

# *Société Géologique du Nord*

Séance spécialisée « Energies citoyennes au service de la transition énergétique »

Didier TORZ, Alain BLIECK & Francis MEILLIEZ eds

*ANNALES*

Tome 25 (2<sup>e</sup> série)  
*parution 2018*



SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

# 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 1er 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).

## Editions de la S. G. N.

La SGN édite des *Annales* (voir ci-dessus), parfois sous forme de fascicule thématique, des Mémoires et des Publications. Le catalogue complet de ces éditions est disponible en ligne à l'adresse suivante : <http://sgn.univ-lille1.fr/index.php?page=Publications>, il est également imprimé en pages intérieures du présent tome.

## Politique et éthique éditoriales

Un code de politique et éthique éditoriales a été adopté par le Conseil d'administration de la SGN le 4 février 2015. Il est disponible en ligne à l'adresse suivante : <http://sgn.univ-lille1.fr/index.php?page=Publications>, il a également été imprimé dans le tome 22 (2<sup>e</sup> série) des *Annales*.

Extraits : Les *Annales* sont fondées sur le principe d'évaluation par les pairs (« peer reviewed »). Soumettre un article pour publication aux *Annales* implique que celui-ci n'ait pas été simultanément soumis à une autre revue. Les données présentées doivent être des résultats originaux n'ayant pas encore fait l'objet d'une publication dans une autre revue, un autre livre, voire un site du World Wide Web. L'acceptation ou le rejet d'articles soumis pour publication aux *Annales* est du ressort du Conseil scientifique et éditorial (CSE) de la revue. Les Instructions aux auteurs sont publiées dans chaque tome annuel des *Annales* et mises à jour régulièrement. Elles sont également publiées en ligne sur le site Web de la Société. Les *Annales* veillent à ce que soient respectées, dans ses colonnes, les règles généralement admises en matière d'éthique éditoriale scientifique. Ces dispositions sont applicables à toutes les autres éditions de la SGN : Mémoires, Publications, livres édités ou coédités, et tout autre support de publication.

## Cotisations et Abonnements (nouveaux tarifs 2018)

	QUALITÉ	COTISATION	ABONNEMENT aux <i>Annales</i>	TOTAL
France et Union Européenne	Personnes physiques : collégiens, lycéens, étudiants	1 <sup>ère</sup> année : gratuite 2 <sup>e</sup> année : 5 € TTC	1 <sup>ère</sup> année : gratuit 2 <sup>e</sup> année : 10 € TTC	1 <sup>ère</sup> année : 0 € 2 <sup>e</sup> année : 15 € TTC
France et Union Européenne	Personnes physiques	12 € TTC	30 € TTC	42 € TTC
Autres Pays	Personnes physiques	12 € TTC	35 € TTC	47 € TTC
Tous Pays	Personnes morales	55 € TTC	55 € TTC	110 € TTC

*Les prix sont TTC. L'abonnement n'est pas obligatoire mais fortement conseillé.*

*Réduction collégiens, lycéens et étudiants sur présentation d'un justificatif (certificat de scolarité, carte d'étudiant).*

Mémoire n° XVII — La Société géologique du Nord  
et l'histoire des sciences de la Terre dans le nord de la France

*The Société Géologique du Nord and History of Earth Sciences in Northern France*

Avec ce tome XVII, la SGN a repris la publication des Mémoires sur un sujet nouveau : l'histoire de la Société et celle de sa discipline dans le contexte du Nord – Pas-de-Calais et des régions franco-belges environnantes. Ce Mémoire XVII (paru en décembre 2014) retrace 143 années de la SGN en relation avec les entreprises industrielles, les associations et les institutions régionales.

Prix / Price : 40 € TTC + 4 € de frais de port et emballage si le volume n'est pas pris au dépôt

Voir publicité en pages intérieures du présent tome



# *Société Géologique du Nord*

Séance spécialisée « Energies citoyennes au service de la transition énergétique »  
Didier TORZ, Alain BLIECK & Francis MEILLIEZ eds

***ANNALES***

**Tome 25 (2<sup>e</sup> série)**  
*parution 2018*

Ce tome 25 des *Annales de la SGN* bénéficie d'aides financières de la société Solétanche-Bachy

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

\* 2018 - 2020 \*

Présidente d'honneur .....	M <sup>lle</sup> Denise BRICE
Président d'honneur .....	M. Francis ROBASZYNSKI
Président et directeur de la Publication.....	M. Hervé COULON
Premier Vice-Président .....	M. Jamal EL KHATTABI
Seconds Vice-Présidents .....	M. Bernard MAITTE M. Francis MEILLIEZ
Secrétaire .....	M. Fabien GRAVELEAU
Secrétaire-adjoint .....	M. Thierry OUDOIRE
Trésorière .....	M <sup>me</sup> Renée DUCHEMIN
Bibliothécaire-Archiviste.....	M. Olivier AVERBUCH
Rédacteur en Chef.....	M. Alain BLIECK
Conseillers .....	M. Patrick AUGUSTE M <sup>me</sup> Jessie CUVELIER M. François DUCHAUSSOIS M. Christian DUPUIS M. Benoît PONCELET
Site Web Administrateur .....	M. Alain BLIECK
Webmestre .....	M. Claude MONNET

## CONSEIL SCIENTIFIQUE et ÉDITORIAL

\* 2018 - 2020 \*

Le Conseil Scientifique et Editorial est composé des membres du Bureau en exercice de la Société (Président, Vice-présidents, Secrétaire, Secrétaire-adjoint, Trésorière, Bibliothécaire-Archiviste, Rédacteur en Chef et leurs adjoints) et des six Conseillers extérieurs suivants :

Pierre BARBEY (Université de Lorraine et Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, Nancy)

Jean-François DECONINCK (Université de Bourgogne, Dijon)

Patrick DE WEVER (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris ; UNESCO Geo-Heritage Task Group)

Christian DUPUIS (Université de Mons, Belgique)

†Jean SOMME (Université de Lille – Sciences et Technologies, Villeneuve d'Ascq)

Johan YANS (Facultés Universitaires N.-D. de la Paix, Namur, Belgique)

<http://sgn.univ-lille.fr>

## LISTE DES RAPPORTEURS DES ARTICLES DU TOME 25

Jean-François DECONINCK (Université de Bourgogne, Dijon)

Pierre DRON (CEN Picardie et SGN)

Hassan EL HADI (Université Hassan II, Casablanca, Maroc)

Daniel GOUJET (MNHN, Paris)

Arnaud MARTIN (Médecin et géologue amateur)

Bruno MISTIAEN (Institut Catholique de Lille et SGN)

Jean-Claude PORCHIER (AGBP, Paris)

Najid SABER (Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc)

# ANNALES

## DE LA 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 de Lille – Sciences et technologies, Bâtiment SN5 (Sciences de la Terre), 59655 Villeneuve d'Ascq cedex  
Tél. 03 20 33 70 47 (secrétaire)  
Site Web : <http://sgn.univ-lille.fr>  
E-mail du président : [herv.coulon@gmail.com](mailto:herv.coulon@gmail.com)  
E-mail du secrétaire : [fabien.graveleau@univ-lille.fr](mailto:fabien.graveleau@univ-lille.fr)  
E-mail du rédacteur en chef : [didiertorz@gmail.com](mailto:didiertorz@gmail.com)

### AVANT-PROPOS : vie de la Société en 2018

Par Francis MEILLIEZ, Fabien GRAVELEAU, Renée DUCHEMIN, Alain BLIECK, Jean-Jacques BELIN, Hervé COULON, Bernard MAITTE et Didier TORZ.

#### ADMINISTRATION (F.G., F.M.)

**Le Conseil d'Administration (C.A.)** s'est réuni cinq fois, les 10 janvier, 24 février, 4 juillet, 12 septembre et 21 novembre, soit au Bâtiment SN5 de l'Université de Lille (Campus cité Scientifique) soit dans les locaux de la MRES, rue Gosselet à Lille. Le bureau a continué de se réunir régulièrement, environ 2 à 3 fois par mois, durant la période universitaire.

**L'Assemblée Générale (A.G.)** annuelle s'est tenue le 7 février à la MRES et a réuni 24 personnes (25 adhérents s'étaient faits excusés). Le **rapport moral** du Président (F.M.) a rappelé les fondamentaux de la S.G.N. à savoir notamment son implication dans la médiation scientifique ou son rôle d'éditeur scientifique. En voici ci-dessous le contenu détaillé :

*« L'année 2017 a vu la Société Géologique du Nord continuer à accroître son effectif légèrement. Il semble que nous approchions d'un niveau d'équilibre, car l'association recrute sur une communauté scientifique étroite. En octobre 2018, la Réunion des Sciences de la Terre à Lille sera l'occasion de se situer dans la constellation des associations régionales qui, en France, traitent de géologie. La SGN est co-organisatrice de l'événement : elle propose des excursions, elle gère une session consacrée à la géologie régionale, en s'appuyant sur le succès antérieur de GéoReg1 (2011). La RST est donc aussi une excellente occasion pour que ces sociétés rendent bien visible leur action à la fois d'interlocuteur régional et de médiateur scientifique entre chercheurs, praticiens et usagers. Nombre d'organismes prennent conscience de la nécessité de travailler à l'amélioration de la culture scientifique de nos concitoyens. Devant la montée, sous diverses formes, des croyances et obscurantismes, le citoyen doit accéder, à son niveau d'exigence, au développement de la connaissance. C'est l'une des raisons pour lesquelles la mission de médiation scientifique a été explicitement inscrite dans la loi sur l'enseignement supérieur (août 2007). La SGN vient en appui de l'Université dans cette mission.*

*L'enjeu va bien au-delà de l'action locale : toutes les associations analogues ont un rôle à jouer, différencié selon leurs ambitions et leurs moyens. La SGN fait partie des « sociétés savantes » telles que définies par Guizot, en 1834 (voir article de S. Mazauric, 2017, sur le blog SGN). Sa caractéristique première est de publier une revue scientifique à comité de lecture, en échange avec des organismes de recherche et d'autres associations. Durant la seconde moitié du XXe siècle, la SGN et ses semblables ont naturellement participé à la production scientifique, dans un effort partagé entre chercheurs professionnels et amateurs, en associant les entreprises qui y trouvaient intérêt. Mais les règles du jeu qui prévalaient alors ont complètement changé, contraignant la SGN et ses semblables à s'adapter ou à périr, voire même à disparaître. L'avant-propos du Tome 24 des Annales, qui vient de paraître, en rappelle les raisons. Ce n'est plus dans les Annales de la SGN qu'on publie les résultats d'une recherche pour lancer une carrière de chercheur confirmé. Mais c'est dans les Annales de la SGN qu'on peut publier les détails d'une description scientifique soignée : celle qui permet à un chercheur de transmettre une observation à la communauté scientifique d'aujourd'hui et de demain, celle qui permet à l'ingénieur ou à l'aménageur de comprendre le contexte dans lequel il souhaite implanter un projet, ou bien les difficultés inattendues qu'il rencontre dans cette implantation. Et surtout, de temps à autre, il faut que les chercheurs, amateurs ou professionnels, reprennent les observations disponibles pour les mettre en perspective des avancées thématiques des sciences de la Terre, et/ou pour les confronter aux réflexions des disciplines voisines. C'est notamment très nécessaire en Histoire des Sciences : « Les progrès de la science la plus moderne ne peuvent être expliqués sans qu'on les replace dans un contexte plus général, autrement dit sans mise en perspective historique. » (Allègre C., 1995, La défaite de Platon, Fayard). Etonnant, n'est-il pas ?*

*Avec les historiens et les archéologues, les géologues parlent du temps et de ses effets. Mais les effets perçus par les géologues sont peu perceptibles au commun des mortels : la SGN est un endroit où l'apprentissage du regard est possible, pour tous. Usagers du quotidien, praticiens des sciences de la Terre sans-le-savoir, nous devons aller vers eux, leur permettre de voir, de rechercher, de comprendre. Et pour nous c'est l'occasion de découvrir ce qui devrait être disponible, d'expliquer le sens de telle ou telle observation, de guider la nouvelle sensibilité collective à l'environnement en éveillant à la complexité naturelle. Nous le faisons déjà avec*

*des journées techniques (Eau potable en 2014, Bassin minier en 2017, Transition énergétique en 2017 aussi, ...). Nous cherchons à le faire en appui de l'Education Nationale pour les scolaires. Cette année 2018, il faut engager un effort vers le monde des entreprises et assimilés. A titre d'exemple, en décembre, par l'intermédiaire du CAUE-59, la SGN est intervenue en expertise devant la Commission Départementale des Risques Naturels. Le préfet en charge de cette commission a demandé à ce que nous puissions refaire le même exposé devant le préfet de région et autres responsables régionaux. Au-delà du simple exposé, il faut enclencher une vraie coopération. Le partenariat avec le Conservatoire des Espaces Naturels est un autre bon exemple de coopération aux marges de la géologie. Les actions se développent, peu à peu.*

*Grâce au travail des membres du CA, les coûts d'édition des Annales sont maintenant maîtrisés. Un ultime progrès sera encore possible lors du passage, inéluctable, à une édition en ligne. L'économie réalisée dégage des marges de manœuvre pour d'autres investissements. C'est probablement la bonne occasion pour remettre à neuf l'outil internet et la communication numérique sous ses diverses formes. Ce sera l'autre grand chantier de 2018. Une nécessité avant d'entamer les événements du sesquicentenaire (mot trouvé par notre président d'honneur, Francis de Saintes). Sa préparation va entrer dans une phase décisive, et constituera un sujet de débat lors de l'AG 2018. »*

Au jour de l'A.G., la S.G.N comptait **146 adhérents** (7 personnes morales ; 139 personnes physiques. Onze candidatures ont été reçues au cours de l'année 2017 depuis la tenue de l'A.G. de 2017, mais trois adhérents nous ont quittés (1 décès ; 2 démissionnaires). De ce fait, le bilan des adhérents par rapport à 2016 est de + 8 adhérents.

L'A.G. fut également l'occasion de renouveler le C.A, dont la nouvelle composition est rappelée en page 2.

Une **Assemblée Générale Extraordinaire** (A.G.E.) s'est également tenue le 20 juin 2018 à la MRES. Elle a réuni 11 personnes et 23 absents excusés représentés par une procuration (donc 34 personnes au total). L'objectif de cette A.G.E. était l'actualisation des Statuts de la Société. Avec un effectif de 111 personnes physiques et morales à jour de la cotisation 2018 au jour de l'AGE, le quorum (25% de 111 = 28) a donc été atteint. Par conséquent, cette AGE a permis de voter, article par article, l'ensemble des nouveaux statuts de la S.G.N. présentés en pages 10 à 12.

Au cours de l'année, le nouveau Conseil d'Administration s'est également intéressé à la révision du **Règlement Intérieur** (R.I.). Le document est en cours d'écriture et devra être mis en œuvre pour la prochaine AG statutaire (30 janvier 2019).

Enfin, la SGN s'est mise en accord avec la législation française en envoyant à l'ensemble des adhérents un texte relatif au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD).

## FINANCES (R.D.)

Les avoirs de la société sur ses trois comptes bancaires (compte courant du Crédit Agricole, compte courant de la Banque Postale, livret A du Crédit Agricole) totalisaient 35064 € au 31 décembre 2017. Par décision du Conseil d'Administration du 4 juillet 2018, le compte courant de la banque Postale a été clôturé. Celui-ci n'était plus utilisé et générait des frais trimestriels de tenue de compte de 40 € par an.

Le compte de résultats 2017 était excédentaire de 4446 € (grâce à la subvention de 5000 € pour le livre « géologie et grande Guerre » et à la participation de Lilliad (3000 €) à l'édition des Annales).

Le budget prévisionnel 2018 s'élevait à 13685 €. Comme chaque année, le poste principal des dépenses concernait les frais d'impression et de publication des Annales (3200 €), leur coût d'envoi (400 €) et une réimpression de fascicules manquants (850 €). Le CA avait également décidé d'affecter 2000 € au chantier préparatif à la refonte du site de la SGN. La majeure partie a été utilisée pour indemniser deux étudiants stagiaires chargés de concevoir une valorisation des activités de la SGN dans le cadre de la plate-forme S-Pass du CAUE, adhérent SGN. Inaugurée à l'occasion de la RST, cette présentation complètera la refonte du site internet de la SGN qui sera réalisé en 2019 en partenariat avec l'Université de Lille. Enfin, la subvention de 5000 € du sénateur Alex Turck a été utilisée comme prévu, à la réalisation du livre « géologie et Grande Guerre », dont une présentation publique se fera à Lilliad le 28 novembre 2018.

## FORMATION – MEDIATION (R.D.)

Le groupe de travail mis en place depuis 2016 a changé de nom et se nomme désormais le « Groupe Médiation Scientifique », prenant acte ainsi de sa vocation initiale. Il a d'abord travaillé en relation étroite et quasi exclusive avec les services académiques, de façon à bien cerner la méthode de valorisation recherchée. Il étend maintenant son action auprès du réseau des CCSTI (centres de culture scientifique technique et industrielle). L'objectif est d'apporter aux personnels enseignants de tous niveaux scolaires, et aux animateurs des activités périscolaires ou d'associations, des outils, des démarches, des exemples de terrain de proximité, illustratifs et accessibles. Le groupe s'est réuni 6 fois cette année (31 janvier, 21 février, 14 mai, 16 mai, 12 septembre et fin d'année). De nouveaux dossiers ont été ajoutés sur le site dans la rubrique « pédagogie ». L'un concerne l'évolution du trait de côte sur deux sites étudiés : la côte d'opale avec le recul de la côte à Wissant et la côte picarde avec l'exemple de Ault (l'histoire du hâble d'Ault, la falaise aultoise et le bois de Cise). Le groupe travaille actuellement sur le bassin minier : l'après mine, les affaissements et le problème de l'eau. Dans ce cadre, une journée sur le terrain, menée par Francis Meilliez, a été réalisée le 14 mai sur le site de la mare à Goriaux. Elle s'est prolongée par une sortie sur le terribil de Billy Montigny, encadrée par une animatrice de la chaîne des terribils en compagnie d'élèves du collège et de leur professeur. Un dossier concernant la mare à Goriaux est achevé. Le groupe travaille actuellement sur des sites caractéristiques du paysage minier tel le terribil de Loos en Gohelle (visite sur le terrain le 7 novembre).

### VIE SCIENTIFIQUE (F.G., F.M.)

L'A.G. statutaire du matin du 7 février 2018 a été suivie dans l'après-midi d'une **séance publique de communications orales**. Ont été présentées les communications suivantes devant un auditoire de 24 personnes :

- « **Le port de Boulogne, une histoire enfouie dans ses sédiments; lorsque l'histoire rencontre les Sciences de la Terre** », par E. ARMYNOT DU CHATELET (McF U-Lille, UMR 8187 LOG),
- « **De la matière organique aux hydrocarbures fossiles** », par N. TRIBOVILLARD (Pr U-Lille, UMR 8187 LOG),
- « **Situation et perspectives des marchés pétroliers et gaziers et hydrocarbures non conventionnels** », par J. SCHIETTECATTE (SGN),
- « **Le biogaz, une énergie renouvelable en pleine évolution** », par J. ROUGE (SGN),
- « **Un outil au service des professeurs : par le Groupe de Travail Education de la SGN** », par R. DUCHEMIN (SGN)

La **Réunion des Sciences de la Terre (RST)** s'est tenue à Lille – Grand Palais du 22 au 26 octobre. La SGN, co-organisatrice, y tenait un stand, animait les visites pendant le congrès (Peintures murales de l'ancien Institut de Géologie et Musée d'Histoire Naturelle : 3 fois pour 45 visiteurs ; Balade géologique en ville : 3 fois pour 35 visiteurs). Elle a aussi animé deux excursions géologiques pré-congrès (Ru des Voyettes : 3 personnes ; Bassin houiller et patrimoine : 8 personnes). Durant le congrès, la session Géologie régionale n'a pas connu un grand succès, ne suscitant que 4 communications ; ce qui nécessite de s'interroger sur le sens donné à l'expression « géologie régionale ». En revanche la session réalisée et animée par Fabien Graveleau, consacrée au Forum des Métiers, a eu un succès qualitatif certain. Toutefois on peut s'étonner du faible nombre d'entreprises s'y investies. Là encore, il y a matière à réflexion. La SGN a aussi été partie prenante du Forum des Enseignants. Enfin, le stand a permis de déployer un kakemono réalisé pour l'occasion, réutilisable à la demande. Et surtout, le stand a permis de déployer une réalisation commune de la SGN et du CAUE-59, adhérent SGN : une table lumineuse permettant d'afficher sur fond de cartes (géologique, topographique, hydrographique, ...) un certain nombre d'observations locales. Le visiteur choisit un des sites proposés et peut alors ouvrir cartes, photos et documents divers, indexés dans une base de données. Celle-ci permet de croiser toutes informations utiles à la réflexion préalable que nécessite un projet d'aménagement du territoire. Pour réaliser ce prototype, le CAUE a hébergé et encadré deux stagiaires durant les deux mois d'été, rémunérés par la SGN. Ce soutien a été notamment rendu possible grâce à une subvention d'origine parlementaire. Le projet est d'en faire maintenant constituer un outil partagé, à l'améliorer et à le développer.

### PATRIMOINE GEOLOGIQUE (F.M.)

La SGN a participé à 3 réunions de la CRPG (Commission Régionale du Patrimoine Géologique) : à Lille (6 février et 21 juin), à Amiens (en mars et 6 novembre).

### CONFERENCES (F.G., J-J. B.)

Quatre conférences ont été données cette année :

- le mercredi 18 avril, à LILLIAD, conférence de Bruno VRIELYNCK (collaborateur retraité de Sorbonne Université, membre du Bureau de la Commission de la Carte Géologique du Monde – CCGM, et représentant de la CCGM à la Commission internationale de Stratigraphie) sur « **La carte géologique du monde : image de l'évolution des connaissances** » ;
- le mercredi 16 mai, à la MRES, conférence de Philippe CHARLEZ (expert énergétique) sur « **Croissance, énergie, climat : dépasser la quadrature du cercle** » ;
- le mercredi 26 septembre, à LILLIAD, conférence SGF-SGN de Patrick DE WEVER (Professeur, Muséum national d'Histoire naturelle) sur « **Biodiversité au cours du temps : acquis et idées reçues** » ;
- le mercredi 26 septembre, à LILLIAD, conférence de Francis ROBASZYNSKI (Professeur retraité Université de Mons, Académie Royale de Belgique, SGN) et F. AMEDRO (Professeur retraité de SVT, SGN) sur l'ouvrage « **Stratotype Turonien** » ;

### SORTIES DE TERRAIN (F.G., J-J. B., F.M.)

Cinq sorties étaient proposées cette année :

- le samedi 9 juin, « **Visite de la Cathédrale d'Amiens** » dirigée par Bernard MAITTE (Professeur émérite Université de Lille, SGN) et Jean-Jacques BELIN (SGN) ; cette sortie a été malheureusement annulée faute d'une participation suffisante. Elle sera reprogrammée en 2019.
- Le samedi 13 octobre, « **Le Paléogène du Laonnois** », animée par Pierre DRON (Vice-Président CEN Picardie, SGN), François DUCHAUSSOIS (SGN, Société Laonnoise et Axonaise de Paléontologie) et Denis MONTAGNE (Service des carrières de Laon) ; cette excursion a étudié les terrains paléogènes de la butte de Laon et du Chemin des Dames, et visité les carrières souterraines de Laon.
- Samedi 20 octobre : *A la recherche d'un cours d'eau perdu dans la périurbanité*, animée par Francis Meilliez dans le cadre de la RST.
- Dimanche 21 octobre : *Le Bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais, un patrimoine culturel et scientifique*, animée par Francis Meilliez dans le cadre de la RST.
- Mercredi 24, jeudi 25 et vendredi 26 octobre : *visite des peintures murales de l'ancien Institut de Géologie*, animées par Francis Meilliez, Thierry Oudoire et Jessie Cuvelier dans le cadre de la RST.

## EDITION (F.M., H.C., A.B., B.M., F.G., D.T., R.D.)

Comme il l'a déjà été expliqué, l'édition scientifique connaît une crise mondiale qui touche autant les grandes maisons d'édition que les organismes qui ont une pratique éditoriale comme la SGN. L'Université de Lille, reconstituée, a décidé comme d'autres homologues de se doter d'un outil éditorial pour mettre à disposition de ses chercheurs un outil de valorisation. La SGN participe au groupe de travail qui discute de la réalisation de ce projet. En prévision, le Bureau de la SGN a élaboré un texte collectif qui actualise le rôle qu'elle souhaite jouer dans l'édition et la médiation scientifique. Voici ce texte :

### **La SGN a une activité éditrice historique en science.**

De 1874 à 2016, ses productions ont été *Annales*, des *Mémoires* et des *Publications*. Ces supports, recevaient les publications scientifiques que lui confiaient des chercheurs dans le cadre de leur activité de chercheur, c'est-à-dire pour être lues par la communauté scientifique universelle. Bien que la SGN soit une société savante régionale, la politique d'échanges de ses *Annales* avec les établissements scientifiques intéressés par le monde (universités, bibliothèques, entreprises, associations analogues) a conduit, d'une part à diffuser largement une production scientifique évaluée et reconnue, et d'autre part à alimenter un fonds documentaire d'une rare richesse patrimoniale. Au surplus, chaque auteur pouvait faire état de ses publications par la SGN dans ses états de service, pour ses besoins de carrière.

En 1974, le CNRS a retiré son soutien financier à la publication des *Annales* au moins pour deux raisons convergentes. La première est l'augmentation du nombre de chercheurs dans le monde. De ce fait l'offre d'édition scientifique s'est développée et a suscité l'émergence de plus en plus agressive d'éditeurs privés face à des établissements publics pour la plupart. En conséquence les coûts d'édition ont augmenté de telle façon que les « petites maisons », régionales pour la plupart, ne pouvaient pas suivre. La seconde est le caractère régional de la SGN et de ses homologues, héritage historique de leur fondation. En effet, les associations porteuses se sont constituées autour de quelques scientifiques, pas nécessairement tous géologues de profession, de praticiens (ingénieurs et techniciens de bureaux d'études, d'entreprises, d'organismes publics) et de particuliers amateurs. Autrement dit, leur première motivation était – est encore – le développement de la connaissance géologique sur le territoire d'activité de leur association. En ce qui concerne la SGN, l'importante part d'activité centrée autour du gisement houiller NPdC a « donné le change » jusqu'aux années 1990. L'arrêt programmé de l'exploitation du charbon dans le Nord – Pas-de-Calais, puis dans les derniers bassins français, a entraîné une baisse des propositions de publications sauf dans le domaine de la paléontologie, car l'école lilloise avait acquis une réputation internationale justifiant qu'elle soit sollicitée de partout dans le monde dans le champ de ses connaissances et compétences. A côté des chercheurs, le fonds documentaire de la SGN et les collections constituées, partagées entre l'Université et le Musée d'Histoire naturelle, sont également toujours consultés.

### **Une perte de savoir et de savoir-faire en région**

De leur côté, les chercheurs universitaires se sont vus très fortement incités, en géologie au moins, à focaliser leurs moyens sur des questions thématiques et parcourir le monde pour y trouver les sites où leurs objets d'étude sont exposés au mieux. Ce qui se comprend. Mais cette évolution s'est faite au détriment des analyses territoriales : or si les conditions locales d'observation sont peu favorables au chercheur, elles le sont aussi au praticien. Toutefois la technologie a enrichi la « boîte à outils » de celui-ci de moyens techniques de reconnaissance directe et indirecte, lui permettant d'accéder à divers paramètres physico-chimiques quantitatifs. De telles capacités d'accès à des données nouvelles et abondantes sont très intéressantes, à condition de savoir ce que l'on mesure. Et les exemples sont très nombreux qui rappellent que l'analyse quantitative ne peut se passer de l'expérience qualitative. En stage à Paris en 1969 dans l'un des plus fameux bureaux d'études de sols de l'époque, l'un de nous (FM) a eu la surprise de découvrir l'ignorance complète de la présence de carrières souterraines sous le site du centre hospitalier d'Arras, tout simplement parce que ce chantier était le premier qu'avait obtenu ce bureau d'études au nord de la région parisienne. Un sondage, localisé en fonction de la géométrie d'un bâtiment, avait traversé de haut en bas un pilier entre quatre carrières sans aucune perturbation. Les problèmes sont arrivés avec les terrassements.

Beaucoup d'autres exemples peuvent être cités. Dès la fondation de la SGN, Gosselet (1895) s'était adressé aux praticiens (ingénieurs, agriculteurs, hygiénistes). Ce qui valait pour l'exploitation du gisement houiller aurait dû valoir aussi avec la même vigueur pour l'hydrogéologie, l'aménagement du territoire, l'agriculture. De nombreuses journées d'études ont été organisées dans ce sens depuis la fondation de la SGN, et ce n'est pas fini. Chacune est un succès (Blicek *et al.*, 2014) : les intervenants sont dans l'ensemble contents de faire connaître leurs travaux et souvent d'évoquer les questions en suspens. Certains acceptent même de rédiger un texte pour préciser tout ou partie de ces questions. Mais l'effort n'est que momentané, sans lendemain. La SGN est un lieu de transversalité, dans lequel on peut partager le savoir acquis, les difficultés d'ordre rencontrées, qu'elles soient d'ordre géologique, géotechnique, hydrologique. Elle doit apporter une expertise faisant lien entre le praticien confronté à des questions quotidiennes, et parfois à une nouvelle moisson de données, et le géologue, chercheur professionnel ou amateur, qui va savoir mettre ces données et ces questions, en perspective de la connaissance acquise, voire l'accroître.

### **Les outils du XXIème siècle**

La SGN doit se doter d'outils numériques d'aujourd'hui, en en maîtrisant l'usage et en leur appliquant les mêmes critères de qualité qui ont fait le renom des *Annales* et des *Mémoires*. Chaque outil est adapté à une gamme de temps et à un type de relation avec le public.

- Un blog : outil ouvert à tous, reflète de l'activité de la SGN à courte périodicité (bimensuelle), à faible mémoire (archives d'un an au plus), aisé à consulter et qui amorce le dialogue lorsqu'il est souhaité.
- Un site web : support durable et universel, présentant plusieurs onglets, les uns ouverts à tout public, les autres réservés aux adhérents. Le site est appelé à assurer l'édition en ligne des *Annales* et des *Mémoires*.
- Les *Annales* : l'édition numérique en ligne devrait permettre une publication « au fil de l'eau » selon une procédure à définir.

Une édition papier est toujours faisable en fin d'année pour les échanges, et pour les personnes qui souhaitent garder le papier.

- Les *Mémoires* : édition « au coup par coup », réalisée après obtention du financement.

Un adhérent SGN anime le blog ; les uns et les autres dirigent vers lui/elle les informations à passer. Tout développement renvoie vers le site web. Il faut surtout éviter ce que deviennent trop de blogs : soit une collection de photos sans explications, soit un compte rendu extrêmement détaillé d'une sortie de terrain, ... et qui, trois ans après sa parution, reste son unique production. Il faut donc bien réfléchir à l'usage et ne pas hésiter à « désherber » comme disent les bibliothécaires. Un document produit, s'il est informatif, peut être archivé à terme. S'il participe à un travail scientifique plus argumenté, il doit conduire à une publication dans les *Annales*.

### **Des relais de diffusion**

Une donnée scientifique n'est utile que si elle est publiée. Elle n'acquiert un sens universel que si elle participe à une interprétation enregistrée dans un document durable (écrit, vidéo ?).

Depuis 1875 la SGN pratique cet exercice, mettant à disposition de la communauté scientifique universelle des données et des interprétations. La démocratisation de l'accès à la connaissance, amplifiée par une évolution très rapide des technologies de diffusion, oblige à adapter les pratiques. D'une part le seul papier ne suffit plus, et d'autre part le document doit être compréhensible par le public auquel il s'adresse. Cela signifie qu'un même sujet peut être traité à des niveaux différents dans des documents différents, ce qui est exigeant pour les auteurs. Mais des relais sont disponibles, dont la vocation est d'aider à élargir l'audience et à s'y adapter.

Lilliad, *Learning Center Innovation*, sur le campus de la Cité Scientifique, est de ceux-là. La proposition de son directeur d'organiser une réunion autour de la présentation du tome annuel des *Annales* est un des événements à développer. La base de données IRIS, gérée par Lilliad, rend accessible à tous, par le monde, l'ensemble des *Annales* et des *Mémoires* avec un embargo qui, aux termes de la loi, ne dépassera pas six mois. Les conférences, filmées, doivent pouvoir être accessibles via le site internet de la SGN, celui de Lilliad et d'autres, le cas échéant.

Le Forum des Sciences est aussi un partenaire potentiel. Des visites de terrain, des conférences, des expérimentations, des manipulations de laboratoire devraient pouvoir être diffusées de façon commune. Il faudrait que quelques adhérents, porteurs d'idée, explorent cette voie. Les autres CCSTI peuvent suivre une voie analogue selon leur rapport avec la géologie.

Le CAUE<sup>1</sup> du Nord, en association avec ses homologues de la région des Hauts-de-France est aussi en capacité d'aider à diffuser la connaissance et à organiser la collecte de données. Il porte la mission confiée par la loi de « *développer l'information, la sensibilité et l'esprit de participation du public dans le domaine de l'architecture, de l'urbanisme, et de l'environnement (...)* » et qui participent à la qualité du cadre de vie. Il s'adresse au grand public, aux usagers et au public des porteurs de projet (particuliers, promoteurs, aménageurs, investisseurs publics et privés, des services des collectivités territoriales et de leurs élus, des architectes, des urbanistes et des paysagistes). Tous œuvrent à modeler l'occupation du sol et ont besoin de savoir comment fonctionnent les mécanismes naturels, sur une gamme étendue de temps, celle de l'aménagement du territoire, laquelle va bien au-delà de la durée des mandats électifs.

D'autres secteurs d'activité disposent peut-être aussi de relais potentiels, dans le domaine de l'exploitation et de l'utilisation des matériaux naturels par exemple. Dans le secteur de l'hydrogéologie, nous avons vécu une bonne action avec l'Agence de Bassin Artois-Picardie en 2014-2015. Pourquoi ne pas mettre en place une coopération plus durable ? D'autres champs d'activité sont encore possibles. Il faut que le citoyen puisse reconsidérer comme une évidence qu'un aménagement local n'est pas un simple problème d'ingénierie à résoudre par des équations déterministes, mais qu'il reste une part d'art, c'est-à-dire d'appréciation qualitative et qui engage l'observateur.

Le Musée d'Histoire Naturelle de Lille ne figure pas comme partenaire dans cette rubrique car il est consubstantiel à la SGN par son histoire. Il faut juste renouer les liens distendus depuis 1966, ce à quoi pourra contribuer l'Université de Lille reconstituée.

### **Des projets**

A ce jour, quatre projets sont sur l'ouvrage, propices au développement de ces outils nouveaux dans l'esprit rappelé ci-dessus.

#### *L'enseignement scolaire des sciences de la Terre*

L'ambitieuse réforme dont la mise en place a débuté à la rentrée 2016 vise à ce que les élèves acquièrent des compétences plus que des connaissances livresques, à ce qu'ils apprennent à travailler à la fois davantage en autonomie mais au sein d'équipes de projet, à ce que les enseignants les placent en situation d'observation avec une vision transversale aux diverses disciplines. La SGN a mis en place un groupe de travail ouvert, associant largement les professionnels académiques, afin d'imaginer des dispositifs d'appui aux professeurs placés devant une vraie révolution culturelle. Une publication est parue dans le tome 24 des *Annales*. De nouveaux chantiers sont à l'étude, incluant l'observation sur le terrain.

#### *La session GéoReg2 de la RST 2018*

Le colloque GéoReg1 (2011) avait été lancé pour redynamiser la SGN et ses homologues autour de sujets de géologie régionale. Le succès avait été au rendez-vous, mais aucune association analogue n'avait pris le relais par la suite. Cette fois la séance s'inscrira dans le colloque bisannuel qui se tiendra à Lille en octobre 2018. Il faut que des adhérents de la SGN, pas nécessairement professionnels de la géologie, profitent de cette opportunité pour faire connaître leurs propres observations et, avec l'aide éventuelle de chercheurs, contribuent à développer la connaissance du territoire régional. C'est l'occasion d'aider les professionnels des entreprises et diverses collectivités à valoriser les données qu'ils ont accumulées et, avec l'appui d'un adhérent SGN de leur donner leur place dans la connaissance du territoire. Au bénéfice de tous.

