résidus miniers de Roc Blanc, **Kt** : Résidus miniers de Kettara.

Tab. V. — Chemical composition of tailings solids of Kettara and Roc Blanc in ppm.

	pH	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
LRc ₁	6,59	0,851	0,002	0	0,001	0,012	0,14	≤0,005	0,002	0,022	0,164
LRc ₂	6,08	0,693	0,001	0,001	0,001	0,007	0,326	≤0,005	0,002	0,024	0,074
LRc ₃	6,03	0,286	0,014	0,003	0,001	0,004	0,626	≤0,005	0,005	0,072	0,879
LRc ₄	6,04	0,04	0,057	0,001	0,001	0,008	0,139	≤0,005	0,011	0,317	2,809
LRc ₅	6,22	0,307	0,007	0,004	0	0,023	0,227	≤0,005	0,015	0,136	0,5
Lkt ₁	2,84	0,011	0,009	1,703	0,072	48,304	36,254	≤0,005	0,172	0,001	4,678
Lkt ₂	2,27	0,046	≤0,001	2,324	0,412	133,205	1372,281	≤0,005	0,383	0,19	10,05
Lkt ₃	1,65	2,184	≤0,001	0,356	1,222	5,612	2023,39	≤0,005	0,066	1,035	0,973
Lkt ₄	2,65	0,037	0,011	1,004	0,042	31,453	43,845	≤0,005	0,101	0,019	3,513
Lkt ₅	2,68	0,023	0,035	3,934	0,069	67,112	106,567	≤0,005	0,372	0,021	9,733
Lkt ₆	1,88	0,254	≤0,001	3,823	0,48	97,93	1546,974	≤0,005	0,237	0,291	4,611
Lkt ₇	2,18	0,846	0,014	14,331	0,507	328,061	950,492	≤0,005	0,772	0,128	26,778
Lkt ₈	2	2,604	≤0,001	4,69	0,193	93,812	2059,528	≤0,005	0,232	0,77	8,44
Rbe ₁	7,11	0,005	≤0,001	0,001	≤0,001	0,02	0,293	≤0,005	0,001	≤0,001	0,031
Rbe ₂	7,3	2,1	0,001	0,001	0,007	0,024	1,052	≤0,005	0,001	0,009	0,12
Kp ₁	7,97	0,02	≤0,001	0,001	0,001	0,037	0,273	≤0,005	0,002	0,002	0,048
Kp ₂	7,61	0,009	≤0,001	0	≤0,001	0,01	0,231	≤0,005	≤0,001	0,008	0,051

Tabl. VI. — Composition chimique des lixiviats et des eaux de puits de Kettara et Roc Blanc en ppm.

LRc : Lixiviats de Roc Blanc, **LKt** : Lixiviats de Kettara, **Rbe** : Eaux de puits de Roc Blanc, **Kp** : Eaux de puits de Kettara.

Tab. VI. — Chemical composition of leachate and water wells of Kettara and Roc Blanc in ppm.

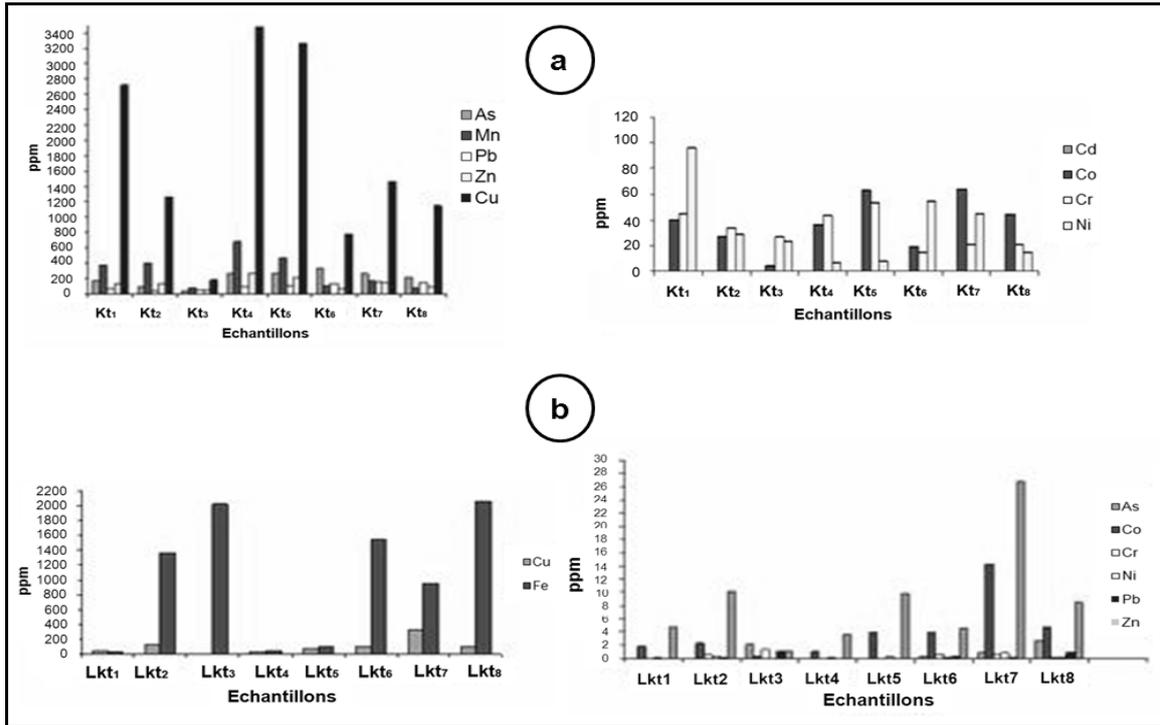


Fig. 5. — Concentrations en métaux lourds de Kettara (ppm) : a- Résidus solides, b- ixiivats.

Fig. 5. — Concentrations of heavy metals of Kettara (ppm): a-solid residues, b-Leachates.

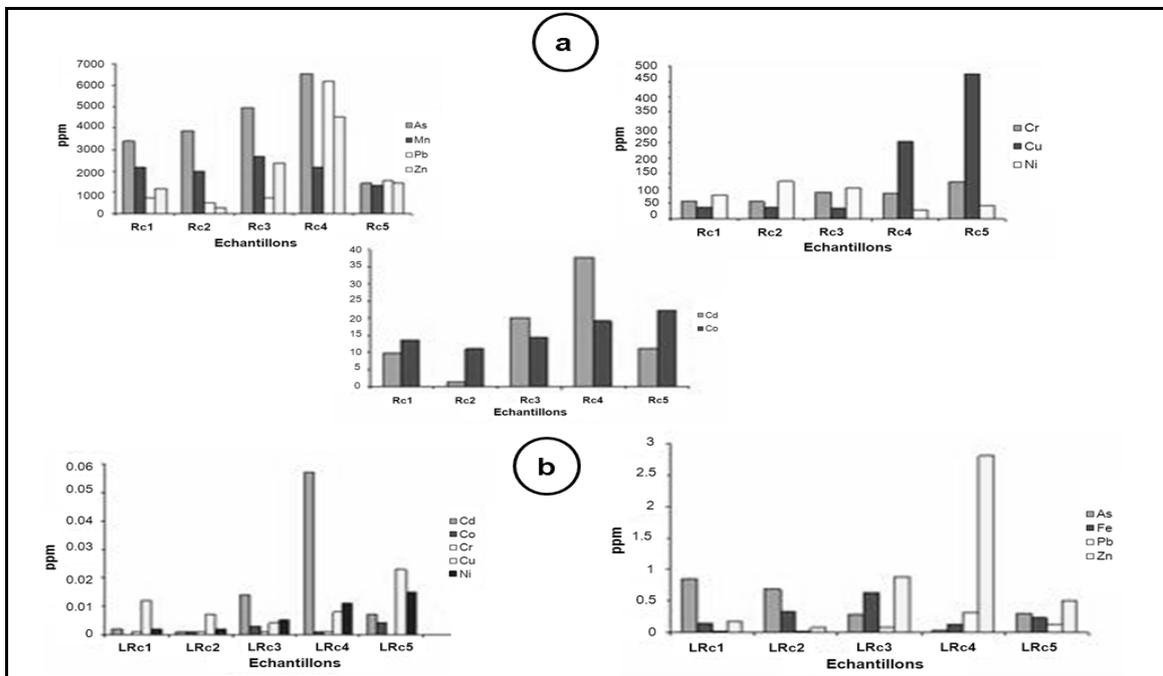


Fig. 6. — Concentrations en métaux lourds de Roc Blanc (ppm) : a- Résidus solides, b-xiviats.

Fig. 6. — Concentrations of heavy metals of Roc Blanc (ppm): a-solid residues, b-Leachates.

Paramètres (mg/l)	Normes				
	marocaines	Kp ₁	Kp ₂	Rbe ₁	Rbe ₂
Cd	0,005	≤0,001	≤0,001	≤0,001	0,001
Cr	0,05	0,001	≤0,001	≤0,001	0,007
Cu	1	0,037	0,01	0,02	0,024
Fe	0,3	0,273	0,231	0,293	1,052
Pb	0,05	0,002	0,008	≤0,001	0,009
Zn	5	0,048	0,051	0,031	0,12

Tabl. VII. — Comparaison des concentrations en métaux lourds des eaux de puits des deux sites avec ceux d'eau potable (ONEP, 1993) en mg/l. **Rbe** : Eaux de puits de Roc Blanc, **Kp** : Eaux de puits de Kettara.

Tab. VII. — Comparison of heavy metal concentrations in well water at both sites with those of drinking water (ONEP 1993) in mg/l.

V. — CONCLUSION

Les deux sites miniers de Kettara et de Roc Blanc, dans les Jebilet centrales au Maroc, sont abandonnés depuis plusieurs décennies sans aucune réhabilitation. Ils possèdent, à des degrés variables, un haut potentiel de pollution. Cet abandon accentue la nuisance et a un effet négatif aussi bien sur l'esthétique de l'environnement de la région que sur les eaux et les terrains au voisinage des deux sites. L'environnement récepteur des deux sites est exposé à des risques aussi bien pour les composantes biotiques qu'abiotiques. Des problèmes de toxicité aiguë et chronique sur la santé des populations, sur les espèces animales et

végétales sont envisageables et devront faire l'objet d'une étude plus poussée en vue de rassembler les éléments d'information pertinents et qui constitueraient un facteur potentiellement important dans l'établissement d'objectifs en matière d'environnement et de remise en état.

Les deux mines restent des mines agressives au vu de l'importance du DMA généré dans leurs parcs à résidus. L'atténuation de ce phénomène reste d'une extrême urgence.

Dans le but de réduire l'extension du DMA et la gravité de ses impacts sur la région, l'application de méthodes de restauration efficaces et économiques est devenue une nécessité. Des études sur la stabilisation des rejets miniers par les stériles riches en calcaires issus de l'extraction des phosphates, sont en cours. D'autres études sont aussi en cours à la Faculté des Sciences de Ben Msik de Casablanca, et dont l'objectif principal est de contrôler le DMA en utilisant un amendement à base de poussières de fours de cimenteries et de cendres volantes des centrales thermiques. Ces amendements alcalins, provenant respectivement de la cimenterie de Bouskoura (Casablanca) et de la centrale thermique de Jorf Lasfr (El Jadida), permettraient une neutralisation de l'acidité existante et la réduction de la lixiviation des métaux nocifs suite à l'accroissement du pH. Il s'agira là de valoriser des rejets industriels pour en réhabiliter d'autres.

Remerciements.— MM. Hervé Coulon (MEDDTL, CETE NP/RDT) et Pierre Pinte (Groupe Eiffage, Travaux Publics Est) ont accepté de lire et de critiquer ce manuscrit en y apportant leurs remarques ciblées. Qu'ils en soient chaleureusement remerciés. Nos remerciements vont aussi aux membres du conseil scientifique et éditorial de la SGN, en particulier MM. Alain Blicek, président de la SGN, Jean-Pierre De Baere, directeur de la publication et Philippe Recourt pour la mise en forme de l'article.

BIBLIOGRAPHIE

- BELHADI S. & BOUALI A. (1983).— Etude métallogénique du champ filonien de Koudiat El Beida (Jebilet centrales). *Rapp. BRGM*, **334/83** : 47 p.
- BENZAOUZA M. (2009).— Rejets miniers : entre gestion intégrée en amont et restauration en aval. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, **530** : 63-70.
- BIRLEA V. (1990).— Rapport de synthèse sur la recherche des formations volcano-sédimentaires dans le Carbonifère du massif hercynien central du Maroc. *Arch. BRPM* : 73 p. [inédit]
- BORDONARO M. (1984).— *La ceinture ibéro-marocaine. Géologie structurale du district de Kettara*. Thèse doct. de 3^{ème} cycle, Univ. Strasbourg : 287 p.
- B.R.G.M. (2000).— Bibliographie préliminaire à la gestion des DMA de Rosia Poieni (Roumanie). *Rapp. RP 50626-FR* : 28 p.
- CHOUHAIDI M.Y. (1986).— *Contribution à l'étude pétrographique, géochimique et métallogénique des minéralisations argentifères des Jebilet centrales (l'exemple de Roc Blanc, Maroc)*. Thèse de doctorat, Université de Nancy 1, Laboratoire de pétrogenèse et métallogenèse profonde. U.F.R. Science de la Terre – métallurgie-chimie minérale : 290 p.
- CHTAINI A., BELLAOUI A., BALLIVY G., NARASIAH S., LALANCETTE J. & BILODEAU C. (1997).— A study of acid mine drainage controlled by addition of alkaline mill paper waste. *In : Fourth international conference on acid rock drainage*. Ed. NEDEM, Vancouver, B.C. Canada. Vol. **III** : 1147-1161.
- CHTAINI A. (1999).— *Contrôle du drainage minier acide à l'aide de boues alcalines d'usines de pâtes à papiers*. Thèse doct. ès sciences appliquées, Université de Sherbrooke, Faculté de génie, Département de génie civil, Spécialité génie civil : 258 p.
- DIVET L. (1995).— Activité sulfatique dans les bétons consécutifs à l'oxydation des pyrites contenues dans les granulats. *Bull. Lab. Ponts et Chaussées*, **201** : 1-19.
- ESTEYRIES C. (1984).— Etude pétrographique de l'encaissant de l'amas sulfuré des Jebilet centrales. *Rapp. BRGM*, **181/84** : 57 p. [inédit]
- 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. Hydrochimie élémentaire et isotopie. *In : 2nd international Conference : Integrated Water resources Management and challenges of the sustainable development* (Agadir, March 24-26, 2010) : 12 p.

- FOURNIER M., FELENC J. & HAMEURASS M. (1986).— Un amas sulfuré à pyrrhotine en milieu sédimentaire (Jebilet, Maroc). Définition des guides de recherche. *Rapp. BRGM*, **86 MAR 165** : 77 p., 27 fig., 5 tabl., 9 ann.
- GSABI M. & RULINDA G. (1985).— Les filons argentifères de Koudiat El beida (anciennement Roc Blanc), Jebilet centrales, Maroc. *Rapp. BRGM*, **107/85** : 58 p.
- HAKKOU R., BENZAAZOUA M. & BUSSIÈRE B. (2005).— Environmental characterization of the abandoned Kettara mines wastes (Morocco). In: *Post Mining Symposia* (Nancy, GISOS, 16-18 November 2005): 8p.
- HAKKOU R., BENZAAZOUA M. & BUSSIÈRE B. (2008).— Acid Mine Drainage at the Abandoned Kettara Mine (Morocco): 1. Environmental Characterization. *Mine Water Environ.* : 12 p.
- HAKKOU R., BENZAAZOUA M. & BUSSIÈRE B. (2009).— Paragenèses secondaires associées au drainage minier acide du site abandonné de Kettara (Jbilet centrales, Maroc). *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, **530** : 83-92.
- HIBTI M. (2001).— *Les amas sulfurés des Guemassa et des Jebilet (Meseta sud-occidentale, Maroc): Témoin de l'hydrothermalisme précoce dans le bassin mésétien*. Thèse doct. d'état, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech (Maroc), option géologie : 317 p.
- HUVELIN P. (1977).— Etude géologique et géochimique du massif hercynien des Jebilet (Maroc occidental). *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, **232 bis** : 303 p., 72 fig., 3 cartes, 12 pl.
- NFISSI S. (2008).— *Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet Centrales, Maroc)*. Mémoire de Master, Université Hassan II Mohammedia, Casablanca (FSBM) : 102 p.
- OFFICE NATIONAL DE L'EAU POTABLE (ONEP) (1993).— Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine.
- ROBERTON S. (1989).— Draft Acid Rock Drainage Technical Guide - Volume1. *British Colombia Acid Mine Drainage Task Force Report* : 147 p.
- SINAN M. (2000).— *Méthodologie d'identification, d'évaluation et de protection des ressources en eau des aquifères régionaux par la combinaison des SIG, de la géophysique et de la géostatique. Application à l'aquifère du Haouz de Marrakech (Maroc)*. Thèse doct. ès Sciences appliquées – Option Hydrogéologie, EMI, Rabat : 371 p.
- SRACEK O., CHOQUETTE M., GELINAS P., LEFEBVRE R. & NICHOLSON R.V. (2004).— Geochemical characterization of acide mine drainage from a waste rock pile, mine Doyon, Quebec, Canada. *Jl. Contam. Hydrol.*, **69** : 45-71.
- STUMM W. & MORGAN J.J. (1981).— *Aquatic chemistry - An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*. Second edition, Wiley Interscience, New York : 207 p.
- WILKIN R.T. & BARNS H.L. (1997).— Formation processes of framboidal pyrite. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, **61** : 323-339.

La Société Géologique du Nord, une maison d'édition



La SGN publie :

- des *Annales* : 145 tomes de 1870 à 2011, 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 caralbe du Vénézuéla, 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 cénomaniens, modélisation hydrodynamique des eaux souterraines ...
- des *Mémoires* (série interrompue en 1983) ;
- des *Tables Générales* (5 publiées ; la 6e est en cours).

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

LES COLLECTIONS DU MUSÉE D'HISTOIRE NATURELLE DE LILLE.

VI. – LA COLLECTION DE MINÉRALOGIE

Collections of the Natural History Museum of Lille. VI.– The mineral sample collection

par Thierry OUDOIRE (*), Mickaël SWIALKOWSKI (**), Denis DEMARQUE (*) & Stéphane DELBECQUE (*)

Résumé. — Cette note fait suite à la présentation de la collection de paléobotanique du Carbonifère ainsi qu'aux quatre publications portant sur les spécimens types et figurés (et cités) de trilobites, vertébrés du Paléozoïque, bivalves et poissons mésozoïques et cénozoïques des collections géologiques du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. Sont présentées une grande partie de la collection de minéralogie (6 000 spécimens référencés sur la base de données du musée), ses origines et sa composition.

Abstract. — *The present paper is the sixth presentation of specimens from the geological collections of the Natural History Museum of Lille of a set dealing respectively with the palaeobotanical collection, trilobites, Palaeozoic vertebrates, bivalves, Mesozoic and Cenozoic fishes. It is concerned with the type and figured (and cited) specimens. It presents the major part of the mineral samples (6 000 specimens registered in the Museum data base), with its origins and composition.*

Mots-clés. — Minéralogie, Collections, Histoire des sciences.

Keywords. — *Mineralogy, Collections, History of science.*

I. — INTRODUCTION

Les précédents catalogues publiés par l'équipe du Département de Géologie du Musée d'Histoire Naturelle de Lille portaient respectivement sur 74 trilobites (Malvézy *et al.*, 1999), 1 374 vertébrés paléozoïques (Blieck *et al.*, 1999), 249 mollusques bivalves (Malvézy *et al.*, 2000) et 112 poissons mésozoïques et cénozoïques (Malvézy *et al.*, 2002) des spécimens types et figurés (ou cités) conservés dans les collections géologiques. Le cinquième catalogue présentait la majeure partie des collections de paléobotanique du musée : les 6 000 végétaux fossiles datant du Carbonifère, qui, à l'occasion du centenaire de l'inauguration du Musée Houiller de Lille, fondé par Charles Barrois en 1907, ont fait l'objet d'un inventaire spécifique afin d'en préciser le nombre, la diversité et les origines les plus exacts possibles (Oudoire *et al.*, 2008). Préalablement à la réalisation d'un projet muséographique novateur, un effort particulier a été mené sur une autre partie des collections, dont le présent article résume l'inventaire et a pour objectif de présenter la richesse : les minéraux.

II. — HISTORIQUE DES COLLECTIONS

Les collections géologiques du Musée d'Histoire Naturelle de Lille comprennent deux grands ensembles : le fonds ancien et les acquisitions (dons, dépôts, achats). Le fonds ancien, qui rassemble près de 130 000 spécimens, est directement issu des récoltes et des échanges effectués par les chercheurs de la Faculté des Sciences de Lille entre 1870 et 1970. En effet, lorsque la ville de Lille crée son réseau de facultés dans la seconde moitié du XIX^e siècle, cohabitent dans un même lieu le Laboratoire de Géologie, la Société Géologique du Nord (créée en 1870 à l'initiative de Jules Gosselet) et le Musée de Géologie (inauguré en 1902, à l'occasion de la célébration du cinquantenaire scientifique de Jules Gosselet). Cette cohabitation va perdurer jusqu'à la construction du nouveau campus de l'Université des Sciences et Techniques de Lille (U.S.T.L.) à Villeneuve d'Ascq fin 1960 (Cuvelier *et al.*, 2010). [Cette dernière a changé plusieurs fois de nom pour devenir Université Lille 1 – Sciences et Technologies.]

(*) Département de Géologie, Musée d'Histoire Naturelle, 19 rue de Bruxelles, 59000 Lille ; toudoire@mairie-lille.fr, ddemarque@mairie-lille.fr, stephane2311d@yahoo.fr

(**) 1 rue Pierre Brizon, 59810 Lesquin ; mickael.swialkowski@gmail.com

En 1986, la Ville de Lille crée un poste de Conservateur du Patrimoine afin de gérer les collections géologiques conservées au Musée d'Histoire Naturelle et dénommées « Musées de Géologie et Houiller de la Ville de Lille ». Le fonds ancien s'enrichit dès lors par différents achats, dons et dépôts qui viennent compléter la diversité et l'intérêt scientifique des collections d'origine. On peut citer parmi ces arrivées successives, l'achat de collections privées (A. Belhis, B. Vallois), le don de collections privées (J. Chalard, F. Amédéo) ainsi que le dépôt de spécimens provenant du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) et des collections géologiques de l'ancien Musée d'Histoire Naturelle de Boulogne-sur-Mer. L'ensemble de ces enrichissements successifs avoisine les 70 000 spécimens.

Remarque : Tous les échantillons du fonds ancien sont enregistrés sous le sigle MGL (Musée Géologie de Lille ou Musée Gosselet de Lille). Vient ensuite le numéro d'inventaire (ex. : MGL 18712) d'un ensemble d'exemplaires recueillis au même point, suivi du numéro de chacun de ces échantillons [ex. : MGL 18712 (1 à 44)] et éventuellement de A et B (empreinte – contre-empreinte). Les spécimens acquis à partir des années 1990 sont numérotés selon les recommandations de l'International Council of Museums : année d'arrivée en collection, n° de lot, n° du spécimen dans le lot (ex. : 2010.34.25).

III. — LA COLLECTION DE MINÉRALOGIE

1) Le fonds originel du Musée de Géologie

Les enseignements de Jules Gosselet intègrent la minéralogie dès 1865 lorsqu'une chaire de Géologie et Minéralogie est recrée à la Faculté des Sciences de Lille. Ces

cours sont illustrés par des spécimens (dont le plus ancien a été récolté en 1823) constituant une véritable collection. A partir de 1896, les cours de minéralogie intègrent une dimension appliquée (Gosselet, 1896) ; des échantillons de métaux ou de matières minérales (houilles, anthracites, par exemple), dont l'importance était déjà mise en exergue (Gosselet, 1891), entrent alors dans cette partie des collections. Lors de la célébration de son cinquantième scientifique, Jules Gosselet décrit les salles du Musée de Géologie (Gosselet, 1902) comme suit : "*Notre grande salle [...] comprend en outre dans les vitrines du pourtour, une collection minéralogique remarquable par la beauté des échantillons*" (Fig. 1). Si cette description est moins développée que celle des autres parties des collections, elle indique un échantillonnage exhaustif et esthétique, dont la taille moyenne des spécimens s'inscrit dans un cube de 5 à 6 cm de côté. Les hommages reçus lors de ce cinquantième (Wyrouboff *et al.*, 1902 ; Offret, 1902) et la présence dans les collections de modèles cristallins en bois et en verre montrent la volonté initiale de constituer cette collection en vue d'en faire un véritable support pédagogique. L'absence de registre d'entrée de spécimens ainsi que de livre(s) d'inventaire ne permet pas d'estimer la quantité de spécimens à cette date, mais la majeure partie du fonds est alors constituée ; quelques enrichissements seront apportés dans les années 1930 et 1940, notamment par Pierre Pruvost (59 spécimens issus de multiples excursions en Europe, en Afrique ou aux Etats-Unis, par exemple). Plus de 5 000 échantillons répartis en 550 espèces minéralogiques constituent alors le fonds minéralogique ancien des collections.

2) Acquisitions récentes et campagnes d'échantillonnage

Sous l'impulsion de Sophie Beckary, Conservatrice des Musées de Géologie et Houiller, des échantillons plus specta-

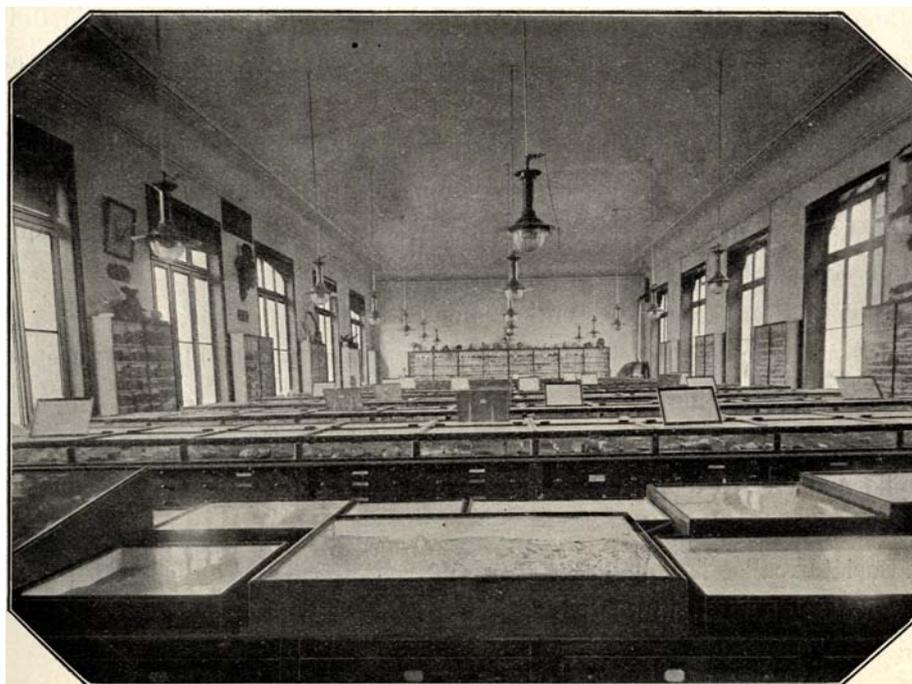


Fig. 1. — Musée Gosselet : principale salle de réserve des collections géologiques (1970).

Fig. 1. — Gosselet Museum : main spare room of the geological collections (1970).

culaires, d'une taille ou d'une esthétique plus importante, ont fait leur entrée en collection entre 1988 et 2008 (principalement des achats réalisés avec le soutien de la Ville de Lille et des Amis des Musées) : 166 spécimens du monde entier, 19 statuettes (Chine, Inde) destinées à montrer l'utilisation artistique de certains minéraux et 26 échantillons régionaux (calcite, gypse).

Mineur aujourd'hui retraité, Amor Belhis a constitué une collection d'échantillons paléobotaniques d'une grande valeur scientifique et patrimoniale. 930 spécimens ont été acquis par le musée en 1999 et 2004 (Oudoire *et al.*, 2008). Figuraient une trentaine de minéraux en plus de ces deux ensembles, dont de superbes fluorites du Brésil. En plus de spécimens paléontologiques, Christian Loones a enrichi les collections par des dons issus de ses excursions dans le Boulonnais (calcites de Ferques et du Stinkal) et en Afrique du Nord (érythrite et vanadinite en particulier).

Parmi les 11 000 lots (soit environ 30 000 à 40 000 spécimens) des collections géologiques de l'ancien Musée d'Histoire Naturelle de Boulogne-sur-Mer, mises en dépôt à Lille en 2003, on compte près de 1 256 minéraux. Ceux-ci sont avant tout régionaux mais la quasi-totalité n'ont pas d'indication de provenance et seule une soixantaine de spécimens présente un intérêt minéralogique (cette collection, mise en dépôt, ne figure pas dans l'inventaire des collections lilloises). Donnée par Pierre Danel, une petite collection de 110 spécimens d'origines diverses, comprenant notamment une apophyllite et des échantillons variés de gypse, a été intégrée à l'inventaire en 2010.

Cette même année, une collection d'environ 1 500 lots (soit 3 000 à 4 000 spécimens), rassemblée par le chanoine et professeur de sciences naturelles Joseph Godon (Lemaitre & Oudoire, 2010), est venue enrichir de manière significative les collections : sur 500 échantillons minéralogiques, près de 200 ont soulevé de l'intérêt par leur origine géographique et leur esthétique importante ; 18 espèces minéralogiques ont fait leur première apparition dans les collections, parmi lesquelles on peut ainsi citer les noms de carbonado (variété noire naturelle de diamant), polyadelphite, killinite ou méroxène.

Afin d'enrichir le fonds ancien de minéraux régionaux, le musée a effectué quelques campagnes d'échantillonnage. Des quartz et des calcites des schistes carbonifères ont ainsi été collectés sur les terrils du bassin houiller du Nord - Pas-de-Calais, avec le concours d'amateurs éclairés, tels que MM. Bruno Vallois et Hervé Duquesne. Quelques calcites du Dévonien de la Carrière de Limont Fontaine (Avesnois, Nord) ont également été récoltées en 2011.

IV. — CATALOGUE « SYSTÉMATIQUE »

L'ensemble des échantillons minéralogiques représente près de 6 000 spécimens. 5 585 pièces ont été versées à l'inventaire patrimonial tandis qu'environ 400 pièces, sans intérêt scientifique ou historique, sont utilisées lors d'animations publiques au sein des collections "pédagogiques". Les échantillons illustrent près de 600 espèces minéralogiques. Bien que certains noms soient d'anciens synonymes et/ou ne soient pas reconnus par l'International Mineralogist Association, nous avons choisi

d'en présenter la liste complète par ordre alphabétique, en indiquant l'inventeur de l'espèce et l'année d'invention. Cette liste, accompagnée du nombre de spécimens en collection correspondant, figure en annexe dans le Tableau I.

V. — REPARTITION SYSTEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE

Les 9/10^{èmes} des échantillons patrimoniaux ont une diagnose scientifique ; une campagne d'identification sur les 706 spécimens non identifiés versés à l'inventaire est en cours. Il est toutefois possible d'étudier la répartition "taxonomique" et géographique des échantillons déterminés.

1) Répartition systématique

Nous avons choisi d'observer les 4 879 spécimens diagnostiqués de manière regroupée, suivant 11 "classes" minéralogiques; cette classification est voisine de celle de Strunz (Fig. 2).

1 – *Éléments natifs*

Les éléments (comprenant 203 échantillons) sont divisés en 2 groupes : les non-métaux et les métaux. Les éléments non métalliques sont représentés par le carbone sous la forme du diamant (3 échantillons), de sa variété noire (carbonado, 1 échantillon) et du graphite (14 échantillons). Les principaux métaux sont l'or (20), l'argent (18) et le cuivre (23).

2 – *Sulfures et sulfosels*

Cette catégorie regroupe 771 spécimens, illustrant 59 espèces minéralogiques comme la galène (144 spécimens), la chalcopryrite (75), la molybdénite (7) ou le réalgar (7).

3 – *Halogénures*

15 espèces minéralogiques sont représentées par 221 échantillons dans les collections, dont 150 spécimens de fluorine, 38 spécimens d'halite et 12 spécimens de sylvite.

4 – *Oxydes*

Les oxydes représentent 10% des échantillons, soit le troisième groupe le plus important en nombre de la collection de minéralogie, et sont répartis en quatre groupes : les groupes du chrysobéryl (5 échantillons), corindon (14 corindons, 2 rubis et 1 saphir), rutile (anatase, brookite et rutile) et spinelle (cuprite, magnétite et spinelle *s. s.*).

5 – *Carbonates*

Au sein des 873 échantillons de carbonates (second groupe par ordre d'importance dans les collections), sont distingués le groupe de la calcite et de l'aragonite (695 spécimens) de celui des autres carbonates (azurite, malachite, parsite, phosgénite, ...).

6 – *Borates*

C'est le groupe le moins présent dans les collections : 15 échantillons répartis en 8 espèces (boracite, borax, canavésite, colemanite, lagonite, ludwigite, paigéite et uléxite).

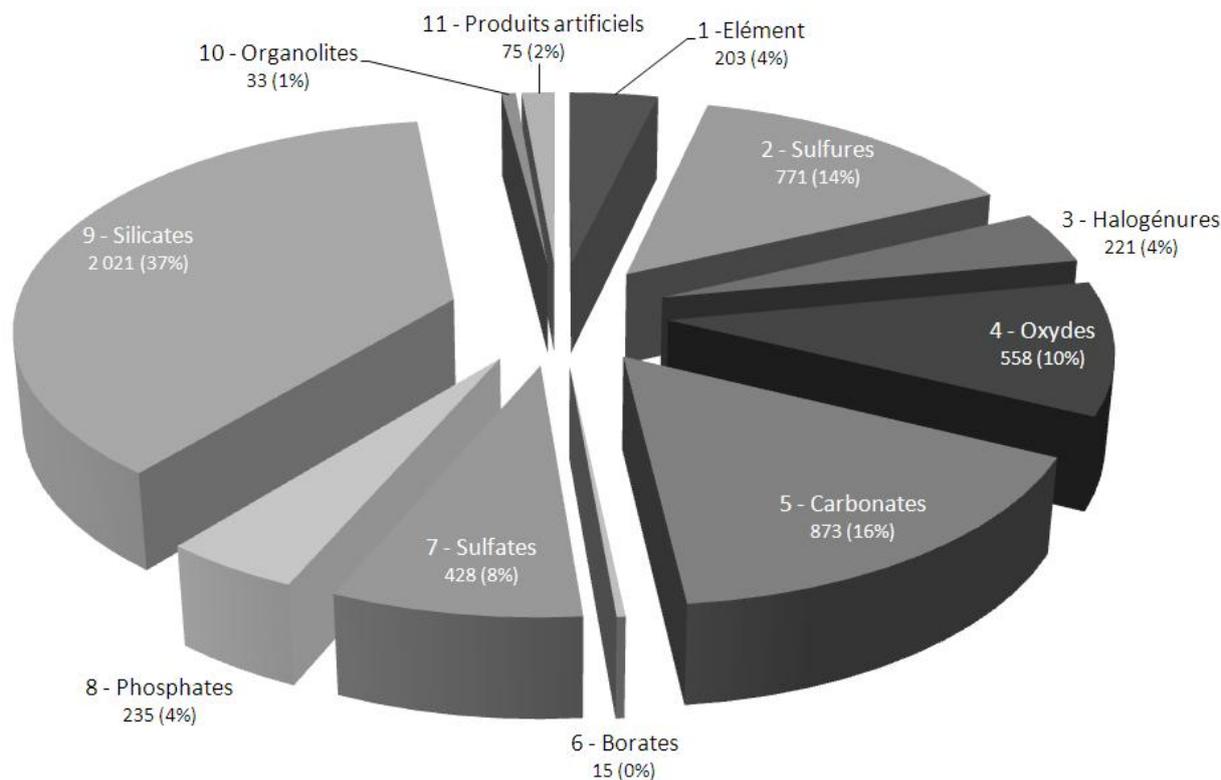


Fig. 2. — Répartition des échantillons de minéraux suivant la classification de Strunz.

Fig. 2. — Mineral sample distribution according to the classification of Strunz.

7 – Sulfates

Le groupe des sulfates est représenté par 35 espèces (8% des échantillons de la collections), dont les principales sont la barite (120 spécimens), la célestine (23), le gypse (187) et la wolframite (23).

8 – Phosphates

Le groupe des phosphates est très diversifié (65 espèces), mais ne représente qu'une faible partie des spécimens de la collections (235 spécimens, soit 4% des échantillons). On trouve principalement : delvauxine (15 spécimens), löllingite (7), pyromorphite (21), torbernite (9), turquoise (9), vivianite (16) et wavellite (8).

9 – Silicates

Le groupe des silicates est le plus diversifié et le plus représenté dans les collections : 271 espèces illustrées par 2 021 échantillons (37% des collections). Au sein de cet ensemble sont distingués les groupes du quartz (651 échantillons de quartz cristallins – opale et quartz *s. s.* et cryptocristallins – agate, calcédoine, silex, ...-), de l'amphibole, des béryls, des feldspaths, des grenats et des pyroxènes.

10 – Organolites

Cette catégorie regroupe 5 minéraux d'origine organique : ambre (24 spécimens), mellite (2), ozocérite (mélange de

carbures amorphes ou paraffine naturelle, 5 échantillons), pigotite (composé organique alumineux, provenant probablement de l'altération de granites par des végétaux, 1 spécimen) et whewellite (minéral constitutif des calculs rénaux, 1 échantillon).

11 – Produits artificiels

Nous avons complété la classification minéralogique de Strunz par cette dernière catégorie, qui regroupe les produits réalisés de manière artificielle : bronze, carborundum, chlorure de potassium. Les 70 modèles cristallins manufacturés, dont les diagnostics scientifiques sont en cours, sont également intégrés dans cette catégorie.