---

<sup>1</sup> CAUE : Conseil, Architecture, Urbanisme, Environnement. Association de type loi 1901, définie par la loi sur l'architecture de 1977, et percevant une taxe affectée, retenue sur les permis de construire et dont le montant est arrêté par le Conseil Départemental. Voir : <http://www.caue-nord.com>

### *Une actualisation participative de la carte géologique régionale*

La carte géologique est un document technique dont la lecture requiert la maîtrise de plusieurs codes, notamment en ce qui concerne l'exactitude et la fiabilité. Son utilisation est un art plus qu'une recette déterministe. De plus, son fond topographique est, dans la plupart de nos territoires, obsolète. Certes, le site en ligne <http://infoterre.brgm.fr> est actualisé fréquemment et ne souffre pas du problème des limites de carte, mais sa souplesse est quand même limitée, et son utilisation reste un exercice technique. Le développement des technologies individuelles de communication a suscité, à tort ou à raison, un engouement pour la communication spontanée, largement partagée auprès d'inconnus. Et si cet élan était utilisé à bon escient pour collecter des données d'observation que les rares géologues professionnels en exercice ne peuvent capter ? D'autres disciplines (écologie, astronomie) ont déjà engagé des opérations de cette nature, avec succès, moyennant un apprentissage. Au niveau national, le MNHN essaye de coordonner une opération Vigie-Terre qui relève de cette démarche. La proposition de la SGN est de le faire pour collecter toutes les observations temporaires ou durables qui apportent des informations directes sur la composition et la structure du sol et du sous-sol. Le partenariat avec le réseau des CAUE, lequel s'appuie sur la plateforme collaborative S-Pass Territoires mise au point par le CAUE du Nord, serait un excellent support, tant pour organiser la collecte que pour sensibiliser des usagers de premier ordre. Ce projet a commencé à se concrétiser avec la réalisation d'un portail présentant des sites géologiques de la région Hauts-de-France sur une table tactile durant la RST (22-26 octobre 2018). Ce site sera bientôt accessible à tout public, dès lors qu'un nombre suffisant d'adhérents de la SGN se l'auront approprié/

### *La SGN va célébrer ses 150 ans*

En 2020, la SGN va célébrer ses 150 ans. Le programme des manifestations n'est pas encore détaillé. Mais il est clair que cette année doit être une vitrine des actions citoyennes auxquelles la SGN a vocation de participer. Dès lors qu'il s'agit d'accompagner pédagogiquement un individu ou un organisme, en complément des actions professionnelles du secteur commercial, la SGN peut participer. Sa vocation est d'aider à la sensibilisation, de collecter des informations à portée géologique de façon à améliorer la compréhension et valoriser la connaissance. Elle n'est pas un opérateur concurrentiel. Fondée en marge de l'université dans des missions de soutien complémentaire, elle retourne à la société la valeur ajoutée qu'elle produit par le canal universitaire et les outils de communication précisés ci-dessus.

BLIECK, A. avec la collaboration de BRICE, D., CHARVET, J., CUVELIER, J., DE BAERE, J.-P., DHAINAUT, A., MATRION, A., MEILLIEZ, F., MISTIAEN, B., OUDOIRE, T., RICOUR, J., SOMME, J. & TRENTESAUX, A. (2014). — La Société Géologique du Nord et les sciences de la Terre dans le nord de la France : science, industrie et société. In : BLIECK, A. & DE BAERE, J.-P. (eds), La Société géologique du Nord et l'histoire des sciences de la Terre dans le nord de la France. Mémoires de la Société géologique du Nord, **XVII** : 3-40.

GOSSELET J. (1895). – Leçon d'ouverture du Cours de Géologie appliqué, professé à la Faculté des Sciences de Lille, le 17 janvier 1895. *Ann. Soc. Géol. Nord*, Lille, **XXIII** :7-26.

## **STATUTS DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD**

### **Article 1 – Dénomination, siège**

L'Association dite **Société Géologique du Nord** (SGN), fondée le 17 février 1870 par Jules Gosselet et 10 collègues, 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, Cité Scientifique, dans les locaux de l'Université de Lille, Faculté des Sciences et Technologies. Il peut être transféré en tout autre endroit de la Région Hauts-de-France sur proposition du Conseil d'Administration. La durée de la Société est illimitée.

### **Article 2 – Objectif et missions**

La SGN a pour objectif de concourir à l'avancement de la Géologie en général (Géosciences), et plus particulièrement de la Géologie des régions du nord de la France et de l'Europe du nord-ouest. Dans le respect de son objectif et de ces principes, la SGN se donne deux missions :

- Produire des savoirs et participer au développement de la connaissance de la géologie à partir du territoire désigné ci-dessus.
- Insérer la géologie dans une démarche culturelle, développer l'esprit critique et la citoyenneté.

Par ailleurs, la SGN s'est dotée de règles d'éthique et de déontologie.

### **Article 3 – Moyens d'action**

Les moyens d'action de la SGN sont :

- l'organisation de réunions scientifiques, débats, conférences, visites de terrain,
- la publication de documents sur quel que support que ce soit,
- le développement de partenariats avec tout groupement, public ou privé, dont l'activité est compatible avec celles de la SGN,
- l'attribution de prix et d'encouragements,

La SGN s'autorise à créer ou à participer à des Fondations.

### **Article 4 – Ressources**

Les ressources de la SGN proviennent :

1. des cotisations de ses membres ;
2. de la vente de ses publications scientifiques, par souscription, abonnement, ou vente au numéro ;
3. de subventions ou de mécénat (collectivités territoriales, entreprises, organismes) ;

4. des intérêts et revenus des biens et valeurs qu'elle possède ;
5. des rétributions provenant de prestations non commerciales ;

Toute action menée en partenariat fait l'objet d'une convention précisant l'objectif partagé ainsi que les droits et devoirs des partenaires. 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, ne puisse en être tenu personnellement responsable.

#### **Article 5 – Membres**

Toute personne physique ou morale, adhérant à l'objectif et aux missions énoncés à l'Article 2 des présents statuts peut devenir membre de l'association si sa candidature :

1. est parrainée par deux membres de l'association attestant que le candidat possède les compétences, ou l'appétence nécessaire à les obtenir, pour participer aux activités de la Société, dans le respect des règles d'éthique et de déontologie évoquées ci-dessus, en particulier, le refus de tout commerce du patrimoine géologique et de ne pas défendre de thèses de type créationnistes et non-scientifiques.

2. est validée par l'Assemblée Générale sur proposition du Conseil d'Administration.

Pour adhérer à la SGN, l'âge minimal requis est celui de la scolarisation en Collège. Est considérée comme personne morale une collectivité territoriale, une entreprise ou un organisme. Une personne morale peut faire participer plusieurs de ses agents aux activités organisées par la SGN.

Tout membre s'acquitte d'une cotisation annuelle dont le montant est fixé par l'Assemblée Générale sur proposition du Conseil d'Administration.

La qualité de Membre d'Honneur est décernée à des personnes ayant apporté à la SGN un service particulièrement déterminant. La décision est prise par l'Assemblée Générale sur proposition du Conseil d'Administration.

La qualité de membre de la Société Géologique du Nord se perd :

1. par démission écrite adressée 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.

#### **Article 6 – L'Assemblée Générale**

L'Assemblée Générale réunit tous les adhérents de la Société Géologique du Nord. 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.

Son ordre du jour est arrêté par le Conseil d'Administration et envoyé aux membres de l'association au minimum 15 jours avant sa tenue.

Le Bureau de l'Assemblée Générale est celui du Conseil d'Administration

Chaque adhérent, personne physique ou morale, dispose d'une voix en Assemblée Générale. Tout votant doit être à jour de cotisation.

Les adhérents absents, quelle qu'en soit la raison, sont invités à se faire représenter au moyen d'un pouvoir porté par un adhérent présent. Aucun votant ne peut être porteur de plus de 5 (cinq) voix. Pour réputer valides les décisions de l'Assemblée Générale, la moitié des adhérents doivent avoir élargé à l'entrée en séance, soit par présence physique, soit par représentation (quorum). Une personne morale ne dispose que d'une voix lors des votes en Assemblée Générale.

Si le quorum n'est pas atteint, une autre Assemblée Générale est convoquée à nouveau à quinze jours d'intervalle, elle délibère alors valablement, quel que soit le nombre des membres présents ou représentés.

L'Assemblée Générale entend les rapports (activités, moral et financier), approuve les comptes de l'exercice clos, vote le budget prévisionnel, délibère sur le programme d'actions, valide les nouvelles adhésions/exclusions, 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 votes de l'Assemblée Générale se font à la majorité simple.

#### **Article 7 – Le Conseil d'Administration**

L'Assemblée Générale élit tous les 2 (deux) ans, 11 (onze) administrateurs, pour constituer le Conseil d'Administration.

Les adhérents qualifiés de personnes morales peuvent candidater au Conseil d'Administration sans que leur nombre ne puisse dépasser la moitié du conseil. Une personne morale est représentée par un seul délégué, dont la candidature sera portée par un titulaire et un éventuel suppléant.

En cas de défaillance d'un administrateur en cours de mandat, quelle qu'en soit la raison, le Conseil d'Administration recrute par cooptation un autre adhérent jusqu'à la prochaine AG qui pourvoit à son remplacement

Le Conseil d'Administration se réunit au moins 1 (une) fois, et au plus 6 (six) fois par an. Ses décisions sont prises à la majorité simple. Chaque administrateur est porteur d'une voix. En cas d'absence, un administrateur peut se faire représenter par un autre à l'aide d'un pouvoir à valider à l'entrée en séance. Aucun administrateur ne peut porter plus de 2 (deux) voix.

Le Conseil d'Administration met en œuvre les décisions de l'Assemblée Générale, propose des activités dans le cadre des orientations décidées par elle. Il prend toutes les décisions nécessaires à l'accomplissement de l'objectif et des missions de la SGN et qui ne sont pas réservées à l'Assemblée Générale.

Lors de la première séance d'une mandature, il désigne en son sein, pour la durée de la mandature, plusieurs personnes qui acceptent d'assurer bénévolement les fonctions nécessaires à l'accomplissement des missions de la SGN :

- Un président,
- Un vice-président,
- Un secrétaire,
- Un trésorier.

Le président est de fait directeur de la publication. Il ne peut exercer plus de deux mandats consécutifs et ne peut solliciter un nouveau mandat qu'après un retrait minimal de deux ans.

Le Conseil d'Administration désigne aussi parmi les adhérents, avec leur accord, des adjoints au secrétaire et au trésorier. Enfin, il désigne, avec leur accord, des titulaires de fonctions techniques, bénévoles :

1. un directeur (voir Article 8) ,
2. un rédacteur en chef, responsable de la communication,
3. un bibliothécaire-archiviste (qui assure le lien avec l'Université) ;
4. un coordonnateur des visites de terrain et conférences ;
5. une personne en charge de la maintenance de la communication numérique.

Ces personnes rendent compte de leur activité auprès du Conseil d'Administration avant l'AG annuelle et peuvent, à cette occasion, demander à cesser ou à poursuivre cette activité.

En outre, le Conseil d'Administration valide la composition des groupes de travail nécessaires au déroulement des activités de la Société Géologique du Nord. Il pourvoit à l'éventuel remplacement d'un membre défaillant du Bureau. Il organise et convoque les assemblées générales, leur agenda et ordre du jour, arrête les rapports et résolutions.

Le Conseil d'Administration est libre d'inviter à ses réunions les personnes qui lui sembleront utiles à l'accomplissement de ses tâches. Ces personnes participent aux travaux du CA sans voix délibérative.

Le Conseil d'Administration arrête un Règlement Intérieur, sur proposition du Bureau.

#### **Article 8 – Le Directeur**

Le directeur, nommé par le Conseil d'Administration, a pour tâche d'assurer le fonctionnement de l'association en lien avec le président. Il s'assure du fonctionnement des diverses activités et des partenariats. Il participe aux réunions de Bureau et de Conseil d'Administration avec voix consultative. Il est responsable devant le Conseil d'Administration.

Cette fonction est bénévole, tacitement reconductible chaque année. Le mandat du titulaire s'arrête soit à sa demande, soit par décision du Conseil d'Administration à la majorité des deux tiers.

Le directeur peut proposer au Conseil d'Administration le recrutement d'un adjoint, dans les mêmes conditions que les siennes.

#### **Article 9 – Le Bureau**

Le Bureau est constitué du président, du directeur, du secrétaire, du trésorier et du rédacteur en chef. Il peut s'adjoindre tout autre personne selon le besoin.

Le Bureau se réunit si possible de façon hebdomadaire, selon un ordre du jour préparé par le directeur et validé par le président. Un relevé de décisions, dressé par le directeur sous contrôle du président, est diffusé aux membres du Conseil d'Administration.

#### **Article 10 – Les Groupes de Travail**

La Société Géologique du Nord met en place des groupes de travail, permanents ou temporaires selon leur objet, dont la tâche est de participer à la production de documents donnant lieu à des publications et/ou événements scientifiques, dans le cadre des missions évoquées à l'Article 2.

Les groupes de travail doivent rendre compte de leur activité au Conseil d'Administration.

La participation à ces groupes est bénévole. Sont permanents :

Un **Comité Scientifique Editorial** assiste le rédacteur en chef dans la ligne éditoriale des Annales, des Mémoires, et dans le choix des relecteurs nécessaires à garantir la qualité scientifique des publications.

Un **Groupe Médiation Scientifique** travaille en relation avec les services académiques et le réseau des CCSTI (centres de culture scientifique technique et industrielle), pour apporter aux personnels enseignants de tous niveaux scolaires et aux animateurs des activités périscolaires ou d'associations, des outils, des démarches, des exemples de terrain de proximité, illustratifs et accessibles.

La liste des groupes temporaires, leur tâche, leur composition et la durée de leur mandat sont arrêtés par le Conseil d'Administration, et précisés au Règlement Intérieur.

#### **Article 11 – Assemblée Générale Extraordinaire**

Une Assemblée Générale Extraordinaire peut être convoquée à la demande de la moitié plus un des adhérents en date de la dernière Assemblée Générale ordinaire, ou à la demande du Conseil d'Administration.

Une Assemblée Générale Extraordinaire peut apporter toutes modifications utiles aux Statuts. Elle peut aussi décider la dissolution de la Société, de sa fusion ou de son union avec d'autres sociétés poursuivant un but analogue. Dans ces divers cas, les propositions correspondantes doivent être adressées à tous les adhérents de la Société au moins quinze jours avant la date de l'Assemblée.

Pour être valide l'Assemblée Générale Extraordinaire doit réunir la moitié des adhérents, soit par leur présence physique, soit par une représentation déléguée par un pouvoir (quorum). Aucun votant ne peut détenir plus de 5 (cinq) voix.

Les votes de l'Assemblée Générale Extraordinaire se font à la majorité simple.

Si le quorum n'est pas atteint, une autre Assemblée Générale Extraordinaire est convoquée à nouveau dans l'intervalle des quinze jours qui suivent; elle délibère alors valablement, quel que soit le nombre des membres présents ou représentés.

#### **Article 12 – Dissolution, dévolution**

En cas de dissolution, l'Assemblée Générale Extraordinaire désigne un ou plusieurs commissaires chargés de la liquidation des biens de la Société. Après paiement des charges de la Société et des frais de sa liquidation, l'actif sera reversé à une association conforme à la loi du 1er juillet 1901 relative « au contrat d'association » ayant un objectif compatible avec celui de l'ex-Société Géologique du Nord.

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.

## La Société géologique du Nord il y a 50 ans

Tome LXXXVIII des *Annales* (1968)  
par Alain R. M. BLIECK  
38 rue Paul Doumer F-59320 Haubourdin (France) ;  
[alain.blieck@yahoo.fr](mailto:alain.blieck@yahoo.fr)

La SGN a vécu en 1968 deux « révolutions », d'abord celle du début de l'année avec le déménagement physique de son siège au Laboratoire des Sciences de la Terre, à la Cité Scientifique de Lille à Annappes, maintenant Villeneuve d'Ascq. Elle suivait en cela la Faculté des Sciences de Lille qui ne s'appelait pas encore Université des Sciences et Techniques de Lille (Lille 1), redevenue depuis 2018 Université de Lille, Faculté des Sciences [et Technologies]. Le Laboratoire des Sciences de la Terre est, quant à lui, devenu UFR des Sciences de la Terre puis Département des Sciences de la Terre. « *O tempora, o mores*, » disaient les Anciens, soit « Quelle époque ! Quels mœurs ! », une expression venue d'une œuvre de Cicéron, pour exprimer leur « indignation - parfois ironique - de celui qui l'utilise, vis-à-vis des mœurs de son époque. » (Wikipédia, 2018a). En effet, pourquoi donc changer de nom à chaque changement de statut administratif ou de contenu ? L'une des conséquences de cette cascade temporelle de noms pour l'Université de Lille, depuis au moins les années 1960, est le fait que celle-ci est très-peu visible dans les palmarès universitaires internationaux, comme, par exemple, le *Times Higher Education World University Ranking*, le « classement mondial des universités QS » et le « classement académique des universités mondiales par l'université Jiao Tong de Shanghai » (Wikipédia, 2018b). La seconde « révolution » fut celle du printemps 1968 à laquelle Lille 1 n'échappa pas (Baillot, 2018). Mais ceci est une autre histoire qui vous sera contée dans le prochain tome des *Annales*.

Le Conseil d'administration élu à l'Assemblée générale du 10 janvier 1968 était le suivant :

Président	M. André DALINVAL	Déléguée aux Publications	Mme Paule M. CORSIN
Premier Vice-Président	M. Jean PROUVOST	Archiviste-Bibliothécaire	M. Georges COURTY
Vice-Présidents	MM. Alexis BOUROZ et Gérard WATERLOT	Conseillers	MM. Paul CELET, Paul CORSIN, Pierre DOLLE, Antoine BONTE,
Secrétaire	M. Jacques PAQUET		Mme Simone DEFRETIN
Secrétaire-adjoint	M. Jean-Pierre LAVEINE		et Melle Denise BRICE
Trésorier	M. L'Abbé Gilbert TIEGHEM		

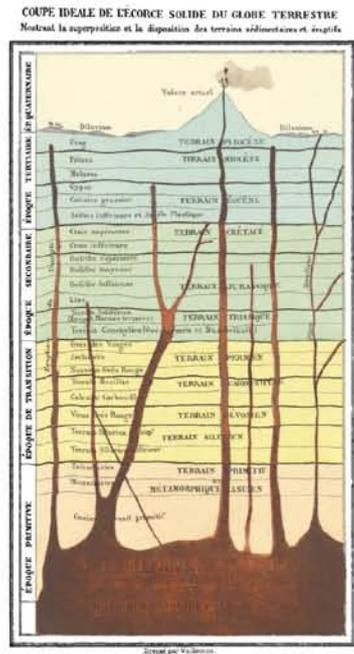
À la séance ordinaire du 7 février, dans son discours de transmission de la présidence, Mme Defretin, présidente sortante, notait le grand nombre de membres décédés dans le courant de l'année écoulée. L'évocation du décès de Pierre Pruvost, Membre de l'Institut et membre fondateur de la SGN, l'émut particulièrement ainsi que, supposé-je, l'ensemble de l'assemblée. C'est depuis cette réunion au rez-de-chaussée du bâtiment SN5 du campus Cité Scientifique qui logeait et loge encore le laboratoire (département) des Sciences de la Terre que la salle de réunion s'appelle « Salle Pruvost » (Defretin, 1968). Mme Defretin notait par ailleurs que « 25 nouveaux membres ont été élus, 17 communications orales et 7 communications écrites ont été présentées. » (*ibid.*). Au cours de cette séance, une certaine tradition fut respectée. Un géologue praticien, M. André Dalinval, ingénieur-géologue aux Houillères du Nord – Pas-de-Calais, succédait à une universitaire, Mme Defretin. Cette tradition a duré environ 110 ans des années 1870 aux années 1980, période à partir de laquelle un laisser-aller certain s'installa à la Société jusqu'à ce que quelques membres chevronnés la reprennent en main au milieu des années 2000 (Blieck & De Baere, 2014).

En ce qui concerne le contenu scientifique de ce tome LXXXVIII, disons qu'il est classique et met en avant les résultats des recherches des géologues lillois et de quelques chercheurs extérieurs sur le Carbonifère (paléo-palynologie, paléobotanique), le Silurien et le Dévonien (micropaléontologie, paléozoologie, stratigraphie, tectonique), le Jurassique (paléontologie, Boulonnais, Côte d'Or), le Quaternaire (géomorphologie, sédimentologie, paléontologie) et l'hydrogéologie de la région. Il s'intéresse aussi aux autres massifs paléozoïques de France (Massif armoricain, Lorraine) et de Belgique (Ardenne) ainsi qu'aux chaînes alpines périméditerranéennes (Pyrénées, Grèce, Yougoslavie, Albanie). En cela, ce tome des *Annales* entre dans ce que nous avons appelé la « Période dinaro-hellénique » de la SGN (Blieck & De Baere, 2014, fig. 10). Notons qu'à la fin du fascicule quatre de ce tome figure une publicité pour l'ouvrage « EVOLUTION DES VERTEBRES », paru en 1966 aux Editions du C. N. R. S. dans sa collection « Colloques internationaux du C. N. R. S. - Problèmes actuels de Paléontologie ». Ces colloques dédiés aux vertébrés étaient le résultat d'une certaine prédominance de l'école française de paléontologie des vertébrés de l'époque, emmenée par le Prof. Jean-Pierre Lehman du Muséum national d'Histoire naturelle à Paris (MNHN). Un autre de ces colloques eut lieu, également au MNHN, en 1972 lorsque votre serviteur, arrivant de l'Université de Lille et de l'Ecole normale supérieure de Saint-Cloud, venait tout juste de débarquer au MNHN pour y faire, sous la direction de Daniel Goujet, son D. E. A. de paléontologie des vertébrés et de paléontologie humaine délivré par l'Université Pierre-et-Marie Curie – Paris 6. Etre un jeune chercheur et se trouver d'un coup plongé au milieu de chercheurs de renommée internationale, dans un établissement prestigieux comme le MNHN, est une manne qui ne se présente pas tous les jours. Il fallait être présent au bon moment avec les bonnes personnes, ce qui n'est en aucune manière le fruit du hasard, mais résulte d'un concours d'éléments contingents : milieu familial et social, formation universitaire, encadrement, conseils éclairés, volontarisme... J'ai donné une idée succincte de ce que fut ma vie au MNHN en ces temps pas si lointains dans un petit article de la revue *Les Amis du Muséum national d'Histoire naturelle* (Blieck, 2005).

### REFERENCES CITEES

- BAILLOT, J. (2018). — Mai 1968 : quand la France s'embrase. <http://www.lavoixdunord.fr/339453/article/2018-03-20/mai-1968-quand-la-france-s-embrase> (consultée le 3/09/2018).
- BLIECK, A. (2005). — La biodiversité au cours du Paléozoïque d'après l'exemple des Vertébrés aquatiques. *Les Amis du Muséum national d'Histoire naturelle*, **221** : 4-7.
- BLIECK, A. & DE BAERE, J.-P. eds. (2014). — La Société géologique du Nord et l'histoire des sciences de la Terre dans le nord de la France. *Mémoires de la Société géologique du Nord*, **XVII** : 183 p.
- DEFRETIN, S. (1968). — Séance ordinaire du 7 février 1968 : [allocution de] Mme S. Defretin. *Annales de la Société géologique du Nord*, **LXXXVIII** (1) : 4 ; <http://iris.univ-lille1.fr/handle/1908/2228>.
- WIKIPEDIA (2018a). — O tempora, o mores. [https://fr.wikipedia.org/wiki/O\\_tempora,\\_o\\_mores](https://fr.wikipedia.org/wiki/O_tempora,_o_mores) (consultée le 3/09/2018).
- WIKIPEDIA (2018b). — Palmarès universitaires. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Palmarès\\_universitaires](https://fr.wikipedia.org/wiki/Palmarès_universitaires) (consultée le 3/09/2018).

- ▶ Une collection numérique librement accessible de **2 900** ouvrages et volumes de revues
- ▶ L'application, la production et la diffusion des sciences et des techniques depuis la Révolution Française jusqu'à la fin de la Seconde guerre mondiale



Louis Figuier.  
La terre avant le déluge, 1863

Découvrir IRIS : [iris.univ-lille1.fr](http://iris.univ-lille1.fr)



Camille Flammarion.  
*L'atmosphère*, 1872

- ▶ Les *Annales* et les *Mémoires* de la Société Géologique du Nord depuis le premier numéro jusqu'à aujourd'hui
- ▶ Géologie du nord de la France et des régions voisines, cristallographie et minéralogie, *Journal des Mines* et bassin minier, Carnets de terrain de Charles Barrois (1907 et 1913), développement industriel du nord de la France et de la Wallonie, ouvrages de vulgarisation scientifique...

Nous contacter : [iris@univ-lille1.fr](mailto:iris@univ-lille1.fr)

Un projet co-porté par les bibliothécaires de LILLIAD Learning center Innovation et les chercheurs en histoire des sciences de l'université de Lille - sciences et technologies, en partenariat avec la SGN, le Musée d'Histoire Naturelle de Lille, le Centre d'Histoire des Sciences et des techniques de l'université de Liège, Centrale Lille et la bibliothèque de l'UMR CNRS 8198 Evo-Eco-Paléo.

## ÉNERGIES CITOYENNES AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

### Journée de rencontre et d'échange

#### CITIZEN ENERGIES TOWARDS ENERGY TRANSITION

#### Encounter and exchange seminar

Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités, 12 octobre 2017  
Par Francis MEILLIEZ<sup>1</sup>, avec la collaboration de Xavier GALAND<sup>2</sup>, Mireille HAVEZ<sup>3</sup>,  
Barbara NICOLOSO<sup>4</sup>, Jacques ROUGÉ<sup>5</sup>, Jean SCHIETTECATTE<sup>6</sup>

*Résumé.* – La Société Géologique du Nord (SGN), la Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (MRES), Environnement et Développement Alternatif (EDA) et Virage Énergie (VE) ont organisé une journée d'études « Énergies citoyennes au service de la transition énergétique » qui s'est déroulée le 12 octobre 2017, à Lille (Gare Saint Sauveur). Cet article rapporte quelques interventions et débats auxquels ont participé élus et associatifs de la région. En outre quatre articles font l'objet de présentations séparées, plus étendues.

*Abstract.* – *The Société Géologique du Nord (S.G.N.), the Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (M.R.E.S.), Environnement et Développement Alternatif (EDA) and Virage Énergie (V.E.) have organized a one day meeting Énergies citoyennes au service de la transition énergétique (citizenship energies towards energy transition), which has taken place on October 12, 2017, in Lille (Gare Saint. Sauveur). The present paper summarizes some presentations and discussions, together with contributions by some regional elects and association representatives. In addition, four articles, which provide a wider scope, are presented separately.*

*Mots-clés.* – Développement durable, environnement, politiques énergétiques, initiatives citoyennes  
*Key words.* – *Sustained development, environment, energy policies, citizenship actions.*

### I. – INTRODUCTION

En 2020, la Société Géologique du Nord (SGN) célébrera les 150 ans de sa fondation par un groupe de 11 amateurs et étudiants, dont Jules Gosselet, premier professeur de géologie à la Faculté des Sciences de Lille (Blicek *et al.*, 2014). Dans le contexte social de 1870, ce groupe contribuait à faire progresser la géologie en tant que science, dans une période de croissance industrielle effrénée et de confiance aveugle envers le progrès scientifique. Personne alors ne soupçonnait l'ampleur des nuisances subséquentes que l'on constate aujourd'hui. Toutefois certains essayaient de réfléchir au-delà des circonstances économiques du moment (Lapparent, 1890). Dans la perspective de la préparation de son sesquicentenaire, la SGN, adhérente de la Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (MRES) a souhaité organiser cette Journée de Rencontres avec d'autres associations, en sollicitant des « regards d'experts » pour aborder la question de l'énergie : la croissance industrielle n'est plus là, mais la demande énergétique continue d'augmenter, ainsi que les nuisances. Quelle attitude adopter face à cette situation ?

Cette journée est le résultat de convictions et de bonne volonté partagées entre des associations, membres d'un même réseau (la MRES) mais qui n'avaient pas encore provoqué l'occasion de travailler ensemble. Et si la MRES a un sens exprimé dans sa dénomination, alors ces partenaires doivent être convaincus :

- que nos sociétés dites développées consomment davantage de matières premières qu'elles ne le devraient ;
- que parmi ces matières premières, elles brûlent l'énergie facile par ignorance de processus naturels plus économes qui restent à décrypter ;
- que pour les deux raisons précédentes, elles chargent l'environnement global de toxines qui mettent en péril, déjà sur le court terme, l'ensemble des écosystèmes.

Partager le constat demande déjà qu'une vraie culture scientifique soit suffisamment répandue de façon à ce que les citoyens que sont nos interlocuteurs, soient en capacité d'aller vérifier par eux-mêmes les données et les raisonnements bâtis à partir de ces données. Favoriser les conditions d'accès à cette culture scientifique est déjà un vrai chantier majeur.

<sup>1</sup> Université de Lille, UMR 8187 CNRS/LOG, SGN : [francis.meilliez@univ-lille.fr](mailto:francis.meilliez@univ-lille.fr)

<sup>2</sup> Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités : [x.galand@mres-asso.org](mailto:x.galand@mres-asso.org)

<sup>3</sup> Environnement, Développement Alternatif : [eda.mireille@wanadoo.fr](mailto:eda.mireille@wanadoo.fr)

<sup>4</sup> Virage-Energie : [bnicoloso@virage-energie-npdc.org](mailto:bnicoloso@virage-energie-npdc.org)

<sup>5</sup> Société Géologique du Nord : [rouge\\_jacques@orange.fr](mailto:rouge_jacques@orange.fr)

<sup>6</sup> Société Géologique du Nord : [j.p.schiettecatte@orange.fr](mailto:j.p.schiettecatte@orange.fr)

Partager le constat n'est qu'une étape ; il faut réagir. Certains le font négativement, d'autres positivement. Exemple négatif : un célèbre photographe qui fait sa fortune avec des images vues du ciel et qui refuse *a priori*, d'illustrer un ouvrage que se propose de publier la Société Géologique de France au motif que « *les géologues sont complices des pollueurs* », alors qu'il fabrique lui-même d'excellents supports pédagogiques pour démontrer la portée des impacts d'origine humaine. Il n'a pas compris que nous sommes tous complices des pollueurs et que donc, la réaction ne peut venir que de nous-mêmes et être constructive. Cette journée est une réaction positive parmi beaucoup d'autres initiatives. Cette journée a voulu associer un constat sur la nécessité d'une transition énergétique avec la mise en lumière d'initiatives, individuelles ou collectives, institutionnelles ou non, qui démontrent l'implication des citoyens de façon croissante dans la définition et la mise en œuvre des politiques énergétiques.

La journée est organisée en deux séquences : Connaître et Comprendre / Interagir. La première présente un état des lieux :

- sur la connaissance des transformations naturelles, à l'échelle des temps géologiques, de la matière organique en diverses ressources énergétiques, solides, liquides et gazeuses ;
- sur l'ensemble des processus mobilisés pour localiser, identifier, exploiter un gisement d'hydrocarbures ;
- sur la nécessité de changer de paradigme : les ressources fossiles ne sont pas infinies, il faut donc apprendre à s'en passer et/ou à les utiliser autrement ;
- sur le biogaz, une énergie renouvelable en pleine évolution.

La seconde commence par un état des lieux sur les marqueurs du changement climatique en Hauts-de-France, puis présente les témoignages de deux élus qui, ayant constaté la nécessité de changer de comportement, ont organisé des actions destinées à partager ce constat et imaginer des actions concrètes pour engager une nouvelle attitude. Les pouvoirs publics soutiennent de telles initiatives via l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Parallèlement, une réflexion est engagée aussi sur les paysages de l'après-pétrole. Enfin, une table ronde apporte de nouveaux témoignages d'actions complexes, déjà réalisées ou en progrès, du moins, tous les protagonistes l'espèrent.

## II. – CONNAÎTRE ET COMPRENDRE

### 1 – Les présentations individuelles

Présentation de Nicolas Tribouvillard : voir Tribouvillard & Baudin (2018).

Présentation de Jean Schiettecatte : voir Schiettecatte (2018).

Présentation de Barbara Nicoloso : voir Nicoloso (2018).

Présentation de Jacques Rougé : voir Rougé (2018).

### 2 - Questions en fin de séquence I :

*Question* : De quelle nature est le calcul de la valeur du pétrole, technique ou économique ?

Réponse de Jean S. : De 1970 à 2010, ce calcul était régulé par l'OPEP (Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole), qui fixait des quotas pétroliers à ses membres. Avec l'effondrement de l'OPEP, la régulation a disparu. Les pays consommateurs n'ont jamais imposé de prix.

*Question* : L'Agence Internationale de l'Energie (AIE) annonce le franchissement du pic pétrolier pour 2020 ; pourquoi y a-t-il encore des doutes ?

Réponse de Jean S. : L'étude de l'AIE est sérieuse et cré-

dible. Mais tous les paramètres ne sont pas maîtrisés. Quasiement tous les gisements potentiels ont été complètement explorés, sauf dans les zones polaires, en espérant qu'ils ne le soient jamais. Hors de l'aspect carburant, le pétrole est à la base de nombreuses utilisations. Quelle position est-il raisonnable d'adopter ? En prenant bien conscience que nous avons brûlé en 200 ans ce que la nature a mis 300 Ma à préserver.

*Question* : Pour économiser l'énergie, ou modifier l'utilisation des hydrocarbures, la seule solution possible est-elle une intervention autoritaire des pouvoirs publics ?

Réponse de Barbara N. : Les pouvoirs publics disposent d'un réel pouvoir incitatif (cf. la cigarette dans les espaces publics, ...). Le problème est que, concernant l'énergie, les parlementaires ne portent pas le débat. Il est donc nécessaire de le faire porter par des citoyens faisant pression sur les parlementaires, sur les entreprises, afin de changer de comportement.

*Question* : On sait que pour ne pas dépasser 1,5 °C d'augmentation de température, il faudrait atteindre une émission nulle de gaz à effet de serre en 2020. Existe-t-il une forme citoyenne d'énergie renouvelable pour respecter un tel défi ?

Réponse de Jean S. : La seule source énergétique naturelle abondante disponible n'est pas sociologiquement acceptable : c'est la radioactivité.

*Question* : Les hydrocarbures servent aux carburants et aussi aux plastiques. Y a-t-il des produits de substitution possibles ?

Réponse de Jean S. : Le plastique est remplaçable en pratique ; il suffit de le vouloir. Il ne faut pas oublier qu'avec les hydrocarbures on fabrique aussi nombre de produits intervenant dans l'agriculture : engrais, herbicides, fongicides, ...

*Question* : L'annonce ministérielle de l'abandon de l'exploration du pétrole en France en 2040 est-elle possible et sérieuse ?

Réponse de Jean S. : En France il n'y a plus rien à trouver : tous les gisements potentiels ont été explorés et exploités lorsque possible, ou le sont encore. Sauf peut-être en utilisant la fracturation hydraulique sous le site de Paris. La décision annoncée est davantage symbolique que technique.

*Question* : Comment faire accéder la population défavorisée à la connaissance présentée ce matin, de façon à aussi modifier son attitude vis-à-vis de l'énergie facile, et faire progresser l'idée de sobriété énergétique ?

Réponse de Barbara N. : Ce n'est pas forcément au citoyen à prendre individuellement les décisions qui vont, de façon drastique, modifier les comportements. Il faut des décisions politiques.

Réponse de Francis M. : C'est partiellement le rôle des organismes qui s'occupent d'éducation populaire de diffuser une culture scientifique accessible, appropriée, citoyenne. Il faut s'organiser pour mettre en place des ateliers répondant à des questions précises. Ce qui se fait déjà partiellement à l'initiative d'associations qui adhèrent à la MRES.

Réponse complémentaire de Nicolas T. : L'université met en place de plus en plus d'unités d'enseignement accessibles et valorisables sur l'engagement citoyen.

### 3 – L'enjeu climatique en Hauts-de-France

Dernier élément de diagnostic, présenté par Julien Dumont de l'Observatoire Climat (CERDD = Centre Ressource du Développement Durable).

*Cet Observatoire assure l'une des missions du CERDD qui, depuis 15 ans, est un Groupement d'Intérêt Public (GIP : voir site référencé ci-dessous), co-piloté et financé pour partie par l'Etat, la Région, l'ADEME. Le mode d'action spécifique*

du CERDD est de s'intéresser à l'expertise du développement durable des territoires : comment les initiatives sont-elles menées ? qui en a l'expertise ? diffusion de cette connaissance.

Le rôle d'un observatoire est de collecter et trier la donnée. Il assure ainsi une coordination méthodologique sur le territoire. Pour caractériser le changement climatique en région on dispose de quelques indicateurs. Sur la période 1955-2016, la température moyenne a monté de 1,75°C. Comme la France, le territoire des Hauts-de-France compte 10 records de température sur les 15 dernières années. Sur la même période le nombre de jours de gel a diminué à Boulogne/mer. En termes de biodiversité, une observation systématique des cigognes en Picardie (comptages réguliers sur des carrés de 5 km de côté) montre une augmentation de l'hivernage, ce qui traduit une adaptation progressive de l'espèce à un territoire qu'elle ne fréquentait pas il y a quelques dizaines d'années.

La caractérisation des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la région Hauts-de-France est à réactualiser depuis le changement de périmètre régional. De plus, dans ce domaine, les variations ne valent que sur le temps long (30 à 50 ans), durée pour laquelle nous ne disposons pas de statistiques. Aujourd'hui, l'émission régionale est évaluée à 60 Mt d'équivalent CO<sub>2</sub>, soit 15% des émissions françaises, pour une population qui ne représente que 9% de la population nationale. Ceci tient entre autres à la surindustrialisation régionale bien connue. De fait, l'industrie seule émet un peu moins de 50% de l'émission régionale. Mais la tendance est à la baisse après un pic en 2000-2002. Dans les autres secteurs, le transport augmente de 7% en 5 ans, le résidentiel un peu moins, le secteur agricole a augmenté ses émissions de 5% depuis 2009. Il est très difficile d'obtenir des statistiques fiables et comparables antérieures à cette date.

La consommation énergétique des Hauts-de-France, estimée à un niveau de 209 TWh, représente 12% de la consommation nationale. Le résidentiel et le transport consomment chacun 23% de cette quantité. Pour couvrir ceci, la part du charbon a évidemment baissé depuis 1990 ; le gaz et l'électricité assurent environ 25% chacun. Les Hauts-de-France produisent 57 TWh d'énergies renouvelables. Evidemment aussi, 80% de la ressource en électricité vient de Gravelines. Entre 2010 et 2015 ; la part du renouvelable produit en région a quand même progressé de 70%, ce qui est encourageant. Les ressources renouvelables en région sont, par ordre décroissant : le bois, l'éolien, les agro-carburants, la biomasse (dont les incinérateurs), le biogaz (0,55 TWh), les pompes à chaleur. Les réseaux de chaleur contribuent aussi de plus en plus ; leur part est passée de 16% à 32% en France en 4 ans. En Hauts-de-France, environ 122 000 logements sont chauffés ainsi. Enfin il faut aussi comptabiliser la rénovation de l'habitat, mais ce travail est très difficile à mettre en œuvre en pratique car il faudrait, dans chaque cas, réaliser un diagnostic avant et après travaux. On estime à 45 000 le nombre de logements rénovés en 2015 en région, dont 16 900 de très haute performance dans le parc privé.