2) Répartition géographique

Une partie des échantillons ne possède pas d'origine (absence de localité pour 1 871 spécimens) ou mentionne un lieu de collecte inconnu (pour 404 spécimens). Près de 40% des collections de minéralogie ne peut être localisée avec précision (Fig. 3). Quelques échantillons proviennent d'Océanie (11 spécimens) et d'Australie (6), principalement opale, or et vivianite. Si l'Afrique (164 spécimens, dont 59 de Madagascar), les Amériques du Nord (185 spécimens) et du Sud (132 spécimens) tiennent une place plus importante, près de la moitié des collections proviennent d'Eurasie (2 724 spécimens). Sur les 79 échantillons asiatiques, 22 proviennent d'Inde (principalement de l'apophyllite) et 29 ont été récoltés en Chine (jadéite, corindon, lazurite). L'Europe constitue

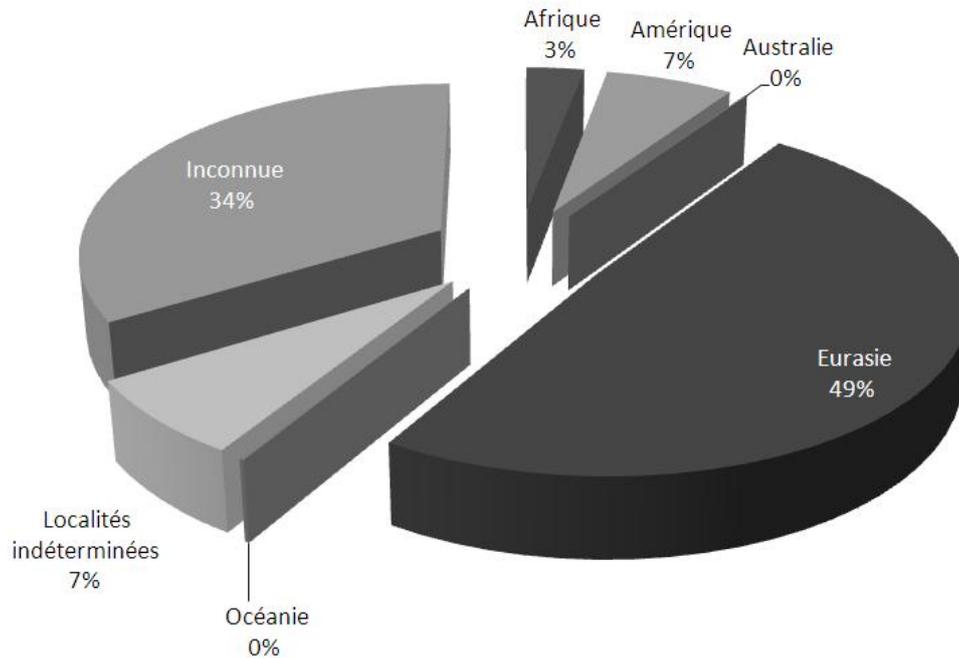


Fig. 3. — Répartition géographique des échantillons de minéralogie.

Fig. 3. — Geographical distribution of the samples of mineralogy.

donc l'origine principale des collections, avec une large prépondérance pour la France : 1 030 spécimens (soit 20 % des collections minéralogiques). L'Allemagne (279 spécimens), la Belgique (187), le Royaume-Uni (155), l'Italie (115) et l'Espagne (62) sont également représentés. L'ensemble des spécimens provenant du Nord - Pas-de-Calais et de Belgique représente 305 spécimens, soit le tiers des collections européennes.

VI. — CONCLUSION

Les 600 noms scientifiques de la collection minéralogique montrent la grande diversité et le souci d'exhaustivité scientifique originel de la collection minéralogique lilloise. Si la quasi-totalité du fonds ancien (5 002 échantillons) est d'assez petite taille, les nouvelles acquisitions (583 spécimens) cherchent à intégrer des spécimens d'intérêt esthétique et scientifique plus important. Cette collection est avant tout française (20 % des échantillons) et euro-régionale. Le Musée d'Histoire Naturelle poursuit sa volonté d'accroître l'accessibilité des échantillons tout en préservant l'intégrité

des spécimens : près de 1 200 spécimens, illustrant l'ensemble des 585 taxons représentés dans les collections, ont été numérisés en 2010 et sont présentés au public dans un espace interactif depuis le 9 mars 2011. En plus d'un programme d'acquisition de spécimens spectaculaires et précieux, une campagne d'échantillonnage de minéraux locaux est en cours afin de renforcer le caractère euro-régional de cette importante collection.

Remerciements. — Les auteurs remercient vivement Jean-Pierre Laveine et Sophie Beckary, pour l'impulsion donnée à la conservation et la mise en valeur des collections ; Thierry Malvéty, pour l'initiation du programme de publication des collections géologiques ; Alain Blicek et Jean-Pierre De Baere pour la relecture de cet article ; Nicolas Bekaert, Nicolas Bonvallat, Vincent Conion, Lucie Delerue, Frédéric Godin, Michel Goldbaum, Antoine Olivier, Hélène Petit, Cécile Wong Fat et l'ensemble des bénévoles, stagiaires et vacataires qui ont participé à l'effort d'inventaire, de gestion et de mise en valeur de ce patrimoine inestimable ; enfin (et surtout !) Josiane Merlier, pour sa patience, pour sa disponibilité à la numérotation et la conservation des collections et pour sa joie de vivre depuis plus de vingt ans.

BIBLIOGRAPHIE

- BLIECK A., MALVESY T., CANDILIER A.-M., CLOUTIER R. & POPLIN C. (1999). — Les Collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. II. — Vertébrés Paléozoïques. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 7 (2^e série) : 87-128.
- CUVELIER J., DEVILLE P., OUDOIRE T. & SERVAIS, T. (2010). — Les collections géologiques et paléontologiques lilloises. *Journal de l'Association Paléontologique Française*, 58 : 38-98.

- GOSSELET J. (1891). — Les richesses minérales de la région du Nord : houilles, phosphates de chaux, marbres, etc.. - Conférence faite devant la Société industrielle du Nord de la France, le 18 janvier 1891. [document inédit]
- GOSSELET J. (1896). — Introduction du Cours de Minéralogie appliquée professé le 20 novembre 1896. *Annales de la Société Géologique du Nord*, XXIV : 176-181.

- GOSSELET J. (1902). — Inauguration du Musée GOSSELET. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **XXXI** : 205-210.
- LEMAITRE P. & OUDOIRE T. (2010). — Joseph GODON (1858 – 1932), un naturaliste du Cambrésis. - *Annales de la Société Géologique du Nord*, **17** (2^e série) : 3-18.
- MALVESY T., BABIN C. & BARROIS J. (2000). — Les Collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. III. – Les Bivalves (types & figurés). *Annales de la Société Géologique du Nord*, **8** (2^e série) : 3-18.
- MALVESY T., CAPETTA H., DUTHEIL D., OTERO O. & OUDOIRE T. (2002). — Les Collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. IV. – Poissons mésozoïques et cénozoïques (types & figurés). *Annales de la Société Géologique du Nord*, **9** (2^e série) : 147-157.
- MALVESY T., MORZADEC P. & FEIST R. (1999). — Les Collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. I. – Les Trilobites (types & figurés). *Annales de la Société Géologique du Nord*, **6** (2^e série) : 157-162.
- OFFRET A. (1902). — Cinquantenaire scientifique de M. Jules Gosselet, discours hommage de l'Université de Lyon. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **XXXI** : 232-233.
- OUDOIRE T., DELBECQUE S. & DEMARQUE D. (2008). — Les Collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. V. – La collection de paléobotanique du Carbonifère. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **15** (2^e série) : 39-45.
- WYROUBOFF G., MICHEL L., GAUBERT P., BOURGEOIS L. & BLONDEL M. (1902). — Cinquantenaire scientifique de M Jules Gosselet, discours hommage de la Société Française de Minéralogie. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **XXXI** : 235.

ANNEXE

(pages 58-62)

Tabl. I. — Catalogue « systématique » des espèces minéralogiques des collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille : nom de l'espèce, nom de l'inventeur, année de l'invention, nombre de spécimens. La mention « Inc. » indique que l'inventeur et/ou la date d'invention sont inconnus.

Tab. I. — « Systematic » catalog of the mineralogical species in the collections of the Natural History Museum of Lille : species name, author name, year of invention, number of specimens. « Inc. » means that the author and/or year of invention are unknown.

Acadialite, Alger, 1843.....	1	Andalousite, Delametherie, 1789.....	7
Acanthite, Kenngott, 1855.....	4	Andradite, Dana, 1869.....	2
Acerdèse, Beudant, 1832.....	1	Andrewsite, Maskelyne, 1871.....	1
Acmite, Berzelius, 1821.....	2	Anglesite, Beudant, 1832.....	9
Actinote, Kirwan, 1794.....	26	Anhydrite, Werner, 1803.....	9
Adamite, Friedel, 1866.....	1	Ankérite, Haidinger, 1825.....	4
Adulaire, Pini, 1783.....	8	Anorthite, Rose, 1823.....	5
Aegirine, Berzelius, 1835.....	2	Anthophyllite, Schumacher, 1801.....	9
Aeschynite, Berzelius, 1828.....	1	Antigorite, Schweizer, 1840.....	3
Agate mousseuse, Inc., Inc.....	1	Antimoine, Swab, 1748.....	12
Agate, Inc., Inc.....	52	Apatite, Werner, 1786.....	31
Aigue marine, Wallerius, 1747.....	1	Aphryzite, D'Andrada e Silva, 1800.....	1
Alabandite, Beudant, 1832.....	5	Aplome, Haüy, Inc.....	2
Albâtre, Dana, 1837.....	7	Apophyllite, Haüy, 1806.....	21
Albite, Gahn, 1815.....	21	Aragonite, Werner, 1796.....	60
Allanite, Thomson (M), 1810.....	4	Ardennite, Lasaulx, 1872.....	1
Allemontite, Haidinger, 1845.....	4	Arfvedsonite, Brooke, 1823.....	3
Allophane, Stromeyer, 1816.....	11	Argent, Inc., 1478.....	17
Alluaudite, Damour, 1848.....	2	Argentite, Haidinger, 1845.....	10
Almandin, Agricola, 1800.....	20	Arsenic, Breithaupt, 1823.....	7
Aluminite, Haberle, 1807.....	3	Arseniosidérite, Dufrenoy, 1842.....	2
Alun, Pline, 0077.....	3	Arsenopyrite, Glocker, 1847.....	20
Alunite, Beudant, 1824.....	6	Asbeste, Pline, 0077.....	15
Amazonite, Breithaupt, 1847.....	5	Astrophyllite, Scheerer, 1854.....	1
Amblygonite, Breithaupt, 1817.....	4	Atacamite, Gallitzen, 1801.....	4
Ambre, Inc., Inc.....	24	Augite, Werner, 1792.....	16
Améthyste, Inc., Inc.....	22	Aurichalcite, Böttger, 1839.....	1
Amiante s. l., Inc., Inc.....	13	Autunite, Brooke, 1852.....	7
Amphibole s. l., Haüy, 1797.....	20	Aventurine, Dana, 1837.....	2
Analcime, Haüy, 1797.....	9	Axinite, Haüy, 1799.....	4
Anatase, Haüy, 1799.....	9	Azurite, Beudant, 1824.....	40

Babingtonite, Levy, 1824.....	1	Chloanthite, Breithaupt, 1845.....	2
Barite (Baryte), Karsten, 1800.....	120	Chlorargyrite, Weissbach, 1875.....	2
Barrandite, Zepharovitch, 1867.....	1	Chlorite, Werner, 1789.....	12
Barytine, Beudant, 1824.....	4	Chloritoïde, Rose, 1837.....	5
Barytoalcite, Brooke, 1824.....	2	Chlorure de potassium.....	1
Barytocélestine, Inc., Inc.....	1	Chondrodite, d'Ohsson, 1817.....	2
Bastite, Haidinger, 1845.....	1	Chromatite, Eckhardt, 1963.....	1
Bastonite, Des Cloizeaux, 1863.....	3	Chrome-Ochre, Hausmann, 1813.....	1
Bavenite, Artini, 1901.....	1	Chromite, Haidinger, 1845.....	3
Berthierite, Haidinger, 1827.....	3	Chrysoberyl, Werner, 1789.....	5
Béryl, Pline, 0077.....	9	Chrysocolle, Theophrastus, - 0315.....	7
Beryllonite, Dana, 1888.....	1	Chrysolite, von Kobell, 1834.....	4
Bétafite, Lacroix, 1912.....	2	Chrysoprase, Klaproth, 1788.....	1
Bindheimite, Dana, 1868.....	1	Chrysoïle, von Kobell, 1834.....	11
Binnite, Des Cloizeaux, 1855.....	1	Cimolite, Theophrastus, Inc.....	1
Biotite, Hausmann, 1847.....	17	Cinabre, Theophrastus, - 0315.....	22
Bismuth, Agricola, 1546.....	9	Citrine, Dana, 1892.....	4
Bismuthinite, Beudant, 1832.....	5	Cleveite, Nordenskiöld, 1878.....	1
Boleite, Mallard, 1891.....	3	Clinochlore, Blake, 1851.....	6
Boracite, Werner, 1789.....	2	Cobalt, Brandt, 1735.....	3
Borax, Agricola, 1556.....	6	Cobaltite, Beudant, 1832.....	12
Borickite, Dana, 1868.....	2	Coccolite, D'Andrada e Silva, 1799.....	1
Bornite, Haidinger, 1845.....	16	Colemanite, Evans, 1884.....	1
Bourmonite, Jameson, 1805.....	8	Colophonite, Piddington.....	1
Braunite, Haidinger, 1826.....	6	Columbite, Hatchett, 1802.....	8
Breithauptite, Frobél, 1840.....	1	Comptonite, Webster, 1913.....	1
Breunnérite, Haidinger, 1825.....	3	Cookeite, Brush, 1866.....	1
Brochantite, Levy, 1824.....	4	Cordiérite, Lukas, 1813.....	6
Bromargyrite, Breithaupt, 1859.....	1	Corindon, Estner, 1795.....	14
Bronze, Clark, 1972.....	1	Cornaline, Agricola, 1546.....	3
Bronzite, Karsten, 1807.....	4	Corondophilite, Shepard, 1851.....	1
Brookite, Levy, 1825.....	4	Cosérenite, Inc., Inc.....	1
Brucite, Beudant, 1824.....	2	Couzeranite, de Charpentier, 1816.....	4
Bustamite, Larsen, 1822.....	3	Craitonite, Bourmon, 1813.....	1
Cacoxénite, Steinmann, 1825.....	3	Crichtonite, Bournon, 1813.....	7
Calamine, Inc., Inc.....	13	Crocidolite, Hausmann, 1831.....	5
Calcédoine, Inc., Inc.....	63	Crocoïte, Breithaupt, 1841.....	4
Calcite, Freiesleben, 1836.....	441	Cryolite, Abildgaard, 1799.....	2
Calédonite, Beudant, 1832.....	1	Cuivre, Muller, Reichenstein, 1782.....	23
Campylite, Breithaupt, 1841.....	1	Cumengeite, Mallard, 1893.....	1
Canavesite, Ferraris, 1978.....	1	Cuprite, Haidinger, 1845.....	23
Cancrinite, Rose, 1839.....	1	Cuprosklodowskite, Buttgenbach, 1933.....	1
Carbonado, Inc., Inc.....	1	Cyanochroïte, Scacchi, 1855.....	1
Carborundum beta, Berzelius, 1824.....	3	Cyanotrichite, Glocker, 1839.....	1
Carnallite, Rose, 1856.....	2	Cylindrite, Frenzel, 1893.....	1
Carnotite, Friedel, 1899.....	2	Cyprine, Berzelius, 1821.....	1
Carpholite, Werner, 1817.....	1	Daphnite, Tschermak von Seysenegg, 1891.....	1
Carphosiderite, Palache, 1951.....	1	Datolite, Esmark, 1805.....	2
Cassiterite, Beudant, 1832.....	15	Dawsonite, Harrington, 1874.....	1
Cavansite, Staples, 1967.....	1	Delvauxite (-ine), Dumont, 1838.....	15
Cavolinite, Monticelli, 1825.....	1	Démantoïde, Nordenskiöld, 1868.....	1
Céchite, Mrazek, 1981.....	1	Descloizite, Damour, 1854.....	2
Célestine, Werner, 1798.....	23	Diaclasite, Breithaupt, 1833.....	1
Célestobarite, Dana 1868.....	1	Diadochite, Breithaupt, 1837.....	1
Cerite, Hisinger, 1804.....	2	Diallage, Haiÿ, 1801.....	7
Cérusite, Haidinger, 1845.....	23	Dialogite, Jasche, 1819.....	1
Cervantite, Dana, 1854.....	1	Diamant, Pline, 0077.....	3
Chabasite, Bosc d'Antic, 1788.....	7	Diaspore, Haiÿ, 1801.....	1
Chalcanthite, von Kobell, 1853.....	5	Didymite, Schaffhautl, 1843.....	1
Chalcocite, Dana, 1868.....	10	Diopside, Haiÿ, 1806.....	13
Chalcopyrite, Henckel, 1725.....	73	Diopside, Haiÿ, 1797.....	7
Chalcosiderite, Ullmann, 1814.....	2	Dipyre, Haiÿ, 1801.....	3
Chalcotrichite, Glocker, 1831.....	2	Disthène, Haiÿ, 1801.....	15
Chamosite, Berthier, 1820.....	6	Dolomite, Saussure, 1792.....	42
Chiastolite, Karsten, 1800.....	5	Dufrenite, Brongniart, 1833.....	2
Childrenite, Brooke, 1823.....	1	Dufrenoyseite, Damour, 1845.....	2