Question : Existe-t-il des outils permettant de suivre l'évolution de l'état énergétique régional par rapport aux objectifs visés ?

Réponse : Si la question est claire, les objectifs ne le sont pas vraiment. En effet plusieurs problèmes méthodologiques se posent pour comparer les statistiques, y compris pour s'accorder sur les valeurs de référence initiales. On est supposé décroître de 3% l'an.

<http://www.cerdd.org/>

<https://www.economie.gouv.fr/reforme-des-gip>

### III. – INTERAGIR

Cette séquence est destinée à montrer l'engagement des citoyens et des territoires.

#### 1 – Le photovoltaïque et l'éolien : des projets mobilisateurs de l'investissement citoyen

Sous ce titre, Audrey Jumeaux (EnergETHIC) et Thierry Janssoone (SOLIS) ont expliqué la démarche de leurs structures respectives en tant que catalyseurs pour soutenir des initiatives citoyennes. La perception du changement climatique se répand auprès des individus, mais la plupart d'entre eux se sentent démunis lorsqu'il faut envisager des réactions. Les deux associations ont imaginé regrouper des citoyens motivés et décidés à agir au sein de structures coopératives, porteuses chacune d'un projet. Ces coopératives associent des individus, des collectivités, des associations, qui apportent une contribution financière très accessible (50€, 100€, ou plus) pour la réalisation d'un projet précis sur un territoire donné. Les participants se sentent ainsi directement concernés par la réalisation et son entretien. Un exemple d'équipement photovoltaïque est donné sur le territoire des Sept Vallées (autour de Hesdin et Saint-Pol-sur-Ternoise). A partir de repérages menés en 2013, trois toitures ont été retenues comme étant très favorables. La recherche de contributeurs a d'abord amené une dizaine d'individus qui ont constitué une société coopérative qui a achevé le montage financier (120 000€HT). Les travaux ont débuté en 2014 et se sont achevés en 2015. Exemple, cette action a suscité d'autres projets comparables dans les secteurs de Saint-Omer et de Lillers.

<http://www.asso-solis.fr/>

<https://energethic-asso.fr/>

#### 2 - Premier débat autour de la mobilisation citoyenne par des élus

Deux élus territoriaux sont ensuite venus exposer leurs essais, les efforts de leurs équipes, et surtout leur conviction.

Joël Devos (maire de Steenwerck, conseiller à la Communauté de Communes de Flandre Intérieure). *Pour faire de l'environnement, il faut être soi-même convaincu. Ma formation initiale, mon parcours professionnel (divers postes aux ministères de l'Agriculture, de l'Équipement, de l'Environnement, et même de l'Intérieur à Mayotte) m'y ont aidé. Ce dernier m'a laissé des souvenirs agréables (naissance des tortues, nage avec les dauphins, ...) mais aussi la conviction de la fragilité des milieux dans lesquels nous vivons. S'en convaincre prend du temps ; parvenir à convaincre les collègues qui n'ont pas vécu d'expérience similaire est un vrai défi. Aux élections municipales de 2007, la moitié des élus ont été renouvelés. La plupart des nouveaux ne s'imaginaient pas le travail réel d'un élu municipal. Avec les « anciens » nous avons décidé de mettre en place des séances de sensibilisation sur un certain nombre de sujets à traiter, comme les plans d'aménagement du territoire (SCOT, PLU, ...). A ces séances nous avons mêlé des diagnostics d'état de notre territoire sur ces sujets de façon à ce que les participants « entrent dans les contenus ». Puis nous nous sommes engagés dans une action, un programme d'intérêt général (PIG) « Habiter mieux », destiné à accompagner les ménages les plus fragiles dans le diagnostic et les éventuels travaux d'amélioration de leur habitat, appuyés par l'ADEME et l'ANAH dans une opération d'amélioration de la performance énergétique. La première tentative à l'échelle de l'ancienne communauté de communes de Bailleul n'avait pas convaincu*

*l'ANAH pour cause de territoire trop petit. A l'échelle de la CCFI, il y avait environ 23 000 maisons antérieures à toute réglementation énergétique lors de leur construction. Après 4 ans, environ 550 d'entre elles ont fait l'objet d'un diagnostic et 240 de travaux, financés à 70% par le PIG. Cela peut paraître peu. Mais il a fallu beaucoup de ténacité et de persévérance pour parvenir à ce résultat. Signée en 2013, l'opération a été reconduite en 2015, et l'est actuellement pour 2018. Nous avons l'espoir qu'elle se poursuive.*

Catherine Quignon-Le Tyrant, (ex-maire de Montdidier, vice-président de la Communauté de Communes du Grand Roye) a évoqué l'expérience menée durant deux mandats municipaux (2001-2013), aussi avec persévérance et ténacité. *Au printemps 2001 la nouvelle équipe municipale découvre des finances en piteux état et la nécessité de faire face aux inondations et leurs conséquences, notamment sous forme de mouvements de terrain. L'équipe s'oriente vers deux pistes : des économies et de nouvelles recettes à définir. Montdidier disposait d'une régie municipale d'électricité. Avec l'aide de l'ADEME, la Ville installe des variateurs électriques sur l'éclairage municipal, ce qui réduit la consommation. Elle installe aussi un mât expérimental pour tester les capacités éoliennes. Le site peut fournir juste un peu plus que le minimum requis pour la rentabilité. La municipalité décide que le portage sera public car les usagers sont aussi les contributeurs sous la forme de leur impôt. La Région soutient l'opération par une avance remboursable (1 M€). Les bénéfices réalisés sont redistribués dans d'autres opérations, comme la réalisation d'un réseau de chaleur à centrale bois. L'hôpital en bénéficie, et réalise à son tour 80 k€ d'économie annuelle qu'il réinvestit dans l'ouverture d'un laboratoire. D'autres opérations ponctuelles sont engagées, comme l'aide à certains investissements d'économie d'énergie (photovoltaïque, poêles à bois,...), et surtout la municipalisation de la distribution de l'eau, le cinéma qui devait fermer, etc.*

Le temps du politique n'est pas le temps du citoyen. Le changement d'équipe municipale peut interrompre une action, voire revenir sur les décisions prises. Le citoyen doit être persévérant. Et le politique doit sans cesse expliquer ce qu'il compte faire, ce qu'il fait, ce qu'il a fait car, une fois entrée dans le « paysage citoyen », l'action n'est plus visible en elle-même et le citoyen perd la perception du bienfait des décisions prises. Il faut donc rappeler ce qui a été fait et le comparer avec des endroits où de telles actions n'ont pas été mises en œuvre. Les deux exemples montrent la fragilité des résultats et la nécessité d'une volonté politique forte. Joël Devos donne un autre exemple : *Il a fallu 4 ans pour parvenir à remplacer les sacs plastiques de collecte des ordures ménagères par des sacs biodégradables, plus chers. Le surcoût était globalement indolore, mais il était indispensable d'expliquer le sens de ce choix pour que le citoyen utilise ces nouveaux sacs à bon escient.*

*Question sur la nécessité d'essayer au mieux de rapprocher les sites de production énergétique des sites de consommation. Pour mémoire, on considère que le transport de l'énergie électrique en ligne consomme 10% de la quantité injectée. La question dépasse les compétences des collectivités territoriales. Celles-ci peuvent au mieux encourager des aménagements économes en énergie, voire mettre en place des structures qui favorisent les déplacements économes en énergie.*

Question sur la grande dépendance de la production agricole française relative aux produits pétroliers (voir séquence du matin). Réponse de Joël Devos : *L'agriculture est au 6ème rang des secteurs consommateurs d'énergie. Le risque de famine, dans nos régions, n'est pas une menace à terme. Mais il*

*faut quand même être vigilant sur la consommation des espaces agricoles au profit des espaces bâtis. La terre agricole est une richesse naturelle qui ne se renouvelle pas à l'échelle de la vie humaine. Autre réponse de Catherine Quignon-Le Tyrant : Il est indispensable d'abord de réduire le gaspillage alimentaire et d'organiser les circuits courts pour l'approvisionnement.*

[www.cc-flandreinterieure.fr](http://www.cc-flandreinterieure.fr)  
<http://grandroye.fr/>

### **3 – Mobiliser et accompagner les territoires pour développer le financement citoyen en Région des Hauts-de-France**

Le thème a été illustré par un exposé d'Eliane Métreau (ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie ; ingénieure en charge des plans territoriaux énergie-climat) : *L'ADEME exerce un rôle d'animation territoriale qui vient en appui des actions de la Région des Hauts-de-France et de la Chambre de Commerce et de l'Industrie, via des contrats d'objectifs destinés à favoriser la Troisième Révolution Industrielle. L'ADEME s'intéresse au financement citoyen depuis 2015, et a mené plusieurs études, entre autres focalisées sur les économies d'énergie. Avec la CDC (Caisse des Dépôts et Consignations) elle a mis en place un dispositif d'amorçage de projets : la CDC apporte le soutien en capital et l'ADEME apporte son expertise technique.*

*La démarche engagée en Région Hauts-de-France concerne le financement participatif pour une croissance verte. Les projets soutenus sont réellement écologiques dans la mesure où les économies réalisées sont réinvesties dans d'autres opérations. Le financement citoyen est un processus qui progresse très vite, passant d'un volume de 78 M€ en 2013 à un volume de 300 M€ en 2015, tous domaines confondus, culture comprise. Le rôle de l'action est de parvenir à faire coïncider le besoin de financement des collectivités territoriales sur le sujet avec la disponibilité d'épargne qu'offre le citoyen.*

*De nombreuses plates-formes numériques dédiées au financement participatif ont vu le jour. Les domaines d'intervention sont très variés, même si, pour l'instant, le photovoltaïque arrive en tête des demandes. Aujourd'hui, l'amélioration de la performance énergétique de l'habitat via les matériaux de construction se développe. L'ADEME a choisi d'orienter les citoyens financeurs et les porteurs de projet vers les plates-formes opérationnelles lorsque le projet ne présente pas d'obstacle particulier, et se réserve le soin d'accompagner les opérations expérimentales, soit par la nature du projet, soit par le montage. Pour l'instant, l'ADEME achève le recensement des projets et des offres sur le marché. Ce recensement a pour but de réfléchir à la définition et à la mise en œuvre d'une politique de soutien aux projets, qu'ils soient portés par des particuliers ou par des collectivités territoriales.*

Question sur le fait que l'opération revient à demander au citoyen de financer les collectivités territoriales au-delà des impôts déjà perçus. La réponse fait valoir que les collectivités ne sont pas les bénéficiaires directs des projets, mais qu'elles participent à leur émergence et leur réalisation.

<http://www.hauts-de-france.ademe.fr/>

### **4 – Second débat autour des stratégies à développer en fonction des enjeux**

La seconde table ronde affichait un thème ambitieux : en quoi la transition énergétique impacte-t-elle nos choix de société et nos modèles économiques ? Les intervenants ont expo-

sé des stratégies d'opportunité et d'adaptation à des conditions imposées de l'extérieur. Eux-mêmes ont porté, accompagné, les actions définies dans le champ de la transition énergétique. Il faut comprendre que dans les exemples rapportés, les stratégies présentées sont des adaptations à des situations imposées de l'extérieur. La dernière intervention est un rappel historique d'une situation vécue aux Pays-Bas.

Damiens Carême, Maire de Grande-Synthe et VP de la Communauté Urbaine de Dunkerque (CUD), en charge de la transformation écologique et sociale, de l'environnement, de l'énergie et des transports, exprime la situation et les enjeux d'un territoire densément habité (200 000 habitants), site d'industries et activités portuaires à l'empreinte environnementale très forte. *Ce territoire paraît suréquipé, mais il s'agit d'activités fortement consommatrices d'énergie, productrices de nuisances prégnantes pour les riverains. Les choix de leur implantation dans l'agglomération résulte d'une bonne quarantaine d'années durant lesquelles les critères étaient très différents ; il s'agit d'une autre époque : une centrale nucléaire, un terminal méthanier, des usines lourdes : Rio Tinto (aluminium), ArcelorMittal (sidérurgie) ... L'empilement des projets et l'absence de vision d'ensemble conduisent à un beau gâchis : les pertes énergétiques annuelles sont évaluées à 37 TWH par les services techniques de la CUD. Même si certains projets de réutilisation ont déjà vu le jour : ArcelorMittal « chauffe » l'équivalent d'environ 12 000 logements aux alentours. De plus, l'absence de vision d'ensemble fait que le territoire n'est pas à l'abri d'une interruption brutale de fonctionnement. Il est donc nécessaire d'innover, de concevoir autrement la construction des bâtiments, les circuits de distribution énergétique, en tâchant de récupérer, stocker, distribuer de façon fluide une énergie qui ne constitue qu'un sous-produit de la plupart des activités industrielles locales. Le problème ne se réduit pas à la technique de conception, il est aussi et pour beaucoup un problème de pédagogie car cet état d'esprit doit être partagé par tous les usagers environnants. Pour l'instant, le citoyen ne coopère pas à la recherche et la mise en œuvre de solutions adaptées. Une réflexion est engagée : comment associer les habitants pour les aider dans le choix de solutions économes en énergie ? Dernier exemple en date : une discussion est engagée avec ArcelorMittal autour de la valorisation de leurs déchets gazeux, prenant en compte leur composition et sa variabilité, etc.*

<https://www.communaute-urbaine-dunkerque.fr/accueil/>

Exemple radicalement différent : Pierre Guillemant, président de l'ancienne Communauté de Communes de l'Atrébatie (le site internet était encore fonctionnel au 23/02/2018). *Aujourd'hui noyée dans une intercommunalité plus vaste (CC des Campagnes de l'Artois : 96 communes pour 33 000 habitants) ; en 2000, l'Atrébatie ne comptait que 27 communes pour 13 500 habitants. Le pays est entièrement rural. Les élus de l'époque ont pris leur temps pour élaborer une vision d'ensemble du territoire avant d'étudier des projets particuliers de développement. Un rapide constat a fait ressortir l'abondance d'entreprises travaillant dans le secteur de la construction. Par ailleurs, ce territoire avait retenu l'attention de plusieurs investisseurs dans le domaine de l'éolien. Echanger autour de ces constats a permis de prendre conscience de la question énergétique et de réfléchir à des solutions concrètes, locales. Un critère majeur dans les discussions avec les industriels de l'éolien a été leur sensibilité au développement local. Le lauréat retenu a finalement été une entreprise allemande qui avait déjà pratiqué une telle approche. Pendant que cette entreprise a préparé son implantation, les élus ont travaillé à une straté-*

*gie de développement territorial avec la perspective d'une réduction de la consommation énergétique. Deux axes de travail ont guidé la réflexion : 1 – Faire du développement durable et local ; 2 – Associer les habitants en les accompagnant vers une rénovation de l'habitat existant. L'ensemble des entreprises travaillant sur le territoire dans le secteur de la construction a été recensé, afin de les associer à la démarche. Décision a été prise de construire un bâtiment public de référence, de 1800 m<sup>2</sup>, de très haute performance énergétique.*

*L'exemplarité de cette opération associant un projet territorial, une stratégie et qui associe la population, a été soulignée notamment par la DIACT (Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires, devenue depuis le Commissariat Général à l'Égalité des Territoires : voir le site référencé ci-dessous) qui l'a classé Pôle d'Excellence.*

*De son côté, l'implantation des 18 génératrices éoliennes a été discutée et préparée avec les habitants selon une méthode progressive, participative, dont le principe était de démontrer que cette solution présentait plus d'avantages que d'inconvénients. Maintenant que le parc est en place, les élus doivent le gérer. Une décision a été prise de créer un fonds éco-énergie territorial à partir des ressources fiscales issues des éoliennes. Sur les 27 communes du territoire de l'Atrébatie, 17 se sont engagées à mettre en œuvre des pratiques énergétiques économes. L'ADEME accompagne cette démarche. »*

<https://www.annuaire-mairie.fr/communaute-communes-de-l-atrebatie.html>

<https://www.annuaire-mairie.fr/communaute-communes-des-campagnes-de-l-artois.html>

<http://www.cgnet.gouv.fr/>

Jean Gadrey, économiste, Pr. honoraire (Université de Lille), a démontré comment une politique de développement durable, économe en énergie, est créatrice d'emploi. *Là où les économistes ont pris le pouvoir, les choses vont mal. En fait, il faut un peu d'économistes, un peu de techniciens et beaucoup de citoyens. Il faut changer de modèle économique : créer en masse des emplois utiles et de bonne qualité sans poursuivre l'objectif de la croissance permanente qui nous mène dans le mur écologique. Ce qu'il nous faut, ce n'est pas toujours plus de quantité produite et consommée, mais toujours plus de qualité et de soutenabilité de ce que l'on produit et consomme, énergie comprise. Dans tous les domaines, produire plus propre, plus sain, plus vert, plus économe et meilleur pour le climat, exige plus d'emploi avec un travail ayant plus de sens et d'intérêt pour ceux qui le réalisent que dans le processus productiviste actuel. L'agriculture biologique mobilise davantage d'emplois pour produire la même quantité, mais avec une meilleure qualité. Deux scénarios à examiner : le scénario Negawatt divise par 2 la consommation énergétique (2017-2050), selon un scénario à coût minimal ; le scénario élaboré par ATTAC explique comment reconverter les emplois industriels productivistes en emplois durables. Il faut inévitablement accompagner au niveau territorial les reconversions d'emploi et, par là, œuvrer à réduire les inégalités.*

<https://negawatt.org>

<https://france.attac.org/nos-publications/notes-et-rapports/article/rapport-un-million-d-emplois-climat>

Enfin Mathilde SZUBA, sociologue à l'Institut de Sciences Politiques de Lille, a rappelé l'exemple néerlandais de choc psychologique décidé par le gouvernement en 1973, lors de l'embargo sur la livraison des Pays-Bas en produits pétroliers. *Le choc a consisté à décider l'interdiction brutale de l'utilisa-*

tion de la voiture le dimanche jusqu'à la fin de l'année 1973. L'embargo a pris fin en mars 1974. Cette décision, autoritaire, a permis au citoyen de prendre conscience que les restrictions d'approvisionnement n'avaient pas nécessairement pris fin en 1945. Des décisions individuelles pour changer de mode de vie ont été engagées dès ce moment. A la même époque, les Britanniques vivaient la grande grève des mineurs de charbon. La Grande-Bretagne n'était pas sous embargo comme les Pays-Bas, mais la réduction du charbon, jointe à la montée des prix des produits pétroliers, a aussi fait prendre conscience au citoyen que l'abondance des produits énergétiques n'était pas une situation éternelle. En décembre 1974, la Grande-Bretagne prenait une décision forte de réduire l'activité industrielle à la semaine de 3 jours. Ce qui n'a pas empêché le gouvernement conservateur d'être réélu. La situation de pénurie a mis en évidence la nécessité de la transition énergétique. On ne voit pas l'énergie que l'on consomme.

Question concernant l'opération « Paris sans voiture » : a-t-elle une chance d'être imitée ailleurs ? En réponse, M. Szuba réplique que l'exemple néerlandais démontre l'intérêt des opérations chocs pour sensibiliser et démontrer que l'on peut gérer autrement ses déplacements. Mais ce n'est pas ce type d'opération qui permet d'installer des pratiques différentes durables.

Question à D. Carême : y aura-t-il une suite à l'opération « bus gratuit » à Dunkerque ? Réponse : Sur ce territoire, les transports en commun représentent 4,7 % des déplacements. L'objectif est d'augmenter cette part. Mais la première nécessité, sur ce territoire, est d'abord un problème de santé : si les affections des voies aéro-digestives sont représentées par un indice 100 en France, elles sont à 250 sur le territoire dunkerquois. Il faut donc trouver des alternatives sérieuses à la voiture en ville, en plus des actions menées avec les industriels.

Question à D. Carême : Comment fait-on pour résister aux grands projets, comme l'extension du port ? Réponse : En essayant de faire comprendre que les projets dimensionnés aujourd'hui n'apportent aucune valeur ajoutée au territoire, et ne sont que des réponses du passé à un diagnostic d'aujourd'hui. Le port de Dunkerque traite aujourd'hui 400 000 containers par jour ; l'objectif est d'atteindre 2 500 000 en 2050 pour rivaliser avec Rotterdam. Avec la voirie actuelle, cela signifie ajouter 150 000 camions sur la route au trafic actuel.

Question : un tel projet d'extension portuaire a-t-il du sens

avec la perspective du pic pétrolier ? Suggestion de J. Gadrey : Les investissements gigantesques d'un tel projet ne pourraient-ils être redéployés vers de nouveaux emplois ? de nouveaux services ? Remarque de F. Meilliez : Les Néerlandais ont construit Rotterdam, un géant, et construisent son double à Terneuzen ; nous avons donc l'expérience des impacts environnementaux de tels projets. Commentaire supplémentaire de D. Carême : Et pendant ce temps-là, les Belges ne vont certainement pas se croiser les doigts en nous regardant. Il en va de la survie d'Anvers.

Question à P. Guillemant : L'Atrebatie était voisine du Bassin minier. Y a-t-il des projets croisés entre ces territoires ? Réponse : Toute action a une réalité économique : lorsque les factures énergétiques baissent, cela attire l'attention. Aujourd'hui, l'utilisation de produits agricoles dans la mise au point de nouveaux matériaux de construction commence à avoir des effets sur le redéploiement de certaines activités agricoles. Aujourd'hui, ayant développé ce modèle par la réalisation, les entreprises participent à la promotion de ce nouveau modèle d'interactions.

#### IV. – CONCLUSION

La journée fut conclue par Ginette Verbrugge, présidente de la MRES.

Merci aux organisateurs d'avoir monté cette journée de rencontres et d'échanges. Dans les diverses réunions quotidiennes, on entend bien le citoyen qui observe des changements, sans toujours bien savoir établir un lien scientifiquement fondé. Mais il a des observations à portée de lui. Il faut donc l'aider à comprendre le sens de ces observations et montrer quel ensemble elles constituent. On sent aussi que les gens ont envie de faire quelque chose, de s'investir pour corriger ce qui est perçu comme une dérive dangereuse. Il faut aider les gens à s'investir mais en le faisant autrement, en développant un souci éthique. Et donc il faut convaincre les collectivités territoriales de la nécessité de donner aux citoyens les moyens pour observer, comprendre, expérimenter. Il faut soutenir les initiatives collectives qui vont dans ce sens.

**Remerciements.** – Un grand merci à la patience et la pugnacité des membres du groupe de travail, collaborateurs de cet écrit. Un merci particulier à Jean Schiettecatte, qui a assuré les versions anglaises des textes. Merci aussi au personnel de la MRES qui a permis la réalisation logistique de cette Journée.

#### RÉFÉRENCES CITÉES

BLIECK, A. avec la collaboration de BRICE, D., CHARVET, J., CUVELIER, J., DE BAERE, J.-P., DHAINAUT, A., MATRION, A., MEILLIEZ, F., MISTIAEN, B., OUDOIRE, T., RICOUR, J., SOMME, J. & TRENTESAUX, A. (2014). – La Société Géologique du Nord et les sciences de la Terre dans le nord de la France : science, industrie et société. In : BLIECK, A. & DE BAERE, J.-P. (eds), La Société géologique du Nord et l'histoire des sciences de la Terre dans le nord de la France. Mémoires de la Société géologique du Nord, XVII : 3-40.

LAPPARENT A. (1890). – *La question du charbon de terre*. Lib. F. Savy, Paris, 121 p.

NICOLOSO B. (2018). – « Peak all » et sobriété énergé-

tique. Annales de la Société géologique du Nord, 2<sup>e</sup> série, **T25**

ROUGÉ J. (2018). – *Le Biogaz, une énergie renouvelable en pleine évolution*. Annales de la Société géologique du Nord, 2<sup>e</sup> série, **T25**

SCHIETTECATTE J. (2018). – Les hydrocarbures : situation et perspectives. Annales de la Société géologique du Nord, 2<sup>e</sup> série, **T25**

TRIBOVILLARD N. & BAUDIN F. (2018). – Sédimentologie de la matière organique en milieu marin : le point de départ de la formation des roches mères d'hydrocarbures. Annales de la Société géologique du Nord, 2<sup>e</sup> série, **T25**

au service de la transition énergétique » qui s'est déroulée le 12 octobre 2017, à Lille (Gare St Saint Sauveur). Cette Journée a débuté avec l'exposé de Nicolas Tribovillard sur l'évolution naturelle de la matière organique qui, après sa mort, contribue à redistribuer l'énergie qu'elle a concentrée dans divers écosystèmes, tant en présence qu'en l'absence d'oxygène. Cet ex-

#### RESUME TOUT PUBLIC

La Société Géologique du Nord (SGN), la Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (MRES), Environnement et Développement Alternatif (EDA) et Virage Énergie (VE) ont organisé une journée d'études « Énergies citoyennes

posé fait entrer dans un espace-temps d'ordre géologique, très peu perceptible au quotidien par le citoyen. Une part de cette ancienne matière organique a pu se transformer en molécules d'hydrocarbures dans les sédiments. Pour des raisons physico-chimiques que l'on connaît de mieux en mieux, ces molécules sont capables, au cours des temps géologiques, de se déplacer, se rassembler en des sites particuliers, appelés pièges à hydrocarbures. Jean Schiettecatte explique comment fonctionnent ces pièges, comment les hommes ont appris à les reconnaître, les détecter, puis les exploiter. Ces apprentissages progressent avec les développements de la technologie. Disposer de telles capacités confère un réel pouvoir aux groupes humains qui se sont organisés pour y parvenir. D'où les systèmes économiques et politiques complexes qui caractérisent les sociétés dites développées. Mais la logique du « toujours plus » les a rendues aveugles : elles ne voient pas, ou peu, qu'elles consomment leur capital global au-delà des seuls « intérêts ». Barbara Nicoloso se fait l'écho de tous ceux qui tentent d'expliquer qu'on peut vivre aussi bien en étant plus économes des ressources naturelles. Et qu'il est grand temps de le faire. Enfin, Jacques Rougé donne l'exemple du biogaz, dont la production - qui reproduit en accéléré la chaîne des processus naturels se faisant dans les sédiments à l'échelle des temps géologiques - est en plein essor. Julien Dumont a complété ce panorama général en présentant sa déclinaison régionale, vue sous l'angle de l'enjeu climatique. Et Audrey Jumeaux, parlant aussi pour Thierry Janssonne, a montré que le photovoltaïque et l'éolien offrent des formes très accessibles à l'initiative locale.

Un premier débat a rassemblé deux élus locaux, Catherine Quignon-Le Tyrant (Communauté de Communes du Grand Roye) et Joël Devos (Communauté de Communes de Flandre Intérieure). Ce qui a permis de réellement ressentir les difficultés, les pesanteurs à vaincre, mais aussi la force des efforts lorsqu'ils sont portés par des citoyens convaincus. L'autre dimension de leurs apports est aussi l'appréhension que l'action politique est nécessairement contingentée par le rythme électoral. Il faut donc suffisamment de puissance pour que les idées transcendent les mandats. Puis Eliane Métreau a donné un exposé très attendu sur les soutiens que l'ADEME peut mobiliser pour aider citoyens individuels ou en groupes à prendre des initiatives. Adeline Doreau a tenté d'imaginer ce que pourraient être les paysages de l'après-pétrole.

Un second débat a de nouveau permis à des élus de témoigner de démarches passées, en cours ou en projet. Damien Carême (Communauté Urbaine de Dunkerque) a évoqué quelques-unes des contraintes, des nuisances, mais aussi des ressources nouvelles qu'une très forte industrialisation territoriale induit. Il semble évident, à l'entendre, que le principal défi est de parvenir à une réelle coordination entre tous les projets locaux de façon à ce que les déchets des uns deviennent les matières premières des autres, tout en préservant des conditions sanitaires et environnementales acceptables. Vaste programme ! Pierre Guillemant (ex-Communauté de Communes de l'Atrébatie) a montré comment, dans un milieu rural qui se considère souvent oublié des programmes d'aménagement, avec peu de moyens a priori hormis la volonté partagée de construire quelque chose ensemble, il a été possible de réaliser des opérations qui sont des modèles d'économie énergétique et qui, de plus, soutiennent une politique d'emploi durable. C'est justement sur la capacité à favoriser l'emploi que Jean Gadrey, économiste, a porté sa démonstration du pouvoir d'une politique environnementale raisonnable et durable. Enfin, Mathilde Szuba, sociologue, a rappelé l'expérience néerlandaise des « dimanches sans voiture » des années 1970. Cela a fait

prendre conscience au citoyen que l'abondance des produits énergétiques n'était pas une situation éternelle. Les discussions ont permis à beaucoup de participants de porter leurs questions, formuler leurs commentaires, voire émettre des suggestions.

Une telle journée n'est utile que si d'autres rencontres analogues peuvent être organisées. La MRES est le lieu pour cela.

#### ALL AUDIENCE ABSTRACT

*The Société Géologique du Nord (S.G.N.), the Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités (M.R.E.S), Environnement et Développement Alternatif (EDA) and Virage Energie (V.E.) have organized a one day meeting «Energies citoyennes au service de la transition énergétique » (Citizen energies towards energy transition), which has taken place on October 12, 2017, in Lille (Gare Saint Sauveur). This seminar has started with a presentation by Nicolas Tribouvillard on the natural evolution of organic matter, which, after death, contributes to a redistribution of the energy which it has concentrated within various ecosystems, with or without oxygen. The talk introduces this process within a space-time geological complex, hardly perceptible on a daily basis by the average citizen. Part of this ancient organic matter may have turned into hydrocarbon molecules, trapped within the sediments. Due to physico-chemical processes, which are becoming better understood, these molecules are, in the course of geological times, able to move and congregate in various locations, called hydrocarbon traps. Jean Schiettecatte explains how these traps operate, and how man has learned to identify, locate and exploit them. This knowledge is progressing together with technological progress. Having made these capabilities available provides a real power to the human groups which succeed in reaching them. Henceforth the complex economical and political systems which characterize the so-called developed societies. However, the 'evermore' logic has blinded them: they do not, or hardly, perceive that they are consuming their global capital, beyond their only 'interests'. Barbara Nicoloso is echoing all those who try to explain that one can live quite well while at the same time using more efficiently natural resources. And that it is urgent to do so. Finally, Jacques Rougé gives the example of organic gas, for which the production -which reproduces, on an accelerated time-scale the sequence of the natural processes which develop within the sediments - is in full growth. Julien Dumont has completed this general overview by showing its regional application, as seen from the climatic challenge point of view. And Audrey Jumeaux, also talking on behalf of Thierry Janssonne, has shown that photovoltaics and wind power offer technologies which are easily applicable to local initiative. A first debate has brought together two local elected representatives, Catherine Quignon-Le Tyrant (association of Grand-Roye Communes) and Joel Devoos (association of Internal Flanders Communes). This has allowed a full assessment of the difficulties, and inertias to overcome, but also the power of initiatives, when they are carried out by convinced citizens. Another dimension of their contribution is the understanding that political action is strongly influenced by electoral deadlines. It therefore requires enough power to impulse ideas transcending electoral calendars. Eliane Moreau has then given a well-expected statement on the support that ADEME can mobilize to help initiatives of individual citizens or groups. Adeline Doreau has attempted to imagine what could be the post-hydrocarbon landscapes. The second debate has again allowed elected representatives to relate actions, past, undergoing or in progress. Damien Carême (Dunkirk urban community) has listed some of the constraints, and nuisances, but also*

*new resources, which a powerful local industrial development can provide. It seems obvious, according to him, that the main challenge is to introduce a real coordination between all local projects, so that the waste produced by some can become raw materials to some others, whilst preserving acceptable sanitary and environmental conditions. A great programme! Pierre Guillement (formerly with the Community of Communes of Atrebatie) has shown how, within a rural environment, which often considers itself neglected by development programmes, with limited resources, except a shared will to build something together, it has been possible to realize operations which are a model of energy savings, and which moreover sustain a continued employment policy. It is exactly on the capability to promote employment that Jean Gadrey, economist, has centered his demonstration of the powers of a reasonable and durable environmental policy. Finally, Mathilde Szuba, a sociologist, has recalled the Dutch experiment of 'carless Sundays', during the seventies. This has allowed the citizens to realize that ample energetic resources were not an everlasting situation. Further debates have allowed members of the audience to ask questions, provide commentaries and suggestions. Such a meeting can only be useful if additional similar gatherings can be organized. MRES is the right organization for that.*

## SEDIMENTOLOGIE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE EN MILIEU MARIN : LE POINT DE DÉPART DE LA FORMATION DES ROCHES MÈRES D'HYDROCARBURES

### *Sedimentology of organic matter in the marine environment: the starting point for the formation of hydrocarbon source rocks*

Nicolas TRIBOVILLARD<sup>1</sup> & François BAUDIN<sup>2</sup>

**Résumé.** – En milieu marin, tous les sédiments contenant de la matière organique ne deviennent pas des roches mères d'hydrocarbures mais toutes les roches mères sont (très) riches en matière organique d'origine marine, phytoplanctonique. Il importe donc de comprendre quels sont les facteurs favorisant l'accumulation et la préservation de la matière organique issue de la biomasse phytoplanctonique, car c'est là le point de départ de toute la chaîne de réactions qui pourra, éventuellement, aboutir à la formation d'un système pétrolier...

**Abstract.** – In the marine environment, all sediments containing organic matter do not become hydrocarbon source rocks, but all source rocks are (very) rich in marine-derived, phytoplanktonic organic matter. It is therefore important to understand the factors favoring the accumulation and preservation of organic matter from phytoplankton biomass, as this is the starting point for the whole chain of reactions that may eventually end with the formation of an oil system...

**Mots-clés.** – sédiments marins, productivité primaire, préservation organique, sédimentation, bactéries.  
**Key words.** – marine sediments, primary production, organic preservation, sedimentation, bacteria.

### I. – INTRODUCTION

Les énergies fossiles carbonées se répartissent entre charbon, pétrole et gaz (Fig. 1).

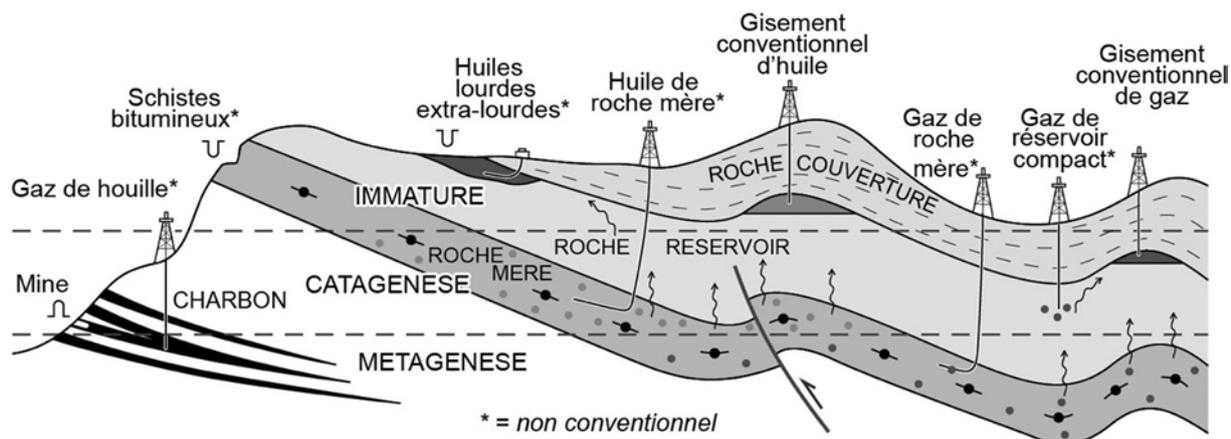


Fig. 1 : Schéma récapitulatif des types de gisements des ressources d'énergie carbonées (mise en couleur à partir de Baudin *et al.*, 2017 ; copyright EDP-Sciences).

Fig. 1: Summary diagram of the types of deposits of carbon-based energy resources (coloring from Baudin *et al.*, 2017, copyright EDP-Sciences).

En France, le charbon est une source d'énergie que l'on considère comme étant dépassée et on ne prend en considération que les hydrocarbures liquides ou gazeux (les «huiles» et les

«gaz» des pétroliers). Notons au passage que les gisements de charbon peuvent avoir plusieurs rôles aujourd'hui : à la fois un réceptacle pour y injecter et stocker du CO<sub>2</sub> et une source de gaz biogénique. Si l'on se concentre sur les hydrocarbures «actuels», huiles et gaz, on sait que ce sont des sources d'énergie à fort impact climatique, puisque leur consommation est source de CO<sub>2</sub>, gaz à effet de serre. On sait aussi que ce ne sont pas des énergies d'avenir et qu'il faut s'efforcer d'en limiter la consommation et qu'il faut

<sup>1</sup> Université de Lille, UMR LOG CNRS-Université de Lille-ULCO

<sup>2</sup> Université, Institut des Sciences de la Terre de Paris (ISTEP)

chercher à les remplacer chaque fois que c'est raisonnablement et «durablement» possible et justifié. On sait enfin qu'on va les utiliser pendant des décennies encore parce que l'on ne peut pas s'en passer à l'heure actuelle ni à court terme.