Dumortierite, Gonnard, 1881.....	2	Halite, Glocker, 1847.....	38
Durangite, Brush, 1869.....	1	Halloysite, Berthier, 1826.....	6
Dyscrasite, Beudant, 1832.....	3	Halotrichite, Glocker, 1839.....	1
Elaéolite, Klaproth, 1809.....	2	Harmotome, Häüy, 1801.....	3
Embolite, Breithaupt, 1849.....	2	Hauerite, Haidinger, 1846.....	4
Émeraude, Inc., Inc.....	11	Hausmannite, Haidinger, 1827.....	4
Enargite, Breithaupt, 1850.....	1	Häüyne, Brunn-Neergard, 1807.....	5
Endlichite, Genth, 1885.....	1	Hedenbergite, Berzelius, 1819.....	1
Enstatite, Kenngott, 1855.....	2	Héliodore, Pranach, 1910.....	1
Epidolithe, Häüy, 1813.....	1	Héliotrope, Pline, 0077.....	1
Epidote, Häüy, 1801.....	28	Helvine, Werner, 1816.....	3
Epistilbite, Rose, 1826.....	3	Hématite, Pline, 0077.....	154
Epsomite, Beudant, 1824.....	1	Hemimorphite, Kenngott, 1853.....	3
Erinite, Haidinger, 1828.....	1	Hessonite, Häüy, 1822.....	3
Erubescite, Dana, 1850.....	1	Hétérosite, Alluaud, 1825.....	7
Erythrite, Beudant, 1832.....	4	Heulandite, Brooke, 1822.....	6
Étain, Howell, 1885.....	3	Hielmite, Nordenskiöld, 1860.....	1
Euclase, Häüy, 1792.....	1	Hornblende, Inc., Inc.....	15
Eudidymite, Brøgger, 1887.....	1	Hübnerite, Riotte, 1865.....	2
Euxenite, Scheerer, 1840.....	7	Humboldtine, Rivero, 1821.....	1
Fahlunite, Hisinger, 1808.....	1	Humite, Bournon, 1813.....	1
Fassaïte, Werner, 1817.....	2	Hureaulite, Alluaud, 1825.....	1
Faujasite, Damour, 1842.....	1	Hyacinthe, Inc., Inc.....	4
Fayalite, Gmelin, 1840.....	1	Hyalite, Werner, 1812.....	2
Feldspath, Werner, 1790.....	17	Hydrobiotite, Schrauf, 1882.....	2
Fer, Inc., Inc.....	20	Hydrophane, Inc., Inc.....	1
Fergusonite, Haidinger, 1826.....	3	Hydrozincite, Kenngott, 1853.....	4
Feuerblende, Breithaupt, 1832.....	1	Hypersthène, Häüy, 1803.....	10
Fibroferrite, Rose, 1833.....	2	Idocrase, Häüy, 1801.....	29
Flos-Ferri, Linné, 1768.....	1	Illite, Grim, 1937.....	1
Fluorite (-ine), Napione, 1797.....	150	Iménite, Kupffer, 1827.....	14
Fowlerite, Shepard (M), 1832.....	1	Ilvaïte, Steffens, 1811.....	4
Franklinite, Berthier, 1819.....	7	Iserine, Klaproth, 1810.....	1
Freieslebenite, Haidinger, 1845.....	1	Ittnerite, Gmelin, 1823.....	1
Fuchsite, Schaffhautl, 1843.....	5	Ixiolite, Nordenskiöld, 1857.....	2
Fulgurite, Inc., Inc.....	1	Jadeïte, Damour, 1863.....	9
Gadolinite, Klaproth, 1800.....	4	Jakobsite, Damour, 1869.....	2
Gahnite, von Moll, 1807.....	3	Jamesonite, Haidinger, 1825.....	2
Galène, Pline, 0077.....	144	Jargon, Wallerius, 1772.....	1
Garnierite, Clarke, 1874.....	7	Jarosite, Breithaupt, 1852.....	2
Gédrite, Dufrenoy, 1836.....	3	Jaspe, Inc., Inc.....	17
Gehlenite, Fuchs, 1815.....	2	Jeffersonite, Vanuxem, 1822.....	2
Gersdorffite, Lowe, 1845.....	1	Johannite, Haidinger, 1830.....	1
Geysérite, Delametherie, 1812.....	1	Joseite, Kenngott, 1853.....	1
Gibbsite, Torrey, 1822.....	1	Kainite, Zincken, 1865.....	1
Giesseckite, Allan, 1813.....	1	Kaolinite, Brongniart, 1807.....	11
Gilbertite, Thomson (M), 1831.....	1	Keilhauite, Erdmann, 1844.....	1
Girasol, Inc., Inc.....	2	Kermesite, Chapman, 1843.....	2
Gismondite, Leonhardt, 1817.....	2	Kérolithe, Breithaupt, 1823.....	1
Glauberite, Brongniart, 1808.....	3	Kieserite, Reichardt, 1861.....	1
Glaucodot, Breithaupt, 1849.....	1	Killinite, Taylor, 1818.....	1
Glauconie, Inc., Inc.....	3	Koninckite, Cesaro, 1884.....	1
Glauconite, Keferstein, 1828.....	7	Kreitonite, von Kobell, 1848.....	1
Glaucothane, Hausmann, 1845.....	3	Labradorite, Werner, 1780.....	12
Gmelinite, Brewster, 1825.....	1	Lagonite, Beudant, 1832.....	1
Goethite, Lenz, 1806.....	21	Langbanite, Flink, 1877.....	1
Graphite, Werner, 1789.....	14	Langite, Maskelyne, 1864.....	1
Greenockite, Jameson, 1840.....	1	Lanthanite, Haidinger, 1845.....	1
Greenovite, Dufrenoy, 1840.....	1	Lapis-Lazuli, Boodt, 1747.....	1
Grenat chromifère, Inc., Inc.....	2	Laumontite, Werner, 1803.....	5
Grenat s.l., von Bollstädt, 1270.....	42	Laurionite, Koechlin, 1887.....	1
Grossulaire, Werner, 1811.....	10	Lazulite, Klaproth, 1795.....	6
Grunerite, Kenngott, 1853.....	1	Lazurite, Brøgger, 1890.....	8
Guerinite, Nefedov, 1961.....	1	Leadhillite, Beudant, 1832.....	1
Gypse, Theophrastus, - 0315.....	187	Lechatelierite, Lacroix, 1915.....	1
Gyrolite, Andersson, 1851.....	2	Lepidocrocite, Ullmann, 1813.....	1

Lépidolite, Klaproth, 1792	8	Orpiment, Agricola, 1546	8
Leucite, Werner, 1791	6	Orthoclase, Breithaupt, 1823	45
Leucophane (-ite), Esmark, 1840	1	Orthose, Haüy, 1801	8
Levyne (-ite), Brewster, 1825	1	Ottrelite, Dethier, 1819	1
Limonite, Hausmann, 1813	101	Ozocérite, Glocker, 1833	5
Linarite, Brooke, 1822	1	Paigeite, Knopf, 1908	1
Löllingite, Haidinger, 1845	7	Pargasite, Steinhil, 1814	1
Ludlamite, Field (G), 1877	1	Parasite, Medici-Spada, 1845	1
Ludwigite, Tschermak von Seysenegg, 1874	1	Pechblende, von Born, 1772	5
Magnésite, Karsten, 1808	12	Pechurane, Dana, 1837	1
Magnétite, Haidinger, 1845	37	Pectolite, von Kobell, 1828	4
Malachite, Pline, 0077	90	Pennine, Frobél, 1840	2
Malacon, Scheerer, 1844	1	Pentlandite, Dufrenoy, 1856	2
Manganandalousite, Inc., Inc.	1	Péricline, Breithaupt, 1823	3
Manganèse, Gahn, 1774	4	Péridot, Inc., Inc.	11
Manganite, Haidinger, 1827	7	Perovskite, Rose, 1839	2
Manganocalcite, Breithaupt, 1858	1	Pétalite, D'Andrada e Silva, 1800	3
Marcassite, Haidinger, 1845	42	Phacolite, Breithaupt, 1836	2
Margarite, Fuchs, 1823	2	Pharmacolite, Karsten, 1800	2
Marthozite, Cesbron, 1969	1	Pharmacosidérite, Hausmann, 1813	6
Masonite, Jackson, 1840	1	Phillipsite, Levy, 1825	4
Mélanite, Werner, 1799	1	Phlogopite, Breithaupt, 1841	9
Mélanterite, Dioscorides, 0050	1	Phosgenite, Karsten, 1800	1
Melilite, Delametherie, 1796	1	Picroparmacolite, Stromeyer, 1819	1
Melinophane, Scheerer, 1853	2	Piemontite, Kenngott, 1853	1
Mellite, Gmelin, 1793	2	Pigotite, Johnston, 1840	1
Mercure, Inc., 1386	5	Pimelite, Karsten, 1800	1
Merxène, Haidinger, 1845	1	Pinite, Karsten, 1800	6
Mésitite (-ine), Breithaupt, 1837	2	Pistomesite, Breithaupt, 1847	1
Mésolite, Fuchs, 1816	1	Pitticite, Hausmann, 1813	1
Mesotype, Haüy, 1801	1	Plasma, Jameson, 1816	2
Metaxite, Breithaupt, 1833	1	Platine, de Ulloa, 1748	3
Mica, Inc., Inc.	42	Pléonaste, Haüy, 1801	3
Microcline, Breithaupt, 1830	6	Plomb, Pline, 0077	4
Microlite, Shepard, 1835	1	Plumosite, Haidinger, 1845	1
Milarite, Kengott, 1870	1	Polyadelphite, Thomson, 1836	1
Millerite, Haidinger, 1845	4	Polybasite, Rose, 1829	1
Mimetite, Beudant, 1832	2	Prase, Wallerius, 1753	2
Mispickel, Inc., Inc.	1	Praseolite, Erdmann, 1840	1
Modèle Cristallographique	70	Predazzite, Petzholdt, 1843	1
Molybdenite, Scheele, 1778	7	Prehnite, Werner, 1788	14
Monazite, Breithaupt, 1829	3	Protochlorite, Schraus, 1882	1
Monticellite, Brooke, 1831	1	Proustite, Beudant, 1832	3
Montmorillonite, Mauduyt, 1847	1	Pseudolibethenite, Rammelsberg, 1860	1
Muscovite, Dana, 1850	30	Pseudomalachite, Hausmann, 1832	2
Nacrite, Brongniart, 1807	1	Psilomelane, Wallerius, 1747	15
Nadorite, Flajolot, 1870	1	Puchérite, Frenzel, 1871	1
Nagyagite, Haidinger, 1845	5	Pumpellyite, Palache, 1923	1
Natrolite, Klaproth, 1803	7	Pycnodesma globosa, Schrammen, 1910	1
Natron, Wallerius, 1747	2	Pyrargyrite, Glocker, 1831	9
Népheline, Haüy, 1800	3	Pyrite, Dioscorides, 0050	193
Nickeline, Beudant, 1832	2	Pyrochlore, Wöhler, 1826	1
Nickel-oxide, Bergeman, 1858	1	Pyrolusite, Haidinger, 1827	14
Nitratite (-ine), Haidinger, 1845	2	Pyromorphite, Hausmann, 1813	21
Nitre, Shepard (M), 1857	1	Pyrope, Werner, 1803	2
Nontronite, Berthier, 1827	1	Pyrophyllite, Hermann (G), 1829	4
Noséane, Klaproth, 1815	1	Pyrosomalite, Karsten, 1808	2
Offretite, Gonnard, 1890	1	Pyroxène, Haüy, 1796	10
Okenite, von Kobell, 1828	2	Pyrrhotite, Breithaupt, 1835	5
Oligoclase, Breithaupt, 1826	9	Quartz cathédrale, Inc., Inc.	1
Olivinite, Jameson, 1820	4	Quartz chloriteux, Inc., Inc.	2
Olivine, Werner, 1789	8	Quartz diamant, Inc., Inc.	1
Onyx, Inc., Inc.	3	Quartz enfumé, Inc., Inc.	13
Opale, Inc., Inc.	36	Quartz hyacinthe, Inc., Inc.	2
Or, Inc., Inc.	20	Quartz rose, Inc., Inc.	8
Orangite, Krantz, 1851	1	Quartz rubigineux, Inc., Inc.	1

Quartz, Agricola, 1529	374	Strahlite, Brooke, 1823	1
Rammelsbergite, Dana, 1854.....	1	Stromeyerite, Beudant, 1832.....	1
Ramsayite, Fersman, 1922.....	1	Strontianite, Sulzer, 1790.....	9
Réalgar, Wallerius, 1747	7	Struvite, Ulex, 1846	2
Reinite, Fritsch, 1878	1	Sylvite, Beudant, 1832.....	12
Résinite, Haüy, 1822	2	Tachyhydrite, Rammelsberg, 1856	1
Rhodochrosite, Hausmann, 1813.....	11	Talc, Agricola, 1546	39
Rhodonite, Jasche, 1819.....	9	Tantalite, Ekeberg, 1802.....	5
Richellite, Cesaro, 1883	1	Tennantite, Phillips, 1819	1
Richterite, Breithaupt, 1865.....	1	Tetraedrite, Haidinger, 1845	8
Ripidolite, von Kobell, 1839	2	Thomsonite, Brooke, 1820.....	2
Roselite, Levy, 1824.....	1	Thorianite, Dunstan, 1904.....	1
Rubellane, Breithaupt, 1829	1	Thorite, Berzelius, 1829.....	2
Rubellite, Kirwan, 1794	9	Thulite, Ekeberg, 1820.....	1
Rubis, Wallerius, 1747	2	Titane, Klaproth, 1795	2
Rutile, Werner, 1803	13	Titanite, Klaproth, 1795.....	6
Salite, D'Andrada e Silva, 1800.....	4	Topaze, de Boodt, 1636	25
Salmiac, Agricola, 1546	1	Torbernite, Werner, 1786.....	9
Samarskite, Rose, 1847	1	Tourmaline, Inc., Inc.....	42
Sanidine, Nose, 1808.....	6	Tremolite, Höpfner, 1790	23
Saphir, Wallerius, 1747	1	Tridymite, vom Rath, 1868.....	3
Sapphirine, Giesecke, 1819	1	Triphane, Haüy, 1801	1
Sarcolite, Thomson, 1807.....	1	Triphylite, Fuchs, 1834.....	2
Sardoine, Inc., Inc.....	1	Triplite, Hausmann, 1813	6
Sarkinite, Sjögren, 1885	1	Troostite, Shepard, 1832.....	2
Sassolite, Karsten, 1800	2	Turquoise, Tavernier, 1678.....	9
Saussurite, de Saussure, 1806.....	2	Ulexite, Dana, 1850	1
Scapolite, D'Andrada e Silva, 1800	1	Ullmannite, Frobél, 1843	1
Schefférite, Michaelson, 1862	1	Uraninite, Born, 1772	2
Schörl, Mathesius, 1524	4	Uranochalcite, Breithaupt, 1841	1
Schorlomite, Shepard (M), 1846	1	Uvarovite, Hess, 1832.....	2
Schweizerite, Scheerer, 1847.....	1	Valentinite, Haidinger, 1845.....	2
Scolecite, Fuchs, 1813.....	6	Vanadinite, von Kobell, 1838	4
Scorodite, Breithaupt, 1817	4	Variscite, Breithaupt, 1837	5
Senarmontite, Dana, 1851	2	Vauquelinite, Berzelius, 1818.....	1
Sépiolite, Glocker, 1847.....	2	Verdelite, Quesnel, Gabrielson, 1939	3
Serendibite, Prior, 1902.....	1	Vermiculite, Webb, 1824.....	2
Seriphos, Inc., Inc.....	1	Vivianite, Werner, 1817.....	16
Serpentine, Agricola, 1546.....	14	Wad, Inc., Inc.....	3
Serpierite, Des Cloizeaux, 1881	2	Wagnerite, Fuchs, 1821	1
Sertal, Inc., Inc	1	Wavellite, Babington, 1805	8
Seybertite, Clemson, Inc.....	1	Wernerite, D'Andrada e Silva, 1800	18
Sidérite, Beudant, 1832	79	Whewellite, Brooke, 1852	1
Sillimanite, Bowen, 1824	7	Willemite, Levy, 1830	9
Smaltite, Beudant, 1832	6	Withamite, Brewster, 1825	1
Smectite, Breithaupt, 1841	2	Witherite, Werner, 1789	4
Smithsonite, Beudant, 1832.....	31	Wohlerite, Scheerer, 1843.....	1
Sodalite, Thomson (M), 1811	6	Wolframite, Breithaupt, 1832	13
Soufre, Dana, 1390	49	Wollastonite, Leman, 1818.....	9
Spessartine, Beudant, 1832.....	8	Wovllite, Inc., Inc	1
Sphaerocobaltite, Weissbach, 1877	1	Wulfenite, Haidinger, 1845.....	9
Sphalerite, Glocker, 1847	67	Wurtzite, Friedel, 1861	1
Spinelle, Agricola, 1546.....	4	Xanthoconite, Breithaupt, 1840	1
Spirifer sp., Sowerby, J.....	1	Xenotime, Beudant, 1832	2
Spodumène, D'Andrada e Silva, 1800	5	Yttrocérite, Berzelius, 1814	1
Staffelite, Stein, 1866	1	Ytrotantalite, Ekeberg, 1802.....	5
Stannite, Beudant, 1832.....	1	Ytrotitanite, Scheerer, 1844	3
Staurotide, Haüy, 1797	12	Zéolite s. l., Cronstedt, 1756	4
Stéatite, Inc., Inc.....	5	Zincite, Haidinger, 1845	6
Stephanite, Haidinger, 1845	1	Zinckenite, Rose, 1826	1
Sternbergite, Haidinger, 1827.....	3	Zircon, Werner, 1783	17
Stibine, Beudant, 1832	35	Zöisite, Werner, 1805	7
Stilbite, Haüy, 1796.....	14	Zunyite, Hillebrand, 1884.....	1
Stillpnomélane, Glocker, 1827	1	Zwieselite, Breithaupt, 1841	1
Stolzite, Haidinger, 1845	3		

A BRIEF GEOLOGICAL OUTLINE OF THE LESSER CAUCASUS: NEW INSIGHTS ON ITS TETHYAN-ALPINE EVOLUTION BASED ON RECENT RESULTS OF A FRENCH-ARMENIAN COLLABORATION

Présentation succincte de la géologie du Petit Caucase : nouveaux aperçus sur son évolution téthysienne et alpine sur la base de résultats récents issus d'une collaboration Franco-Arménienne

By Taniel DANELIAN (*), Marc SOSSON (**), Ara AVAGYAN (***), Ghazar GALOYAN (***),
Gayané ASATRYAN (***), Yann ROLLAND (**), Lilit SAHAKYAN (***), Carla MÜLLER(****),
Araïg GRIGORYAN (***), Alain PERSON (*****), Michel CORSINI (**),
Ruben JRBASHYAN (***) & Raphael MELKONYAN (***)

Abstract. — The Tethyan geology of the Lesser Caucasus has a multiphase and complex history. The main lithotectonic domains that can be individualized during the presence of a Tethyan oceanic branch in the region are (i) the South Armenian Block (SAB), a Gondwanian remain that is mainly known by its characteristic Middle to Upper Palaeozoic sedimentary sequences; (ii) ophiolitic units, including their sedimentary cover, which record a complex history of geodynamic, magmatic and sedimentary events, and (iii) the Eurasian active margin, known essentially from its Middle Jurassic – Upper Cretaceous volcano-sedimentary sequences. Following the obduction of ophiolites onto the SAB during the Coniacian-Santonian interval and the subsequent Palaeocene-Lower Eocene collision of the South Armenian Block against Eurasia, widespread volcanic activity took place during the middle to late Eocene. Impressive quaternary volcanoes and recent tectonic activity along active faults attest on the geodynamic activity in relation to the collision with the Arabian plate.

Résumé. — La géologie téthysienne du Petit Caucase a une histoire multiphasée et complexe. Les principaux domaines lithotectoniques individualisés dans la région par la présence d'une branche océanique téthysienne sont : (i) le bloc sud-arménien (SAB), un fragment gondwanien caractérisé par ses séries sédimentaires du Paléozoïque moyen et supérieur; (ii) les unités ophiolitiques (et leur couverture sédimentaire), lesquelles enregistrent une histoire complexe d'événements magmatiques, sédimentaires et géodynamiques; et (iii) la marge active eurasiennne, connue essentiellement par des séries volcano-sédimentaires accumulées durant le Jurassique moyen à Crétacé supérieur. A la suite de l'obduction des ophiolites sur le SAB au Coniacien-Santonien et de la collision paléocène-éocène inférieur entre le bloc Sud-Arménien et l'Eurasie, une activité volcanique très étendue a eu lieu durant l'Eocène moyen et supérieur. Les impressionnants volcans quaternaires et l'activité tectonique récente le long des failles actives attestent d'une activité géodynamique en relation avec la collision de l'Arabie.

Key-words: Armenia, Lesser Caucasus, ophiolites, Tethys, South Armenian Block

Mots-clés: Arménie, Petit Caucase, ophiolites, Téthys, Bloc Sud Arménien

I. — INTRODUCTION

The Lesser Caucasus is a mountainous area formed to a large extent by a segment of the Alpine-Himalayan mountain belt (Fig. 1). Large parts of this belt are situated in Armenia (Fig. 2), a country that displays a rich geological diversity of essentially volcanic and sedimentary rocks and a wide array of tectonic structures. Pierre Bonnet is to our knowledge the first French geologist to have worked in Armenia. He started

working in the area early in the 20th century (Bonnet, 1910); he published a great number of papers and summarized his work, in a joint study with his wife, just after the 2nd world war (Bonnet, 1947). It is worth noting that the first mention of ophiolites in Vedi area is thanks to Bonnet P. & N. (1933-1937). The elaboration of palaeogeographic reconstructions for the “Tethys program”, developed during the 1980s, gave the opportunity to French geologists (J. Dercourt, L.-E. Ricou) to visit the Armenian ophiolites (Fig. 3) and to integrate the

(*) University Lille 1, Department of Earth Sciences, CNRS-FRE 3298 “Géosystèmes”, SN5, 59655 Villeneuve d’Ascq cedex, France.

(**) University of Nice – Sophia Antipolis, OCA, CNRS-UMR Géoazur, 250 rue A. Einstein, 06560 Valbonne 2, France.

(***) Institute of Geological Sciences, Armenian National Academy of Sciences, 24a Baghramian Avenue, Yerevan, 375019, Armenia.

(****) 6 bis Rue Haute, 92500, Rueil Malmaison, France.

(*****) University Pierre-et-Marie-Curie, ISTE P, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France.

Corresponding author : Taniel.danelian@univ-lille1.fr.

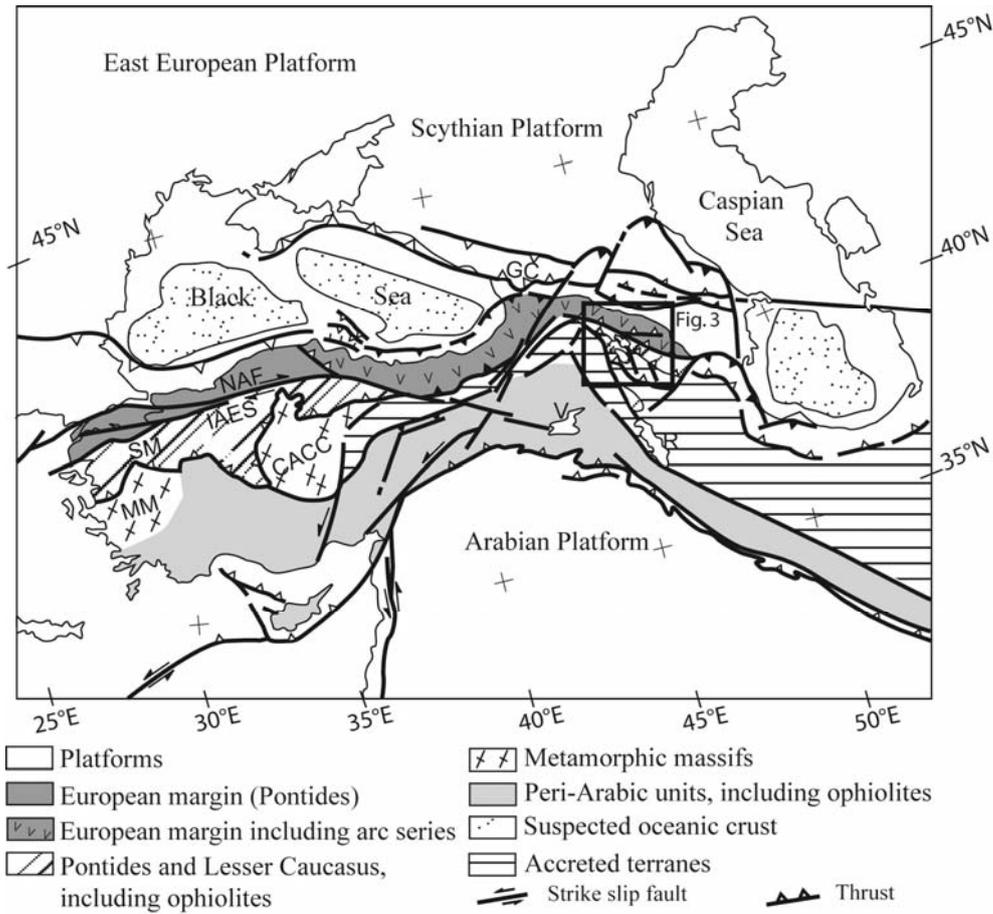


Fig. 1. — Structural sketch map of the Taurides, Caucasus and Iranian belts (after Avagyan *et al.*, 2005 and Sosson *et al.*, 2010, modified). CACC: Central Anatolian Crystalline Complex, MM: Menders Massif, SM: Sakarya Massif, IAES: Izmir-Ankara-Erzincan suture, NAF: North Anatolian Fault, GC: Great Caucasus, V: Van Lake, R: Rezaieyh Lake.

Fig. 1. — Carte structurale simplifiée des Taurides, des chaînes iraniennes et du Caucase (d'après Avagyan *et al.*, 2005 et Sosson *et al.*, 2010, modifié).

Tethyan evolution of the Lesser Caucasus in a much wider palaeogeographic and geodynamic framework (Dercourt *et al.*, 1986). The disastrous earthquake of 1988 generated a renewed interest for the active tectonics of the country, situated in the junction of the Arabian Peninsula, the Iranian plate and the Taurides (Fig. 1) (Philip *et al.*, 2001; Karakhanian *et al.*, 2004; Avagyan *et al.*, 2005, 2010).

Interest for improved palinspastic and palaeogeographic reconstructions of the Lesser Caucasus was renewed with the MEBE program (Middle East Basin Evolution). This is indeed one of the key areas of the Alpine-Himalayan mountain belt, since it is situated at the junction of suture zones between Turkey and Iran. Both French and Armenian teams agreed on the key importance of ophiolites to understand the geodynamic evolution of the Alpine mountain chain preserved in Armenia (Fig. 3 and 4). The numerous fieldtrips conducted since 2003, and subsequent extensive laboratory analyses, focused essentially on the age and geodynamic significance of the volcanic-plutonic rocks and radiolarites in ophiolitic sequences. More recently, the DARIUS program allowed to obtain in-depth knowledge of these subjects and to be interested in the lateral continuity of



Fig. 2. — Geographic map of Armenia and Karabagh and neighbouring countries.

Fig. 2. — Carte géographique d'Arménie et du Karabagh et des pays avoisinants.

the Armenian ophiolites in Turkey (to the west) and in Iran (to the south-east).

Below we will outline the geological framework and geodynamic evolution of the Lesser Caucasus, stressing on the recent progress made following French-Armenian collaborative projects.

II. — OUTLINE OF THE TETHYAN OCEANIC REALM AND ITS MARGINS

The ophiolites that occur in the Lesser Caucasus are part of a Tethyan suture zone (Knipper, 1975; Adamia *et al.*, 1981; Zakariadze *et al.*, 1983; Knipper *et al.*, 1986; Dercourt *et al.*, 1986; Sosson *et al.*, 2010). They represent the relics of an oceanic realm between Eurasia and a Gondwanan microcontinent, known as the South Armenian Block (SAB; Fig. 3 and 4). In the following paragraphs we will introduce briefly the lithological characteristics and stratigraphy of these three main tectono-stratigraphic units.

1) The South Armenian Block (SAB)

This micro-continent was detached from Gondwana during the Late Palaeozoic-Early Mesozoic. Middle Palaeozoic to Lower Triassic sequences, localized essentially in the southwestern part of Armenia and in Nakhitchevan (Fig. 2 and 3), overlie unconformably the Neo-Proterozoic crystalline basement of the SAB (i.e. the ca. 620 Ma old Dzarkuniatz massif, situated North of Yerevan, Fig. 3; Aghamalyan, 1978, 1998; Belov & Sokolov, 1973). Palaeogeographic reconstructions, based essentially on the type of sedimentary formations and on palaeomagnetic data, argue for a Gondwanan origin and suggest that the Middle Jurassic position of the SAB was situated ca. 2000 km south of its present position (Bazhenov *et al.*, 1996). The South Armenian Block (SAB) is best known from its several thousand meters thick Palaeozoic sedimentary sequences (Fig. 5). The Middle and Upper Devonian series are mainly composed of rather shallow water limestones, rich in brachiopods, crinoids and other bioclasts, which also contain some terrigenous levels (sandstones, siltstones and argillites), as well as some black shales in the Upper Devonian (Frasnian-Famennian) interval. They are overlain by Lower Carboniferous (Tournaisian) shallow water limestones. Lenticular bauxite deposits, which may be up to 70 m-thick in places, are situated between the Tournaisian limestones and the overlying upper Permian carbonates. These are composed of thick-bedded, shallow water, often bituminous limestones that are overlain conformably by Lower Triassic limestones and argillites (Grigoryan, 1990), followed upwards by thick upper Triassic siliciclastic sequences. Jurassic rocks are known from a limited area in Armenia, 20 km to the south of Eghegnadzor town (Fig. 2), where upper Bajocian siltstones grade into Bathonian sandstones (Aslanyan, 1958). According to Mandalyan (1990) the siltstones are Bathonian in age and they are overlain by Callovian limestones. Jurassic sequences are much better known in Nakhitchevan and in Iran where a 500 m-thick Lower and Middle Jurassic sedimentary sequence overlies Upper Triassic strata (Lordkipanidze *et al.*, 1988). Thick-bedded Cenomanian - Turonian reefal carbonates overlie disconformably the entire sequence (Hakobyan, 1978). An upper Cenomanian flysch, followed

conformably by an upper Coniacian – Santonian olistostrome, caps the entire sedimentary sequence (Sokolov, 1977; Sosson *et al.*, 2010).

2) The Eurasian margin

Some Upper Palaeozoic (Carboniferous) volcanoclastic sequences are known to lie unconformably over the Variscan metamorphic basement of the Eurasian margin preserved in the Lesser Caucasus (Adamia *et al.*, 1983). The ca. 300 Ma old Variscan metamorphic massifs in NE Armenia and their counterparts in Georgia form the basement of the Mesozoic volcano-sedimentary sequences of the Eurasian margin (see Sosson *et al.*, 2010 for a review). The bulk of these sequences (discussed below) are of Middle-Late Jurassic and Late Cretaceous age; they attest to the likely presence of a subduction-related volcanic arc in relation to the subduction of Tethyan oceanic lithosphere under the active Eurasian margin.

A first major transgressive event took place during the Bajocian on the Eurasian margin of the Lesser Caucasus, as this is suggested by the widespread accumulation of basal conglomerates overlying unconformably relics of Variscan basement (Fig. 6). They are followed upwards by a ca. 2,400 m-thick Bajocian-Bathonian volcano-sedimentary sequence, composed of volcanoclastic sediments, sandstones and marls with ammonites, but also basalts and andesites that reflect a major magmatic event that took place during the Middle Jurassic (Maghakyan *et al.*, 1985; Lordkipanidze *et al.*, 1988). A younger transgressive event occurred during the Oxfordian as this is recorded by a basal conglomerate followed upwards by siltstones, mudstones and reefal limestones. Massive plutonic intrusions (i.e. granodiorites, Melkonyan, 1976) occurred during the Kimmeridgian, with as a result the genesis of many ore-deposits (i.e. copper and barite, gold-bearing porphyry copper deposits, Melkonyan & Akopyan, 2006). Lower Cretaceous sedimentary sequences are much reduced in thickness. They are overlain by a third important transgressive sequence of Coniacian age, composed of red conglomerates and followed upwards by sandstones and reef limestones. Identical sedimentary facies accumulated during the Santonian; they include prismatic basalt flows. They are overlain by pillow and massive lava flows, which record the ongoing magmatic activity on the Eurasian margin. The thin-bedded pelagic limestones (including some calciturbidites) that accumulated during the Campanian – Maastrichtian are devoid of any intercalated lavas flows and they therefore attest of the end of the magmatic activity on the Eurasian margin of the Lesser Caucasus.

3) The ophiolitic units

Several outcrops of ophiolitic sequences occur in the Lesser Caucasus. They are organised in two main zones (Fig. 3):

- The Sevan-Hagari (Akera) suture zone, in which we can also include the Amassia-Stepanavan ophiolites,
- The Vedi ophiolite, which crops out in the Khosrov Natural resort and is situated in the south-east of the capital city Yerevan.

It is likely that the Armenian ophiolites extend westwards into Turkey and can be thus correlated with the Izmir-Ankara-

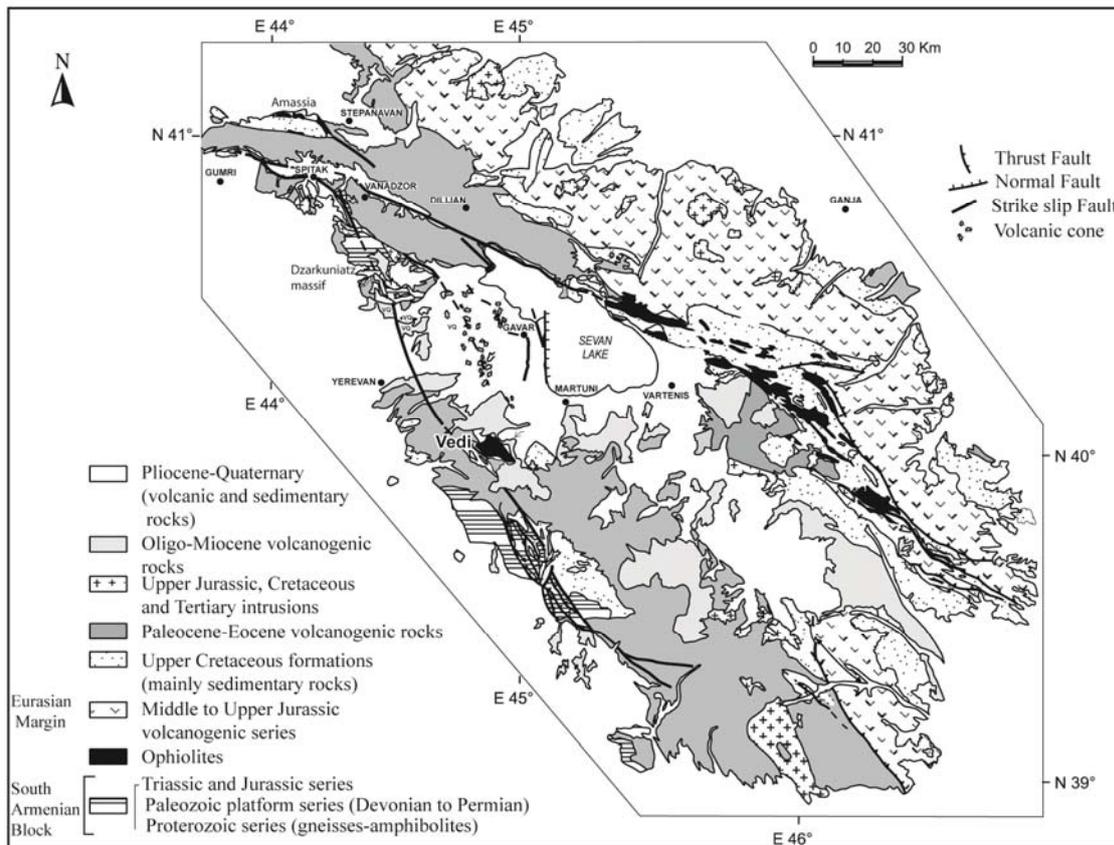


Fig. 3. — Schematic geological map of the Lesser Caucasus (after Sosson *et al.*, 2010, modified).

Fig. 3. — Carte géologique schématique du Petit Caucase (d'après Sosson *et al.*, 2010, modifié).

Erzinçan suture zone. However, their extension towards the south and possible relation with the Khoy ophiolite in Iran are still poorly understood.

a) The Amassia-Stepanavan-Sevan-Hagari ophiolitic zone

This is a NW-SE oriented zone that comprises ophiolites cropping out at the east and SE of Lake Sevan (Palanjian, 1971; Knipper, 1975; Knipper & Khain, 1980; Abovyan, 1981; Aslanyan & Satian, 1977; Galoyan *et al.*, 2009), as well as the Amassia-Stepanavan ophiolite units that crop out in the north-western part of the country (Sokolov, 1974; Galoyan *et al.*, 2007; Galoyan, 2008; Sosson *et al.*, 2010). The outcrops of the Amassia-Stepanavan-Sevan-Hagari zone extend therefore for ca. 400 Km, from NW Armenia to Karabagh passing through the east of Lake Sevan. They represent the Tethys ocean suture zone in the Lesser Caucasus (Fig. 4), which was formed as a result of collision between the South Armenian Block and Eurasia (Sosson *et al.*, 2010).

Petrographic observations establish that the magmatic rocks of the Sevan ophiolite display a high level of fractional crystallization (Galoyan, 2008; Galoyan *et al.*, 2009); they include olivine and pyroxene gabbros and are intruded and overlain by amphibole-bearing gabbros and diorites that are associated to plagiogranites. Peridotites, although common, are in general highly serpentinized following submarine hydrothermal alteration. Galoyan *et al.* (2009) and Rolland *et*

al. (2009) consider this serpentinization as the result of exhumation of peridotites along normal faults that were active in the context of an intraoceanic extensional regime. Based on the total petrological, stratigraphic and structural evidence and because pillow lavas and doleritic dykes are relatively rare, the aforementioned authors suggested that the Sevan-Hagari ophiolite can be considered as being formed in a slow-spreading ridge setting.

Radiometric ages are scarce for the igneous parts of the Sevan-Hagari ophiolite (Fig. 7). Zakariadze *et al.* (1990) obtained a 160 ± 4 Ma age (Callovian-Oxfordian, according to the time scale of Gradstein *et al.* 2004) following application of the U-Pb method on zircons from tonalite, while Bogdanovski *et al.* (1992) dated norites and gabbro-norites in Karabagh as 224 ± 8 and 226 ± 13 Ma in age, respectively (Late Ladinian to Carnian), by using the Sm-Nd method. More recently, Galoyan *et al.* (2009) obtained a 165.3 ± 1.7 Ma plateau age (Bathonian – early Callovian), by applying the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method on amphiboles extracted from a gabbro. Finally, Rolland *et al.* (2009) dated radiometrically (Ar/Ar) some Aptian lavas (117.3 ± 0.9 Ma) in the Vedi area.