Ces hydrocarbures tirent leur origine dans les mers, où se déposent des sédiments. Ces sédiments peuvent contenir de la matière organique ; quand ils en contiennent «beaucoup», ils peuvent parfois être élevés au grade de «roche mère». Tous les sédiments n'en sont pas capables et nous allons nous attacher à détailler comment l'on devient roche mère. Dans l'exploitation conventionnelle des hydrocarbures, ce n'est pas tant la roche mère que l'on recherche que la roche réservoir, qui piège et stocke les hydrocarbures. Cependant, les méthodes non conventionnelles qui se sont développées relativement récemment permettent d'exploiter directement les roches mères dans certaines conditions. On peut alors aller chercher les hydrocarbures directement «à l'usine» même si c'est loin d'être simple ou satisfaisant. Les roches mères ont ainsi connu un regain d'intérêt de la part des pétroliers et nous allons les présenter plus avant.

Cet article qui se veut pédagogique est fortement inspiré, pour ce qui va suivre, d'un ouvrage initialement publié en 2007 et réédité par les éditions EDP-Sciences en 2017 : Géologie de la Matière Organique (Baudin *et al.*, 2017). C'est dans ce livre que les lecteurs intéressés pourront trouver matière à satisfaire leur curiosité et nous ne donnons ici que quelques éléments clés pour comprendre comment se mettent en place les roches mères d'hydrocarbures.

## II. – LE CADRE GÉNÉRAL DE LA PRODUCTION DE MATIÈRE ORGANIQUE MARINE

En milieu marin, le phytoplancton constitue l'essentiel de la biomasse «qui compte», et est le point de départ de la chaîne alimentaire marine. Est inclus sous ce terme phytoplancton ce que l'on appelle le picoplancton, majoritairement composé de (cyano-) bactéries, et les algues unicellulaires du microplancton. Vivant dans la zone photique (schématiquement, les 100 premiers mètres de la colonne d'eau), les êtres unicellulaires du phytoplancton ont une durée de vie moyenne de trois semaines. De leur vivant ou après leur mort, ils sont consommés par les organismes du zooplancton et les pluricellulaires de toute taille (radiolaires, copépodes, annélides, requins-baleines, ...). Ces organismes consomment incomplètement la matière organique phytoplanctonique et en restituent une part au milieu marin sous forme de pelotes fécales. Ces dernières sont capables de couler, à la différence des cellules individuelles du plancton, qui ont une très grande flottabilité. En sombrant, les pelotes fécales entraînent donc de la matière organique vers le fond et elles rendent ainsi possible la sédimentation de la matière organique marine. Le transit à travers la colonne d'eau est d'autant plus rapide que la taille des pelotes fécales est grande.

La fraction de la matière organique qui quitte la zone photique et coule à travers la colonne d'eau est appelée production exportée. Plus la production primaire de surface est grande, plus la production exportée est importante. Ainsi les domaines océaniques correspondant aux zones les plus fertiles et les plus productives, bien que ne représentant que quelques pourcents de la superficie totale de l'océan, sont ceux qui présentent la production exportée la plus grande (Fig. 2).

Les bactéries interviennent également en dégradant la matière organique des cellules mortes du phytoplancton, dans la zone photique et au cours de la chute des particules organiques à travers la colonne d'eau (Fig. 2). On pense souvent que plus longue sera la chute, plus intense sera la dégradation de la matière organique. Ce n'est pas si vrai, car l'augmentation rapide de pression avec la profondeur est néfaste pour les bactéries en train de dégrader les particules en train

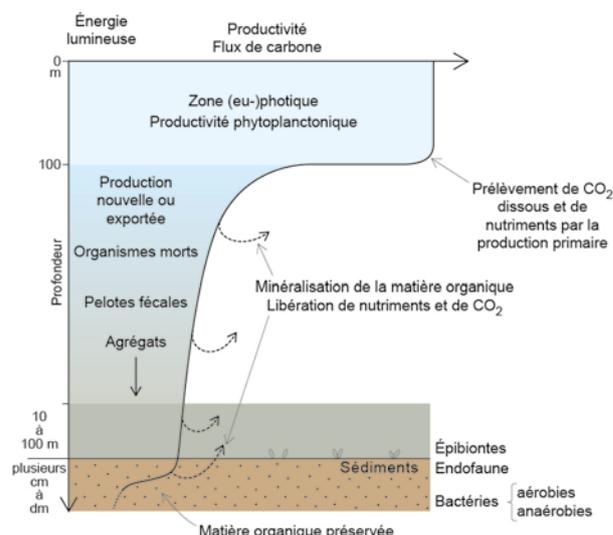


Fig. 2 : Représentation schématique du flux de matière organique exportée vers les fonds marins (initialement d'après Schulz & Zabel, 2006 et mise en couleur à partir de Baudin *et al.*, 2017 ; copyright EDP-Sciences).

Fig. 2: Schematic representation of the flow of organic matter exported to the seabed (initially from Schulz & Zabel, 2006 and coloring from Baudin *et al.*, 2017, copyright EDP-Sciences).

de couler. La dégradation reprend au fond de l'eau, dans la pression est de nouveau stable à l'interface eau-sédiment. La dégradation est également appelée reminéralisation, puisque le carbone organique, présent sous forme réduite dans la matière organique, est oxydé en carbone minéral (CO<sub>2</sub> ou HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Une fois les pelotes fécales arrivées à l'interface eau-sédiment, la dégradation de la matière organique se poursuit du fait de l'activité des bactéries et des organismes benthiques (épi- et endo-biontes). Ces brouteurs et fouisseurs participent à la destruction de la matière organique et leur action peut se poursuivre tant que les eaux interstitielles contiennent suffisamment d'oxygène dissous et qu'il reste de la matière organique. Outre ces organismes métazoaires, les bactéries participent encore et toujours à la reminéralisation de la matière organique à la surface du sédiment et plus en profondeur (Fig. 3).

Dans le cas ordinaire, la colonne d'eau et les eaux interstitielles contiennent de l'oxygène dissous et les bactéries rencontrées à l'interface eau-sédiment et sous cette interface sont des bactéries aérobies, c'est-à-dire des hétérotrophes qui ont besoin d'oxygène dissous pour dégrader les biomolécules. Schématiquement, la durée de cette action aérobie est conditionnée par la quantité de matière organique qui atteint le fond de la mer, l'importance du taux de sédimentation, la granularité du sédiment (qui conditionne la circulation des eaux interstitielles et donc le renouvellement de l'oxygène dissous), et l'intensité de la bioturbation (les deux derniers facteurs sont souvent liés). En effet, la durée de l'action aérobie est conditionnée là encore par les relations entre la consommation d'oxygène nécessaire à la dégradation bactérienne de la matière organique, d'un côté, et de l'autre côté, la capacité du réservoir interstitiel en oxygène dissous et de son renouvellement. Un taux de sédimentation faible permettra un long temps d'exposition aux conditions souvent oxydantes des fonds marins. La matière organique sera donc très fortement reminéralisée pendant ce long contact avec l'oxygène dissous. Au contraire, un taux de sédimentation important aura pour effet d'enfouir rapidement les sédiments et la matière organique qu'ils contiennent. Cet enfouissement important et rapide limitera donc fortement le renouvellement de l'oxygène dissous car les phénomènes de diffusion seront fortement limités; les conditions deviendront donc rapidement anoxiques.

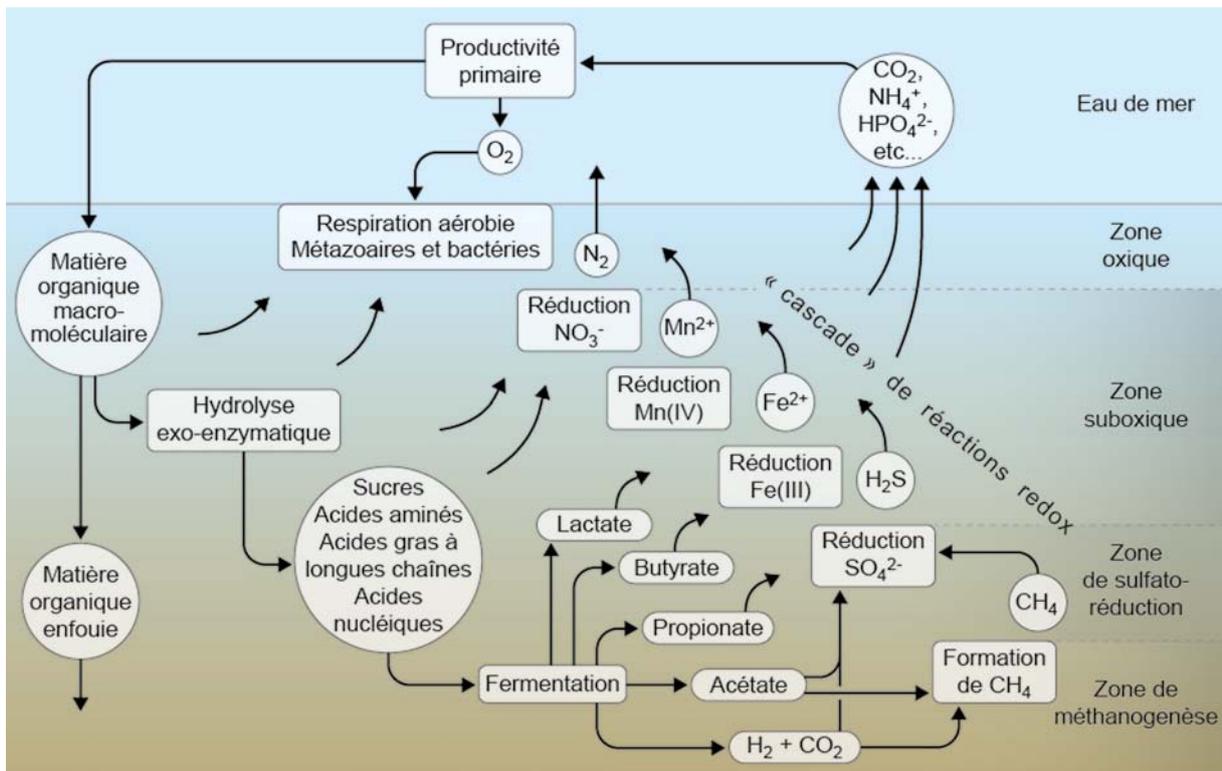


Fig. 3 : Schématisation de la dégradation bactérienne de la matière organique. La fermentation libère des petites molécules organiques qui alimentent la cascade de réactions redox (initialement d'après Schulz & Zabel, 2006 et mise en couleur à partir de Baudin *et al.*, 2017 ; Fig. 3: Schematization of the bacterial degradation of organic matter: The fermentation releases small organic molecules that feed the cascade of redox reactions (initially after Schulz & Zabel, 2006 and coloring from Baudin *et al.*, 2017, copyright EDP-Sciences).

Dans le sédiment, les capacités de renouvellement de l'oxygène sont conditionnées par la taille des particules. Si la granularité est faible (cas des argiles), le sédiment est peu perméable et les eaux interstitielles sont très peu renouvelées. En revanche, les sédiments plus grossiers comme les sables ou les calcaires bioclastiques permettent une meilleure circulation des eaux interstitielles, ce qui peut recharger en oxygène dissous l'espace poreux. En outre, les sédiments à granularité élevée facilitent l'activité des organismes fouisseurs et cette bioturbation facilite à son tour la recharge en oxygène dissous en mettant en contact les eaux de l'interface eau-sédiment et les profondeurs (relatives) du sédiment. Comme les paramètres qui viennent d'être évoqués sont assez variables, il n'est pas commode de proposer des profondeurs types auxquelles l'épuisement en oxygène serait atteint. Le seuil de l'anoxie est généralement franchi en quelques dizaines de centimètres dans les sables et en quelques millimètres dans les sédiments argileux (hémi-) pélagiques.

Une fois l'oxygène libre (sous forme  $O_2$  dissous) consommé par les bactéries aérobies (sans oublier les réactions chimiques abiotiques d'oxydation, qui consomment également de l'oxygène), les premières populations bactériennes sont remplacées par d'autres, qui sont capables de faire intervenir l'oxygène lié à d'autres éléments : nitrates ( $NO_3^-$ ), sulfates ( $SO_4^{2-}$ ), oxydes et oxy-hydroxydes de fer ou manganèse (Fig. 3). Enfin, quand ces oxydants-là sont à leur tour épuisés au sein des eaux interstitielles, plus en profondeur, les bactéries méthanogènes prennent le relais et continuent le travail de reminéralisation. On donne le nom de chémocline, ou front redox, à la transition entre les niveaux où sont présentes des conditions oxydantes (présence d'oxygène dissous même en très faible concentration) et les niveaux où des conditions réductrices se développent et où la sulfato-réduction est prépondérante. On retiendra qu'en milieu marin, l'étape de sulfato-réduction est prépondérante car les eaux de

mer (et les eaux interstitielles) sont riches en ions sulfates.

L'activité bactérienne se poursuit en profondeur dans le sédiment, tant qu'il y a de l'eau interstitielle, de la matière organique consommable par les bactéries (toutes les matières organiques ne le sont pas) et tant que la température n'est pas trop élevée. Les bactéries ont des optimums de températures proches de 15-25°C, mais certaines peuvent se développer en deçà et au-delà de ces températures, certes beaucoup plus lentement, mais les phénomènes géologiques ont tout leur temps !

Pour conclure, on se rend compte que toutes les conditions sont réunies pour que la matière organique soit intégralement consommée dans les sédiments et l'on comprend mieux pourquoi tant de sédiments et roches sédimentaires en sont dépourvus. Pourtant, il existe des roches contenant de la matière organique, parfois en très grandes quantités (notamment les roches-mères d'hydrocarbures), ce qui signifie que certains environnements de dépôt peuvent être propices à la préservation de la matière organique. Comment la matière organique peut-elle échapper à une quasi-complète reminéralisation, alors qu'elle subit des agressions aussi bien en conditions aérobies qu'en conditions anaérobies ? La réponse à cette question est double : la matière organique peut être partiellement préservée si elle échappe à un séjour prolongé en conditions oxygénées et si elle arrive sous le front redox dans un état chimique qui n'est pas aisément dégradé par les bactéries anaérobies.

### III. – LES CONDITIONS ET LES ENVIRONNEMENTS FAVORABLES À L'ACCUMULATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

Une part importante de la dégradation de la matière organique se produit en conditions aérobies (également dites oxygènes). On

conçoit donc que les environnements de dépôt faiblement oxygénés, voire anoxiques, soient favorables à la préservation (même provisoire) de la matière organique. Un environnement marin peut développer des conditions faiblement oxygénées chaque fois que la consommation d'oxygène par dégradation de la matière organique l'emporte sur le renouvellement de l'oxygène dissous des masses d'eau. Ceci peut se produire de deux façons : (1) en cas de très forte productivité dans les eaux de surface, (2) en cas de faible renouvellement des masses d'eau. Dans le premier cas, l'afflux de matière organique est tel que la dégradation de produits organiques consomme rapidement l'oxygène présent. On observe ce cas de figure dans des cellules d'upwelling, notamment celui du Pérou. Dans les régions de forte productivité de l'océan comme les zones d'upwelling, la forte biomasse produite en zone photique accroît sensiblement la production exportée. La décomposition de cette dernière par les organismes aérobies augmente plus vite la demande en oxygène que le milieu marin n'est capable de renouveler l'oxygène dissous par l'action des courants. La consommation d'O<sub>2</sub> l'emportant sur le renouvellement, la colonne d'eau devient localement suboxique à anoxique. Dans cette configuration, les sédiments baignés par des conditions faiblement oxygénées et recevant un flux de matière organique relativement important développent rapidement des conditions réductrices. Ces zones de relativement faible oxygénation en mer ouverte sont appelées zones à minimum d'oxygène. Ces zones sont à des profondeurs de quelques centaines de mètres et ne reçoivent pas ou pas assez d'oxygène dissous depuis la surface des mers. Le renouvellement d'O<sub>2</sub> est principalement assuré par les courants plus profonds.

Dans le second cas, la consommation – même faible – de l'oxygène dissous par la dégradation aérobie de la matière organique aboutit à la dysaérobie ou à l'anoxie, si les eaux ne voient pas leur stock d'O<sub>2</sub> renouvelé à une cadence suffisante. On observe ceci dans les bassins où la stratification des eaux nuit au brassage et à la ventilation des fonds marins. Dans le cas de la Mer Noire, les apports d'eaux douces par les fleuves sont excédentaires par rapport à l'eau perdue par évaporation. Il en résulte une circulation dite estuarienne, c'est-à-dire que ces eaux douces, moins denses que celles de fond, forment un corps d'eau qui transite en surface sans se mélanger aux eaux plus profondes. Ces dernières sont donc mal renouvelées. La dégradation de la matière organique exportée de la zone photique consomme de l'oxygène qui est mal renouvelé du fait de la stratification des eaux. La consommation d'O<sub>2</sub> l'emportant sur le renouvellement, la base de la colonne d'eau devient anoxique. La sulfato-réduction bactérienne s'y produit ; il y a donc dégagement de H<sub>2</sub>S dans la colonne d'eau, ce qui empêche le développement de la vie profonde (en dehors des bactéries). On parle alors d'euxinisme, en écho au nom de la Mer Noire chez les Anciens : le Pont Euxin.

Dans le cas de la Mer Méditerranée, la forte évaporation des eaux du fait du climat méditerranéen n'est pas compensée par les apports fluviaux, ce qui provoque un déficit d'eau. Ce déficit est comblé par des entrées d'eaux atlantiques par le détroit de Gibraltar. On parle de circulation anti-estuarienne. La forte évaporation accroît la salinité des eaux et donc leur densité. Ces eaux plongent et ont tendance à être piégées par le haut fond de Gibraltar, qui entrave la circulation de la Méditerranée vers l'Atlantique. Les eaux les plus denses (les plus profondes) sont donc retenues et, de ce fait, mal ventilées. De nouveau, la dégradation de la matière organique exportée de la zone photique consomme de l'oxygène qui est mal renouvelé du fait de la stratification des eaux. La consommation d'O<sub>2</sub> l'emportant sur le renouvellement, la base de la colonne d'eau devient suboxique mais non point anoxique (du fait de l'ampleur du réservoir notamment). La sulfato-réduction bactérienne ne se produit pas dans la colonne d'eau et l'H<sub>2</sub>S reste donc produit uniquement dans le sédiment.

Plus généralement, à l'échelle des bassins océaniques, les eaux profondes ne renouvellent l'oxygène dissous que grâce à la circulation profonde qui conduit des eaux venant des régions polaires : ces eaux plongeant en profondeur aux pôles sont froides et, de ce fait, capables d'emmagasiner beaucoup de gaz dissous, notamment l'O<sub>2</sub>. On mesure donc l'importance de la circulation thermohaline sur la ventilation et d'oxygénation des fonds océaniques à l'échelle de l'océan mondial, et l'on comprend également que les fonds marins aient pu connaître des conditions d'oxygénation très différentes de celles actuelles, à des époques géologiques où la circulation thermohaline ne fonctionnait pas, comme ce fut le cas pour une bonne partie du Crétacé.

#### IV. – MÉCANISMES DE PRÉSERVATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE À L'ÉCHELLE MOLÉCULAIRE

Les bactéries sont l'agent fondamental de la reminéralisation de la matière organique (Fig. 3). Aérobie ou anaérobie, elles se nourrissent de molécules qu'elles ingèrent par diffusion à travers la ou les membranes cellulaires. Seules les molécules de petites tailles sont susceptibles de traverser les parois. Les bactéries sont capables de sécréter dans le milieu extra-cellulaire des enzymes (appelées exo-enzymes) capables de scinder des grosses molécules organiques en molécules de plus faible poids moléculaire, ingérables à travers les membranes cytoplasmiques. Ainsi les produits qui prennent naissance à partir de substrats protéiniques sont de courts fragments peptidiques ou des acides aminés ; ceux issus de substrats glucidiques sont des oses et holosides ; enfin, ceux issus de substrats lipidiques sont des acides gras et du glycérol. Si le substrat initial est fait d'acides nucléiques, les produits dérivés sont des nucléosides et du phosphate inorganique. Les bactéries aérobies ont à leur disposition une gamme d'exo-enzymes relativement étendue, qui leur permet de s'attaquer à la plupart des substrats organiques. Au contraire, les bactéries anaérobies sécrètent des exo-enzymes beaucoup plus spécialisées, capables de scinder un nombre restreint de molécules relativement simples. On mesure donc l'importance de l'action des bactéries au-dessus du front redox, qui en s'attaquant à la matière organique marine, engendrent des substrats organiques simplifiés qui seront dégradés à leur tour par les bactéries anaérobies, sous le front redox. On comprend ainsi que, lorsque la matière organique est peu dégradée, à l'amont, par les bactéries aérobies dans des milieux de dépôts anoxiques, elle ne soit pas non plus aisément dégradable par les bactéries anaérobies, à l'aval. Ceci limite la dégradation de la matière organique marine.

En outre, d'autres mécanismes opérant à l'échelle moléculaire concourent à la préservation de la matière organique (Fig. 4).

Le premier mécanisme mis en évidence est appelé processus de dégradation-recondensation. Typiquement, lorsque, au cours de la dégradation bactérienne (oxique ou anoxique), des produits de dégradation de glucides réagissent avec des produits de dégradation de protéines, il se forme des molécules complexes, parfois de haut poids moléculaire, appelées mélanoidines. Ces mélanoidines sont très peu biodégradables et peuvent être conservées dans les sédiments et roches sédimentaires.

Le deuxième processus consiste en l'interaction de molécules organiques (lipides et glucides) et des ions sulfures (HS-/H<sub>2</sub>S) libérés au cours des réactions de sulfato-réduction évoquées plus haut. L'incorporation de soufre aux molécules organiques se fait par la création de ponts chimiques qui relient des parties d'une même molécule (ponts sulfures intramoléculaires) ou de plusieurs molécules (ponts intermoléculaires). Plusieurs ponts peuvent relier plusieurs molécules et l'on peut voir naître

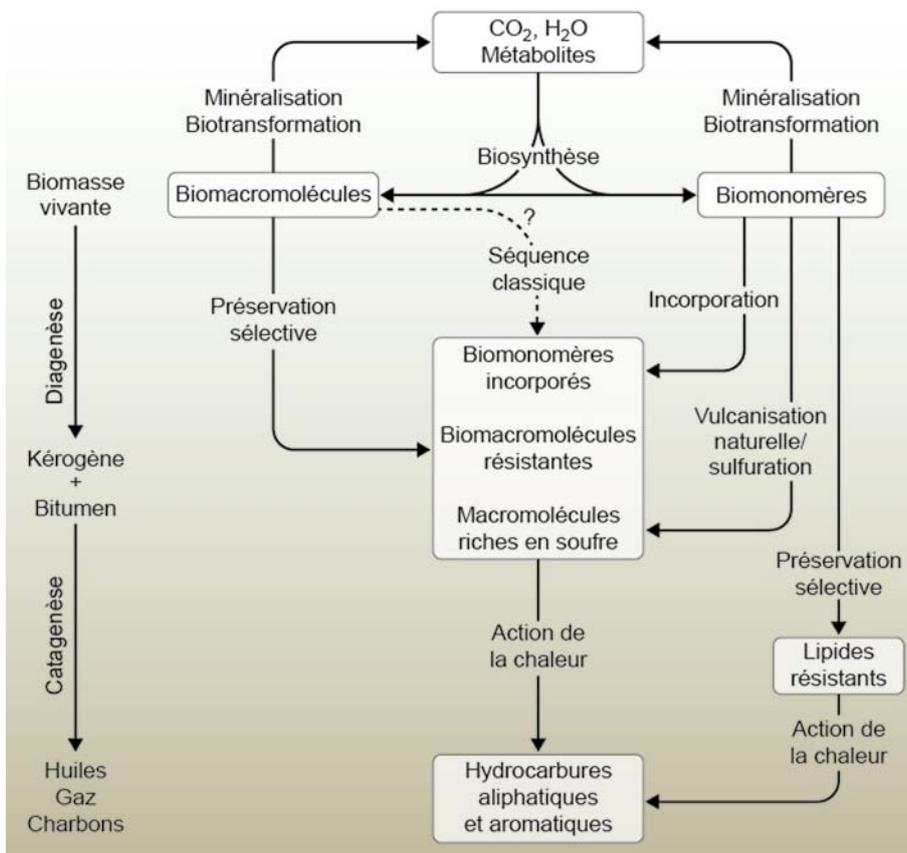


Fig. 4 : Résumé de la préservation sélective de la matière organique (initialement d'après Schulz & Zabel, 2006 et mise en couleur à partir de Baudin *et al.*, 2017 ; copyright EDP-Sciences).  
 Fig. 4: Summary of selective preservation of organic matter (originally from Schulz & Zabel, 2006 and coloring from Baudin *et al.*, 2017, copyright EDP-Sciences).

ainsi des molécules de fort poids moléculaire, qui ne seront plus reconnues par les exo-enzymes, puisque leur conformation aura changé. Ces nouvelles molécules sulfurisées (on dit aussi vulcanisées) seront non-dégradables.

Le troisième processus identifié est le phénomène d'adsorption. Les molécules organiques de très petite taille peuvent être adsorbées à la surface électriquement chargée de minéraux argileux, ou éventuellement être piégées dans les microcavités des surfaces des grains minéraux. Les exo-enzymes sont incapables de s'attaquer aux molécules électriquement retenues ou adsorbées et, d'autre part, sont trop volumineuses pour pouvoir pénétrer dans les microcavités. Les molécules organiques sont ainsi préservées. Un phénomène proche s'observe dans le cas où des petites molécules organiques (petites, donc labiles, c'est-à-dire aisément dégradées par les bactéries) sont protégées dans des micro-environnements au sein des macromolécules organiques. Ce phénomène, dit d'encapsulation, autorise par exemple la préservation d'unités protéiques à l'échelle des temps géologiques.

Au total, on constate que plusieurs phénomènes sont à même de participer à la préservation d'une partie de la matière organique marine et de faire en sorte que certains sédiments ou roches sédimentaires contiennent plusieurs dizaines de pourcents de carbone organique, alors que, d'ordinaire, on parle de roche riche en matière organique à partir de 1 % de carbone organique. Cependant dans la très grande majorité des cas, la préservation de la matière organique ne représente qu'une très faible proportion de celle qui a été produite en surface. Les environnements marins oligotrophes sont ceux qui sont le moins «conservateurs» (entre 0,01 % et 0,1 % de la production primaire est finalement fossilisée), alors que les zones d'upwellings peuvent voir se fossiliser près de 1 % de la production primaire.

## V. – CONCLUSION

Nous avons voulu expliquer les premières étapes de cette longue chaîne de réactions qui peut conduire le phytoplancton à devenir une molécule d'hydrocarbures dans, par exemple, un réservoir d'automobile. Pour l'heure, nous avons vu comment des sédiments pouvaient éventuellement devenir enrichis en matière organique, pour peu que cette dernière échappe à une reminéralisation intégrale. Avant qu'il ne soit question d'huiles ou de gaz, il va falloir attendre longtemps, très longtemps. Il faut patienter le temps que la température, qui croît avec l'enfouissement, aide la matière organique à lentement se transformer en molécules organiques à la composition chimique simplifiée, riche en hydrogène et en carbone, en d'autres mots, des hydrocarbures. La patience se mesure ici en (dizaines de) millions d'années.

Ces hydrocarbures, relativement fluides, pourront migrer vers les zones de l'enveloppe terrestre de moindre pression, c'est-à-dire migrer vers le haut. Le cas échéant, ils pourront être piégés au cours de cette migration per ascensum et les roches poreuses et perméables qui les hébergeront ne sont autres que des roches réservoirs, mais c'est une autre histoire !

**Remerciements** - Nous souhaitons remercier les éditions EDP-Sciences pour leur bienveillance et Francis Meilliez pour nous avoir entraînés dans cette aventure.

### ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

BAUDIN F., TRIBOVILLARD N. & TRICHET J., (2017). – *Géologie de la Matière Organique*. EDP-Sciences & SGF, 2<sup>e</sup> édition, 315 p.

BITEAU J.-J. & BAUDIN F., (2017). – *Géologie du Pétrole*, histoire, genèse, exploitation, ressources. Dunod, 367 p.

SCHULZ H.D. & ZABEL M., (2006). – *Marine Geochemistry*, 2<sup>nd</sup> édition, Springer, 574 p.

# Mémoire n° XVII – La Société géologique du Nord et l'histoire des sciences de la Terre dans le nord de la France

*The Société géologique du Nord and history of Earth Sciences in northern France*

La Société géologique du Nord, éditeur depuis 1870, a publié entre 1876 et 1983 vingt-cinq *Mémoires* réunis en seize tomes. Ceux-ci traitent de sujets de géologie sédimentaire, allant de la description de terrains du Paléozoïque-Mésozoïque-Cénozoïque à la géologie appliquée, en passant par la paléontologie, la pétrographie sédimentaire, le Quaternaire, et même la préhistoire. Avec ce tome XVII, la SGN reprend la publication des *Mémoires* sur un sujet nouveau : l'histoire de la Société et celle de sa discipline dans le contexte du Nord – Pas-de-Calais et des régions franco-belges environnantes. Ce *Mémoire* XVII (paru en décembre 2014) retrace 143 années de la SGN en relation avec les entreprises industrielles, les associations et les institutions régionales.



© Alain Trentesaux 2006

## Sommaire / Contents

La Société géologique du Nord et les sciences de la Terre dans le nord de la France : science, industrie et société.  
Les dix premières années de la SGN et sa place dans la société en cours d'industrialisation du XIXe siècle.  
Les financements de la Faculté des sciences de Lille par les compagnies minières : un simple échange de bons procédés ?  
Le rôle des ingénieurs des mines dans la vie industrielle, scientifique et sociale : l'exemple de Félix Broussier (1874 - 1938).  
Plus d'un siècle de femmes à la Société géologique du Nord : un reflet de leur place dans l'enseignement supérieur et la recherche française.  
Le laboratoire de Géologie, la Société géologique du Nord et le Musée d'histoire naturelle de Lille – Souvenirs d'un étudiant de géologie à Lille pendant l'Occupation (mai 1940 - juin 1944).  
René Marlière (1905 – 1993), président de la Société géologique du Nord en 1955 et professeur de géologie à la Faculté polytechnique de Mons (Belgique), 1928-1970.  
La Société géologique du Nord et le Tunnel sous la Manche : une petite histoire commune.  
La Société géologique en 1960 – une évocation personnelle.  
La période dinaro-hellénique de la Société géologique du Nord.  
D'une présidence à l'autre (1971 – 1996-97) : l'un des objectifs de la Société géologique du Nord évolue vers la sauvegarde du patrimoine.  
Le rôle de la Société géologique du Nord et de ses publications dans l'évolution des connaissances sur le Quaternaire.  
Les peintures murales de l'Institut des sciences naturelles à Lille, un patrimoine géologique à préserver.  
La bibliothèque recherche des sciences de la Terre de l'Université de Lille au fil du temps : historique du patrimoine, un fonds au service de la communauté scientifique.  
Le département de géologie du Musée d'histoire naturelle de Lille, des collections à l'image de l'histoire géologique régionale.

## Commande / Order

Société Géologique du Nord, à l'attention du Directeur de la publication  
c/o Université de Lille – Sciences et technologies, bâtiment SN5 (Sciences de la Terre)  
F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex (France)  
E-mail : [sgn-edition@univ-lille1.fr](mailto:sgn-edition@univ-lille1.fr)  
Tél. : 03 20 43 41 40 / +33 (0)3 20 43 41 40  
**Prix / Price** : 40 € TTC + 4 € de frais de port et emballage si le volume n'est pas pris au dépôt

## LES HYDROCARBURES - SITUATION ET PERSPECTIVES

### *Hydrocarbons – Present situation and prospects*

Par Jean SCHIETTECATE\*

*Résumé.* – La production mondiale d'hydrocarbures, liquides ou gazeux, continue de croître à un rythme de 1 à 2 % par an. L'exploration, et la mise en production, sont faites dans des zones de plus en plus inaccessibles, et nécessitent des investissements de plus en plus importants. Les ressources non-conventionnelles (huile et gaz de schiste) semblent avoir un fort potentiel, mais qui, hors les États-Unis, n'a pas encore été pleinement quantifié. La production française, en fort déclin, représente 1 % de la consommation nationale.

*Abstract.* – *The world production of hydrocarbons, liquid or gas, is still growing at a rate between 1 and 2 percent per annum. The exploration and production are now performed in more and more extreme conditions and necessitate ever growing investments. The non-conventional resources (shale oil and gas) appear to have a vast potential, which however, outside the U.S., has not yet been fully quantified. The french national production, which is steeply declining, represents 1 percent of total consumption..*

*Mots-clés.* – Hydrocarbures, pic pétrolier, huile/gaz de schiste, prix, production France  
*Key words.* – *Hydrocarbons, Peak oil, shale oil and gas, prices, french production.*

### I. – INTRODUCTION

Depuis les débuts de leur utilisation commerciale, vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les hydrocarbures ont pris une place de plus en plus importante dans l'économie mondiale. Nous sommes maintenant confrontés à une raréfaction de ces produits, et à un coût de plus en plus élevé de leur exploitation. Les développements récents des nouvelles techniques de production (exploitation en mer profonde ou milieu péri-arctique, exploitation des gaz et pétrole dits de schiste, gaz de mines de charbon...) ne font que reculer l'échéance.

Nous nous proposons de passer en revue les éléments suivants :

- le calendrier et le budget d'une opération d'exploration ;
- la production mondiale d'hydrocarbures et les perspectives à moyen terme ;
- la notion de pic pétrolier (Peak Oil) – essais de quantification des réserves ;
- les ressources non-conventionnelles (huile et gaz de schiste), importance et perspectives ;
- les gaz de gisements de charbon ;
- les facteurs de contrôle des prix ;
- la situation de l'exploration et de la production en France.

### II. – DÉROULEMENT D'UNE OPÉRATION DE PROSPECTION PÉTROLIÈRE

Une telle opération se déroule en trois phases :

#### 1- Exploration :

Cette phase se déroule typiquement sur une période de 3 à 5 ans. Son coût peut s'étager de 10 à 50 millions de dollars, en fonction,

notamment, des conditions géographiques.

Après analyse des données existantes, demande et obtention éventuelle d'un permis d'exploration, on procède à des relevés géologiques et à une ou plusieurs missions géophysiques (sismique, gravimétrie, magnétométrie, etc.), suivis par le forage d'un ou plusieurs puits. Il est à noter que le taux moyen de réussite, à l'échelle mondiale, est de l'ordre de 1/10.

#### 2- Estimation des réserves :

Cette deuxième phase se déroule également sur une période de 3 à 5 ans ; elle implique le forage d'un certain nombre de puits (en général 3 à 5) pour déterminer le potentiel d'une éventuelle découverte. Le coût de l'investissement atteint généralement 30 à 50 millions de dollars, mais peut être beaucoup plus élevé en milieux extrêmes (mer très profonde, zones péri-arctiques). Si les résultats sont positifs, l'opérateur dépose une demande de concession d'exploitation.

#### 3- Mise en production :

Lorsque la valeur commerciale d'un gisement a été établie, l'opérateur doit demander et peut obtenir une concession de production, généralement valable pour plusieurs dizaines d'années. Il peut alors procéder à la mise en production du gisement. Sur un gisement terrestre cette phase consistera généralement à forer un certain nombre de puits de production, et à construire toute l'infrastructure nécessaire : réseau routier, oléoducs et gazoducs, équipements de traitement et de stockage, etc. Sur un gisement marin, les forages seront complétés par la construction et l'installation de plateformes de production et de stockage, la création éventuelle d'infrastructures de soutien à terre (stockage, base navale, etc.) Les investissements varient énormément en fonction des circonstances, ils peuvent dépasser le milliard de dollars (Carmalt, 2017).

\* Ingénieur géologue retraité de l'industrie pétrolière ; e-mail : [j.p.schiettecatte@orange.fr](mailto:j.p.schiettecatte@orange.fr)

### III. – ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION PÉTROLIÈRE MONDIALE

La production actuelle (valeur 2016 – British Petroleum, 2018-a) mondiale de **pétrole brut** s'élève à environ 92 millions de barils par jour (pour mémoire : 1 baril = 159 litres, 1 baril/jour = 50 tonnes/an). Le taux de croissance annuel de la consommation est de 1 à 1,5 % par an, essentiellement à destination de la Chine et de l'Inde. La répartition géographique de cette production est illustrée ici (Fig. 1).

Les différents types de production se répartissent actuellement comme suit :

- Production terrestre (onshore) conventionnelle : 58%
- Production marine (offshore) conventionnelle : 29%
- Production terrestre non conventionnelle (pétrole de schiste et de roche imperméable) : 4 %
- Production marine profonde : 9 %

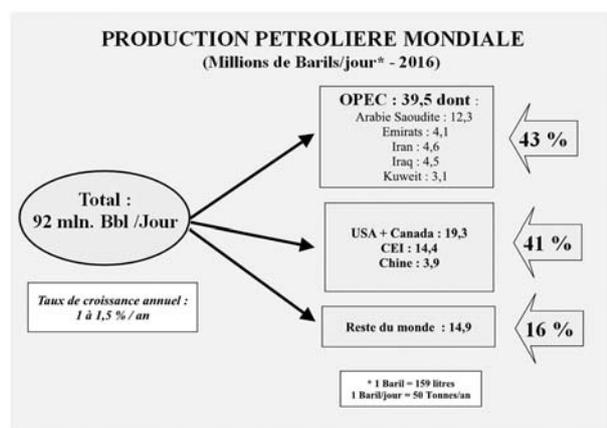


Fig. 1 – Répartition mondiale de la production pétrolière  
Fig. 1 – World distribution of petroleum production

La production mondiale de gaz naturel est égale (valeur 2016 British Petroleum, 2018a) à 3 350 milliards de mètres cubes par jour, avec un taux de croissance d'environ 2 % par an ; la répartition géographique, et l'importance des différents pays producteurs, sont indiqués en figure 2.

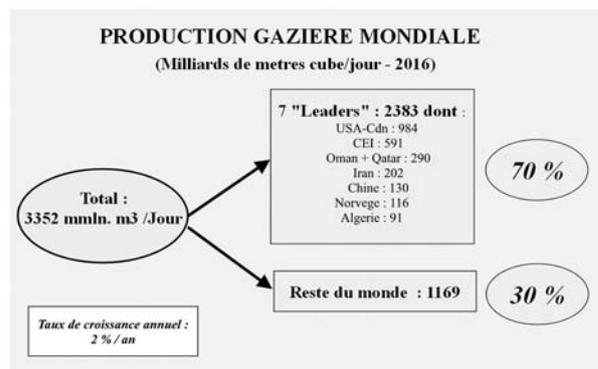


Fig. 2 – Répartition mondiale de la production gazière  
Fig. 2 – World distribution of gas production

### IV. – LA NOTION DE PIC PÉTROLIER

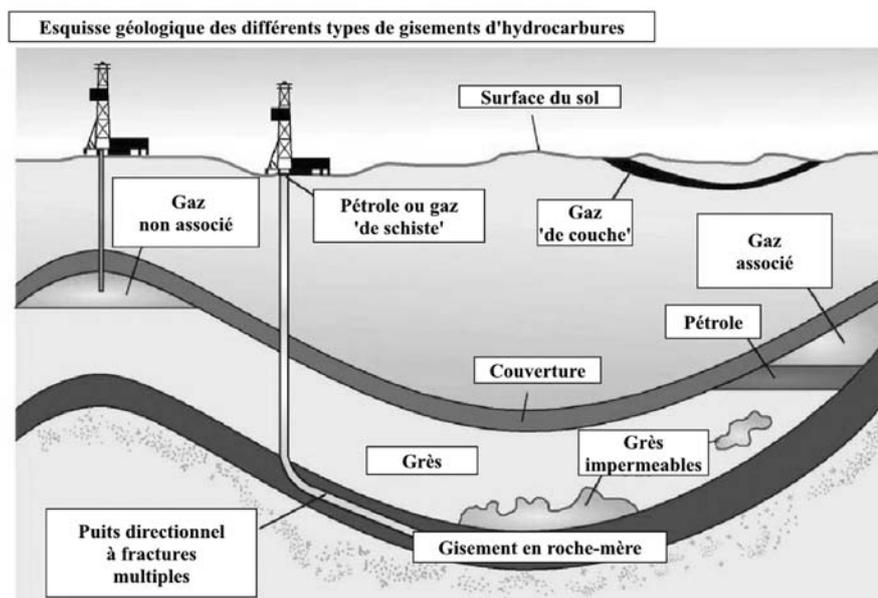
Ce concept, fréquemment cité, a été créé par un géophysicien américain, King Hubberts, en 1956. Son estimation était basée uniquement sur la production terrestre, seule technique existante à l'époque, et prévoyait un pic de production de 40 millions de barils en 1990. Cette prévision a été fréquemment révisée, au fil des développements technologiques, par différents auteurs (Mauriaud *et al.*, 2013), mais il n'existe pas à ce stade de consensus sur l'impact qu'auront les nouvelles sources (marin profond, pétrole de schiste, exploration en zones péri-arctiques...).

Le cas des réserves de pétrole non-conventionnel est particulièrement significatif. A titre d'exemple, une étude récente (Blai-zot, 2017) estime le volume de réserves exploitables de pétrole de schiste à 1500 milliards de barils, soit, à l'échelle mondiale, 50% des réserves conventionnelles initiales et le double des réserves conventionnelles restantes actuellement connues.

### V. – LES RESSOURCES NON-CONVENTIONNELLES

Ces réserves comprennent les pétrole et gaz communément appelés de schiste (shale oil et shale gas, également appelés pétrole et gaz de roche-mère), les gaz issus de gisements charbonniers (gaz de mine et gaz de couche), ainsi que les gaz issus de réservoirs imperméables (tight gas).

Fig. 3 – Schéma géologique de la répartition des gisements d'hydrocarbures  
Fig. 3 – Geological scheme of hydrocarbon fields repartition  
Source EIA



La figure 3 montre, très schématiquement, la répartition géologique de ces divers types de gisements. Les techniques d'exploitation des pétrole et gaz de schiste ont fait l'objet de nombreuses publications, sur lesquelles il n'est pas nécessaire de revenir en détail (Bauquis, 2014 ; Charon, 2014). Le cas des gaz associés aux gisements charbonniers sera traité séparément.

La figure 4 montre la répartition mondiale des bassins sédimentaires susceptibles de contenir des huiles et gaz de schiste. Parmi ceux-ci, l'Emirat de Bahreïn a récemment annoncé la découverte d'un gisement pouvant contenir 80 milliards de barils de pétrole et 14 trillions de mètres cube de gaz, ce qui représenterait des réserves supérieures à celles de l'Arabie Saoudite. Cette information est basée sur un nombre limité de forages, et doit être accueillie avec une certaine prudence.

Il convient de noter qu'à ce jour, à l'exception des États-Unis, les prospections menées dans divers points de la planète n'ont pas encore abouti à une exploitation commerciale notable. Par ailleurs, les opérations de prospection sont généralement assez mal accueillies par les populations locales. Nous nous concentrerons donc sur la situation aux États-Unis.

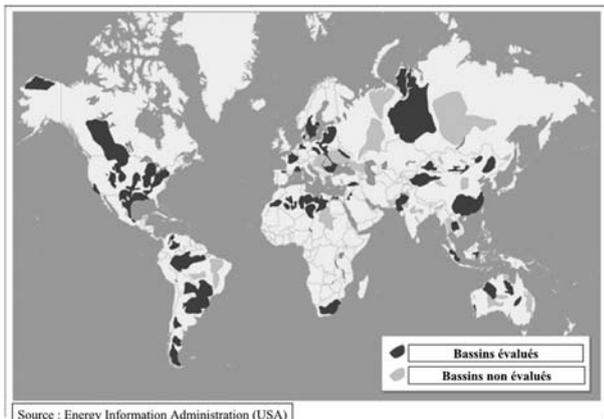


Fig. 4 – Répartition mondiale des zones potentiellement riches en pétrole et gaz de schiste

Fig. 4 – World distribution of areas potentially rich in shale oil and gas

La production de pétrole non conventionnel nord-américain a débuté en 1998, elle atteint actuellement environ 4,2 millions de barils par jour, soit environ 50% de la production totale de ces États. Les estimations actuelles (British Petroleum, 2018a) font état d'une prévision de production de 7 à 8 millions de barils à l'horizon 2030.

La production de gaz non conventionnel, qui a débuté à la même époque, atteint actuellement environ 1 milliard de mètres cube par an, avec une prévision de doublement vers 2030.

Il est à noter que le niveau de production et les perspectives de développement de cette ressource, qui sont très largement entre les mains d'opérateurs privés, et dont le coût est relativement élevé (50 à 70 \$/baril), sont très étroitement liés aux fluctuations des prix internationaux.

## VI. – LES RESSOURCES DE GAZ DE CHARBON

La Fig. 5 montre l'emplacement des principales réserves mondiales de charbon, et souligne l'emplacement des zones potentiellement propices à l'exploitation de gaz.

Il convient de distinguer deux types de gisements de gaz charbonniers :

- Le gaz de mine – Il s'agit de gaz, essentiellement du méthane, qui s'accumule dans les anciennes galeries minières. La

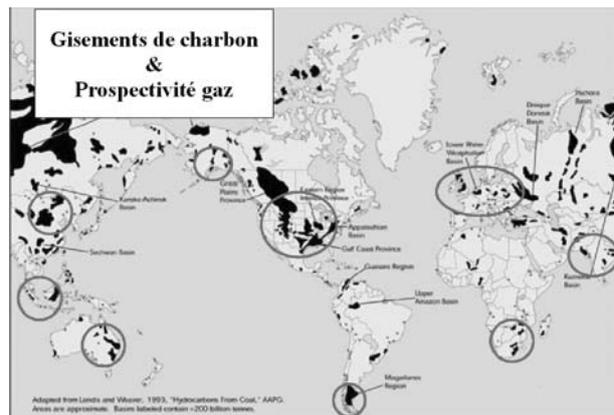


Fig. 5 – Réserves mondiales de charbon – Prospective gazière

Fig. 5 – World coal reserves – Potential gas-bearing zones

lente montée de l'eau souterraine dans ces galeries comprime l'atmosphère résiduelle, ce qui augmente la pression et constitue un danger potentiel de fuites vers la surface, via les anciens puits, forages, fractures naturelles et celles induites par les affaissements (Lemal & Meilliez, 2017). Il est donc important d'exploiter ce gaz pour éviter des accidents ; il ne sera donc pas concerné par les mesures d'interdiction de production sur le territoire français (voir § 8, infra)

Dans les gisements qui débouchent en surface (Angleterre, Borinage, Ruhr), ce gaz, généralement mélangé à de l'oxygène, ne peut être injecté dans les circuits commerciaux ; il est principalement exploité pour le chauffage urbain local ou les unités d'incinération des déchets urbains. Le gisement du Nord-Pas-de-Calais est entièrement souterrain et ne connaît donc aucune entrée spontanée d'oxygène. Depuis l'arrêt de l'exploitation charbonnière (21 décembre 1990), l'atmosphère résiduelle s'est totalement vidée de l'oxygène qui avait été injecté pour permettre aux mineurs d'y travailler. De telle sorte que la Société Metamines (puis Gazonor) qui exploite ce gaz résiduel depuis la fosse 4 d'Avion a pu s'engager contractuellement avec Gaz de France pour injecter jusqu'à 3 % en volume du gaz extrait dans les circuits commerciaux.

Le gaz de couche - Il s'agit du gaz diffus dans les veines charbonnières inexploitées. Les processus d'exploitation sont assez comparables à ceux de l'industrie gazière conventionnelle.

## VII. – FACTEURS DE CONTROLE DES PRIX

Le marché des prix de brut est soumis à de nombreux facteurs indépendants les uns des autres. Il convient d'abord de distinguer les prix « contractuels », établis pour des champs en exploitation, indexés sur un certain nombre de bruts de référence (Brent, Texas light, etc.), et publiés par des agences internationales telles que Platt's, Nasdaq, etc. Ces prix sont totalement indépendants des coûts de production, qui, selon les gisements, s'étagent entre 3 et 70 dollars par baril. Ils sont généralement établis par comparaison avec les bruts de référence, et sont essentiellement basés sur la composition chimique de ces bruts. Ils sont aussi influencés à moyen terme par les anticipations de surplus ou de pénurie, car ce marché a une très faible dose de flexibilité. Ils sont également influencés par la perception des risques politiques chez les principaux producteurs. Il convient aussi de noter que, les marchés pétroliers n'ayant pratiquement aucune flexibilité, les prix, à l'échelle mondiale, peuvent être temporairement affectés par des excédents, ou pénuries, de production.

Les achats « spot » concernent une partie relativement faible de la production mondiale. Ils sont essentiellement spéculatifs, en anticipation de risques politiques ou autres, mais peuvent aussi dépendre d'incidents de production chez tel ou tel opérateur.

Les prix des contrats gaziers sont globalement indexés sur

- Un autre élément important fut la prise de pouvoir par le colonel Kadhafi en 1969, et la nationalisation de B.P. Libye, qui fut bientôt suivie d'autres nationalisations par divers membres de l'OPEP, abolissant rapidement la position dominante des « sept sœurs ». Les conflits entre divers États proche-orientaux (Yom

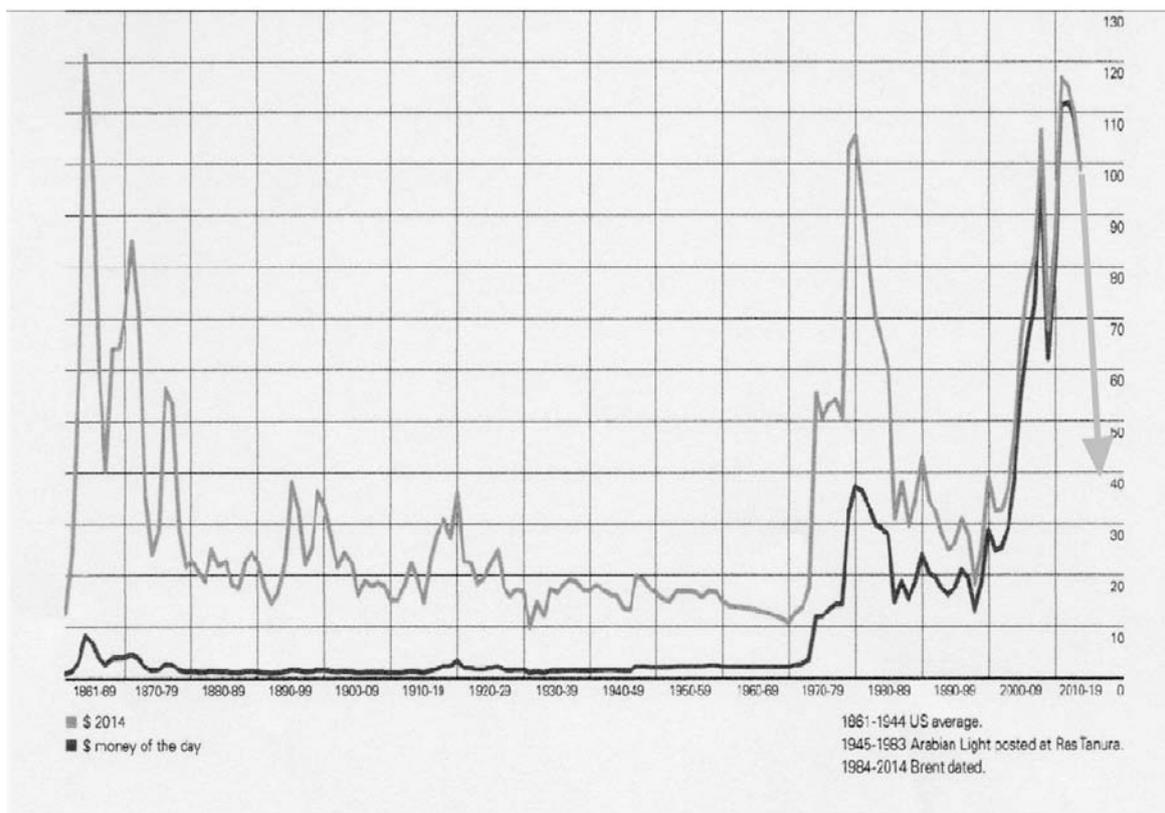


Fig. 6 – Evolution des prix de brut – 1861 à 2016

Fig. 6 – Crude oil prices – 1861 to 2016

les bruts de référence. Il convient de noter que compte tenu de la lourdeur et du manque de flexibilité des installations de production et d'exportation de gaz (usines de liquéfaction, pipelines...), les ventes sont généralement basées sur des contrats à long terme, le marché « spot » est quasiment inexistant.

La figure 6 montre l'évolution des prix de brut entre 1861 et 2016 (Wikimedia Commons, 2018). Les deux courbes représentent la valeur du baril en monnaie courante et en monnaie constante (valeur 2014). Ce graphique appelle les commentaires suivants :

- Jusqu'en 1910, la compagnie américaine Standard Oil, appartenant à N. Rockefeller, jouissait d'un quasi-monopole sur la production, presque exclusivement américaine.

- Jusqu'en 1973, sept compagnies (les « sept sœurs ») : B.P., Shell, Gulf Oil, Chevron, Esso, Mobil et Texaco contrôlaient environ 85% des marchés mondiaux. Un accord confidentiel, daté de 1928 'Accord d'Achnacarry', (Auzanneau, 2015) avait fixé les prix de tous les bruts à 3 \$ le baril rendu à New York, indépendamment de leur composition ou de leur origine.

- A partir de 1973 plusieurs événements géopolitiques modifièrent considérablement le paysage pétrolier. Le premier fut la montée en puissance de l'OPEP qui, fondée en 1960, n'avait jusqu'alors pas fait montre d'une forte activité. La première action « politique » de l'OPEP fut la décision, en 1973 d'instaurer un embargo vers les États-Unis, suite à la guerre du Kippour; les prix de brut bondirent brutalement à environ 15 dollars/baril

Kippour, guerres du Golfe, etc...) contribuèrent à déstabiliser les marchés. Cette instabilité s'est perpétuée depuis. Il convient néanmoins de noter que la politique de l'OPEP qui a consisté à attribuer des quotas de production à ses différents membres, a, jusqu'à récemment, contribué à une certaine stabilisation des marchés. L'influence de l'OPEP est actuellement quelque peu affaiblie, en raison de la situation politique instable de certains membres, notamment l'Irak et la Libye, et de l'embargo pétrolier, récemment partiellement aboli, touchant l'Iran.

- La chute brutale des prix, à partir de 2016, est due à une surproduction, d'environ 1,5 à 2 millions de barils/jour, due essentiellement à une forte reprise de production de l'Irak et de l'Iran.

- A partir de 2017, un accord entre l'OPEP, la Russie et d'autres pays producteurs, s'engageant à ne pas augmenter leur production, a permis une relative stabilisation des prix, entre 60 et 70 dollars par baril.

#### VIII. – SITUATION DE L'EXPLORATION ET PRODUCTION EN FRANCE

Les figures 7 et 8 montrent la répartition géographique des diverses zones potentiellement prospectives, ainsi que les permis et concessions actuellement en activité. Il est à noter que la fracturation hydraulique à des fins d'exploration d'hydrocarbures étant interdite en France, aucun permis d'exploration n'est attribué dans les zones correspondantes (basse vallée du Rhône).

Par ailleurs, Total, qui dispose d'un permis d'exploration en mer profonde au large de la Guyane Française (Fig. 8) a annoncé en 2011 la découverte probable d'un gisement gazier. La validité de ce permis a été prolongée jusqu'en 2019.

Une nouvelle loi pétrolière, votée en décembre 2017, prévoit l'interdiction de l'exploration et de l'exploitation des hydrocarbures après 2040. Seule la production de gaz de mine dans le nord de la France et en Lorraine ne sera pas touchée par

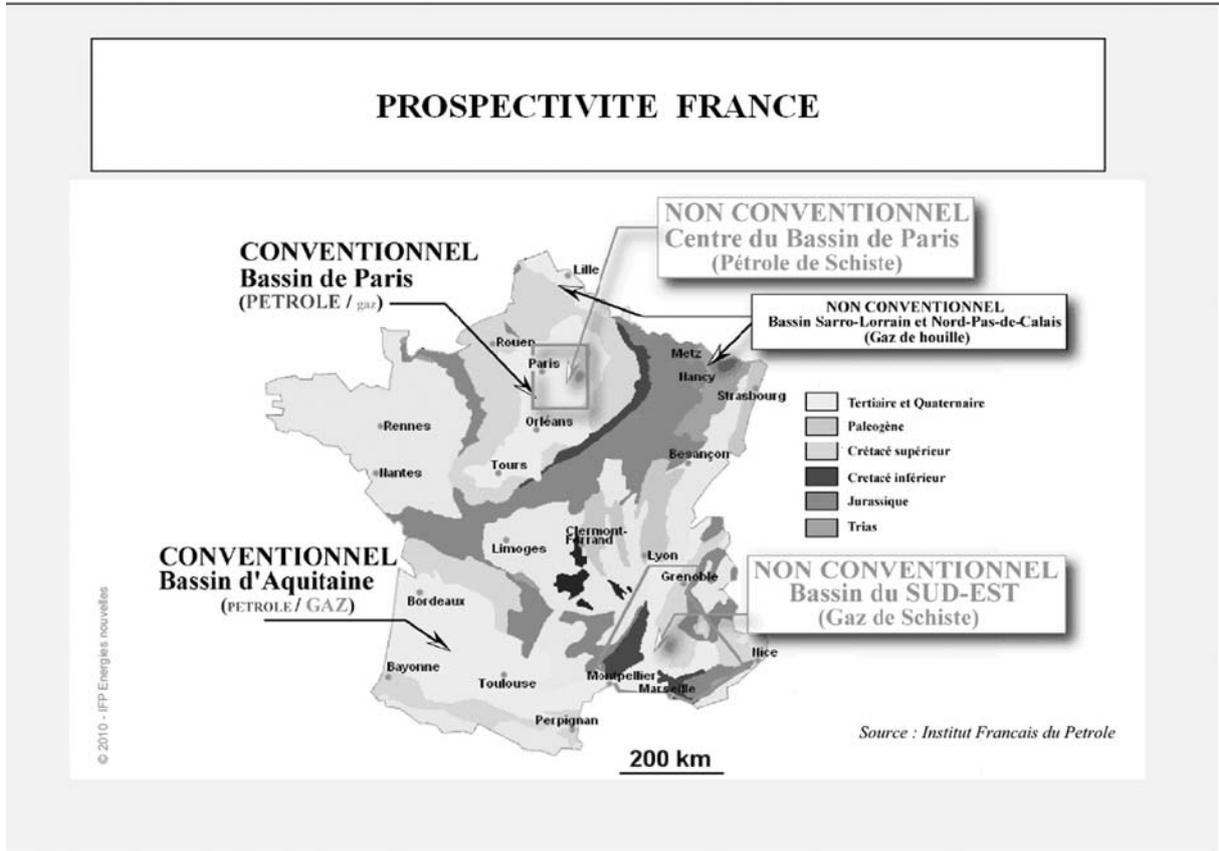


Fig. 7 – Répartition des zones potentiellement prospectives en France (source I.F.P.)  
 Fig. 7 – Potentially prospective areas in France (source : I.F.P.)



Fig. 8 – Répartition des Permis de Recherches et Concessions de Production dans les territoires français  
 Fig. 8 – Location of Exploration Permits and Production Concessions in French territories

La production pétrolière française, en fort déclin depuis 1988, est d'environ 15 000 barils/jour (fig. 9) et ne représente que 1 % de la consommation nationale. Cette production est située dans la partie est du Bassin de Paris, et dans le sud-ouest de l'Aquitaine

cette mesure. A cette date, sept concessions de production seront encore valides (dont l'une jusqu'en 2054). Les éventuelles modalités de compensation pour les investissements d'exploration et les concessions d'exploitation restent à définir.

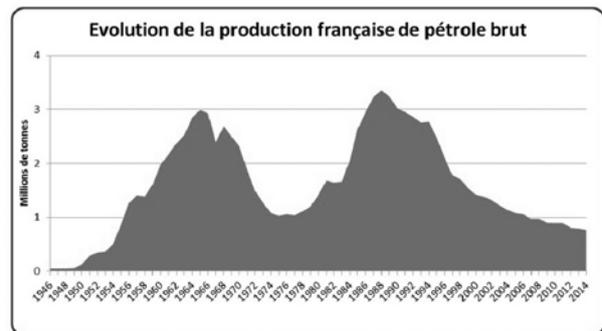


Fig. 9 – Profil de production pétrolière en France (1946 – 2014)  
 Fig. 9 – French oil production profile (1946 – 2014)

BIBLIOGRAPHIE

- AUZANNEAU M. (2015) – *Or noir – La grande histoire du pétrole* – Éd. La Découverte : 702 p. [www.editionsladecouverte.fr](http://www.editionsladecouverte.fr)
- BAUQUIS P.R. (2014) – *Parlons gaz de schiste* – Éd. La Documentation Française : 92 p. - [www.ladocumentationfrancaise.fr](http://www.ladocumentationfrancaise.fr)
- BLAIZOT M. (2017) - *Les réserves mondiales de pétrole non conventionnel...* in : *Bulletin de la Société Géologique de France*, Vol. 188 : 9 p. – <https://doi.org/10.1051/bsgf/2017199>
- BRITISH PETROLEUM (2018a) - *Energy outlook* – [www.bp.com/en/global/energy-economics/energy-outlook.html](http://www.bp.com/en/global/energy-economics/energy-outlook.html)
- BRITISH PETROLEUM (2018b) – *B.P. statistical review of world energy* – [www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html](http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html)
- CARMALT S.W.(2017) – *The economics of oil* – Éd. Springer : 115p. - [www.springer.com](http://www.springer.com)
- CHARON G. (2014) – *Gaz de schiste : la nouvelle donne énergétique* – Éd. Technip : 300 p. [www.editions.technip.com](http://www.editions.technip.com)
- KEREBEL C. (2009) – *La gouvernance mondiale de l'énergie* – Éd IFRI : 256 p. – [www.ifri.org](http://www.ifri.org)
- LEMAL S. & MEILLIEZ F. (2017). – *L'Après-Mine, un nouveau chapitre scientifique du Bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais. Annales de la Société géologique du Nord*, 2<sup>e</sup> série, **24** : 59-68.
- MAURIAUD P., BRETON P. & DE WEVER P. (2013) – *La faim du pétrole* – Éd EDP sciences : 220 p. [www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)
- NIES S. (2011) – *Oil and gas to Europe* – Éd IFRI : 210 p. - [www.ifri.org](http://www.ifri.org)
- WIKIMEDIA COMMONS (2018). – *Oil prices* - [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:\\_Oil\\_prices](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:_Oil_prices)

## PEAK ALL ET SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE

par Barbara NICOLOSO<sup>1</sup>

*Résumé.* – Le pic de consommation des ressources fossiles et métalliques, le peak all, constitue un véritable enjeu pour la transition énergétique et le défi climatique. Le sujet de la raréfaction des ressources laisse place à celui de l'abondance face aux impacts en termes de consommations d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre de l'extractivisme. Les objectifs réglementaires internationaux et nationaux en matière de transition énergétique et lutte contre le dérèglement climatique sont clairs : nos consommations d'énergie doivent être réduites de moitié d'ici 2050. En venant renforcer les économies d'énergie résultant de l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables, la sobriété énergétique, ou maîtrise de la demande en énergie par des changements de comportements individuels et collectifs, permet de limiter les externalités négatives de nos modes de vie, de production, et d'échanges actuels et à venir sur la nature et le climat.

*Abstract.* – *The peak of consumption of fossil energy, mineral and metal resources, also named "peak all", is an important issue for the energy transition and the climate change challenge. The impacts of extractivism on energy consumptions and greenhouse gas emissions prove that it is rather a problem of abundance than scarcity. Legally-binding international and national climate and energy targets are precise: our energy consumption must be reduced by half by 2050. By changing our individual and collective behaviors towards energy, energy sufficiency reinforces the reduction of energy consumptions produced by energy efficiency and the implementation of renewable energies and limit their impacts on nature and climate.*

*Mots-clés.* – Ressources, pic de consommation, changement climatique, sobriété énergétique  
*Key words.* – Resources, peak of consumption, climate change, energy sufficiency.

### I. - INTRODUCTION

Le *peak all* ou *peak everything* peut être compris comme la survenue concomitante d'un pic d'exploitation des réserves de pétrole et des réserves de ressources minérales, en particulier des métaux. Un pic (*peak* en anglais) s'apparente au moment où l'exploitation d'une ressource (fossile, minérale, végétale) culmine à l'échelle mondiale, avant de décliner du fait de la raréfaction des ressources disponibles.

Le développement de nos sociétés contemporaines ces deux derniers siècles a été rendu possible par l'exploitation de ressources fossiles et fissiles (pétrole, charbon, gaz, uranium) permettant la production d'une énergie abondante et bon marché (Debeir, Deléage & Hémerly, 2013). L'usage et la diffusion massive de « nouvelles technologies » ainsi que la numérisation d'un certain nombre d'activités humaines depuis les années 1980 ont entraîné une exploitation exponentielle des ressources minérales métalliques, entrant dans la composition des artefacts électroniques (Flipo, Dobré & Michot, 2013).

De nombreuses ressources sont aujourd'hui surexploitées, ce qui contribue à leur raréfaction et amplifie leurs impacts négatifs sur les écosystèmes et le climat.

### II. - LES ENJEUX DU PEAK ALL

#### L'impact énergétique de l'extractivisme

On assiste depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle à une explosion de la demande énergétique. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la consommation énergétique a été multipliée par sept (Grübler & Nakićenovic, 1996). L'exploitation de nouvelles sources d'énergie est à mettre en parallèle avec des évolutions technologiques. La première révolution industrielle au début du XIX<sup>e</sup> siècle a

permis, via le charbon, le développement des trains et bateaux à vapeur. La seconde révolution industrielle du début du XX<sup>e</sup> siècle a permis, via le pétrole, le développement de l'automobile individuelle et des matières plastiques. Nous connaissons actuellement une troisième révolution industrielle, basée sur le développement massif des énergies renouvelables et de l'hydrogène, fortement liés au développement des nouvelles technologies (Rifkin, 2013). En 2016, 87 % de l'énergie consommée est d'origine fossile (pétrole, gaz, charbon), 92 % en prenant en compte le nucléaire et l'uranium (ENERDATA, 2017)

Il existe ainsi un lien très étroit entre un pic des ressources fossiles et un pic des ressources métalliques dans la mesure où l'extraction de ces ressources du sol nécessite l'usage de très grandes quantités d'énergie. L'indice EROI (*Energy Return On Energy Invested*) permet de calculer la quantité d'énergie nécessaire à l'extraction d'une quantité donnée. A titre d'exemple, il faut 2 à 3 barils de pétrole pour produire 100 barils de pétrole dans les champs pétroliers d'Arabie Saoudite contre 1 baril pour en produire 3 dans le cas des sables bitumineux du Canada (Bihouix, 2014)

De plus, les réserves facilement accessibles s'épuisent, de nouveaux gisements jusque-là économiquement non viables et concentrant moins de minerais, le deviennent.

#### Un état des réserves fluctuant

L'état des réserves fossiles et métalliques constitue un sujet quasi constant de controverse. Cela peut s'expliquer par le caractère auto correcteur des fluctuations économiques dues à la raréfaction des réserves disponibles. En effet, la hausse des prix stimule l'exploration de gisements jusque-là trop onéreux, ce qui engendre la création de nouvelles réserves, avec une augmentation de l'offre et une baisse des prix.

<sup>1</sup> Virage énergie, 23 rue Gosselet 59000 Lille ; [bnicoloso@virage-energie.org](mailto:bnicoloso@virage-energie.org)

C'est ainsi que l'exploitation d'hydrocarbures non conventionnels (« gaz de schiste », sables bitumineux) au tournant des années 2010 en Amérique du Nord a entraîné une chute des prix de l'énergie et retiré de l'agenda médiatique et politique la survenue imminente d'un pic pétrolier.

Tout comme pour les réserves fossiles, les réserves de minerais métalliques facilement accessibles sont très largement exploitées, au point de rendre la disponibilité de certains métaux critique. La massification des appareils électroniques et leur mauvais recyclage créent des tensions sur la disponibilité des métaux. C'est le cas notamment du cuivre dont l'épuisement des réserves connues est estimé par l'*United States Geophysical Survey*, à une trentaine d'années au rythme d'exploitation actuel.

#### **Des vulnérabilités géopolitiques**

Les métaux sont des ressources stratégiques sujettes à des enjeux géopolitiques. En effet, la France, et l'Union Européenne d'une manière générale, disposent pour des raisons géologiques de très peu de gisements de matières premières métalliques. La quasi-totalité des ressources fossiles et métalliques utilisées en Europe sont importées d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine. Certaines de ces zones géographiques sont confrontées à des conflits ou des instabilités politiques récurrents qui peuvent entraîner des ruptures d'approvisionnement et une fluctuation du prix des ressources, ce qui accroît la vulnérabilité matérielle des pays importateurs. (Pitron, 2018)

Des ressources, comme le cobalt (présent dans les batteries de téléphones portables, ordinateurs, voitures électriques), sont considérées comme des « minerais de conflit » dans la mesure où leur valeur stratégique génère ou entretient des conflits armés notamment en République démocratique du Congo.

#### **Des impacts environnementaux et sociaux**

L'extractivisme a de forts impacts environnementaux et sociaux. Exploiter une ressource naturelle suppose de l'extraire d'un environnement donné et donc d'en modifier les caractéristiques. Cela peut avoir un impact sur les écosystèmes (sol, eau, air), la biodiversité et les paysages. De plus, l'une des conséquences du réchauffement climatique est l'apparition de gisements jusque-là inconnus, ou non rentables car difficilement accessibles. Le développement ces dernières années de missions de prospection de certains États et entreprises privées dans l'Arctique témoigne de l'appétence pour les gisements rendus accessibles par la fonte du permafrost et de la banquise (Bednik, 2016).

Les conditions d'exploitation de ces gisements sont souvent rudes, exposant les travailleurs à de nombreux risques, amplifiés par des manquements aux normes sanitaires et environnementales, comme cela peut être régulièrement constaté dans certaines mines de terres rares en Afrique ou Asie (Flipo, Dobré & Michot, 2013).

Le recyclage des minerais avec les technologies actuelles est également très consommateur d'énergie. De plus, du fait du principe d'entropie, un minerai ou un objet ne peut jamais être recyclé en totalité et de manière infinie, la matière étant dégradée à chaque phase de recyclage (Georgescu-Roegen, 1971). L'obsolescence programmée d'un certain nombre d'appareils électroniques et la complexité de leurs compositions rendent bien souvent le coût du rachat d'un produit neuf plus intéressant que le coût d'une réparation, ce qui engendre des quantités énormes de déchets électroniques riches d'éléments dont les réserves sont par ailleurs en voie d'épuisement.

### **III. - L'URGENCE CLIMATIQUE COMME LIMITE À L'EXTRACTIVISME**

Toutefois, la problématique de raréfaction des ressources fossiles et métalliques se révèle être en réalité une problématique d'abondance quand il est question de l'impact de la combustion et de l'usage de ces ressources sur l'environnement, et en particulier sur le climat.

Les ressources fossiles étant majoritairement composées de carbone, leur combustion est fortement émettrice de gaz à effet de serre, ce qui joue un rôle déterminant dans le processus de réchauffement climatique de la planète (Landrieu, 1994).

En 2009, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) tire la sonnette d'alarme en appelant à l'atteinte du « pic des émissions de CO<sub>2</sub> » le plus rapidement possible et à une baisse drastique des consommations d'énergie d'origine fossile. Dans son rapport de synthèse sur les changements climatiques à l'intention des décideurs en 2014, le GIEC précise que « si elles se poursuivent, les émissions de gaz à effet de serre provoqueront un réchauffement supplémentaire et une modification durable de toutes les composantes du système climatique, ce qui augmentera la probabilité de conséquences graves, généralisées et irréversibles pour les populations et les écosystèmes. Les émissions cumulées de CO<sub>2</sub> détermineront dans une large mesure la moyenne mondiale du réchauffement en surface vers la fin du XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà ».

Afin de ne pas dépasser la barre des 2 °C de réchauffement climatique d'ici 2100 par rapport à l'ère préindustrielle, 80 % des réserves d'énergies fossiles, actuellement identifiées, devraient rester dans le sol. Autrement dit, il ne faudrait pas consommer plus de 20 % des réserves d'énergies fossiles prouvées et disponibles économiquement d'ici à 2050. (Meinshausen *et al.*, 2009)

Depuis le début des années 1990, les États et les pouvoirs publics se sont saisis de cette problématique. C'est ainsi que la loi de transition énergétique pour la croissance verte de 2015 fixe comme objectif pour la France de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 40 % d'ici 2030 et de 75 % d'ici 2050, par rapport à celles de 1990.

Répondre à ces objectifs suppose d'interroger les besoins énergétiques de nos sociétés afin d'engager une descente progressive de nos consommations associant aussi bien les acteurs publics et privés que les citoyens.

### **IV. - LA SOBRIÉTÉ, CONCEPT CLÉ POUR MENER À BIEN LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET RÉPONDRE AU DÉFI CLIMATIQUE**

Afin de sortir de la situation d'ébriété énergétique dans laquelle nos sociétés contemporaines se trouvent et de limiter le réchauffement climatique en dessous de 2 °C, l'adoption de modes de vie et d'organisation collective moins consommateurs d'énergie et moins émetteurs de gaz à effet de serre apparaît comme inévitable.

Cette démarche de sobriété énergétique interroge notre rapport aux objets et à leurs usages en recentrant les réflexions sur la notion de besoin. Par exemple, un besoin de mobilité peut être comblé par l'usage d'une voiture à essence, d'une voiture électrique, d'un vélo, de la marche à pied, etc. La sobriété énergétique se distingue de l'efficacité énergétique, qui fait appel exclusivement à des technologies permettant de réduire les consommations d'énergie à l'échelle d'un objet ou d'un sys-

tème donné (véhicule moins consommateur, bâtiment rénové, etc.) (Virage Énergie, 2013).

Une société engagée dans la sobriété énergétique modifie ses normes sociales, ses besoins individuels et ses imaginaires collectifs au profit d'une réduction volontaire et organisée des consommations d'énergie. Parallèlement, cette démarche collective permet de limiter les externalités négatives des modes de consommation et de production actuels (pollutions, bruit, problèmes de santé, etc.) et participe à une amélioration générale de la qualité de vie des populations. Elle permet également d'associer les citoyens à des démarches de transition énergétique en les impliquant dans la mise en place de stratégies locales et territoriales de réduction des consommations d'énergie et de lutte contre le réchauffement climatique (Virage Énergie, 2016).

En 2016, dans le cadre d'un programme Chercheurs Citoyens mené avec le laboratoire CERAPS et financé par le Conseil Régional Hauts-de-France et l'ADEME, Virage Énergie a réalisé l'étude *Mieux Vivre en Nord-Pas de Calais* : pour un virage énergétique et des transformations sociétales, qui explore aux horizons 2025 et 2050 les gisements d'économies d'énergie et d'emplois associés à des changements profonds de modes de vie et d'organisations économiques et sociales. Cette étude présente plusieurs scénarios de sobriété énergétique et donne à voir les modifications sociétales nécessaires pour tendre vers une région Nord-Pas-de-Calais énergétiquement sobre en 2025 et 2050.