Radiolarian biochronology has become invaluable the last twenty-five years for elucidating the complex geodynamic evolution of Tethyan oceanic basins, since Radiolaria are commonly the only fossils able to date the sedimentary cover of ophiolites. Early radiolarian studies conducted on the

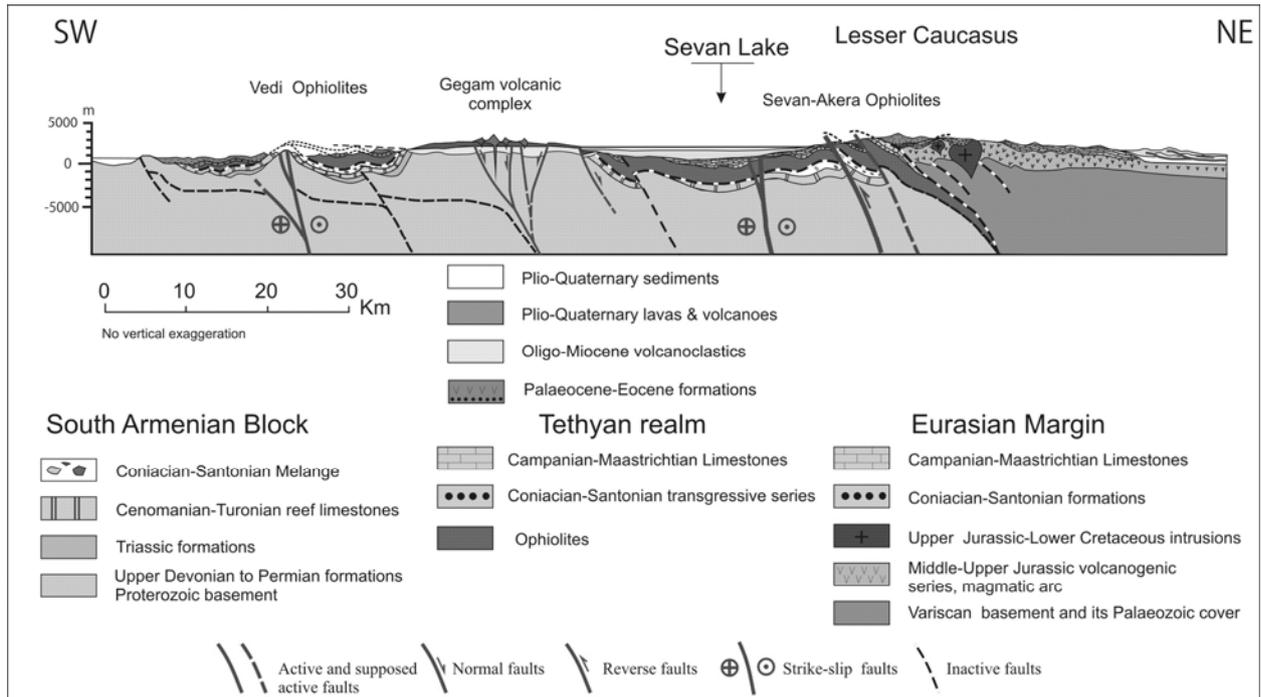


Fig. 4. — Schematic geological cross-section across Armenia (after Sosson *et al.*, 2010 and Avagyan *et al.*, 2010, modified).

Fig. 4. — Coupe géologique schématique à travers l'Arménie (d'après Sosson *et al.*, 2010 et Avagyan *et al.*, 2010, modifié).

sedimentary cover of Armenian ophiolites suggested a poorly constrained Late Jurassic-Neocomian time interval for radiolarites intercalated or overlying ophiolitic lavas from the Sevan ophiolitic zone (Zakariadze *et al.*, 1983). Later studies (Vishnevskaya, 1995, 2001) benefited from modern and better elaborated biozonations (i.e. Baumgartner *et al.*, 1995), which allowed the discovery in Karabagh of Bajocian-lower Bathonian cherts overlying basaltic lavas. At an outcrop near the Armenian/Karabagh border (Old Sotk pass, Fig. 2), Knipper *et al.* (1997) extracted late Carnian and Toarcian Radiolaria from siliceous pelites and cherts intercalated with basalts and basaltic andesites. Because this Upper Triassic to Lower Jurassic volcano-sedimentary sequence overlies (although with a minor faulted contact) sedimentary breccia with fragments of predominantly gabbroic or diabasic composition, the above authors considered that the plutonic part of the Sevan-Hagari ophiolite is Late Carnian or older in age.

Recently, Asatryan *et al.* (2010) provided new biostratigraphic data for the sedimentary cover of the Sevan ophiolite. More particularly, they established that the oldest radiolarites overlying ophiolitic lavas east of Lake Sevan are late Bajocian to Bathonian in age and that the upper Bathonian to lower Oxfordian radiolarites are intercalated with tuffites, suggestive of subaerial volcanic activity.

In the Stepanavan area (NW Armenia), Galoyan *et al.* (2007) described the ophiolitic sequence as characterized by extensive serpentinites, as well as gabbros, gabbro-norites and plagiogranites; the whole sequence is overlain by pillow lavas and radiolarites which were dated as Late Jurassic by Danelian *et al.* (2007).

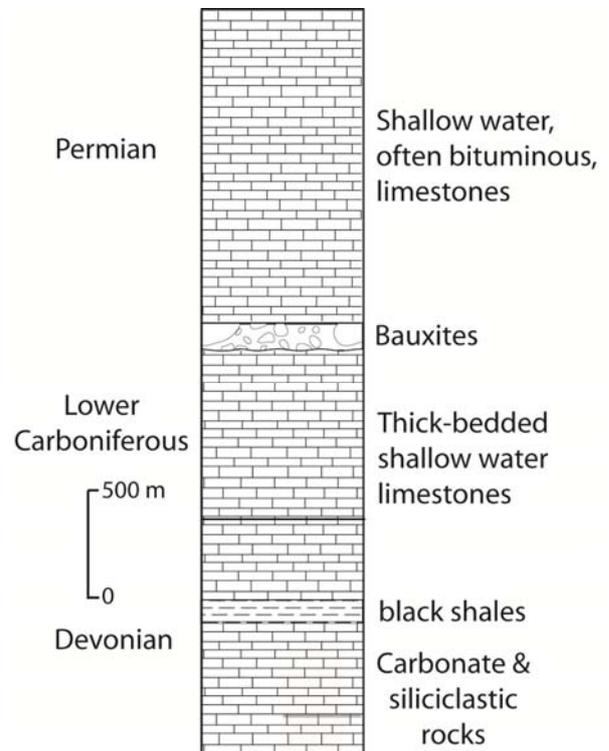


Fig. 5. — Generalized stratigraphy of the Palaeozoic sedimentary sequences of the South Armenian block.

Fig. 5. — Lithostratigraphie simplifiée des séries sédimentaires paléozoïques du bloc Sud Arménien.

b) *The Vedi ophiolite*

Situated to the south-east of the capital city Yerevan, the Vedi ophiolite is also composed of serpentinites, gabbros and a thick pile of massive and pillowed lava flows (Knipper & Sokolov, 1976; Aslanyan & Satian, 1977; Sokolov, 1977; Knipper & Khain, 1980; Galoyan, 2008; Rolland *et al.*, 2009). For some authors the Vedi ophiolite is considered to have been formed in a small separate oceanic basin (Satian, 1979, 2005), for others it corresponds to an allochthonous unit (a folded klippe sequence) which was formed in the same oceanic realm as the Sevan-Akera ophiolites (Knipper & Sokolov, 1976; Sokolov, 1977; Galoyan, 2008; Sosson *et al.*, 2010).

Biostratigraphic data for the sedimentary cover of the Vedi ophiolite were published previously by Belov *et al.* (1991) and the ages obtained from the mentioned radiolarian assemblages were revised by Danelian *et al.* (2010). The data establish the accumulation of radiolarites during three distinct intervals of the Middle Jurassic to Early Cretaceous; however, their relationship with lavas is unclear.

Danelian *et al.* (2008) and Asatryan (2009) discovered Bajocian Radiolaria in radiolarites intercalated with lavas, while Danelian *et al.* (2010) established recently the occurrence of Upper Jurassic radiolarites stratigraphically overlying basaltic lavas. In addition, Rolland *et al.* (2010) provided a radiometric dating for an amphibole of a diorite with the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method and found a 178.7 ± 2.6 Ma plateau age (Toarcian).

III. — GEOLOGICAL EVOLUTION OF THE LESSER CAUCASUS WITH SPECIAL FOCUS ON ITS TETHYAN HISTORY

1) Evolution of the Tethyan oceanic realm in the Lesser Caucasus

Current evidence suggests that oceanic spreading in the Armenian territory was initiated sometime during the Middle to Late Triassic (Fig. 7). Evidence is based on both a Late Triassic radiometric dating of gabbroids from Karabagh (Bogdanovski *et al.*, 1992) and the Carnian palaeontological (radiolarian) age obtained by Knipper *et al.* (1997), for siliceous pelites that crop out at the Old Sotk pass locality (Fig. 2); according to Knipper *et al.* (1997) the pelites lie stratigraphically over breccia composed of mafic intrusive rock fragments (gabbroic and diabasic fragments).

It is interesting to note that the radiometrically dated gabbros are either Triassic or Jurassic in age (Bathonian to Oxfordian for the Sevan ophiolite, Toarcian in Vedi). It is also worth noting that with the exception of the Upper Triassic - Lower Jurassic volcano-sedimentary sequence studied by Knipper *et al.* (1997) all the other dated sequences of radiolarites and intercalated lavas range between the Middle Jurassic and the Lower Cretaceous.

The geochemical affinity (contaminated MORB to calc-alkaline) of basaltic lavas situated above the intrusive lithologies suggested to Galoyan *et al.* (2007, 2009) and Rolland *et al.* (2009) that the bulk of the Armenian ophiolites represent oceanic lithosphere that was formed behind an intra-oceanic subduction zone, in a marginal slow-spreading

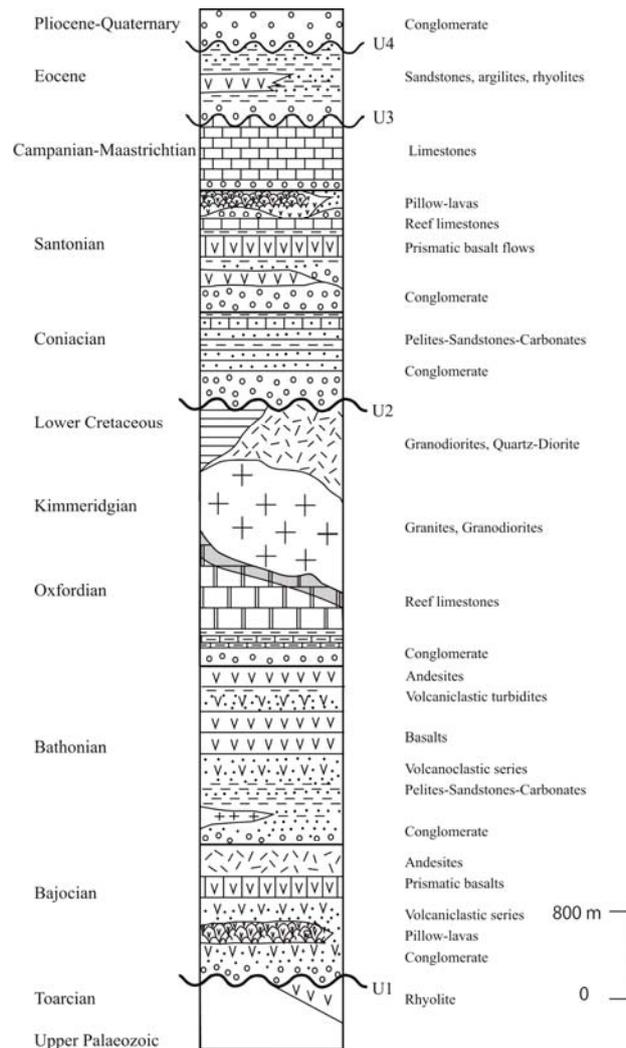


Fig. 6. — Generalized lithostratigraphy of the Eurasian margin in the Lesser Caucasus (after Sosson *et al.*, 2010, modified).

Fig. 6. — Lithostratigraphie simplifiée de la marge eurasiennne dans le Petit Caucase (d'après Sosson *et al.*, 2010, modifié).

back-arc basin that opened during the Middle Jurassic. This was concluded on the basis of the biostratigraphic evidence that was available at the time, in combination with petrological and geochemical arguments from the Sevan ophiolite. Indeed, the oldest radiolarian ages obtained from three different areas (Vedi : Danelian *et al.*, 2008, Asatryan 2009; Sevan : Asatryan *et al.*, 2010; and Karabagh : Vishnevskaya, 1995) argue for early Middle Jurassic radiolarite accumulation associated with lavas.

The radiometric ages available on tonalites (160 ± 4 Ma; Zakariadze *et al.*, 1990) and gabbros (165.3 ± 1.7 Ma; Galoyan *et al.*, 2009) of the Sevan ophiolite suggest that oceanic lithosphere formation continued during the Bathonian-Callovian, and probably the Oxfordian as well. These radiometric ages on the intrusive part of the Sevan ophiolite are in good agreement with the middle/upper Oxfordian to upper Kimmeridgian/lower Tithonian radiolarites that accumulated above lavas of the Vedi ophiolite (Danelian *et al.*, 2010). In addition, the Bathonian to lower Oxfordian tuffites dated recently at Sarinar may be regarded

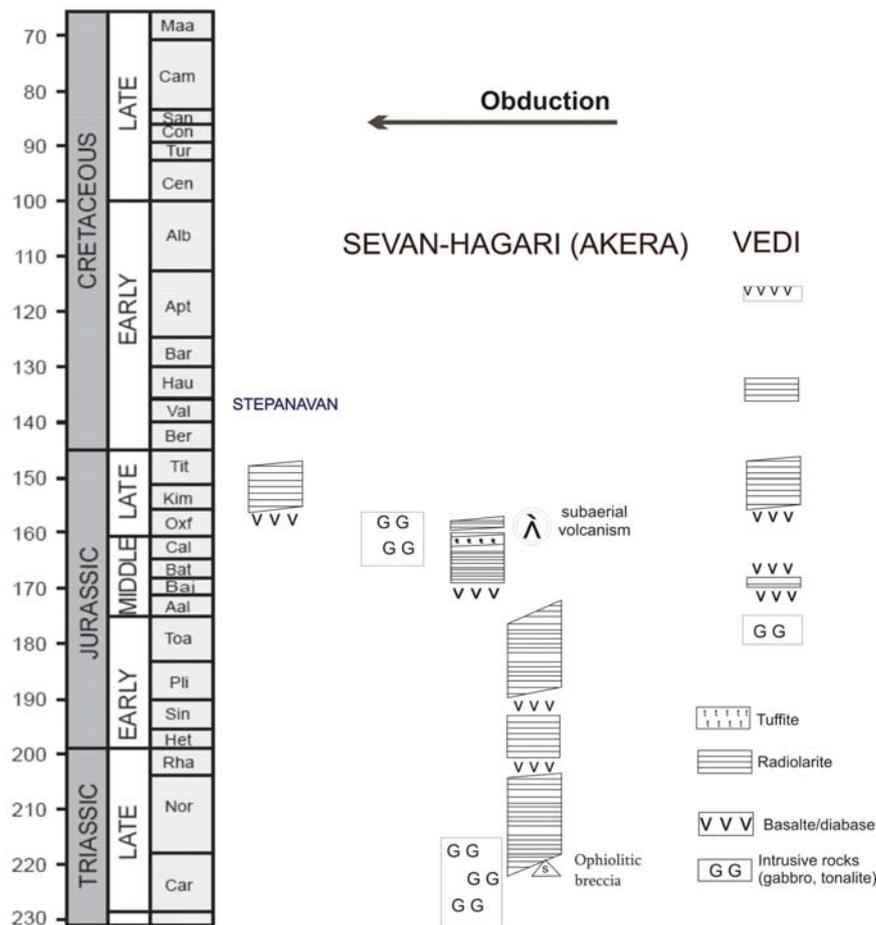


Fig. 7. — Synthesis of available palaeontological and radiochronological ages for the ophiolitic sequences and their sedimentary cover in the Lesser Caucasus.

Fig. 7. — Synthèse des âges paléontologiques et radiochronologiques disponibles sur les séries ophiolitiques et leur couverture sédimentaire dans le Petit Caucase.

as the sedimentary output of intra-oceanic arc volcanism that was active in the Tethyan oceanic realm preserved in Armenia (Asatryan *et al.*, 2010).

According to Galoyan *et al.* (2009), Rolland *et al.* (2009, 2010) and Sosson *et al.* (2010), the geochemistry of basaltic lavas suggests also the presence of a second distinct extrusive system, characterized by an alkaline OIB series of lavas that can be considered to be the expression of a mantle plume event. Indeed, early geochemical studies by Zakariadze *et al.* (1983) had revealed the presence of alkaline lavas in the Armenian ophiolites. However, it is thanks to more recent studies by Galoyan *et al.* (2009) and Rolland *et al.* (2009) that the presence of lavas related to a hot spot activity (OIB type affinity) above the ophiolite was established. Rolland *et al.* (2009) dated radiometrically (Ar/Ar) one of these lavas as 117.3 ± 0.9 Ma in age (Vedi area) and argued that the Aptian emplacement of the oceanic plateau on Middle-Late Jurassic oceanic crust could have facilitated the process of obduction of the Armenian ophiolites during the Coniacian. Finally, a third pile of lavas of calc-alkaline affinity lies over the previous magmatic sequences (Zakariadze *et al.*, 1983; Galoyan *et al.*, 2007; Galoyan, 2008).

2) Closure of the Tethyan oceanic realm in the Lesser Caucasus

The Tethyan oceanic lithosphere preserved in the Lesser Caucasus was obducted on the South Armenian Block during the Late Cretaceous (Knipper, 1975; Sokolov, 1977; Knipper & Khain, 1980).

One key locality that best records this early closing phase and obduction of ophiolites is preserved in Vedi (Fig. 3), where current evidence suggests that the obduction of ophiolites took place during the Late Coniacian – Santonian. The structural and biostratigraphic constraints of this important geodynamic event were detailed in Sosson *et al.* (2010). Close to the entry of the natural reserve exists a remarkable outcrop of thick-bedded Cenomanian limestones of the South Armenian Block overlain by a flysch sequence; the latter is followed in turn stratigraphically by an olistostrome, of upper Coniacian-Santonian age, that contains reworked ophiolitic rocks as olistoliths. The sequence is finally overthrust by the Vedi ophiolite.

Not far from this outcrop the ophiolite is overlain by an upper Coniacian-Santonian reef constructed essentially by

rudists. These key outcrops establish that the obduction took place during the late Coniacian-Santonian (Sosson *et al.*, 2010)

Following the obduction of ophiolites, sometime during the late Coniacian-Santonian, the sea covered most of the Lesser Caucasus. During this time interval the Vedi area was part of a relatively shallow-water environment in which were developed reefs constructed essentially by rudists. Further to the north-east, in the Sevan suture zone, the ophiolites were covered by pelagic limestones which accumulated in deeper waters.

During the Campanian-Maastrichtian the Vedi area was probably further uplifted and submitted to erosion, since only rare sedimentary rocks of this age are found in the area. On the contrary the Sevan suture zone remained under an open marine environment in which accumulated thin-bedded limestones with *Globotruncana* and inoceramid bivalves.

It is worth noting that this time interval corresponds to a period devoid of any magmatic activity in this domain.

3) Main collision stages and recent tectonic-volcanic activity

Evidence for a Late Cretaceous collision triggering age between the SAB and Eurasia was obtained on metamorphic rocks from Stepanavan (Sevan-Hagari suture zone, Rolland *et al.*, 2009), but the main collision stage ranges in age between the Palaeocene and the Middle Eocene (Galoyan 2008, Sosson *et al.*, 2010).

According to Sosson *et al.* (2010) it is likely that Tethyan oceanic lithosphere was all consumed by the Palaeocene in the subduction zone of the Eurasian margin (which corresponds to the Sevan-Hagari suture zone) and that the South Armenian Block had entered into collision by then. This first collision stage had as a consequence: 1) the uplift and erosion of the Sevan-Hagari ophiolites within the suture zone, and 2) the development of a flexural basin at the front of the collision zone. Indeed, ca. 1000 meters of erosional products accumulated during the Palaeocene in a foreland molassic basin situated in the southern part of Armenia; at the same time the Sevan-Hagari suture zone was being affected by deformation, uplift and erosion (Sosson *et al.*, 2010).

A major transgressive event took place during the late Middle and Late Eocene and it was followed closely by extensive volcanic activity in the entire area; a ca. 100 m-thick sequence of sandstones and Nummulitic limestones accumulated unconformably above all the three tectono-sedimentary units: the Eurasian margin, the ophiolite nappe/suture zone and the SAB.

A fundamental change in deformation style occurred during the Miocene, when in an overall north-south compression field, the secondary orientation changed from NW-SE to NE-SW (Avagyan *et al.*, 2010). At this time the Great Caucasus and the Armenian Highland were situated in the central part of the continental collision; they display a dense active fault network of various strikes and kinematics. GPS data point to strain rates in the order of 10 mm/year across this region (Reilinger *et al.*, 2006).

Since continental collision, volcanic activity was characterized by both basaltic and rhyolitic lavas (Karapetian *et al.*, 2001). In Armenia two stages of intracontinental volcanism are identified: the first one took place during the Oligocene to Early Miocene and the second one from Late Miocene to Quaternary, when volcanic massifs and cones were formed in most of the Armenian Highland (Karapetian *et al.*, 2001) exceeding in places 1 km in thickness and ranging in age between 11 Ma and the present (Keskin 2003). The most recent volcanic activity of the Holocene times comprises the volcanism of Sunik, Vardenis and Gegam massifs in Armenia (e.g. Karakhanian *et al.*, 2002; 2003), and in Nemrout, Sipan, underwater volcanoes of Van lake, Tondourek and Ararat volcanoes in Eastern Turkey (e.g. Karakhanian *et al.*, 2002).

In Armenia the tectonic stress regime is mainly strike-slip, with both transtensional and transpressional characteristics. As previously established by Philip *et al.* (1989), Karakhanian and Balasanian (1992), Karakhanian *et al.* (2004) and Avagyan *et al.* (2005), four major coeval types of neotectonic faults are present, including: (1) NE trending sinistral strike-slip faults; (2) NW trending dextral strike-slip faults; (3) east-trending thrusts; and (4) north-trending normal faults. The most important of these structures corresponds to the Sevan-Hagari suture zone.

Strong palaeoearthquakes are up to M7.5 in magnitude; they are associated with faults which may reach 350–500 km in length and experience slip rates varying between 0.5 and 4 mm/year (Trifonov *et al.*, 1994; Philip *et al.*, 2001; Karakhanian *et al.*, 2004). Recent manifestations of destructive seismic activity in the region include the 1976 (M= 7.1) Chalderan, 1983 (M= 6.8) Norman, 1988 (M= 7.0) Spitak, 1991 (M=7.0) Racha, 1990 (M= 7.3) Roudbar-Manjil and 2011 Van (M=7.2) earthquakes which were associated with high levels of hazard and risk.

IV. — CONCLUSIONS

Understanding the time frame of formation and geodynamic significance of ophiolites preserved in the Lesser Caucasus is of key significance to reconstruct the evolution of the Tethyan oceanic branch preserved in this part of the Alpine-Himalayan mountain belt. While the extension of Caucasian ophiolites into the Izmir-Ankara-Erzincan suture zone of Turkey is a realistic possibility, their extension into Iran remains a big puzzle awaiting further detailed work to be resolved. Understanding the geological evolution of a number of key ophiolitic units will help lateral correlations and will provide important constraints for the development of improved palaeogeographic reconstructions.

Thanks to the constructive French-Armenian collaboration, major progress was achieved these last eight years on the understanding of the geological history and geodynamic significance of Armenian ophiolites. We paid special attention to the dating of sedimentary rocks that are in stratigraphic contact with lavas, in order to constrain events of submarine volcanic activity. New field and laboratory (micropalaeontological and petrographic) work, combined with geochemical analyses obtained on lavas, improved greatly our understanding of the geodynamic evolution in the Lesser Caucasus.

Acknowledgments. — Funding from the MEBE and the DARIUS programs, the French Ministry of Foreign Affairs (ECONET program) and the Embassy of France in Armenia (PhD grants to G. Galoyan and G. Asatryan and post-doctoral grant to L. Sahakyan)

is gratefully acknowledged. The fieldwork was facilitated by the support of the Institute of Geological Sciences (Academy of Science of Armenia). Constructive remarks by J. Charvet (Univ. Orléans) and O. Averbuch (Univ. Lille 1) improved the manuscript.

BIBLIOGRAPHY

- ABOVYAN S.B. (1981). — The mafic-ultramafic complexes of the ophiolitic zones in Armenian SSR. Izdatelstvo NAS Arm. SSR, Yerevan, 306 p. (in Russian).
- ADAMIA S. A., CHKHOTIA T., KEKELIA M. & LORDKIPANIDZE M. (1981). — Tectonics of Caucasus and adjoining regions: implications for the evolution of the Tethys ocean. *Journal of Structural Geology*, **4** : 437–447.
- ADAMIA S. A., KEKELIA M. & TSIMAKURIDZE G. (1983). — Pre-variscan and variscan granitoids of the Caucasus. *IGCP Newsletter*, **5** : 5–10.
- AGHAMALYAN V.A. (1978). — The old metamorphic complexes of the territory of Armenian SSR and their tectonic disposition. *Proceedings of reports of the Second Regional Petrographic Symposium on Caucasus, Crimea and Carpathians*. Tbilisi, 109–115. (in Russian)
- AGHAMALYAN V.A. (1998). — *The basement crystalline of Armenia*. Thesis of doctor, Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Armenia. Yerevan, 457 p. (in Russian).
- ASATRYAN G. (2009). — New data about the age of ophiolites in the Vedi zone on the basis of Radiolarian assemblages. *Proc. Nat. Acad. Sci. Armenia, Earth Sciences*, 16–28.
- ASATRYAN G., DANELIAN T., SOSSON M., SAHAKYAN L., PERSON A., AVAGYAN A. & GALOYAN G. (2010). — Radiolarian dating of the sedimentary cover of Sevan ophiolite (Armenia, Lesser Caucasus). *Ofioliti*, **35** : 91–101.
- ASLANYAN A.T. & SATIAN M.A. (1977). — On the geological features of Transcaucasian ophiolitic zones. *Izvestia Acad. Sci. Armenian SSR, Nauki o Zemle* **4-5** : 13–26 (in Russian).
- ASLANYAN A.T. (1958). — The regional geology of Armenia. Haipethrat, Yerevan, 340 p.
- AVAGYAN A., SOSSON M., PHILIP M.H., KARAKHANIAN A., ROLLAND Y., MELKONYAN R., REBAI S. & DAVTYAN V. (2005). — Neogene to Quaternary stress field evolution in Lesser Caucasus and adjacent regions using fault kinematics analysis and volcanic cluster data. *Geodinamica Acta*, **18** : 401–416.
- AVAGYAN A., SOSSON M., KARAKHANIAN A., PHILIP H., REBAI S., ROLLAND Y., MELKONYAN R. & DAVTYAN V. (2010). — Recent tectonic stress evolution in the Lesser Caucasus and adjacent regions. In: M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat and V. Starostenko (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. *Geol. Soc. of London, Special Volume*, **340** : 393–408.
- BAZHENOV M., BURTMAN V.S., LEVASHOVA N.M. (1996). — Lower and Middle Jurassic paleomagnetic results from the south Lesser Caucasus and the evolution of the Mesozoic Tethys ocean. *Earth and Planetary Science Letter*, **141** : 79–89.
- BAUMGARTNER P.O., BARTOLINI A., CARTER E.S., CONTI M., CORTESE G., DANELIAN T., DE WEVER P., DUMITRICA P., DUMITRICA-JUD R., GORICAN S., GUERX J., HULL D.M., KITO N., MARCUCCI M., MATSUOKA A., MURCHEY B., O'DOHERTY L., SAVARY J., VISHNEVSKAYA V., WIDZ D. & YAO A. (1995). — Middle Jurassic to Early Cretaceous Radiolarian Biochronology of Tethys based on Unitary Associations. In: Baumgartner et al. (Eds.), *Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: Occurrences, Systematics, Biochronology*. *Mém. Géol. Lausanne*, **23**, 1013–1048.
- BELOV A., BRAGIN N., VISHNEVSKAYA V., SATIAN M. & SOKOLOV S. (1991). — New data on the age of Vedi ophiolite (Armenia). *Comptes Rendus Académie URSS*, **321** : 784–787 (in Russian).
- BELOV A.A. & SOKOLOV S.D. (1973). — Relicts of Mesozoic oceanic crust among the crystalline complexes of the Miskhana massif of Armenia. *Sovetskaya geologia*, **8** : 26–41. (in Russian).
- BOGDANOVSKI O.G., ZAKARIADZE G.S., KARPENKO S.F., ZLOBIN S.K., PUSKHOVSKAYA V.M. & AMELIN YU.V. (1992). — Sm-Nd age of the gabbroids of a tholeiitic series of the ophiolites of the Sevan-Akera zone of the Lesser Caucasus. *Rep. Acad. Sci. Russia*, **327** : 4–6, 566–569 (in Russian).
- BONNET P. & N. (1910). — Sur l'existence du Trias et du Mésojurassique aux environs de Djoulfa (Transcaucasie méridionale), *C. R. Acad. Sc.*, **150** : 746–748.
- BONNET P. & N. (1933–1937). — Atlas de Géologie transcaucasienne, Paris.
- BONNET P. & N. (1947). — Description géologique de la Transcaucasie méridionale (chaînes de l'Araxe moyen), *Mémoires de la Société géologique de France*, **53**, 292 p., 14 pl.
- DANELIAN T., GALOYAN G., ROLLAND Y. & SOSSON M. (2007). — Palaeontological (Radiolarian) Late Jurassic age constraint for the Stepanavan ophiolite (Lesser Caucasus, Armenia). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, **40** : 31–38.
- DANELIAN T., ASATRYAN G., SOSSON M., PERSON A., SAHAKYAN L. & GALOYAN G. (2008). — Discovery of Middle Jurassic (Bajocian) Radiolaria from the sedimentary cover of the Vedi ophiolite (Lesser Caucasus, Armenia). *C. R. PalEvol.*, **7** (6) : 327–334.
- DANELIAN T., ASATRYAN G., SAHAKYAN L., GALOYAN G., SOSSON M. & AVAGYAN A. (2010). — New and revised radiolarian biochronology for the sedimentary cover of ophiolites in the Lesser Caucasus (Armenia). In: M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat and V. Starostenko (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. *Geol. Soc. of London, Special Volume*, **340** : 383–391.
- DERCOURT J., ZONENSHAIN L.P., RICOU L.E., KAZMIN V.G., LE PICHON X., KNIPPER A.L., GRANDJACQUET C., PERCHERSKY D.H., BOULIN J., SIBUET J.C., SAVOSTIN L.A., SOROKHTIN O., WESTPHAL M., BASHROV M.L., LAUER J.P. & BIJU-DUVAL B. (1986). — Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. *Tectonophysics*, **123** : 241–315.
- GALOYAN G. (2008). — Etudes pétrologiques, géochimiques et géochronologiques des ophiolites du Petit Caucase (Arménie). Thèse Doct., Univ. de Nice Sophia Antipolis, 287 p.
- GALOYAN G., ROLLAND Y., SOSSON M., CORSINI M. & MELKONYAN R. (2007). — Evidence for superposed MORB, oceanic plateau and volcanic arc series in the Lesser Caucasus (Stepanavan, Armenia). *C.R. Geoscience*, **339** : 482–492.

- GALOYAN G., ROLLAND Y., SOSSON M., CORSINI M., BILLO S., VERATI C. & MELKONYAN R. (2009). — Geology, geochemistry and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating of Sevan ophiolites (Lesser Caucasus, Armenia): Evidence for Jurassic Back-arc opening and hot spot event between the South Armenian Block and Eurasia. *J. Asian Earth Sciences*, **34** : 135-153.
- GRADSTEIN F.M., OGG J.G., SMITH A.G., BLEEKER W. & LOURENS L.J. (2004). — A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, **27** : 83-100.
- GRIGORIAN A. (1990). — The Conodonts of the Permian-Triassic boundary in Armenia. PhD thesis Abstract, University of Moscow (in Russian).
- HAKOBYAN V.T. (1978). — The bio-stratigraphy of Late Cretaceous deposits in the Armenian SSR. Publishing House of the AS of the Armenian SSR, Yerevan, 287 p.
- KARAKHANYAN A.S. & BALASANIAN V.S. (1992). — Active dynamics of the 1988 Spitak earthquake zone. *Izvestia AN Armenii, Nauki o Zemle*, **2** : 12–21 (in Russian).
- KARAKHANIAN A., JRBASHYAN R., TRIFONOV V., PHILIP H., ARAKELIAN S. & AVAGYAN A. (2002). — Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **113** : 319-344
- KARAKHANIAN A., JRBASHYAN R., TRIFONOV V., PHILIP H., ARAKELIAN S., AVAGYAN A., BAGHDASSARYAN H., DAVTIAN V., GHOUKASSYAN YU. (2003). — Volcanic Hazards in the Region of the Armenian Nuclear Power Plant. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **126** : 31-62.
- KARAKHANIAN A.S., TRIFONOV V.G., PHILIP H., AVAGYAN A., HESSAMI K., JAMALI F., BAYRAKTUTAN S.M., BAGDASSARIAN H., ARAKELIAN S. & DAVTYAN V. (2004). — Active Faulting and Natural Hazards in Armenia, Eastern Turkey and North-western Iran. *Tectonophysics*, **380** : 189-219.
- KARAPETIAN, S. G., JRBASHYAN, R. T. & MNATSAKANIAN, A. KH. (2001). — Late collision rhyolitic volcanism in the north-eastern part of the Armenian Highland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **112**, 189–220.
- KESKIN M. (2003). — Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia. *Turkey Geophysical Research Letters*, **30** : 8046.
- KNIPPER A.L. (1975). — The oceanic crust in the alpine belt. *Tr. GIN NAS USSR*, Edition 267, 207 p. (in Russian).
- KNIPPER A.L. & KHAIN E.V. (1980). — The structural position of ophiolites of the Caucasus. *Ophioliti, Special Issue*, **2** : 297-314.
- KNIPPER A.L. & SOKOLOV S.D. (1976). — Vedi ophiolites (Armenia) autochton or allochton? *Geotektonika*, **4** : 54-66. (in Russian)
- KNIPPER A.L., RICOU L.E. & DERCOURT J. (1986). — Ophiolites as indicators of the Geodynamic evolution of the Tethyan ocean. *Tectonophysics*, **123** : 213-240.
- KNIPPER A.L., SATIAN M.A. & BRAGIN N.YU. (1997). — Upper Triassic-Lower Jurassic Volcanogenic and Sedimentary Deposits of the Old Zod Pass (Transcaucasia). *Stratigraphy, geological correlation*, **3** : 58-65, (in Russian).
- LORDKIPANIDZE M., MELIKSETIAN B. & JRBASHYAN R. (1988). — Mesozoic-Cenozoic magmatic evolution of the Pontian-Crimean-Caucasian region. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, **154** : 103-124.
- MAGHAKYAN R., ZAKARIADZE G., DMITRIEV L., KOLESOV G. & KOROVINA M. (1985). — Geochemistry of the Jurassic-Lower cretaceous volcanic assemblage of northern Armenia. *Volcanol. Seismol.*, **3** : 39-53. (in Russian).
- MANDALYAN R.A. (1990). — The Late Jurassic and Neocomian sedimentology and litho-genesis in Armenia. Publishing House of the AS of the Armenian SSR, Yerevan, 173 p.
- MELKONYAN R.L. (1976). — Petrology, mineralogy and geochemistry of the complexes of Alaverdi ore region. Publ. Ana of Armc Ssr (Armenian SSR), in. Petrology and geochemistry of the intrusive complexes of some ore regions. (In Russian).
- MELKONYAN R.L. & AKOPYAN M.S. (2006). — Some Aspects of the Interrelations between Magmatism and Ore Formation: Evidence from Oxygen Isotope Data on Ore-Magmatic Systems, Armenia. *Petrology*, **14** : 413-420.
- PALANJIAN S.A. (1971). — The petrology of ultrabasites and gabbroic rocks of the Sevan mountain chain. *Izdatelstvo NAS Arm. SSR*, 201 p. (in Russian).
- PHILIP H., CISTENAS A., GVISHKIANI A. & GORSHKOV A. (1989). — The Caucasus: an actual example of the initial stages of continental collision. *Tectonophysics*, **161**, 1–21.
- PHILIP H., AVAGYAN A., KARAKHANIAN A., RITZ J.-F. & REBAÍ S. (2001). — Estimating slip rates and recurrence intervals for strong earthquakes along an intracontinental fault : example of the Pambak-Sevan-Sunik fault (Armenia). *Tectonophysics*, **343** : 205-232.
- REILINGER R., MCCLUSKY S., VERNANT P., LAWRENCE S., ERGINTAV S., CAKMAK R., OZENER H., KADIROV F., GULIEV I., STEPANYAN R., NADARIYA M., HAHUBIA G., MAHMOUD S., SAKR K., ARRACHEHI A., PARADISSIS D., AL-AYDRUS A., PRILEPIN M., GUSEVA T., EVREN E., DMITROTSA A., FILIKOV S.V., GOMEZ F., AL-GHAZZI R. & KARAM G. (2006). — GPS constraints on continental deformation in the Africa- Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, **111** : B05411, doi: 10.1029/2005JB004051.
- ROLLAND Y., GALOYAN G., BOSCH D., SOSSON M., CORSINI M., FORNARI M. & VERATI C. (2009). — Jurassic back-arc and Cretaceous hot-spot series in the Armenian ophiolites – Implications for the obduction process. *Lithos*, **112** : 163-187.
- ROLLAND Y., GALOYAN G., SOSSON M., MELKONYAN R. & AVAGYAN A. (2010). — The Armenian Ophiolite: insights for Jurassic back-arc formation, Lower Cretaceous hot spot magmatism and Upper Cretaceous obduction over the South Armenian Block. In: M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat and V. Starostenko (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Geol. Soc. of London, Special Volume, **340** : 353-382.
- SATIAN M.A. (1979). — The Late Cretaceous lithogenesis of the ophiolitic zones of Armenian SSR (Lesser Caucasus). *Izdatelstvo NAS Arm. SSR*, 167p. (in Russian)
- SATIAN M.A. (2005). — Mesozoic ophiolite basins of the Transcaucasian geotraverse. *Izvestia NAS of Armenia*, **1** : 3-8. (in Russian).
- SOKOLOV S.D. (1977). — The olistostroms and ophiolitic nappes of the Lesser Caucasus. *Izdatelstvo Nauka*, Moscow. 92 p. (in Russian).
- SOSSON M., ROLLAND Y., MULLER C., DANELIAN T., MELKONYAN R., KEKELIA S., ADAMIA S., BABAZADEH V., KANGARLI T., AVAGYAN A., GALOYAN G. & MOSAR J. (2010). — Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights. In: M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat and V. Starostenko (Eds.), *Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform*. Geol. Soc. of London, Special Volume, **340** : 329-352.