D'une « société fragmentée » à un « virage sociétal », la réduction de l'empreinte énergétique régionale, reposant à la

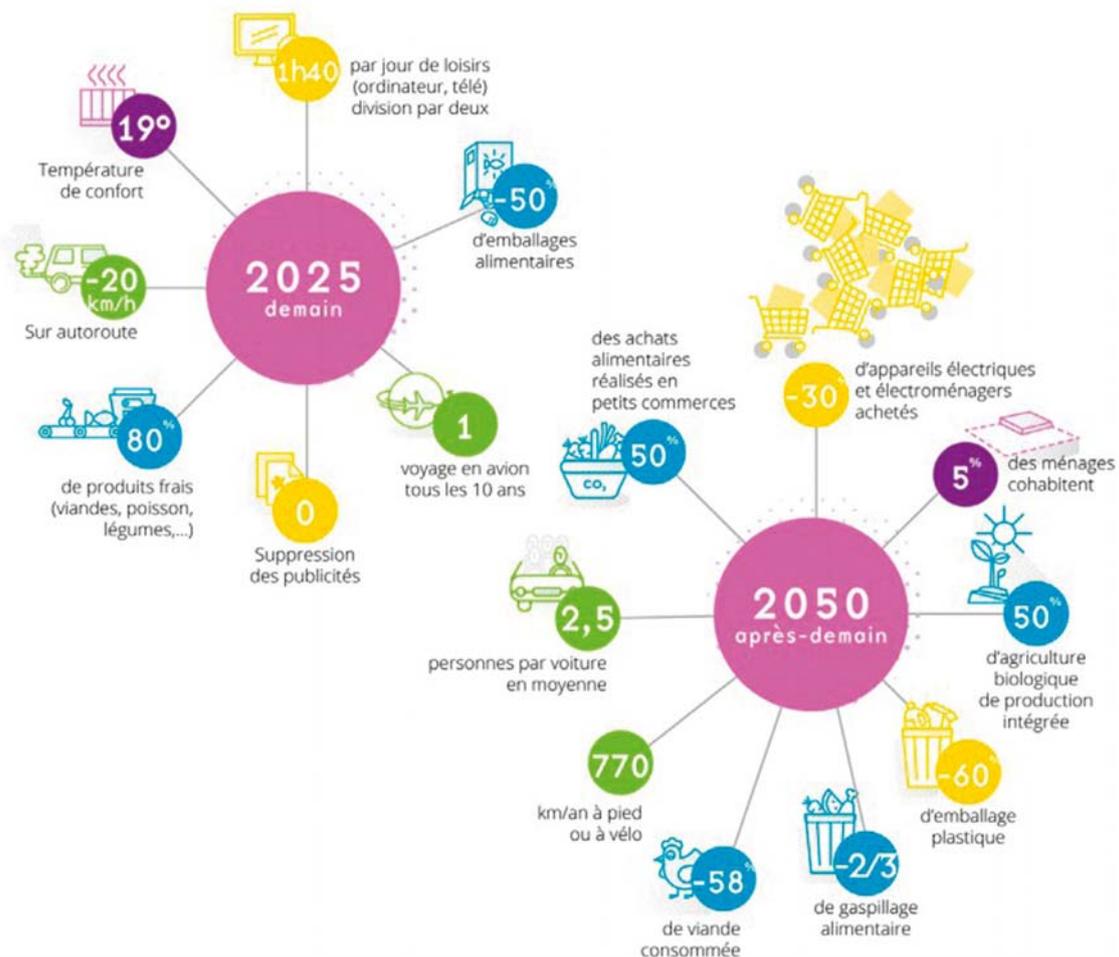
fois sur la sobriété et l'efficacité énergétique, est potentiellement supérieure à 70 % pour le scénario le plus ambitieux. Une telle trajectoire ouvre la voie vers une adéquation entre la demande régionale en énergie et une production 100 % énergies renouvelables. Cela engendrerait également des bénéfices économiques, sanitaires et environnementaux ainsi que la création nette de 67 000 emplois en région à l'horizon 2050 (Virage Énergie, 2016).

## V. - CONCLUSION

La finitude matérielle des ressources fossiles et minérales apparaît comme une menace de plus en plus tangible pour le développement de nos sociétés contemporaines. Les conséquences environnementales de l'exploitation de ces ressources depuis plus de deux siècles supposent que nous repensons notre modèle de développement et notre rapport à la nature.

La sobriété énergétique apparaît comme une voie complémentaire à l'efficacité énergétique et au développement des énergies renouvelables pour sortir nos sociétés contemporaines de leur dépendance aux énergies fossiles et à un extractivisme aux conséquences environnementales et climatiques considérables.

Figure 1 : La sobriété au quotidien en 2025 et 2050 (Virage Énergie, 2016)  
Figure 1: Sufficient daily life in 2025 and 2050 (Virage Énergie, 2016)



BIBLIOGRAPHIE

- BEDNIK A. (2016) - *Extractivisme, Exploitation industrielle de la nature : logiques, conséquences, résistances*, Le Passager clandestin, 370 p.
- BIHOUIX P. (2014). - *L'âge des low tech. Vers une civilisation techniquement soutenable*, Le Seuil, 336 p.
- DEBEIR J.-C., DELÉAGE J.-P. & HÉMERY D. (2013). — *Une histoire de l'énergie*, Flammarion, 590 p.
- ENERDATA, (2017). — *Bilan énergétique mondial*, Édition 2017, 35 p.
- FLIPO F., DOBRÉ M. & MICHOT M. (2013). — *La face cachée du numérique : L'impact environnemental des nouvelles technologies*, Editions L'échappée, 135 p.
- GEORGESCU-ROEGEN N. (1971). — *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, 1971, 472 p.
- GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (2014). — *Changements climatiques 2014, Rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs*, 33 p.
- GRÜBLER A. & NAKICENOVIC N. (1996). — *Decarbonizing the Global Energy System, Technological Forecasting and Social Change*, Volume 53, Number 1, September 1996, p.97-110
- LANDRIEU G. (1994). — *Les impacts des énergies fossiles sur l'environnement*. Entretiens de la Villette « L'énergie : un concept des usages des enjeux », mars 1994, Paris. 34 p.
- MEINSHAUSEN M., MEINSHAUSEN N., HARE W., RAPER S.C.B., FRIELER K., KNUTTI R., FRAME D.J. & ALLEN M. (2009). — *Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2°*, Nature, doi: 10.1038/nature08017
- PITRON G. (2018). — *La guerre des métaux rares : la face cachée de la transition énergétique et numérique*, Les Liens qui libèrent, 296 p.
- RIFKIN J. (2013). — *La troisième révolution industrielle*, Ed. Actes Sud, 411 p.
- SALOMON T., JEDLICZKA M. & MARIGNAC Y. (2015). — *Manifeste négaWatt, En route pour la transition énergétique !*, Ed. Actes Sud, 390 p.
- VIRAGE ÉNERGIE NORD PAS DE CALAIS (2008). — *Energies d'avenir en Nord-Pas de Calais, Quelles solutions au dérèglement climatique ?*, 258 p.
- VIRAGE ÉNERGIE NORD PAS DE CALAIS (2013). — *Scénarios de sobriété énergétique et transformations sociétales*, Rapport complet, 274 p.
- VIRAGE ÉNERGIE NORD PAS DE CALAIS (2016). — *Mieux-vivre en Nord-Pas de Calais : pour un virage énergétique et des transformations sociétales*, 365 p.

## LE BIOGAZ, UNE ENERGIE RENOUVELABLE EN PLEINE EVOLUTION

### Biogas, an evolving renewable energy source

Par Jacques ROUGÉ\*

Mots-clés. – Développement durable, gaz des marais, techniques, gaz naturel, transition.  
Key words. – Sustainable development, swamp gas, technics, natural gas, transition.

Le biogaz est connu depuis plusieurs siècles, sous le nom de « Gaz des Marais », à l'origine des feux follets. Après les chocs pétroliers des années 1970, des organismes de recherche ont voulu développer cette énergie en France. Ainsi en 1980, a été créé un Département Recherche, dédié à cette énergie, au sein de la Direction des Etudes et Techniques Nouvelles de Gaz de France. La première réalisation d'envergure a été l'usine de traitement des déchets d'Amiens, dans la Somme (Usine Valorga). Le développement du biogaz a connu une accélération importante quand il a été possible de l'injecter — ou plutôt d'injecter le biométhane, c'est-à-dire un biogaz épuré — dans les réseaux de distribution de Gaz Naturel, réseaux de 4 à 16 bars de pression, gérés par GrDF, et les réseaux de transport de plus de 60 Bars de pression, gérés par GRTGaz. Les discussions ont été longues parce que la constance du pouvoir calorifique et de la composition du gaz sont un souci constant de l'industrie gazière.

En 2016, la loi française de transition énergétique, votée en application de l'accord de Paris consécutif à la COP 21 (<https://www.gouvernement.fr/action/la-cop-21>), a reconnu toute sa place au biogaz. En effet, parmi les objectifs chiffrés par cette disposition législative, on note que la production d'électricité devrait comporter, en 2030, 40% d'énergies renouvelables contre 20% aujourd'hui. Cela représente 19 000 MW d'électricité ou de chaleur supplémentaire d'origine renouvelable à produire. Les

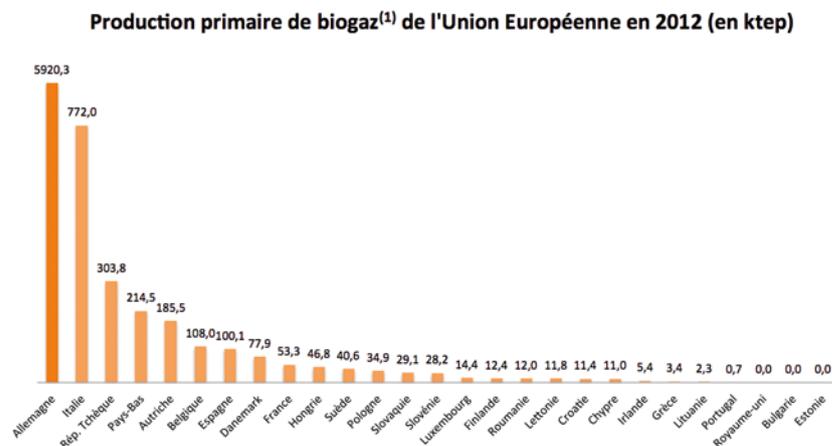
énergies citées pour parvenir à cet objectif sont les suivantes :

- Eoliennes terrestres, pour environ 30 % de ces 19 000 MW efficaces ;

- Un groupe de quatre énergies représentant environ chacune 10% de cette quantité d'énergie, dans lesquelles on trouve le biogaz (Ces quatre énergies renouvelables sont l'éolien en mer, les pompes à chaleur et la géothermie, le photovoltaïque et le biogaz) ; le biogaz va donc atteindre le « TOP 5 » des énergies renouvelables.

Le graphique de la Figure 1 montre que le potentiel de développement du biogaz existe. La comparaison avec l'Allemagne est édifiante. Le processus de fabrication et d'utilisation du biogaz est, quant à lui, résumé dans le schéma de la Figure 2 selon la documentation diffusée au public par GrDF.

La matière première nécessaire au biogaz est constituée par des déchets. Selon les unités de transformation, les déchets proviennent de l'agriculture et de l'industrie agro-alimentaire, de la restauration collective, des déchets urbains biodégradables ou verts, des boues de station d'épuration ou encore provenant de décharges équipées d'installation de collecte. Le plus grand nombre de projets en développement provient, à ce jour, d'exploitations agricoles avec élevage. Les matières destinées à être transformées en biogaz sont stockées dans des réceptacles en béton de plusieurs centaines de m<sup>3</sup>. Ces matières sont constituées



Source : EurObserv'Er – État des énergies renouvelables en Europe – édition 2013

<sup>(1)</sup> biogaz issu des unités décentralisées de biogaz agricole, unités de méthanisation des déchets municipaux solides, unités centralisées de codigestion et multiproduit

Figure 1 - Figure 1

\* 3, allée Roland de Provins, 59840 LOMPRET ; [rouge\\_jacques@orange.fr](mailto:rouge_jacques@orange.fr)

par du lisier mélangé à des résidus herbeux, collectés sur les fermes (parties non exploitées des maïs, parties non valorisables des cultures, herbacées provenant des bas-côtés de routes, éventuelle collecte des produits de la tonte des jardins avoisinants, etc.). Il est à noter que le biogaz s'inscrit dans une dynamique de type « économie circulaire » et qu'il n'est donc pas souhaitable d'engendrer une quantité trop importante de cultures exclusivement dédiées à ce processus.

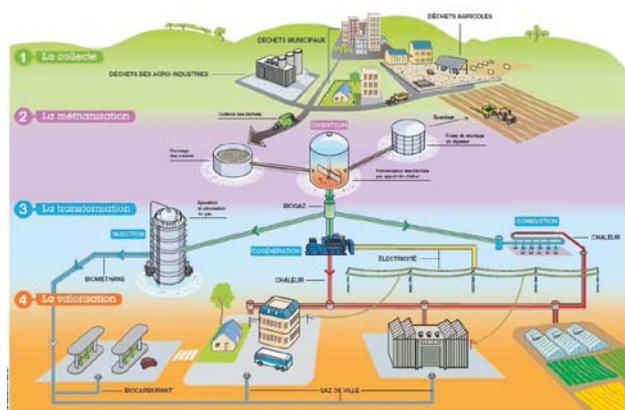


Figure 2 - Figure 2

Le biogaz reste un gaz combustible et son utilisation engendre des émanations de CO<sub>2</sub>. Mais ces émanations sont moins importantes que celles des hydrocarbures liquides ou du charbon. De plus, le traitement des déchets par la méthanisation évite le processus naturel lent de décomposition qui produit du méthane dans l'atmosphère, un gaz beaucoup

plus nocif que le CO<sub>2</sub> pour l'effet de serre. L'installation de production de biogaz comporte un digesteur, où les matières organiques entrent en fermentation dans un environnement dépourvu d'oxygène. Le digesteur doit être alimenté de façon que le processus de fermentation soit constamment entretenu. Le gaz est ensuite utilisé dans l'exploitation, ou transformé en énergie locale, soit par cogénération, soit pour produire de l'électricité. La meilleure rentabilité économique est obtenue si le gaz est injecté sur le réseau de transport ou de distribution. Dans ce cas, il doit être épuré des éléments non compatibles avec l'injection dans le gaz naturel. Cette opération nécessite la mise en place d'un appareil de dimensions métriques. Puis il atteint le « poste d'injection », où il est odorisé, fait l'objet de contrôles de qualité et de régulation de pression. L'installation de production de biogaz nécessite donc une attention continue, comme toute installation gazière. Il n'est pas rare que cela génère un emploi supplémentaire sur une exploitation de taille moyenne.

Quelles sont les perspectives dans les Hauts-de-France ? La Région développe une action importante nommée REV3, fondée sur la transition énergétique et sur les technologies numériques, dans une perspective de grands changements dans notre façon de vivre. La prise en compte des potentialités du biogaz a été intégrée dans cette perspective alors que le scénario ADEME prévoit qu'en 2050 la proportion de biogaz dans le gaz consommé en France soit de 40%. Les objectifs du GrDF sont de 66% dans les Hauts-de-France, avec notamment la mise en œuvre de procédés novateurs utilisant des algues. Ceci ne signifie pas que les quantités que le biogaz produira en 2050 sont égales à 66% du gaz distribué à l'heure actuelle, puisque la loi de transition énergétique prévoit une réduction de 75% (facteur 4) par rapport aux émissions de gaz à effet de serre de 1990.

## WEBOGRAPHIE

Dcrets d'application de la Loi de Transition Énergétique pour la croissance verte (LTECV) de 2016 : [https://fr.search.yahoo.com/yhs/search?hsimp=yhs-002\\_swt&hspart=CND&type=A316A5D3C6E\\_s58\\_g6\\_e\\_d010817\\_n1176&q=Loi%20de%20Transition%20Énergétique%20de%202016](https://fr.search.yahoo.com/yhs/search?hsimp=yhs-002_swt&hspart=CND&type=A316A5D3C6E_s58_g6_e_d010817_n1176&q=Loi%20de%20Transition%20Énergétique%20de%202016)

Rapports annuels du RTE (Réseau de Transport d'Électricité) : <https://www.rte-france.com/fr/article/bilans-electriques-nationaux>

Rapports annuels de l'AFG (Association Française de Gaz) : <https://www.afgaz.fr>

Rapports d'activité du GrDF (Gaz Réseau Distribution France, l'entreprise chargée de la distribution du gaz dans de nombreux territoires de France) : <https://www.grdf.fr/particuliers/entreprise-grdf/rapport-activite>

## AMMONITES DU BATHONIEN DE SAINT-ÉLOI (NIÈVRE, FRANCE)

### *Bathonian Ammonites from Saint-Éloi (Nièvre, Central France)*

Par Philippe LEGRAND<sup>1</sup>, Gérard BELLIGAUD<sup>2</sup>, Bruno GILLES<sup>3</sup> & Jean-François DEMAIZIÈRE<sup>4</sup>

**Résumé.** – Une riche faune fossile a été collectée à Saint-Éloi (banlieue de Nevers, Nièvre) dans les années 2010-2011 à l'occasion des terrassements effectués pour la construction de la nouvelle caserne des pompiers. La faune d'ammonites (280 individus récoltés) est listée ; elle appartient aux Perisphinctidae 46% des individus, Oppeliidae 21%, Tuliidae 21%, Morphoceratidae 8%, Parkinsoniidae 3%, et Clydoniceratidae moins de 1%. La répartition stratigraphique est la suivante : Bathonien inférieur 53% des individus, Bathonien moyen 32% (la Zone à Morrisi n'est représentée que par un seul exemplaire de *Morrisiceras* sp.), Bathonien supérieur 6% (la Zone à *Discus* n'est représentée que par un seul exemplaire de *Clydoniceras nivernensis*). Cette faune d'ammonites recouvre l'ensemble des zones du Bathonien, et trois espèces représentent possiblement le Bajocien supérieur dans ce site remanié. Tout à côté de ce site, des récoltes effectuées dans les champs ont aussi permis de compléter les données pour le Bathonien supérieur de ce secteur.

**Abstract.** – A rich fossil fauna was collected at Saint-Éloi (near Nevers, Central France) in years 2010-2011 thanks to an excavation to build a new fire station. The ammonitic fauna (280 specimens collected) is listed and belongs to Perisphinctidae 46% of the specimens, Oppeliidae 21%, Tuliidae 21%, Morphoceratidae 8%, Parkinsoniidae 3%, and Clydoniceratidae less than 1%. The stratigraphic distribution is the following : Lower Bathonian 53% of the specimens, Middle Bathonian 32% (only one specimen of *Morrisiceras* for the Morrisi Zone), and Upper Bathonian 6% (only one specimen of *Clydoniceras nivernensis* for the *Discus* Zone). This ammonitic fauna covers all Bathonian zones, and three species represents possibly Upper Bajocian in this reworked site. Right next to this site, some other Upper Bathonian species have been collected in order to complete data for this area.

**Mots-clés.** – ammonite, Ammonoidea, Bathonien, Nièvre (France)  
**Key words.** – ammonite, Ammonoidea, Bathonian, Nièvre (Central France)

### I. – INTRODUCTION

Les travaux de terrassement du nouveau centre de secours (caserne des pompiers) de Saint-Éloi, en banlieue Est de Nevers (Nièvre), ont livré, au cours des années 2010-2011, une faune fossile rapportée principalement au Bathonien.

L'objet de cette note est de conserver la mémoire de ce gisement, en présentant la faune fossile récoltée et plus particulièrement les ammonites (Mollusca, Cephalopoda, Ammonoidea), et d'en préciser la stratigraphie. Quelques données complémentaires sur les faunes d'ammonites du Bathonien supérieur de la commune de Saint-Éloi sont aussi ajoutées.

### II. - PRESENTATION DU GISEMENT

Le gisement de la caserne des pompiers de Saint-Éloi est situé en banlieue Est de Nevers, à environ 5 kilomètres du centre-ville. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : Longitude 3°13'05" Est, Latitude 46°59'02" Nord (Fig. 1).

La notice de la carte géologique au 1:50 000, feuille n°521 (Nevers) indique que le gisement se situe au niveau du Bathonien J2b-c : marnes avec intercalations de niveaux calcaires (Delance *et al.*, 1988).

Les travaux effectués pour la construction de la caserne des pompiers ont consisté en un décapage de surface sur 15 à 20 000

m<sup>2</sup>, et entaillant le substratum sur quelques milliers de mètres-carrés. Ils n'ont pas permis de lever un log précis en raison de l'avancement des travaux, mais ont permis d'observer la coupe suivante sur un flanc du terrassement, de haut en bas :

1. alternance de bancs pluri-centimétriques à décimétriques de calcaires et de marnes (100 cm)
2. marnes bariolées (20 cm)
3. calcaire à débit en plaques (25 cm)
4. marnes bariolées grises et jaunes (25 cm)
5. calcaire beige (30 cm)
6. marnes beiges (20 cm)
7. alternance de calcaires et de marnes grises (60 cm)
8. banc de calcaire gris (base de la coupe), à mollusques perforants (*Lithophaga* sp.).

### III. - INVENTAIRE DE LA FAUNE FOSSILE

La très grande majorité des fossiles décrits ont été récoltés dans les déblais des terrassements, et leur position dans la coupe ne peut donc être précisée (voir la discussion en point IV.1).

Par ailleurs, notre propos n'étant pas de discuter la systématique des espèces, nous invitons le lecteur à se reporter pour ce faire aux publications citées et à leur bibliographie respective. Dans quelques cas, nous avons d'ailleurs repris entre guillemets

<sup>1</sup>15 rue Federico Garcia Lorca, F-63370 LEMPDES, [phlegrand.lempdes@laposte.net](mailto:phlegrand.lempdes@laposte.net)

<sup>2</sup>Chemin des Cailloux, F-87170 ISLE

<sup>3</sup>19 La Belette, F-03210 SAINT-MENOUX

<sup>4</sup>5 route d'Aubeterre, F-58000 SAINT-ÉLOI

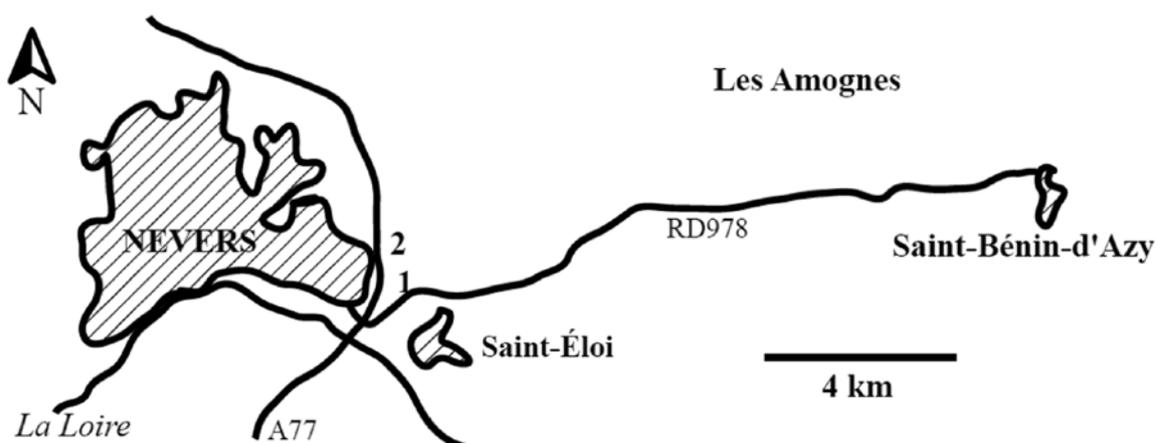


Figure 1. - Localisation des gisements fossilifères de Saint-Éloi, près de Nevers (Nièvre) 1 = Caserne des pompiers ; 2 = Pont d'Aubeterre  
Figure 1. - Location of the fossiliferous sites at Saint-Éloi, near Nevers (Nièvre, Central France) 1 = Fire station ; 2 = Aubeterre bridge

des citations d'espèces plus ou moins précises, telles qu'elles apparaissent dans les publications consultées.

#### 1) Échinodermes : oursins (Echinodermata, Echinoidea) et crinoïdes (Echinodermata, Crinoidea)

Les oursins irréguliers suivants ont été identifiés (déterminations Ph. Nicolleau) :

- *Collyrites ellipticus* (Lamarck, 1816) (Callovien),
- *Pygmalus analis* (Agassiz, 1835) (Bathonien moyen et supérieur).

Smith & Kroh (2011) indiquent qu'en Europe *Pygmalus analis* s'étend du Bathonien supérieur au Callovien inférieur, et *Collyrites ellipticus* du Bathonien au Callovien.

Cependant, Delance *et al.* (1979) précisent que *Pygmalus analis* est distribué dans le Bathonien de la Nièvre de la base de la Zone à *Subcontractus* à la Zone à *Discus* inclusivement ; *Collyrites ellipticus* est une espèce courante dans le Callovien inférieur de la Nièvre.

Un crinoïde a aussi été identifié sous la forme de quelques articles isolés : *Apiocrinus* sp.

#### 2) Crustacés (Arthropoda, Crustacea)

Quelques morceaux de carapaces de crustacés ont été récoltés, ainsi que quelques terriers de type Thalassinoides.

#### 3) Brachiopodes (Brachiopoda)

Les espèces identifiées et leur répartition stratigraphique théorique sont présentées dans le Tableau 1, l'ensemble représentant une trentaine d'individus.

Les déterminations ont été effectuées à l'aide des publications de Almeras (1971), Laurin (1984), et Minot & Branger (2007).

On peut noter la présence d'espèces appartenant théoriquement au Bajocien supérieur. Cependant, Delance *et al.* (1979) avaient aussi récolté des brachiopodes du Bajocien supérieur dans un niveau du Bathonien inférieur ; ils avaient estimé que le Bathonien inférieur dans la région de Saint-Bénin-d'Azy (Nièvre, à une dizaine de kilomètres à l'Est du gisement de Saint-Éloi) avait pu remanier les niveaux sous-jacents, ce qui peut aussi être le cas ici.

#### 4) Mollusques Lamellibranches (Mollusca, Bivalvia)

En raison de leur faible valeur stratigraphique, bien qu'abondants mais en l'absence de documentation spécifique, ils n'ont pas tous été identifiés.

On peut noter, entre autres, la présence de Gryphaeidae (genre *Liostrea*), Limidae (notamment *Ctenostreon rugosum* [Smith, 1817] et *Plagiostoma hellica* [d'Orbigny, 1850]), Pectinidae (genre *Entolium*), Pholadomyidae (notamment *Goniomya literata* [Sowerby, 1819]), Pteriidae (notamment *Oxytoma costata* [Sowerby, 1825]), et Trigoniidae.

#### 5) Mollusques Gastéropodes (Mollusca, Gastropoda)

En raison de leur faible valeur stratigraphique et en l'absence de documentation spécifique, ils n'ont pas tous été identifiés.

On peut noter, entre autres, la présence de *Ampulospira* sp., *Globularia formosa* (Morris & Lycett, 1851), *Trochotoma acuminata* Eudes-Deslongchamps, 1843, et de Pleurotomariidae (notamment du genre *Bathrotomaria*).

#### 6) Nautilus (Mollusca, Cephalopoda, Nautiloidea) et bélemnites (Mollusca, Cephalopoda, Belemnoida)

Les nautilus *Cenoceras bathonicum* auct. et *Somalinautilus* sp. ne sont représentés que par quelques spécimens.

Quelques rostrés et phragmocônes d'une bélemnite ont aussi été récoltés : *Belemnites bessinus* d'Orbigny, 1842 (syn. *Belemnopsis fusiformis* [Parkinson, 1811]).

Toutes ces espèces sont attribuables au Bathonien.

#### 7) Ammonites (Mollusca, Cephalopoda, Ammonoidea)

Les espèces identifiées et leur répartition stratigraphique théorique sont présentées dans le Tableau 2. L'ensemble représente environ 280 spécimens récoltés, compte non tenu des individus non identifiables en raison de leur mauvais état de conservation. En Planches I et II sont figurés quelques spécimens parmi les mieux conservés du Bathonien moyen et supérieur ; les spécimens du Bathonien inférieur, beaucoup plus fréquents dans la région (cf. discussion au point IV), ne sont pas figurés.

Les travaux utilisés pour la détermination des ammonites et pour préciser la stratigraphie sont les suivants : Quenstedt (1846-1849), Opper (1856-1858), Grossouvre (1919), Buckman (1907-1930), Lissajous (1923), Wetzel (1937, 1950), Arkell (1951-1958), Westermann (1958), Énay (1959), Stephanov (1961), Elmi & Mangold (1966), Elmi (1967), Sturani (1967), Hahn (1968, 1969, 1970, 1971), Mangold (1970, 1971), Galácz (1980), Torrens (1987), Dietl (1990), Poirot (1992), Besnosov & Mitta (1993), Courville *et al.* (1999), Dietze & Schweigert (2000), Kopik (2006), Mangold *et al.* (2012), Martin & Mangold (2015).

Aussi bien pour l'identification des espèces que pour leur position stratigraphique, les publications les plus récentes ont été retenues à chaque fois que possible. Cependant, certaines espèces n'ont pas donné lieu à des travaux récents, ou ne font l'objet que de données très fragmentaires.

Ainsi, selon la littérature consultée, certaines espèces du Bathonien inférieur existent déjà dans le Bajocien supérieur, ou certaines espèces du Bajocien supérieur peuvent persister dans le Bathonien inférieur, ou ne figurer selon l'auteur que dans le Bajocien supérieur. Les interprétations peuvent aussi être différentes selon les auteurs et selon la limite qu'ils retenaient à la date de leur publication entre le Bajocien et le Bathonien. La base de l'étage Bathonien est maintenant définie comme correspondant à la première apparition de l'ammonite *Parkinsonia (Gonolkites) convergens* (Buckman, 1925) (Zone à Zigzag, Sous-zone à Convergents pour la province subboréale, Sous-zone à Parvum pour la province subméditerranéenne) (Fernández-López *et al.*, 2009). Dans la région de Nevers, la limite entre le Bajocien et le Bathonien a été étudiée et discutée par Zany *et al.* (1995).

De même, la répartition et l'extension stratigraphique des espèces dans le Bathonien est variable selon les auteurs et continue de donner lieu à discussions (voir par exemple une synthèse par Page, 1996), ce qui peut entraîner des manques de précisions. Ainsi, et parmi d'autres exemples, le cas de *Procerites imitator* (Buckman, 1922), amène à se poser des questions sur la pertinence de l'identification spécifique ou stratigraphique selon les auteurs. *Procerites imitator* est une espèce le plus souvent citée au sommet du Bathonien inférieur ou à la base du Bathonien moyen (pour l'holotype) ; le figuré d'Arkell (1958, pl. 26, fig. 3) du Twinhoe Ironshot (équivalent de la Zone à Retrocostatum, Sous-zone à Blanzaise, à la base du Bathonien supérieur) est à rapprocher de *Wagnericeras wagneri* (Oppel, 1857) (Martin, com. pers.). Dans un autre exemple, nous avons considéré que l'espèce *Tulites cadus* Buckman, 1921 est limitée à la Zone à Subcontractus du Bathonien moyen, qui est sa position stratigraphique généralement admise. Kopik (2006) avait suggéré qu'en Pologne, *Tulites cadus* apparaissait au sommet du Bathonien inférieur ; ceci a été invalidé par Zaton (2007) qui a rapporté cette espèce en Pologne à la Zone à Subcontractus du Bathonien moyen.

Les espèces identifiées avec un point de doute sont indiquées dans le Tableau 2 par la mention cf.

L'assemblage faunistique est dominé par les Perisphinctidae (genres *Bigotites*, *Gracilisphinctes*, *Homeoplumulites*, *Lobosphinctes*, *Lobosphinctes [Planisphinctes]*, *Prevalia*, *Procerites*, *Procerozigzag*, *Siemiradzka*, *Subgrossouvria*, *Suspensites*, *Wagnericeras*, *Zigzagiceras*) qui représentent 46% des individus récoltés.

Les Opelellidae (*Eohecticoceras*, *Oxyerites*, *Paroecotraustes*, *Paroecotraustes [Nodiferites]*, *Prohecticoceras*) sont bien représentées (21%), ainsi que les Tullitidae (*Bullatimorphites*, *Morrisiceras*, *Tulites*) avec 21% également.

Les Morphoceratidae (*Asphinctites*, *Ebrayiceras*, *Morphoceras*, *Polysphinctites*) ne sont que 8%, et les Parkinsoniidae (*Parkinsonia*, *Parkinsonia [Gonolkites]*, *Parkinsonia [Oranice-ras]*) 3%.

Les autres familles (*Clydoniceratidae* : *Clydoniceras*) ne sont que marginales.

On peut plus particulièrement noter, par ordre chronologique, la présence des fossiles stratigraphiques suivants, notamment pour ce qui concerne ici la province subméditerranéenne (au sens de Mangold & Rioult, 1997) :

- *Parkinsonia (Gonolkites) convergens* : définit la base du Ba-

thonien et la Sous-zone à Convergents, (première sous-zone de la Zone à Zigzag et du Bathonien inférieur de la province subboréale),

- *Morphoceras macrescens* (Buckman, 1923) : définit la Sous-zone à Macrescens (deuxième sous-zone de la Zone à Zigzag et du Bathonien inférieur des provinces subboréale et subméditerranéenne),

- *Siemiradzka aurigera* (Oppel, 1857) : définit la Zone à Aurigerus (deuxième et dernière zone du Bathonien inférieur de la province subméditerranéenne),

- *Asphinctites recinctus* Buckman, 1924 : définit la Sous-zone à Recinctus, première sous-zone de la Zone à Aurigerus,

- *Gracilisphinctes progracilis* (Cox & Arkell, 1950) : définit la Zone à Progracilis (première zone du Bathonien moyen des provinces subboréale et subméditerranéenne), et la deuxième sous-zone de la province subméditerranéenne,

- *Wagnericeras fortcostatum* (de Grossouvre, 1930) : définit la Sous-zone à Fortecostatum (dernière sous-zone de la Zone à Bremeri et du Bathonien moyen de la province subméditerranéenne),

- *Procerites quercimus* (Terquem & Jourdy, 1869) : définit le premier horizon de la Zone à Retrocostatum et de la première sous-zone du Bathonien supérieur de la province subméditerranéenne,

- *Bullatimorphites hannoveranus* Roemer, 1911 : définit la deuxième et dernière sous-zone de la Zone à Retrocostatum de la province subméditerranéenne, et la dernière sous-zone de la Zone à Orbis de la province subboréale,

- Enfin, *Clydoniceras nivernensis* de Grossouvre, 1930 est une forme voisine de *Clydoniceras discus* (Sowerby, 1813) qui définit la Zone à Discus, deuxième et dernière zone du Bathonien supérieur des provinces subboréale et subméditerranéenne.

On peut aussi remarquer la présence de *Tulites* juvéniles de moins d'1 cm de diamètre.

La répartition en nombre d'individus récoltés, pour les espèces limitées à un seul des sous-étages du Bathonien, est la suivante :

- Bathonien inférieur : 53% des individus récoltés,

- Bathonien moyen : 32% ; la Zone à Morrisi n'est représentée que par un seul exemplaire de *Morrisiceras* sp.,

- Bathonien supérieur : 6% ; la Zone à Discus n'est représentée que par un seul exemplaire de l'espèce *Clydoniceras nivernensis*.

Les trois espèces *Eohecticoceras rugeti* Elmi, 1967, *Procerites costulatus* (Buckman, 1923) et *Lobosphinctes (Planisphinctes) tenuissimus* (Siemiradzki, 1898), représentées respectivement par 1, 3 et 6 individus, sont habituellement réputées du sommet du Bajocien. Dans le cas présent, i) comme pour les brachiopodes, il pourrait s'agir d'individus remaniés, ou ii) il pourrait s'agir d'espèces persistant dans le Bathonien inférieur, comme l'ont supposé Zany *et al.* (1995) pour *Parkinsonia bomfordi* Arkell, 1956 dans les environs de Nevers.

#### IV. - DISCUSSION

##### 1) Stratigraphie du gisement

La faune récoltée, ammonites principalement, mais aussi brachiopodes, indique que sur le site de Saint-Éloi, l'ensemble du Bathonien est représenté, depuis la base du Bathonien inférieur ; la Zone à Morrisi du Bathonien moyen mériterait confirmation, tandis que la Zone à Discus (dernière zone du Bathonien supérieur) n'est représentée que par un seul exemplaire de *Clydoniceras nivernensis*.

Il est par ailleurs possible que le sommet du Bajocien soit aussi présent en partie, comme le laissent suggérer quelques brachiopodes et ammonites, mais aucun fossile stratigraphique ne

permet véritablement de le confirmer.

Au niveau du décapage effectué avant les terrassements, quelques individus des ammonites suivantes ont été récoltés en surface sur quelques centaines de mètres-carrés :

- *Oxyerites* sp., attribuables au Bathonien,
- *Homeoplanulites* cf. *H. homeomorphus*, du Bathonien moyen,
- *Tulites cadus* (dont des juvéniles de faible diamètre), *Homeoplanulites sandovali* Mangold, Martin & Prieur, 2012, *Paroecotraustes (Nodiferites) sayni* Elmi, 1967, le tout du Bathonien moyen, Zone à Subcontractus.

De plus, divers Perisphinctidae et *Parkinsonia* ont été observées au niveau du décapage de surface, mais n'ont pas été récoltées. *Parkinsonia* est attribuable au Bathonien inférieur.