- TRIFONOV V.G., KARAKHANYAN A.S. & KOZHURIN A.J. (1994). — Major active faults of the collision area between the Arabian and the Eurasian plates. Proc. of the Conference on Continental Collision Zone Earthquakes and Seismic Hazard Reduction. IASPEI/ IDNDR, Yerevan, p. 56–79.
- VISHNEVSKAYA V. (1995). — Jurassic and Cretaceous Radiolarians from the Lesser Caucasus (Zod Pass, Mount Karawul and site 22 in the Koshuni River Basin). *In*: Baumgartner, P.O., O'Dogherty, L., Gorican, S., Urquhart, E., Pilleuit, A. & De Wever, P. (Eds), Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: Occurrences, Systematics, Biochronology. *Mém. Géol. Lausanne*, **23** : 701-708.
- VISHNEVSKAYA, V.S. (2001). — Jurassic to Cretaceous Radiolarian Biostratigraphy of Russia. Moscow, *GEOS*, 376 p., 140 pl.
- ZAKARIADZE G.S., KNIPPER A.L., SOBOLEV A.V., TSAMERIAN O.P., DMITRIEV L.V., VISHNEVSKAYA V.S. & KOLESOV G.M. (1983). — The ophiolite volcanic series of the Lesser Caucasus. *Ophioliti*, **8 (3)** : 439-466.
- ZAKARIADZE G.S., KNIPPER A.L., BIBIKOVA E.V., SILANTIEV S.A., ZLOBIN S.K., GRACHEVA T.V., MAKAROV S.A. & KOLESOV G.M. (1990). — The setting and age of the plutonic part of the NE Sevan ophiolite complex. *Academy of Sciences of the USSR Geological series*, **3** : 17-30 (in Russian).

STATUTS DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

I. — BUT ET COMPOSITION DE L'ASSOCIATION

Article Premier. — L'Association dite Société Géologique du Nord, fondée le 17 février 1870 par Jules Gosselet et autorisée par arrêtés des 3 juillet 1871 et 28 juin 1873, est régie par la loi du 1er Juillet 1901 et par les présents statuts.

Son siège est à Villeneuve d'Ascq, dans les locaux de l'UFR des Sciences de la Terre de l'Université Lille 1 – Sciences et Technologies. Il peut être transféré en tout autre endroit de la Région Nord – Pas-de-Calais sur proposition du Conseil d'Administration.

La durée de la Société est illimitée.

Article 2. — 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.

Article 3. — Les moyens d'action de la Société sont l'organisation de réunions scientifiques, de débats et conférences, la réalisation de publications, éventuellement l'attribution de prix et d'encouragements, et la création de fondations.

La Société a formé une bibliothèque mise à la disposition de ses adhérents et des personnes étrangères selon les modalités de son Règlement Intérieur. Cette bibliothèque est devenue la propriété de l'Université Lille 1, en reconnaissance des services rendus par l'Université Lille 1 à la Société Géologique du Nord. Elle est accessible aux membres de la Société, aux étudiants de l'Université et aux personnes extérieures suivant le règlement de la Bibliothèque Universitaire (Service Commun de Documentation).

Article 4. — La Société se compose de membres ordinaires et de membres extraordinaires, qui peuvent être de toutes nationalités et dont le nombre est illimité.

Pour être membre de la Société, il faut être présenté par deux parrains, eux-mêmes déjà membres de la Société, et être proclamé adhérent lors d'une séance de la Société. Les personnes morales ne peuvent être admises qu'à titre de membre extraordinaire.

La Société peut honorer des scientifiques étrangers du titre de Membre Associé, qui jouissent des droits des membres ordinaires de la Société sans être tenus de payer une cotisation. Ils reçoivent gratuitement les *Annales* de la Société. Le titre de Membre Associé est décerné par le Conseil d'Administration après audition d'un rapporteur désigné par lui. La nomination est proclamée par le Président lors d'une séance de la Société et annoncée dans les *Annales*.

La cotisation est fixée annuellement par l'Assemblée Générale sur proposition du Conseil d'Administration. Pour les membres extraordinaires, le montant de la cotisation est trois fois celui d'un membre ordinaire.

Article 5. — La qualité de membre de la Société se perd :

1° par démission adressée par lettre au Président,

2° par radiation prononcée par le Conseil d'Administration, pour non paiement de la cotisation ou pour motif grave, sauf recours à l'Assemblée Générale, le membre intéressé ayant été au préalable appelé à fournir des explications,

3° par décès.

II. — ADMINISTRATION ET FONCTIONNEMENT

Article 6. — L'administration de la Société est confiée à un Conseil d'Administration composé des membres du Bureau et de six Conseillers, tous élus parmi les membres ordinaires convoqués en Assemblée Générale.

Le Bureau est composé : d'un Président, de trois Vice-Présidents dont un Premier Vice-Président, d'un Directeur de la Publication, d'un Secrétaire, d'un Secrétaire-Adjoint, d'un Trésorier et d'un Bibliothécaire. Il peut également être complété d'un Président d'Honneur.

Le candidat à la présidence est choisi parmi les trois Vice-Présidents de la période précédente.

Les membres du Bureau, à l'exception du Président d'Honneur, et les Conseillers sont élus pour deux ans. Un Président d'Honneur est élu à vie.

Le Président ne peut pas faire plus de deux mandats de deux ans successifs. Les autres membres du Bureau et les Conseillers peuvent faire autant de mandats successifs de deux ans qu'ils le désirent selon les résultats des élections statutaires.

En cas de décès ou de démission d'un membre du Conseil d'Administration, celui-ci n'est remplacé que pour la durée du temps restant à courir pour son mandat. En cours d'année, le remplacement par élections complémentaires n'a lieu que si le Conseil d'Administration le juge opportun.

Le Président d'une Société associée ou d'une Institution avec laquelle la Société Géologique du Nord a passé une convention peut faire partie du Conseil d'Administration ; s'il n'en fait pas partie, il assiste de droit ou peut se faire représenter, avec voix consultative, aux réunions du Conseil d'Administration.

Tous les membres du Conseil d'Administration sont élus à bulletins secrets lors de l'Assemblée Générale. Le vote par correspondance est admis ainsi que le vote par voie électronique. Les électeurs retourneront ou rapporteront au siège de la Société, les bulletins de vote, au plus tard pour la date de l'Assemblée Générale prévue pour les élections et selon les modalités précisées dans le Règlement Intérieur. Les bulletins leur auront été adressés au moins quinze jours à l'avance. Les votes ont lieu à la majorité relative. En cas d'égalité des voix, le candidat le plus âgé est réputé élu.

Les fonctions de membre du Conseil d'Administration et de membre du Bureau sont bénévoles.

Article 7. — Le Conseil d'Administration se réunit sur convocation de son Président ou du quart de ses membres ou du quart des adhérents de la Société, aussi souvent que l'exige l'intérêt de la Société.

La présence du tiers au moins des membres du Conseil est nécessaire pour la validité des délibérations. Les délibérations sont prises à la majorité des membres présents ou représentés. Chaque membre ne peut détenir plus d'un pouvoir. En cas d'égalité des voix, celle du Président est prépondérante.

Les délibérations du Conseil d'Administration sont constatées par des procès-verbaux signés par le Président et le Secrétaire ou, à défaut, par deux administrateurs. L'ensemble des procès-verbaux est conservé au siège de la Société.

Article 8. — Le Conseil d'Administration suscite les candidatures et prépare les élections de renouvellement de ses membres, prépare les modifications des Statuts et du Règlement Intérieur qui apparaissent nécessaires, décide des dates des Assemblées Générales, ordinaires et extraordinaires, et des résolutions à y faire adopter, décide des dates et ordres du jour des séances ordinaires, extraordinaires ou spécialisées de la Société et, d'une façon générale prend toute décision qui lui incombe dans le cadre des Statuts et du Règlement Intérieur.

Le Conseil d'Administration nomme chaque année, à sa première séance, les membres à renouveler du Conseil Scientifique et Editorial qui le secondera.

Le Conseil Scientifique et Editorial est chargé (1) d'assister la Société dans sa politique scientifique, et (2) de secondar le Directeur de la Publication dans toute décision de publication de projets d'articles (« manuscrits »). Il 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 de six Conseillers extérieurs choisis parmi les scientifiques français ou étrangers en Sciences de la Terre. Il se réunit sans périodicité, à la demande du Président et rend compte de ses délibérations au Conseil d'Administration le plus proche par l'intermédiaire de son Président ou de toute personne membre du Conseil Scientifique et Editorial déléguée par lui. Ses Conseillers sont renouvelés soit à leur demande expresse soit sur proposition du Conseil Scientifique et Editorial lui-même.

Article 9. — L'Assemblée Générale comprend tous les membres de la Société, avec voix délibérative. Chacune des personnes morales (membres extraordinaires) ne peut être représentée que par un seul délégué.

Elle se réunit chaque année et chaque fois qu'elle est convoquée par décision du Conseil d'Administration ou à la demande du quart au moins des membres de la Société.

Son ordre du jour est arrêté par le Conseil d'Administration. Il tient compte de toutes les propositions parvenues au siège de la Société au moins deux semaines avant la date de la réunion. Le Bureau de l'Assemblée Générale est celui du Conseil d'Administration.

L'Assemblée Générale entend les rapports moral et financier, approuve les comptes de l'exercice clos, vote le budget de l'exercice suivant, délibère sur les questions mises à l'ordre du jour et pourvoit, s'il y a lieu, au renouvellement des membres du Conseil d'Administration.

Les sociétaires empêchés de participer aux Assemblées Générales peuvent donner pouvoir écrit à un autre membre de la Société. Aucun participant ne peut détenir plus de trois pouvoirs. Le vote par correspondance est autorisé ainsi que le vote par voie électronique. Les délibérations sont prises à la majorité des suffrages exprimés.

Il est tenu procès-verbal, signé par le Président et le Secrétaire, des séances de l'Assemblée Générale.

Article 10. — La Société est représentée en Justice et dans tous les actes de la vie civile par le Président ou tout autre membre du Conseil d'Administration, spécialement mandaté, avec procuration particulière, par ledit Conseil. Le Président ordonnance les dépenses.

Le représentant de la Société doit jouir du plein exercice de ses droits civiques.

III. — PUBLICATIONS

Article 11. — La Société Géologique du Nord ne publie que des articles et informations concernant les Sciences de la Terre et celles qui s'y rattachent.

Les publications de la Société sont vendues, soit au numéro, soit par abonnement.

Toute personne physique ou morale, française ou étrangère, peut être abonnée aux publications périodiques de la Société indépendamment de la qualité d'adhérent.

Le prix des abonnements est fixé annuellement par le Conseil d'Administration. Le prix de vente au numéro (fascicules ordinaires et numéros spéciaux des *Annales*) et ceux des *Publications* sont fixés au cas par cas par le même Conseil.

IV. — RESSOURCES

Article 12. — Les recettes annuelles de la Société Géologique du Nord se composent :

- 1° des cotisations de ses membres ;
- 2° des souscriptions, des abonnements aux périodiques et des ventes au numéro ;
- 3° des subventions de l'Etat, des Régions, des Départements, des Communes et des Etablissements Publics et Privés ;
- 4° des intérêts et revenus des biens et valeurs qu'elle possède ;
- 5° du produit des libéralités dont l'emploi a été autorisé immédiatement ou au cours de l'exercice ;
- 6° des ressources créées à titre exceptionnel, et s'il y a lieu, avec l'agrément des autorités compétentes ;
- 7° du produit des ventes et des rétributions perçues pour service rendu.

Article 13. — Le fonds de réserve comprend les économies réalisées sur les ressources annuelles et qui auraient été portées au fonds de réserve en vertu d'une délibération de l'Assemblée Générale. Il peut être employé aux placements en valeurs mobilières décidés par le Conseil d'Administration.

Article 14. — Le patrimoine de la Société répond seul des engagements contractés par elle, sans qu'aucun des membres de la Société, même ceux qui participent à son administration, puisse en être tenu personnellement responsable.

V. — ASSOCIATION - MODIFICATION DES STATUTS - FUSION - DISSOLUTION

Article 15. — Des protocoles d'accord ou des conventions pourront être conclus avec les Groupements, Sociétés ou Associations ayant un objet similaire ou complémentaire de celui de la Société Géologique du Nord. Sous réserve que les deux parties conservent leur propres structures et que leurs statuts respectifs le permettent et ne s'en trouvent pas modifiés, le protocole d'association peut être conclu par le Président, après avis du Conseil d'Administration.

Article 16. — L'Assemblée Générale, réunie en Assemblée Générale Extraordinaire, peut apporter toutes modifications utiles aux Statuts et au Règlement Intérieur. Elle peut décider la dissolution de la Société ou sa fusion ou son union avec d'autres sociétés poursuivant un but analogue. Dans ces divers cas, les propositions correspondantes doivent être adressées à tous les membres de la Société au moins quinze jours avant la date de l'Assemblée.

Les sociétaires empêchés de participer peuvent donner pouvoir écrit à un autre membre de la Société. Aucun participant ne peut détenir plus de trois pouvoirs. Le vote par correspondance est autorisé ainsi que le vote par voie électronique.

L'Assemblée doit se composer du quart au moins des adhérents, qu'ils soient présents, représentés ou exprimés par correspondance. Si ce quorum n'est pas atteint, une Assemblée Générale Ordinaire peut se réunir à la suite de l'Assemblée Générale Extraordinaire après avoir respecté une interruption de séance : elle peut alors valablement délibérer quel que soit le nombre des membres présents, représentés ou exprimés par correspondance, mais seulement à la majorité des deux tiers des suffrages exprimés.

Article 17. — En cas de dissolution, l'Assemblée Générale Extraordinaire désigne un ou plusieurs commissaires chargés de la liquidation des biens de la Société. Elle détermine l'emploi qui sera fait de l'actif net, après paiement des charges de la Société et des frais de sa liquidation.

Le Conseil d'Administration remplira les formalités de déclaration et de publication prescrites par la loi du 1er juillet 1901 et par le décret du 16 août suivant. A cet effet tous pouvoirs seront conférés à son Président.

(Statuts adoptés en Assemblée générale le 4 mai 2011)

Alain BLIECK
Président

Bruno MISTIAEN
1^{er} Vice-président

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

- 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, Cappelle-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, Lille (59)
BERREHOUC Géraldine, Ville de Lille, Lille (59)
BEUN Noël, Université de Picardie Jules Verne, Amiens (80)
BLIECK Alain, CNRS, Université Lille 1, Villeneuve d'Ascq (59)
BRETON Gérard, conservateur, 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, IRSNB, Bruxelles (Belgique)
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)
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)
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)
LEPLAT José, Linselles (59)
LOONES Christian, Loos (59)
MAGNIEZ Jean-Michel, Saint Léonard (62)
MAGNIEZ Thierry, Vermelles (62)
MAILLET Sébastien, Orchies (59)
MATRION Antoine, Université Lille Nord de France, Villeneuve d'Ascq (59)
MATRION Bertrand, A. G. A., Pont Sainte Marie (10)
MEILLIEZ Francis, 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)
OUODOIRE 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)
QUESNEL Bernard, Calais (62)
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, IRSNB, Bruxelles (Belgique)
SCHIETTECATTE Jean, Mouvaux (59)
SCHRAEN Patrick, Villeneuve d'Ascq (59)
SOMME Jean, 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, Université Gent (Belgique)
VIDIER Diane, Coulogne (62)
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, délégué aux publications :

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 : pages.

NOM Initiale du prénom, 2^{ème} NOM Initiale du prénom, etc. (Année). — *Titre du livre ou du volume*. 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*. 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 : 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*

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 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 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, délégué aux publications :

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 : pages.

NAME First name initial(s), 2nd NAME First name initial(s), etc. (Year). — *Book or issue title*. 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*. 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 : 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*

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 is 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 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. LAVERDIERE, <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 Héliénides 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 Héliénides 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.

IRIS Les prix ont augmentés les 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 18 (2^{me} série)

parution 2011

	pages
Avant-propos 2011 :	1
Jean-Pierre LAVEINE avec la collaboration technique de Jessie CUVELIER. — Jacques CHALARD (1921 – 2010).	3
Sébastien MAILLET, Bruno MILHAU & Emilie PINTE. — Detailed lithology and faunal occurrence of the Fromelennes formation in the type area (middle/upper Givetian, southern part of the Dinant synclinorium, Ardenne).	11
Guillaume LEMOINE. — Sur l'âge et l'origine de la dune décalcifiée de Ghyvelde-Adinkerke, (Nord, France).	37
Samiha NFISSI, Youssef ZERHOUNI, Mostafa BENZAAZOUA, Saida ALIKOUSS, Abdessadek CHTAINI, Rachid HAKKOU & Mohamed SAMIR. — Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet centrales, Maroc)..	43
Thierry OUDOIRE, Mickaël SWIALKOWSKI, Denis DEMARQUE & Stéphane DELBECQUE. — Les Collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. VI. – La Collection de Minéralogie.....	55
Taniel DANELIAN, Marc SOSSON, Ara AVAGYAN, Ghazar GALOYAN, Gayané ASATRYAN, Yann ROLLAND, Lilit SAHAKYAN, Carla MÜLLER, Araig GRIGORYAN, Alain PERSON, Michel CORSINI, Ruben JRBASHYAN & Raphael MELKONYAN. — A brief geological outline of the Lesser Caucasus: new insights on its tethyan-alpine evolution based on recent results of a French-Armenian collaboration	65
Statuts de la Société Géologique du Nord.	77
Liste des membres de la Société Géologique du Nord.	80
Instructions aux auteurs.	81

© 2011 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 en France)