Au niveau de la coupe décrite dans la présentation du gisement, quelques individus des fossiles suivants ont aussi été observés :

- niveau 1 : ammonites (*Oxyerites* sp., *Procerites* sp.), brachiopodes, lamellibranches, oursins (*Pygomalus analis*),
- niveau 4 : nautilus, ammonites (*Procerites* sp., *Tulites cadus*, cette dernière du Bathonien moyen),
- niveau 7 : ammonites (*Tulites* de faible diamètre du Bathonien moyen sur un banc de calcaire gris).

La très grande majorité des fossiles décrits ont été récoltés dans les déblais des terrassements, et leur position dans la coupe ne peut donc être précisée. Au vu des données du décapage de surface et de la coupe, il apparaît néanmoins que les fossiles ne sont pas stratigraphiquement ordonnés. En effet, i) des *Tulites* du Bathonien moyen ont été observées à différents niveaux de la coupe, y compris au niveau le plus supérieur, et ii) des *Parkinsonia* du Bathonien inférieur ont aussi été observées au niveau actuel le plus supérieur.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette absence d'ordonnement :

- il s'agit d'un site où toutes les espèces ont cohabité et se sont fossilisées sur un intervalle de temps très court ; cette hypothèse apparaît peu crédible, les ammonites récoltées se succédant habituellement sur environ 2 Ma ;
- il s'agit d'un niveau condensé, à taux de sédimentation très faible, où les espèces se sont fossilisées très proches les unes des autres dans la colonne stratigraphique ;
- un ou plusieurs cycles d'érosion suivis de sédimentations se sont succédé au cours de l'intervalle de temps géologique considéré (Bajocien supérieur – Bathonien supérieur), les fossiles ayant été remaniés et re-sédimentés ; dans ce cas, le dernier cycle est contemporain ou postérieur à la Zone à Discus du Bathonien supérieur (la dernière représentée sur le site) ;
- la sédimentation s'est déroulée normalement du Bajocien supérieur au Bathonien supérieur au moins, mais des bouleversements ont affecté ultérieurement le gisement, l'ont érodé et ont remanié les fossiles présents.

La présence d'un niveau condensé, s'il permet de justifier une succession du Bajocien supérieur au Bathonien supérieur sur environ trois mètres de puissance, ne permet pas à lui seul d'expliquer l'absence d'ordonnement stratigraphique des fossiles, et donc leur remaniement. Des reprises d'érosion au cours de la sédimentation sont possibles ; en effet, l'abondance des lamellibranches et gastéropodes suggère, au moins à un moment donné, une tranche d'eau relativement faible, et même une proximité de rivage, et donc la possible présence de courants érosifs. Enfin, des bouleversements ultérieurs affectant et remaniant le gisement initial sont aussi possibles, comme l'atteste la présence de failles notées sur la carte géologique au 1:50 000 à proximité même du gisement.

Enfin, certains des fossiles récoltés sont à l'état de moule interne, ou lorsque le pseudo-test est conservé, certains sont pyritisés (ou la gangue comporte des cristaux de pyrite), tandis que d'autres sont en calcite. Mais il n'est pas possible d'établir une corrélation

entre le mode de conservation et les niveaux stratigraphiques théoriques des espèces. La minéralisation ultime apparaît donc postérieure à la fossilisation initiale, et contemporaine ou postérieure à un remaniement du gisement.

## 2) La faune fossile replacée dans le contexte local

Pour ce qui concerne le Bathonien à l'Est de la Loire sur la feuille Nevers de la carte géologique au 1:50 000, Delance *et al.* (1988) indiquent que i) l'épaisseur totale du Bathonien inférieur et moyen semble de l'ordre de 40 à 60 mètres mais la majeure partie de la série correspond au Bathonien inférieur ; le Bathonien moyen est mal repéré et paraît peu développé ; ii) le Bathonien supérieur est constitué de deux ensembles calcaires encadrant une épaisse assise marneuse : les brachiopodes et les ammonites récoltés attestent la présence de la Zone à Discus et, vraisemblablement, à la base, de la Zone à Retrocostatum (Delance *et al.*, 1988).

Sur la commune de Saint-Éloi, les travaux en tranchée de l'autoroute A77, bien qu'entaillant le substratum sur plusieurs mètres de hauteur, n'avaient pas livré, à notre connaissance, d'association faunistique notable. Seule une ammonite *Bullatimorphites latecentratulus* (Quenstedt, 1886) (coll. J.-F. Demaizière), attribuable à la base du Bathonien moyen (Zone à Progracilis), avait pu être récoltée dans la tranchée du pont d'Aubeterre (Fig. 1 ; coordonnées géographiques : Longitude 3°12'21" Est, Latitude 46°59'38" Nord ; J2b-c Bathonien selon la carte géologique). Celui-ci se situe à 1,4 km au Nord-Ouest du gisement de la caserne des pompiers décrit dans cet article, et dans la même formation géologique au sens de la carte géologique.

Toujours au niveau du pont d'Aubeterre (Fig. 1), les champs labourés ont fourni en surface (récoltes personnelles) une faune d'ammonites du Bathonien supérieur : *Alcidellus* cf. *A. tenuistriatum* de Grossouvre 1888, *Bullatimorphites hannoveranus* Roemer, 1911, *Clydoniceras nivernensis*, *Homeoplanulites* sp. ? (cf. *H. marcelli* Mangold, Martin & Prieur, 2012, et cf. *H. choffatiaformis* [Besnosov, 1993]), *Homeoplanulites aequalis* (Roemer, 1911), *Homeoplanulites mangoldi* (Dominjon, 1969), *Oxyerites orbis* Giebel, 1852 (syn. *O. oppeli* Elmi, 1967), *Paroecotraustes waageni* Stephanov, 1961, et un spécimen présentant une costulation très divisée (Pl. II, Fig. 23) rapporté à *Prevalia* sp. ?

Le gisement de la caserne des pompiers de Saint-Éloi apparaît donc tout à fait remarquable de par le nombre et la diversité des ammonites qu'il a livrées sur l'ensemble du Bathonien, et les récoltes du pont d'Aubeterre permettent de préciser la faune locale du Bathonien supérieur. La faune fossile récoltée à Saint-Éloi permet de plus d'attester de la présence du Bathonien moyen, ainsi que de la Zone à Retrocostatum du Bathonien supérieur.

## 3) La faune fossile replacée dans le contexte de la région de Nevers

Dans les environs immédiats de Nevers, les données stratigraphiquement les plus complètes sont celles de Zany *et al.* (1995), avec notamment deux coupes ; la première est située en bord de Loire environ quatre kilomètres au Sud-Ouest de la ville, et la seconde dans la ZAC de Nevers, à environ 4 kilomètres à l'Ouest du centre-ville (soit 4 kilomètres au Nord de la coupe précédente). Ces deux coupes ont fourni des assemblages faunistiques riches en ammonites. La coupe du bord de Loire fait apparaître le sommet du Bajocien supérieur (Sous-zone à Bomfordi) et le Bathonien inférieur (Sous-zones à Convergents, à Macrescens, à Recinctus, et à Tenuiplicatus). La coupe de la ZAC de Nevers comprend quant à elle les Sous-zones à Macrescens, à Recinctus et à Tenuiplicatus. Dans les deux cas, les niveaux ne dépassent donc pas le sommet du Bathonien inférieur.

A 10 kilomètres à l'Est de Saint-Éloi, les gisements de Saint-Bénin d'Azy (Nièvre) et de la petite région des Amognes (entre Nevers et Saint-Bénin d'Azy) ont livré une faune fossile particulièrement riche en ammonites, aussi bien en nombre d'individus qu'en espèces (Delance *et al.*, 1979 ; Énay *et al.*, 2001 ; Roger *et al.*, 2006). Ainsi, Énay *et al.* (2001) estiment que plus de 50 000 ammonites y ont été récoltées. Cependant, ces gisements sont rapportés au Bathonien inférieur, et même généralement limités à la partie supérieure de la Zone à Zigzag (Sous-zone à Macrescens) et à la partie inférieure de la Zone à Aurigerus (Sous-zone à Recinctus = Yeovilensis) (Delance *et al.*, 1979 ; Énay *et al.*, 2001 ; Roger *et al.*, 2006). La Sous-zone à Tenuiplicatus est cependant présente au moins sporadiquement, et a livré « *Asphinctes* gr. *tenuiplicatus* et *Micromphalites* sp. » (Zany *et al.*, 1995). Ainsi, les faunes d'ammonites de la partie supérieure de la Zone à Aurigerus du Bathonien inférieur, et de la base du Bathonien moyen (Zone à Progracilis) sont beaucoup plus rares et beaucoup moins riches en individus (Roger *et al.*, 2006). Elles ont livré « *Parkinsonia wuerttembergica*, *Bullatimorphites* sp., et des *Perisphinctidae* ». Il en est de même pour les faunes des Zones à Subcontractus et à Morrissi du Bathonien moyen, qui, à Sainte-Marie (une douzaine de kilomètres au Nord de Saint-Bénin-d'Azy), ont fourni des « *Tulitidés* (dont *Tulites subcontractus*), *Morrisiceras morrissi*, *Oxycerites* sp., *Gracilisphinctes* sp., *Oecotraustes* sp., et des *Perisphinctidae* » (Roger *et al.*, 2006).

En dehors d'une faune abondante du Bathonien inférieur, dans la petite région des Amognes, les champs fournissent sporadiquement des *Tulitidés* du Bathonien moyen, ammonites des genres *Bullatimorphites*, *Tulites* et *Morrisiceras* (récoltes personnelles).

Pour le Bathonien supérieur, Delance *et al.* (1979) ont figuré une coupe à la limite des Zones à Retrocostatum et à Discus, immédiatement à l'Est du village de Saint-Bénin d'Azy, dans laquelle ils ont récolté les ammonites « *Oxycerites subinflexus*, *O.* gr. *oppeli*, *Clydoniceras* cf. *discus*, *Delecticeras legayi*, *Prohecticoceras retrocostatum*, *Paraecostraustes waageni variabilis*, *Homeoplanelites* gr. *pseudoannularis*, *H. ybbsensis*, *H. bugesiacus*, *Bomburites suevicum*, *Cadomites (Polyplectites) claramontanus* ».

Roger *et al.* (2006) indiquent aussi que le Bathonien supérieur (carte géologique, feuille de Saint-Saulge) a fourni les ammonites « *Hecticoceras retrocostatum*, *Paraecostraustes maubeugi*, *Perisphinctes* sp., *Bullatimorphites bullatus*, *Oxycerites* sp., *Gracilis-*

*phinctes* sp. », ce qui indique la Zone à Retrocostatum, et, localement, « *Clydoniceras discus*, *Delecticeras* sp. et *Bullatimorphites* sp. » de la Zone à Discus du Bathonien terminal.

Delance *et al.* (1988) indiquent enfin les ammonites suivantes dans le Bathonien supérieur à l'Est de Nevers : « *Clydoniceras discus*, *Delecticeras legayi*, *Paraecostraustes maubeugei*, *Homeoplanelites*, *Bullatimorphites bullatus* », attestant de la Zone à Discus, et vraisemblablement, à la base, de la Zone à Retrocostatum.

Les données du Bathonien au Sud immédiat de Nevers (carte géologique feuille de Sancoins) n'apportent pas d'éléments nouveaux pour la faune d'ammonites (Clozier *et al.*, 1983).

Le gisement très localisé de Saint-Éloi apparaît donc particulièrement riche en nombre d'espèces, et permet de compléter la connaissance des faunes d'ammonites pour le Bathonien de la région de Nevers.

## V. - CONCLUSIONS

L'ensemble des gisements de la commune de Saint-Éloi (caserne des pompiers et pont d'Aubeterre) a livré une riche faune d'ammonites. La faune fossile récoltée, et tout particulièrement les ammonites, ont permis de préciser la stratigraphie du gisement de la caserne des pompiers de Saint-Éloi, celle-ci couvrant peut-être le sommet du Bajocien, et l'ensemble du Bathonien. Pour le Bathonien supérieur, elle permet aussi d'attester de la présence de la Zone à Retrocostatum, qui ne l'était pas jusqu'alors localement.

De par sa richesse en nombre d'espèces, le gisement de la caserne des pompiers de Saint-Éloi permet aussi de compléter la connaissance des faunes d'ammonites du Bathonien dans la région de Nevers, et tout particulièrement de celles du Bathonien moyen et de la base du Bathonien supérieur, qui n'étaient jusqu'alors que très partiellement représentées et connues.

**Remerciements** : Les auteurs remercient tout particulièrement :

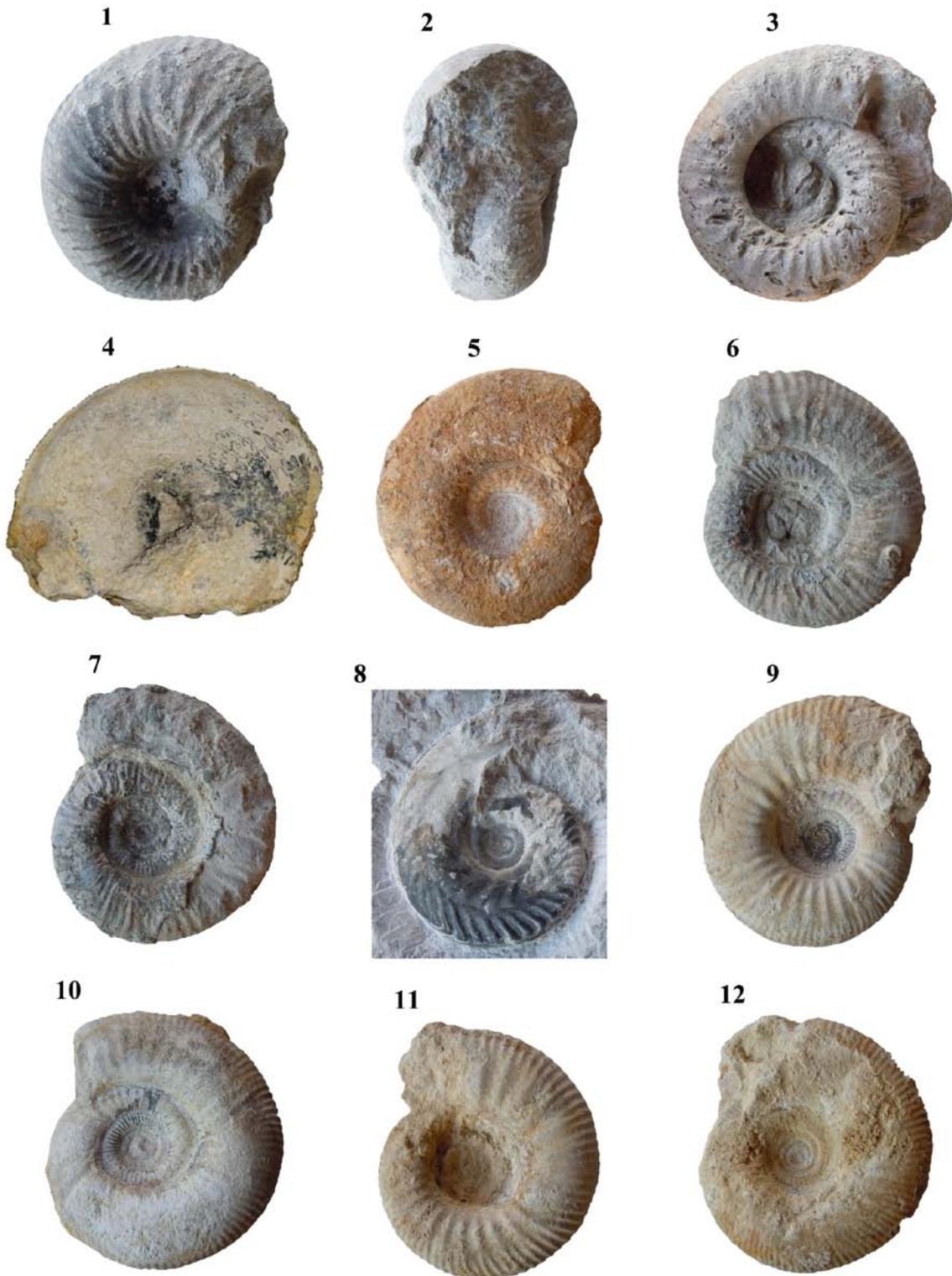
- Mme Sylvie PETIT (Saint-Menoux, Allier) pour sa contribution aux récoltes de terrain ;
- M. Philippe NICOLLEAU (Aiffres, Deux-Sèvres) pour l'identification et les précisions apportées sur les oursins ;
- Les relecteurs de cet article pour les améliorations et corrections apportées.

Espèce	Bajocien supérieur	Bathonien inférieur	Bathonien moyen	Bathonien supérieur
<i>Burmirhynchia hopkinsi</i> (Davidson, 1852)			✓	
<i>Cererithyris intermedia</i> (Sowerby, 1812)				✓
<i>Ferrithyris pouillyensis</i> Almeras, 1970	✓			
<i>Goniorhynchia pictavensis</i> Minot, 2007			✓	✓
<i>Kallirhynchia expansa</i> Buckman, 1917		✓		
<i>Millithyris</i> cf. <i>M. inflata</i> (Roché, 1939)	✓			
<i>Morrisithyris quenstedti</i> (Rollier, 1918)	✓	✓		
<i>Ornithella</i> sp.				✓
<i>Rhynchonelloidella curviviarians</i> (Buckman, 1917)				✓

Tableau 1. - Liste alphabétique des brachiopodes de Saint-Éloi (Nièvre) et leur répartition stratigraphique théorique  
Table 1. - *Alphabetical list of brachiopods from Saint-Éloi (Nièvre) and their theoretical stratigraphic position*

Planche I. - Ammonites du Bathonien de Saint-Éloi (Nièvre), gisement de la caserne des pompiers ; collection et photos Ph. Legrand (sauf 4 : B. Gilles).  
Avec indication du plus grand diamètre du spécimen figuré.

Plate I. - Bathonian ammonites from Saint-Éloi (Nièvre), site of the fire station ; collection and photos Ph. Legrand (except 4 : B. Gilles). With the size of the largest diameter of the specimen figured.

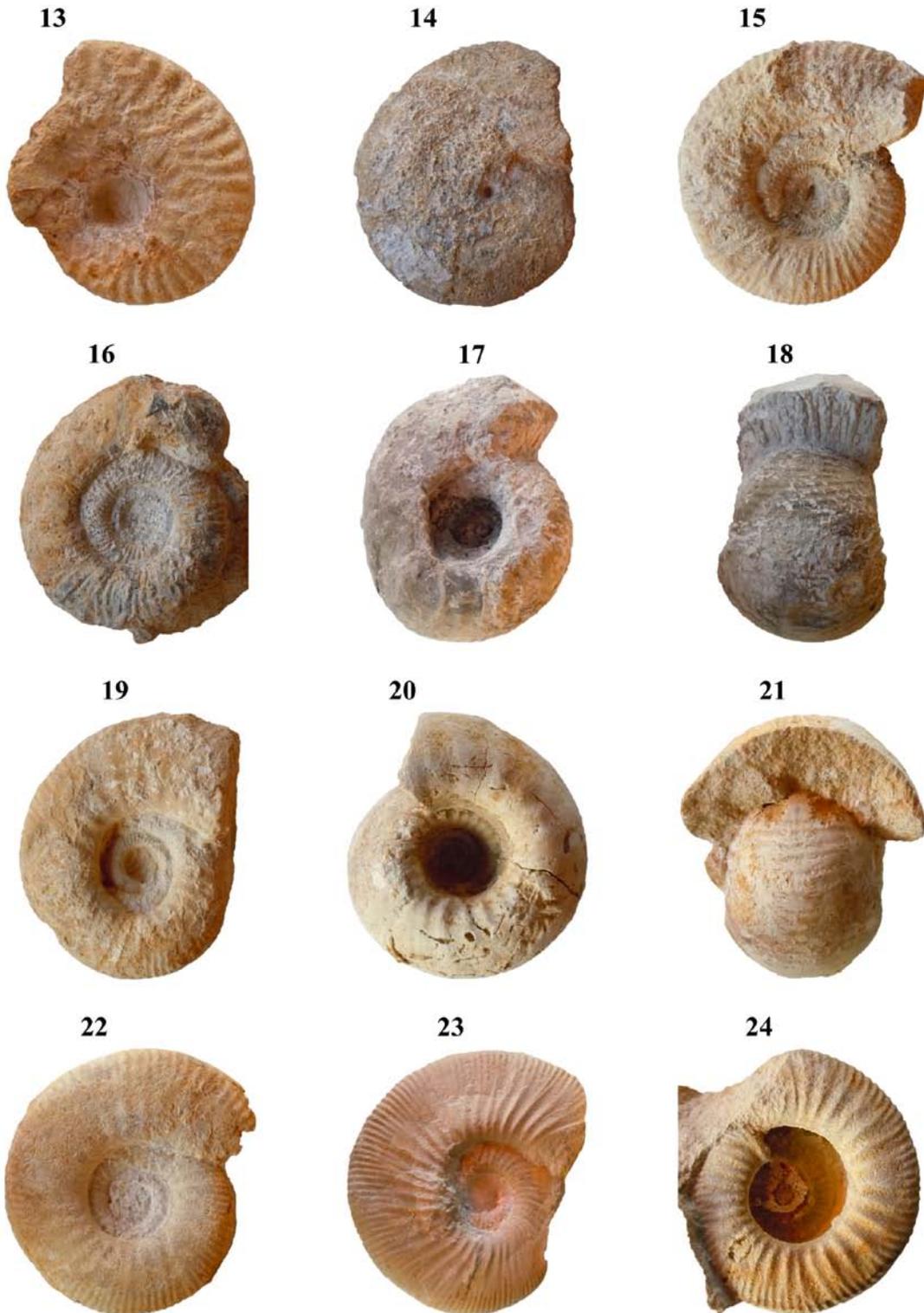


1 et 2 : *Bullatimorphites latecentratus* (Quenstedt, 1886) ; 4,9 cm  
3 : *Bullatimorphites sofanus* (Boehm, 1912) ; 8,7 cm  
4 : *Clydoniceras nivernensis* de Grossouvre, 1930 ; 10,5 cm  
5 : *Gracilisphintes progracilis* (Cox & Arkell, 1950) ; 17,3 cm  
6 : *Homeoplanulites* cf. *H. mouterdei* Mangold, Martin & Prieur, 2012 ; 6,5 cm

7 : *Homeoplanulites sandovali* Mangold, Martin & Prieur, 2012 ; 8,6 cm  
8 : *Paroecotraustes (Nodiferites) sayni* Elmi, 1967 ; 4,0 cm  
9 : *Prevalia prevalensis* Stephanov, 1972 ; 7,6 cm  
10 : *Prevalia subcongener* (Lissajous, 1923) ; 11,4 cm  
11 : *Wagnericeras subfurculum* (Lissajous, 1923) ; 10,7 cm  
12 : *Procerites quercinus* (Terquem & Jourdy, 1869) ; 14,1 cm

Planche II. - Ammonites du Bathonien de Saint-Éloi (Nièvre), gisement de la caserne des pompiers (13 à 22), et gisement du Pont d'Aubeterre (23 et 24) ; collection et photos Ph. Legrand. Avec indication du plus grand diamètre du spécimen figuré.

Plate II. - Bathonian ammonites from Saint-Éloi (Nièvre), site of the fire station (13 to 22), and site of Aubeterre bridge (23 and 24) ; collection and photos Ph. Legrand. With the size of the largest diameter of the specimen figured.



13 : *Prohecticoceras crassum* Elmi, 1967 ; 4,5 cm

14 : *Oxycerites* cf. *O. orbis* Giebel, 1852 (syn. *O. oppeli* Elmi, 1967) ; 9,7 cm

15 : *Wagnericeras* sp. ; 7,1 cm

16 : *Siemiradzka pseudorjazanensis* (Lissajous, 1923) ; 6,5 cm

17 et 18 : *Tulites praeclarus* (Buckman, 1921) ; 8,2 cm

19 : *Wagnericeras forticostatum* (de Grossouvre, 1930) ; 9,3 cm

20 et 21 : *Tulites cadus* Buckman, 1921 ; 5,5 cm

22 : *Wagnericeras compressum* Mangold, Martin & Prieur, 2012 ; 15,5 cm

23 : cf. *Prevalia* sp. ; 8,5 cm

24 : *Homeoplanulites aequalis* (Roemer, 1911) ; 6,6 cm

Espèce	Bajocien supérieur	Bathonien inférieur	Bathonien moyen	Bathonien supérieur
<i>Asphinctes recinctus</i> Buckman, 1924		Ar		
<i>Asphinctes pinguis</i> (de Grossouvre, 1919)		Zc		
<i>Bigotites diniensis</i> Sturani, 1967		x		
<i>Bullatimorphites</i> nov. sp.1 Sandoval, 1983 = <i>Bullatimorphites subcostatus</i> Besonov 1993 (pars)			B	R
<i>Bullatimorphites hannoveranus</i> Roemer, 1911				R
<i>Bullatimorphites latecentratus</i> (Quenstedt, 1886)			P	
<i>Bullatimorphites serpenticonus</i> Arkell, 1954			S	
<i>Bullatimorphites sofanus</i> (Boehm, 1912)			Po	
<i>Bullatimorphites rugifer</i> (Buckman, 1921)			S	
<i>Clydoniceras nivernensis</i> de Grossouvre, 1930				D
<i>Ebrayiceras jactatum</i> Buckman, 1920		Zm		
<i>Eohecticoceras primaevum</i> de Grossouvre, 1919		Zc		
<i>Eohecticoceras rugeti</i> Elmi, 1967	x			
<i>Gracilisphinctes progradilis</i> (Cox & Arkell, 1950)			Pp	
<i>Homeoplanulites homeomorphus</i> Buckman, 1922				R
<i>Homeoplanulites</i> cf. <i>H. mouterdei</i> Mangold, Martin & Prieur, 2012			B	
<i>Homeoplanulites sandovali</i> Mangold, Martin & Prieur, 2012			S	
<i>Lobosphinctes subprocerus</i> (Buckman, 1892)		Z		
<i>Lobosphinctes tmetolobus</i> (Buckman, 1923)		Z		
<i>Lobosphinctes</i> ( <i>Planisphinctes</i> ) cf. <i>L. (P.) acurvatus</i> Wetzel, 1937		Z		
<i>Lobosphinctes</i> ( <i>Planisphinctes</i> ) <i>gredingensi</i> (Dorn, 1927)		Zc		
<i>Lobosphinctes</i> ( <i>Planisphinctes</i> ) <i>planilobus</i> (Buckman, 1922)		Zc		
<i>Lobosphinctes</i> ( <i>Planisphinctes</i> ) <i>temuissimus</i> (Siemiradzki, 1898)	x			
<i>Lobosphinctes</i> ( <i>Planisphinctes</i> ) <i>torrensi</i> Stephanov, 1972		Z		
<i>Morphoceras macrescens</i> (Buckman, 1923)		Zm		
<i>Morphoceras multiforme</i> Arkell, 1951		Z		
<i>Morphoceras patescens</i> (Buckman, 1922)		Z		
<i>Morphoceras repletum</i> (Buckman, 1922)		A		
<i>Morrisiceras</i> sp.			M	
<i>Oxycerites aspidoides</i> (Oppel, 1857)		x		
<i>Oxycerites behrendseni</i> (Wetzel, 1950)		x		
<i>Oxycerites fallax</i> (Guéranger, 1865)		Zm		
<i>Oxycerites fallax anglicus</i> Elmi & Mangold, 1966		Zm		
<i>Oxycerites fallax bugeysiacus</i> Elmi & Mangold, 1966		Zm		
<i>Oxycerites fallax radiatiformis</i> (Wetzel, 1950)		Zm		
<i>Oxycerites limosus</i> (Buckman, 1925)		Ar		
<i>Oxycerites nivernensis</i> (de Grossouvre, 1919)		Ar		
<i>Oxycerites</i> cf. <i>O. orbis</i> Giebel, 1852 (syn. <i>O. oppeli</i> Elmi, 1967)				x
<i>Parkinsonia dorni</i> Arkell, 1951		Z		
<i>Parkinsonia pachypleura</i> Buckman, 1925		Z		
<i>Parkinsonia</i> ( <i>Gonolkites</i> ) <i>convergens</i> (Buckman, 1925)		Zc		
<i>Parkinsonia</i> ( <i>Oraniceras</i> ) cf. <i>P. fretensis</i> Wetzel, 1950		x		
<i>Parkinsonia</i> ( <i>Oraniceras</i> ) <i>gyrumbilica</i> Quenstedt, 1886		Zm		
<i>Paroecotraustes fuscus</i> (Quenstedt, 1846)		At		
<i>Paroecotraustes</i> ( <i>Nodiferites</i> ) <i>angustoides</i> Elmi, 1967		Z		
<i>Paroecotraustes</i> ( <i>Nodiferites</i> ) <i>sayni</i> Elmi, 1967			S	
<i>Polysphinctites polysphinctus</i> (Buckman, 1922)		Z		
<i>Prevalia prevalensis</i> Stephanov, 1972				x
<i>Prevalia pseudoperspicua</i> Stephanov, 1972				R
<i>Prevalia subcongener</i> (Lissajous, 1923)			B	

<i>Prevalia</i> cf. <i>P. subfluctuosa</i> (Lissajous, 1923)			Bf	
<i>Prevalia</i> cf. <i>P. verciasensis</i> (Lissajous, 1923)			Bb	
<i>Procerites costulatosus</i> (Buckman, 1923)	x			
<i>Procerites fowleri</i> Arkell, 1958		Ar		
<i>Procerites fullonicus</i> (Buckman, 1922)		Zm		
<i>Procerites imitator</i> (Buckman, 1922)		Z, A	P, S	
<i>Procerites quercinus</i> (Terquem & Jourdy, 1869)				R
<i>Procerites schloenbachi</i> de Grossouvre, 1919		Zc		
<i>Procerites</i> cf. <i>P. wattonensis</i> Arkell, 1957			S	
<i>Procerozigzag</i> cf. <i>P. crassizigzag</i> (Buckman, 1892)		Zm		
<i>Procerozigzag pospollubrum</i> (Wetzel, 1937)		Zm		
<i>Procerozigzag pseudoprocerus</i> (Buckman, 1892)		Zm		
<i>Prohecticoceras crassum</i> Elmi, 1967			S	
<i>Siemiradzka aurigera</i> (Oppel, 1857)		Ar		
<i>Siemiradzka</i> cf. <i>S. britanica</i> Stephanov, 1972		Zm		
cf. <i>S. caucasica</i> Stephanov, 1972		Zm		
<i>Siemiradzka donovani</i> Stephanov, 1972		Zm		
<i>Siemiradzka</i> cf. <i>S. escollensis</i> Mangold, Martin & Prieur, 2012			Bf	
<i>Siemiradzka lenthayense</i> (Arkell, 1957)		Ar		
<i>Siemiradzka matisconensis</i> (Lissajous, 1923)			S, M, B	
<i>Siemiradzka nodosa</i> (Mangold, 1971)				R
<i>Siemiradzka phaulomorphus</i> (Buckman, 1926)		Zc		
<i>Siemiradzka procera</i> (v. Seebach, 1864)		x		
<i>Siemiradzka pseudorjazanensis</i> (Lissajous, 1923)			M	
<i>Siemiradzka</i> cf. <i>S. pigmaea</i> Stephanov, 1972				R
<i>Subgrossouvria</i> cf. <i>S. richei</i> (Mangold, 1970)				R ?
<i>Suspensites</i> sp.			B	
<i>Tulites</i> sp., dont individus juvéniles			S	
<i>Tulites cadus</i> Buckman, 1921			S	
<i>Tulites modiolaris</i> Smith, 1817			S	
<i>Tulites</i> cf. <i>T. mustela</i> Arkell, 1954			S	
<i>Tulites praeclarus</i> (Buckman, 1921)			S	
<i>Tulites pumilus</i> Arkell, 1954			S	
<i>Wagnericeras</i> sp.			P, S, M, B	R
<i>Wagnericeras arbustigerum</i> (d'Orbigny, 1846)			B	R
<i>Wagnericeras compressum</i> Mangold, Martin & Prieur, 2012			Bb	
<i>Wagnericeras fortocostatum</i> (de Grossouvre, 1930)			Bf	
<i>Wagnericeras kudernatschi</i> (Lissajous, 1923)			B	
<i>Wagnericeras lissajousi</i> (Besnosov, 1993)			B	
<i>Zigzagiceras torrensi</i> Sturani, 1967		Zm		
<i>Zigzagiceras</i> cf. <i>Z. torrensi variecostatatum</i> Sturani, 1967		Zm		
<i>Zigzagiceras</i> ( <i>Franchia</i> ) sp.		Zc		

Tableau 2. - Liste alphabétique des ammonites du Bathonien de Saint-Éloi (Nièvre) et leur répartition stratigraphique théorique  
 Table 2. - Alphabetical list of Bathonian ammonites from Saint-Éloi (Nièvre) and their theoretical stratigraphic position

Légende selon l'échelle stratigraphique, dans l'ordre stratigraphique :

Bathonien supérieur

- D : Zone à Discus
- R : Zone à Retrocostatum

Bathonien moyen

- B : Zone à Bremeræi
  - Bf : Sous-zone à Fortecostatum
  - Bb : Sous-zone à Bullatimorphus
- M : Zone à Morrissi
- S : Zone à Subcontractus
- P : Zone à Progracilis
  - Pp : Sous-zone à Progracilis
  - Po : Sous-zone à Orbigny

Bathonien inférieur

- A : Zone à Aurigerus
  - At : Sous-zone à Tenuiplicatus
  - Ar : Sous-zone à Recinctus
- Z : Zone à Zigzag
  - Zm : Sous-zone à Macrescens
  - Zc : Sous-zone à Convergens

x : sans précisions

BIBLIOGRAPHIE

- ALMERAS Y. (1971). - Les Terebratulidae du Dogger dans le Mâconnais, le Mont d'Or lyonnais et le Jura méridional. Étude systématique et biostratigraphique. Rapports avec la paléoécologie. *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon*, 39 (1) : 690 p., 211 pl.
- ARKELL W. J. (1951-1958). - *A monograph of English Bathonian ammonites*. The Palaeontographical Society, London, viii+264 p., XXXIII pl.
- BESNOSOV N.V., MITTA V. V. (1993). - [Late Bajocian - Bathonian ammonites from Northern Caucasus and Central Asia]. Nedra, Moscow, 347 p., 59 pls. [en russe].
- BUCKMAN S. S. (1907-1930). - *Yorkshire types ammonites*. Wheldon & Wesley, London, Vol. 1-7, 541 p., 790 pl.
- CLOZIER L., DEBRAND-PASSARD S., DELANCE J.-H., DESPREZ N., LORENZ C., LORENZ J. (1983). - *Carte géologique de la France à 1:50 000. Notice explicative de la feuille Sancoins (548)*. BRGM, Orléans, 37 p.
- COURVILLE P., THIERRY J., CARIOU E. (1999). - Modalités évolutives du genre *Bullatimorphites* (Ammonitina) au Bathonien-Callovien (Jurassique moyen) en Europe occidentale. *C. R. Académie des Sciences, Paris*, **328** : 59-65.
- DELANCE J.-H., LAURIN B., MARCHAND D. (1979). - Observations sur la stratigraphie du Bathonien et du Callovien inférieur dans la région de Saint-Bénin-d'Azy (Nièvre). *Bull. sc. Bourg.*, **32 (2)** : 71-95.
- DELANCE J.-H., LABLANCHE G., CLOZIER L. (1988). - *Carte géologique de la France à 1:50 000. Notice explicative de la feuille Nevers (521)*. BRGM, Orléans, 55 p.
- DIETL G. (1990). - *Procerites progracilis* Cox & Arkell und andere Ammoniten aus dem basalen Mittel-Bathonium (Mittl. Jura) der Zollernalb, Schwäbische Alb, SW Deutschland. *Jahresbericht und Mitteilungen des oberrheinischen-geologischen Vereins*, **72** : 329-340.
- DIETZE V., SCHWEIGERT G. (2000). - Zur Stratigraphie und Ammonitenführung des Ober-Bajociums und Bathoniums, insbesondere der Zigzag-Zone, Convergens-Subzone, von Röttingen (östliche Schwäbische Alb, Südwestdeutschland). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie B (Geologie und Paläontologie)*, **284** : 1-15.
- ELMI S. (1967). - Le Lias supérieur et le Jurassique moyen de l'Ardèche. *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon*, **19 (3)** : 509-845.
- ELMI S., MANGOLD C. (1966). - Étude de quelques *Oxyerites* du Bathonien inférieur. *Travaux du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon, Nouvelle Série*, **13** : 143-181.
- ENAY R. (1959). - Note sur quelques Tutilidés (Ammonitina) du Bathonien. *Bulletin de la Société géologique de France, série 7*, **1** : 252-259, pl. VIIIb.
- ENAY R., GAUTHIER H., TREVISAN M., BERTON J.-B., BRIVET L., BRODBECK J.-L., DEMAIZIERE J.-F., DONIE P., FOUREL A., TREHOUR M. (2001). - *Les Micromphalites* (Ammonitina) du Bathonien inférieur de la Nièvre (France) : installation sur la marge européenne de la Téthys de formes sud-téthysiennes d'origine arabe et description d'un néotype de *M. busqueti* (de Gross.). *Revue de Paléobiologie*, **20 (2)** : 503-524.

- FERNÁNDEZ-LÓPEZ S. R., PAVIA G., ERBA E., GUIOMAR M., HENRIQUES M. H., LANZA R., MANGOLD C., MORTON N., OLIVERO D., TIRABOSCHI D. (2009). - The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for base of the Bathonian Stage (Middle Jurassic), Ravin du Bès Section, SE France. *Episodes*, **32** (4) : 222-248.
- GALÁCZ A. (1980). - Bajocian and Bathonian ammonites of Gyenespuszta Bakony Mountains, Hungary. *Geologica Hungarica, Ser. Palaeontologica*, **39** : 78-84, pl. 17-19.
- GROSSOUVRE A. de (1919). - Bajocien-Bathonien dans la Nièvre. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 4, **18** : 337-459, pl. 13-16.
- HAHN W. (1968). - Die Opeleidae Bonarelli und Haploceratidae Zittel (Ammonoidea) des Bathoniums (Brauner Jura E) in südwestdeutschen Jura. *Jahreshefte des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg*, **10** : 7-72, 5 pl.
- HAHN W. (1969). - Die Perisphinctidae Steinmann (Ammonoidea) des Bathoniums (Brauner Jura E) im südwestdeutschen Jura. *Jahreshefte des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg*, **11** : 29-86, 9 pl.
- HAHN W. (1970). - Die Parkinsoniidae S. Buckman und Morphoceratidae Hyatt (Ammonoidea) des Bathoniums (Brauner Jura E) im südwestdeutschen Jura. *Jahreshefte des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg*, **12** : 7-62, 8 pl.
- HAHN W. (1971). - Die Tullitidae S. Buckman, Sphaeroceratidae S. Buckman und Clydoniceratidae S. Buckman (Ammonoidea) des Bathoniums (Brauner Jura E) im südwestdeutschen Jura. *Jahreshefte des Geologischen Landesamtes in Baden-Württemberg*, **13** : 55-122, 9 pl.
- KOPIK J. (2006). - Bathonian ammonites of the families Sphaeroceratidae Buckman and Tullitidae Buckman from the Polish Jura Chain (Southern Poland). *Polish Geological Institute (Warsawa), Special Papers*, **21** : 1-34, pl. I-XXXIV.
- LAURIN B. (1984). - *Les Rhynchonellidés des plates-formes du Jurassique moyen en Europe occidentale. Dynamique des populations, évolution, systématique*. Cahiers de Paléontologie (sect. Invertébrés), Paris, 465 p.
- LISSAJOUS M. (1923). - Étude sur la faune du Bathonien des environs de Mâcon. *Travaux du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon*, **3** (3) : 1-281.
- MANGOLD C. (1970). - Morphoceratidae (Ammonitina – Perisphinctaceae) bathoniens du Jura méridional, de la Nièvre et du Portugal. *Geobios*, **3**(1) : 43-130.
- MANGOLD C. (1971). - Les Perisphinctidae (Ammonitina) du Jura méridional au Bathonien et au Callovien. *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon*, **41** (2) : 1-246, 16 pl.
- MANGOLD C., MARTIN A., PRIEUR A. (2012). - Les Périssphinctidés du Bathonien moyen et supérieur du Mâconnais (Saône-et-Loire, France). *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon*, **169** : 1-155, 29 pl.
- MANGOLD C., RIOULT M. (1997). - Bathonien. In : CARIU E. & HANTZPERGUE P. (eds) (1997). *Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen. Zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles*. *Bulletin du Centre de Recherches, Elf Exploration-Production*, **17** : 55-62.
- MARTIN A. R., MANGOLD C. A. (2015). - Le genre *Bullatimorphites* du Bathonien moyen et supérieur du Mâconnais (Saône-et-Loire, France). *Strata*, **52** : 1-119.
- MINOT J.-M., BRANGER P. (2007). - *Les Brachiopodes du Jurassique du Poitou, ce petit patrimoine ancestral sous nos pieds*. Deux-Sèvres Nature Environnement, Niort, & Association pour la Promotion de la Géologie et de la Paléontologie en Poitou-Charentes-Vendée, Aiffres, 256 p.
- OPPEL A. (1856-1858). - Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands. *Württembergischer Naturwissenschaftlicher Jahreshefte, Stuttgart*, **12** (1856) : 1-438 ; **13** (1857) : 439-586 ; **14** (1858) : 587-857.
- PAGE K.N. (1996). - Observations on the succession of ammonite faunas in the Bathonian (Middle Jurassic) of South-West England, and their correlation with a Sub-Mediterranean 'Standard Zonation'. *Proceedings of the Ussher Society*, **9** : 45-53.
- POIROT E. (1992). - *Le Bajocien (pars) et le Bathonien de Lorraine centrale. Biostratigraphie, Paléontologie*. Université de Nancy 1, Laboratoire de Géologie des Ensembles sédimentaires, Nancy, 188 p., 17 pl.
- QUENSTEDT F. A. (1846-1849). - *Petrefactenkunde Deutschlands. Die Cephalopoden*. Fuess, Tübingen, 580 pp.
- ROGER J., DELFOUR J., QUESNEL F., BONIJOLY D., JAUFFRET D., MARCHAND D., GAUDRY F. (2006). - *Carte géologique de la France à 1:50 000. Notice explicative de la feuille Saint-Saulge (522)*. BRGM, Orléans, 138 p.
- SMITH A., & KROH A. (eds) (2011). - *The Echinoid Directory. World Wide Web electronic publication*.
- <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/projects/echinoid-directory> (accès le 15/02/2015)
- <http://www.nhm.ac.uk/our-science/data/echinoid-directory/> (accès le 08/01/2017)
- STEPHANOV J. (1961). The Bathonian in the section of Belogradchik-Gara Oreshets road (North West Bulgaria). *Bulletin of the Institute of Geology Strassimir Dimitrov, Sofia*, **9** : 337-369.

STURANI C. (1967). - Ammonites and stratigraphy of the Bathonian in the Digne-Barrême area (South-Eastern France, Dept. Basses-Alpes). *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, **5** : 3-57, 24 pl.

TORRENS H. S. (1987). - Ammonites and stratigraphy of the Bathonian rocks in the Digne – Barrême area (South-Eastern France, Dept. Alpes de Haute Provence). *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, **26** : 93-108, **9** pl.

WESTERMANN G.E.G. (1958). - Ammoniten-Fauna und Stratigraphie des Bathonien NW-Deutschlands. *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, **32** : 1-103.

WETZEL W. (1937). - Studien zur Paläontologie des nordwesteuropäischen Bathonien. *Palaeontographica A*, **87** : 77-157.

WETZEL W. (1950). - Fauna und Stratigraphie der Wuerttembergica-schichten insbesondere Norddeutschlands. *Palaeontographica A*, **99** : 63-120, pl. VII-IX.

ZANY D., MANGOLD C., MARCHAND D., TREHOUR M. (1995). - Biostratigraphie et stratigraphie séquentielle du Bajocien supérieur – Bathonien inférieur dans le Nivernais. *Géologie de la France*, **1** : 47-61.

ZATON M. (2007). - *Tulites cadus* BUCKMAN, 1921 (Ammonoidea) from the Middle Bathonian of the Polish Jura and its biostratigraphic significance. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, **243** (2) : 191-199.

## UN NŒUD STRUCTURAL MOBILE A LA JONCTION DU CAMBRÉSIS, DE LA THIÉRACHE ET DU VERMANDOIS

### *A mobile structural crux underneath Cambrésis, Thiérache and Vermandois lands*

Par Francis MEILLIEZ\*

**Résumé.** – A l’affleurement, le massif varisque de l’Ardenne s’enneie à l’ouest sous une couverture méso-cénozoïque très lacunaire, plus ou moins altérée selon les périodes de submersion marine versus d’émersion avec altération météorique. Les données disponibles conduisent à l’identification de failles synsédimentaires modestes (Jurassique inférieur à Crétacé supérieur). Sont ensuite discutées : leur relation avec les structures géologiques voisines, leur influence sur la morphologie et le réseau hydrographique actuels. Leur lien avec les structures varisques sous-jacentes est à rechercher.

**Abstract.** – *The Ardenne variscan massif plunges westwards below an incomplete meso-cenozoic sedimentary cover. This is more or less weathered depending on successive periods of marine versus aerial exposure. Available data have led to identify synsedimentary faults (lower Jurassic to upper Cretaceous). Their relationships with neighbour structural features are discussed, as with water network and present morphology. Links with old variscan structures are still to be re-examined.*

**Mots-clés.** – Varisque, Ardenne, post-varisque, failles synsédimentaires, réseau hydrographique  
**Key words.** – *Variscan, Ardenne Massif, post-variscan, synsedimentary faults, hydrographic network*

### I. – INTRODUCTION

L’Ardenne est un massif ancien dont la signification est double : c’est le relief résiduel d’un segment de l’avant-pays de la chaîne varisque, et en même temps un effet d’ajustements intraplaques, résultant des interactions entre trois processus tectoniques et magmatiques de long terme, en cours (Cloething *et al.*, 2005) :

- Un flambage crustal consécutif aux collisions entre Afrique et Eurasie, responsables de la surrection des Pyrénées et des Alpes ;
- L’intumescence du Massif Ardenno-Rhénan induite par des processus mantelliques qui restent à identifier ;
- La progression de l’ouverture océanique de l’Atlantique nord (dès le début du Crétacé supérieur), puis de l’Arctique (dès le début du Cénozoïque).

Les interférences entre ces trois processus, variables dans le temps et l’espace et dont les dynamiques paraissent à première vue indépendantes, ont contribué à la différenciation progressive du système de rift cénozoïque européen (ECRIS : Dèzes *et al.*, 2004 : Fig.9). Les travaux évoqués ci-dessus renouvellent les approches cinématique et historique du contexte géologique du territoire examiné ici qui couvre des cicatrices structurales varisques (Raoult & Meilliez, 1987).

Je désignerai comme *Ardenne alpine* la partie occidentale (à l’ouest du Rhin) du bombement morphologique ardenno-rhénan. Ce bombement amène à l’affleurement des terrains paléozoïques et se manifeste au travers d’une frange d’influence au travers des dépôts post-varisques qui en constituent la couverture méso-cénozoïque. Et, par commodité, je désignerai comme *Ardenne varisque* le tronçon de l’avant-pays orogénique qui affleure partiellement entre le Rhin et la Sambre puis se prolonge sous le Nord – Pas-de-Calais. Cet article identifie diverses structures dans la couverture de l’Ardenne alpine qui peuvent être lues comme

révélant certains épisodes de réactivation tectonique depuis la fin de la collision varisque. Il en appelle un autre qui, ultérieurement, révisera l’interprétation structurale de l’Ardenne varisque.

Après avoir résumé ce contexte, il sera nécessaire de montrer les raisons pour lesquelles, sur le territoire examiné ici, l’organisation du réseau hydrographique actuel révèle une quasi indépendance par rapport à la morphologie et à la structure géologique sous-jacente. Par ailleurs, ce territoire se comporte actuellement comme un véritable château d’eau du nord-ouest européen, sans pour autant en être un point haut. Il est pourtant de plus en plus menacé par une pénurie de la ressource en eau. L’évolution climatique plio-quadernaire interfère avec les mécanismes évoqués ci-dessus pour enclencher des processus qui contribuent encore à modeler la morphologie régionale, et contrôler la répartition spatiale des zones d’érosion/sédimentation. Mais elle ne suffit pas à expliquer les orientations divergentes des bassins versants.

### II. – LE CONTEXTE GEOLOGIQUE POST-VARISQUE

Après la consolidation varisque, les futurs territoires français et espagnols, soudés avant la rotation relative antihoraire de l’Espagne durant le Crétacé inférieur, ont figuré en bordure méridionale du supercontinent Pangée, baigné au sud-est par le paléocéan Téthys (Vrielynck, 2014). Durant les quelques 50 millions d’années qu’a duré le Permien, les reliefs de la Chaîne Varisque – qui avaient probablement dépassé les 5000 m – ont été largement altérés et émoussés. Une subsidence active a individualisé de vastes bassins entre lesquels ont subsisté des reliefs résiduels très aplanis, comme l’Ardenne et le Massif Schisteux Rhénan (Ziegler *et al.*, 2004). Dans ce contexte, au nord-ouest, ont été submergés une bonne part des Iles Britanniques, de la Mer du Nord et de la Manche, tandis que, le futur Bassin parisien commençait à se différencier à partir de l’est (Guillocheau *et al.*,

\* Université de Lille, UMR 8187 CNRS/LOG, [francis.meilliez@univ-lille.fr](mailto:francis.meilliez@univ-lille.fr)

2000). L'accumulation sédimentaire s'y est poursuivie par intermittences jusqu'au Miocène. Le maximum est localisé à l'est de Paris, dépassant les 3000 m dans la région de Château-Thierry (Gély & Hanot, 2014). De là, vers le nord-est, la série diminue de puissance d'abord progressivement, puis de façon assez brutale à l'aplomb d'une ligne qualifiée ici de flexure sud-ardennaise (Fig. 1) qui est, comme on le verra plus loin, une ligne de partage des eaux majeure. Une analyse de l'accommodation de la pile sédimentaire a conduit les auteurs à distinguer successivement : une période de croissance régulière du Trias au Crétacé supérieur (Campanien), suivie d'une période de faible croissance jusqu'à la transition Oligocène-Miocène durant laquelle, à un bref accroissement de l'accommodation, succède jusqu'à présent une période de réduction (Guillocheau *et al.*, 2000, fig.7).

Sur la carte géologique au millionième (Fig. 1), la ligne isopaque 500 de la série sédimentaire méso-cénozoïque est interrompue vers l'ouest, au nord de la Somme. Ceci rend compte d'un brusque amincissement, connu cartographiquement de longue date (Mégnien, 1980 ; Guillocheau *et al.*, 2000), en rive droite de l'Oise, au travers d'une bande rectiligne de 20 à 30 km de large, qui s'évase au sud entre la Somme et le Pays de Bray. Au nord-ouest de l'Oise, entre les Collines d'Artois et le Pays de Bray, la succession sédimentaire est plus réduite et lacunaire

qu'au centre du Bassin parisien. Elle est principalement constituée de carbonates, secondairement intercalés de pélites, et datés du Jurassique moyen au Crétacé supérieur ; elle est recouverte de pustules détritiques, témoins de dépôts paléocènes à éocènes. Sa puissance passe de 150 à 1500 m environ du nord au sud, avec un sur-épaississement sensible à la traversée de quelques failles (Somme, Eu, Bray, ...), qui témoigne de la réactivation synsédimentaire de failles plus anciennes durant le Mésozoïque (Gosselet, 1908 ; Mascle & Cazes, 1988).

Au nord des Collines d'Artois, une série limitée du Crétacé inférieur terminal à l'Eocène, très lacunaire et peu épaisse (moins de 300 m en France) recouvre le Front Varisque et se prolonge vers le nord par le Bassin de Bruxelles. Cette couverture méso-cénozoïque s'amincit vers l'est, où elle est imbriquée avec les altérites qui couvrent le Massif de l'Ardenne (Voisin, 1981).

### III. – OBSERVATIONS RÉGIONALES

Une première publication (Meilliez, 2016) analysait le profil en long de l'Escaut supérieur, et redécouvrait les travaux antérieurs décrivant une évolution karstique du Cambrésis, responsable d'un réseau hydrographique fantôme assez important. De nos jours, ce territoire, parmi d'autres, recherche une eau

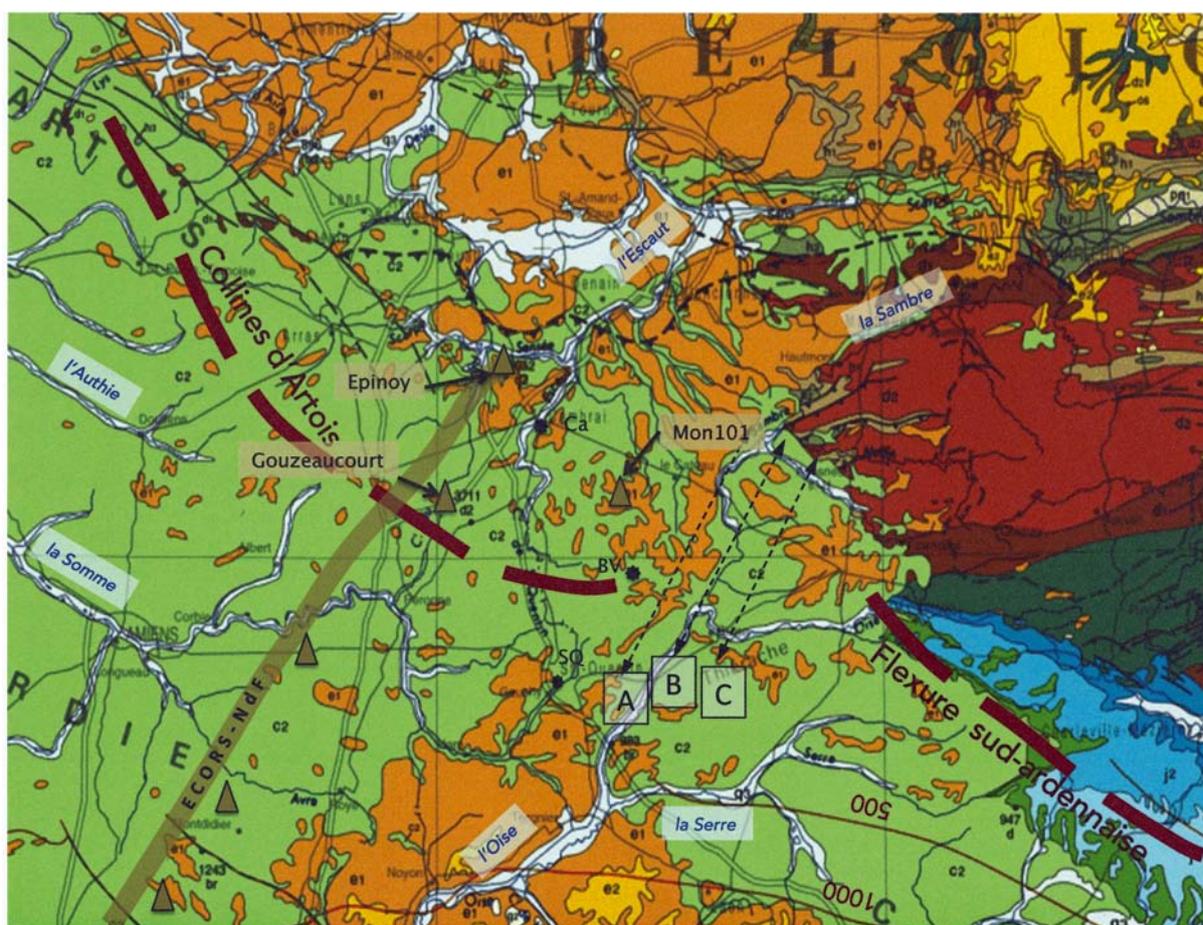


Fig. 1. – Extrait de la carte géologique de la France au millionième, et positionnement des données profondes disponibles : la trace du profil ECORS-Nord de la France (Cazes & Torreilles, 1988) et localisation de quelques sondages, dont trois profonds autour de Cambrai (Gouzeaucourt, Epinoy, Montigny-en-Cambrésis) ; la trace des trois coupes géologiques présentées dans cet article. Deux traits morphologiques majeurs : les collines d'Artois et la flexure sud-ardennaise.

Fig. 1. – Geological map (scale 10-6) and location of deep data : geophysical ECORS-NdF track (Cazes & Torreilles, 1988), and location of a few boreholes, three of them near by Cambrai (Gouzeaucourt, Epinoy, Montigny-en-Cambrésis) ; three geological sections as discussed in this paper. Two important geomorphological features : Artois Hills and the south-Ardennes flexure.

apparemment de plus en plus rare pour une agriculture de plus en plus « assoiffée ». En outre, les quelques épisodes orageux qui s'y produisent sont régulièrement à l'origine d'inondations violentes, de glissements de terrain. C'est donc à une approche intégrée de la géologie locale que je m'étais attaché dans une première analyse très imparfaite. Ayant étendu le domaine d'investigation, les pages qui suivent regroupent des observations connues et d'autres, assez nombreuses, qui n'avaient jamais été valorisées dans une mise en perspective de l'ensemble territorial. Ce travail n'est pourtant toujours pas exhaustif.

### 1) Organisation du réseau hydrographique

La carte géologique au millionième donne l'apparence d'une structuration en quatre quadrants (Fig. 1) : à l'affleurement les terrains cénozoïques dominent au nord et au sud, tandis que la craie (Crétacé supérieur) domine à l'ouest, et les terrains paléozoïques de l'Ardenne à l'est. A la jonction de ces quadrants se trouve un territoire de transition formé par le Cambrésis au nord, le Vermandois au sud-ouest et la Thiérache au sud-est. Ce territoire n'est pas le point le plus élevé des Hauts-de-France et régions voisines, mais ses sources alimentent pourtant :

- L'Escaut et ses affluents français qui coulent vers la Mer du Nord,
- La Sambre qui s'écoule vers la Meuse au nord-est,

- Les affluents de rive droite de l'Oise qui les draine vers la Seine au sud,

- La Somme et ses affluents supérieurs qui rejoignent directement la Manche.

Pourquoi, depuis quand, et jusque quand, ce territoire restreint, connu sous le nom de Massif de l'Arrouaise (Leriche, 1923) peut-il être un château d'eau d'aussi grande importance ?

Les géologues et géomorphologues qui ont sillonné ce territoire ont beaucoup publié. Il suffit de consulter, en ligne par exemple, les *Annales de la Société Géologique du Nord* (<http://iris.univ-lille1.fr/handle/1908/32/browse>). Mais tous ont publié sur un territoire trop petit pour s'interroger sur cette organisation structurale entre la Manche et la Meuse. L'enjeu ici est de comprendre ce qui différencie les quadrants. A première vue (Fig. 1), le quadrant oriental constitue la terminaison occidentale du massif ardennais, recouvert d'une série méso-cénozoïque très parcellaire et altérée. Aussi, en examinant de plus près la composition et la structure de cette couverture, et par comparaison avec les quadrants voisins, il doit être possible de déceler des périodes de mobilité relative ayant induit une différenciation sédimentologique et stratigraphique entre quadrants.

Tout se passe comme si le territoire considéré était organisé en fait en trois secteurs, discriminés par le plan de leur réseau de drainage (Fig. 2). Au pied de la ligne de partage des eaux de Pi-

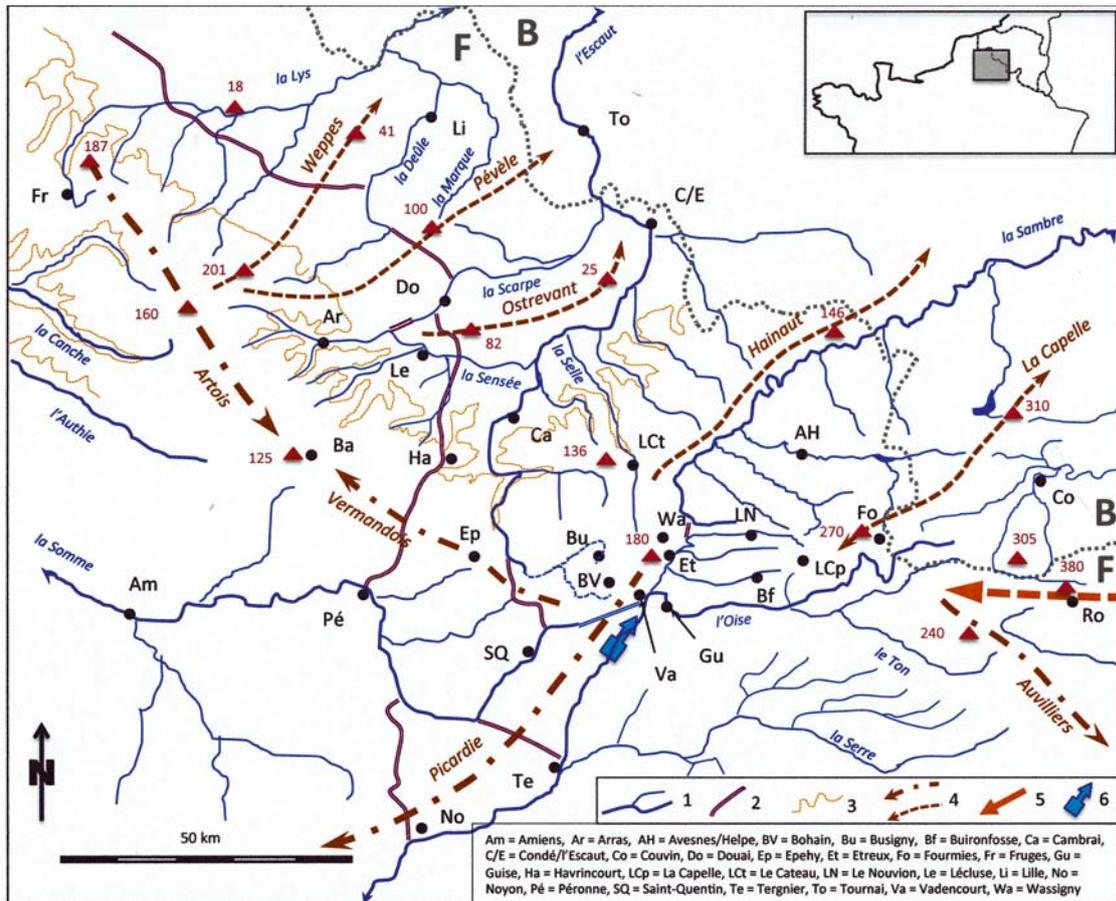


Fig. 2. – Organisation du réseau hydrographique et tracé des lignes de partage des eaux. 1 = cours d'eau ; 2 = canaux ; 3 = isohypse 80 définie par Sommé (1977) pour distinguer le Haut Pays du Bas Pays ; 4 = lignes de partage des eaux (majeure / mineure) ; 5 = ennoisement occidental de la ligne de faite du bombement ardennais ; 6 = site de capture par l'Oise aval de cours d'eau antérieurs, selon Briquet (1908) et Pinchemel (1954).

Fig. 2. – Catchment organization and divide tracks. 1 = rivers ; 2 = canals ; 3 = hypsometric lines as defined by Sommé (1977) for discriminatign High vs Low Lands ; 4 = water divides (minor : major) ; 5 = western plunge of the Ardenne dome crest ; 6 = piracy location of ancient rivers by downstream Oise, according to Briquet (1908) and Pinchemel (1954).

cardie, en aval de Vadencourt, l'Oise collecte en rive gauche des affluents qui eux-mêmes drainent, sur leur rive droite, des ruissellements depuis la ligne de partage des eaux d'Auvillers. En amont de Vadencourt, une vallée étroite et profonde est incisée dans le prolongement de l'Oise aval ; y coule le Noirieux. Dans l'angle droit formé par les lignes de partage des eaux de Picardie et du Vermandois, plusieurs cours d'eau en éventail convergent vers Amiens. De là, la Somme rejoint la Manche à l'issue d'un parcours très rectiligne et au profil longitudinal très plat, comme tous les autres fleuves côtiers entre la Seine et le Boulonnais. Au nord-est des lignes de partage des eaux d'Artois, du Vermandois et d'Auvillers, les cours d'eau majeurs que sont la Sambre, le haut Escaut, la Scarpe et la Deûle s'écoulent globalement vers le nord-est, mais à des altitudes diverses.

Sommé (1977) avait déjà souligné l'incongruité du réseau hydrographique par rapport au relief ; le constat est identique avec la géologie de surface.

Au sud, l'Oise collecte les ruissellements de la couverture méso-cénozoïque dont la disposition en cercles concentriques caractérise le nord et l'est du Bassin parisien (Gély & Hanot, 2014). Mais la Serre, par exemple, s'écoule depuis la craie de Champagne au travers des couches cénozoïques pour rejoindre l'Oise à Tergnier, suggérant que ce système de drainage s'est surimposé à une structure déjà préalablement basculée (Fig. 1). Au sud-ouest, Pinchemel (1954) s'est étonné du fait que la ligne de partage des eaux de Picardie (Fig. 2), coure de façon continue depuis l'est de Saint-Quentin jusqu'aux environs d'Yvetot, dans le Pays de Caux, indépendamment de la géologie de surface, notamment à la traversée de l'anticlinal du Pays de Bray. À l'ouest, la ligne de partage des eaux de l'Artois coïncide avec la crête anticlinale de l'Artois depuis les environs de Fruges jusque Bapaume, point bas de cette ligne. Au sud-est de Bapaume, elle se prolonge par la ligne de partage des eaux du Vermandois qui remonte sur le Massif de l'Arrouaise, vers Bohain-en-Vermandois.

Les lignes de partage des eaux d'Artois, du Vermandois et d'Auvillers sont quasiment alignées. Mais la première coïncide avec un anticlinal faillé à vergence nord, et la dernière avec une cuesta à regard nord, déterminée par les craies du Crétacé supérieur à l'ouest, la gaize oxfordienne à l'est. Quant à celle du Vermandois, sa signification est implicitement questionnée dans cette publication.

Au nord de cette ligne composite, les cours d'eau majeurs s'écoulent régulièrement vers le nord-est, que leur substrat soit d'âge cénozoïque, crétacé ou paléozoïque. Entre les lignes de La Capelle et d'Auvillers, le dôme de l'Ardenne s'estompe à l'ouest de Rocroi dans un paysage très aplani, couvert de marais intermittents (les rièzes), dont les eaux se rassemblent en aval de Couvin avant de rejoindre la Meuse. La ligne de partage des eaux d'Auvillers sépare ce dôme du Bassin parisien, tandis que celle de La Capelle le sépare d'un glacis qui descend régulièrement vers le nord-ouest jusqu'à l'Escaut. Ce glacis draine un réseau en peigne, en rive droite de chacun des deux cours d'eau majeurs orthoclinaux que sont la Sambre et l'Escaut, distants verticalement de 100 m et horizontalement de 20 km. Sommé (1977) a estimé qu'une telle inclinaison ne pouvait s'expliquer par le seul jeu de l'érosion ; il fallait faire intervenir de la tectonique. Plus loin vers l'ouest, la Scarpe, la Marque, la Deûle et la Lys moyenne s'écoulent vers le nord-est sur des terrains plats, indépendamment de leur composition géologique. La Marque a même commencé l'entaille d'une cluse dans un bombement des marnes turoniennes à Bouvines (Meilliez, 2014). L'Ostrevent est un territoire plutôt plat, encadré par l'Escaut et la Scarpe (Gosselet, 1897a), dont les quelques reliefs résiduels sont dus à des niveaux gréseux dans la couverture cénozoïque, qui ont large-

ment alimenté la production et l'exportation de pavés routiers (Dormard, 2013) et de pierres de construction (Gosselet, 1897a). La Pévèle est un relief surbaissé taillé dans les dépôts détritiques fins du Paléogène, et dont la ligne de crête culmine à Mons-en-Pévèle, et détermine une ligne de partage des eaux quasi rectiligne, très facile à déterminer. Les Weppes sont un bourrelet topographique formé par un monoclin (craie du Crétacé supérieur et détritique fin Thanétien) faiblement penté vers l'ouest, ennoyé sous les alluvions plio-quaternaires de la Lys et de ses affluents (Deschodt, 2015).

Une attention particulière doit être portée à la Scarpe, dont le cours affiché sur toutes les cartes officielles n'est pas le cours naturel (Ladrière, 1888 a et b, Louis & Collette, 2009). Le cours supérieur de l'actuelle Scarpe a été dévié vers Douai par un court canal creusé en travers d'un seuil crayeux de très faible amplitude et dépourvu d'alluvions. Avant la période médiévale, « la Scarpe d'Arras » rejoignait le cours actuel de la Sensée à Lécuse. On peut donc s'intéresser à la signification d'une disposition en peigne des affluents de rive droite de la Sensée complète, drainés sur une pente inclinée au nord. Le même dispositif caractérise la Lys supérieure (en amont d'Estaires), la Sensée naturelle (incluant la Scarpe d'Arras) et la Warnelle qui, au sud de Cambrai reçoit entre autres le Torrent d'Esnes (Leriche, 1932, 1933 ; Meilliez, 2016 : fig. 3)). Ces cours secondaires, qui descendent du Haut Pays (Deschodt, 2015 : fig.3), sont facilement responsables d'inondations brutales autant que passagères en cas de précipitations à caractère orageux.

## 2) La série méso-cénozoïque entre l'Artois et la Thiérache

L'influence de l'anticlinal faillé de l'Artois sur la répartition des dépôts méso-cénozoïques et leurs faciès, a été soulignée par tous les auteurs antérieurs. Complétant l'analyse de Cayeux (1890) par un travail de terrain très détaillé durant la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, Leriche (1909a et b, 1923, 1933, 1936, 1939, 1943, 1944) l'a particulièrement argumentée. Ses conclusions ont été intégrées dans les levés cartographiques à 1/50 000 : Le Cateau (Delattre & Mériaux, 1967), Cambrai (Celet & Charvet, 1968), Bohain-en-Vermandois (Celet & Monciardini, 1972), Péronne (Celet, 1978), Guise (Pomerol *et al.*, 1978), Saint-Quentin (Pomerol *et al.*, 1980) ; elles sont résumées dans le schéma de la Fig. 3. De plus, une intense activité d'exploitation de craies phosphatées, destinées à la fabrication d'engrais, s'est déroulée en de nombreux sites de Picardie durant le XIX<sup>ème</sup> siècle et s'est doucement éteinte durant l'Entre-deux-Guerres (Gosselet, 1893, 1896, 1897b, entre autres). Une liste presque complète de ces sites, a été dressée avec description sommaire, pour constater de façon réglementaire l'arrêt définitif des travaux d'extraction (DRIRE-Picardie, 1994). Les gisements se présentent sous trois aspects : des surfaces durcies, des bancs congloméroïdes avec nodules à patine verte phosphatée, un sable phosphaté résidu d'altération, ce dernier faciès étant le plus riche en phosphates (effet placer : Foucault *et al.*, 2014). Quelques-unes des observations réalisées lors de l'exploitation de ces carrières n'ont jamais reçu d'explication satisfaisante jusqu'à présent, mais pourraient trouver place dans le scénario proposé ici.

### a) Les dépôts du Crétacé supérieur

Bien que la base de la série datée du Crétacé supérieur n'affleure pas sur le territoire examiné ici il est nécessaire de se placer dans la dynamique transgressive qui ennoie progressivement le nord du Bassin parisien et l'Ardenne (Amedro & Robaszynski, 2014). Durant le Crétacé inférieur, un golfe marin venu de la Téthys avance vers le nord-ouest en rive gauche de l'Oise, qu'il dépasse au sud de la Somme. Après la régression de l'Aptien,

un nouveau cycle transgressif majeur commence. Dès l'Albien inférieur, le golfe s'accroît et établit une jonction avec la Mer du Nord, une montée eustatique générale effaçant les reliefs les plus bas. Les Sables Verts de l'Albien sont, par exemple, bien représentés dans la région de Fourmies (Meilliez, 2015), dans le secteur où s'estompe la ligne de partage des eaux de La Capelle (Fig. 2). L'installation de la mer de la craie se déploie ensuite, atteignant deux maxima eustatiques respectivement au Turonien inférieur et au Campanien, qui encadrent une chute eustatique sensible (Amedro & Robaszynski, 2014). Les faciès phosphatés congloméroïdes et les surfaces durcies sont également connus dans le Nord – Pas-de-Calais depuis longtemps sous le nom de tun, les auteurs s'accordant à considérer que le banc de tun le plus récent est très voisin de la limite du Turonien au Coniacien (Bonte *et al.*, 1964 ; Colbeaux *et al.*, 1975). Mais en Picardie tous les dépôts phosphatés enregistrés sont datés entre le Turonien supérieur et le Campanien (Fig. 3). Prenant pour un fait spécifique que les faciès phosphatés sableux sont répartis dans une bande large entre la Manche et l'Oise, au sud des Collines d'Artois, on peut proposer le scénario suivant : pendant la montée eustatique cénomano-turonienne, la tranche d'eau est restée suffisamment faible pour que les courants, les fortes tempêtes puissent balayer les points hauts qui deviennent des surfaces durcies, déstabiliser des sédiments peu consolidés et même libérer des coulées congloméroïdes intraformationnelles sur de très faibles pentes locales (Amedro & Robaszynski, 2014). Quelques séismes ont aussi pu contribuer à localiser les instabilités sédimentaires, rendant compte de failles synsédimentaires observées sur parois en exploitation, et figurées par Gosselet (1893, 1896, 1901). La descente eustatique du Coniacien a même pu provoquer çà et là des émergences temporaires des points hauts, y localisant les sables phosphatés par la dynamique des vagues. L'érosion ultérieure des hauts de l'Artois ne permet pas de préciser la limite septentrionale des émergences locales. Mais il semble qu'aucun gisement de sables phosphatés n'ait été signalé au nord des Collines d'Artois. Lors de la remontée eustatique qui a suivi jusqu'au Campanien, ces îlots temporaires ont pu être

recouverts de craie, fossilisant les sables. Si cette explication est recevable, alors elle implique qu'un bombement de la croûte supérieure, même modeste, se serait déjà formé entre la Somme et l'Artois, butant sur une discontinuité crustale qui fixera ensuite l'anticlinal dissymétrique de l'Artois. Au nord de ce butoir, la plate-forme constituant l'actuel Nord – Pas-de-Calais a pu être très faiblement gauchie en synforme, ne permettant pas d'autre émergences que sur les bordures du bassin, et donc pas de concentrations de sables phosphatés.

A l'occasion d'un travail, inédit à l'époque, effectué en 1991 pour l'Agence de Bassin Artois-Picardie, j'avais pu constater, en dressant des cartes en isohypses et isopaques des limites entre niveaux aquifères et non-aquifères, que la transgression du Crétacé supérieur est localement modulée dans l'espace par un jeu de failles synsédimentaires de directions WNW-ESE et SW-NE, fonctionnant en transtension ou en extension simple (Meilliez, 2016). Cette conclusion venait conforter, avec davantage de précisions, la synthèse générale de Colbeaux *et al.* (1977). Ce travail a ensuite été généralisé à l'ensemble du territoire sous-jacent au Nord – Pas-de-Calais (Minguely, 2007). La proposition avancée ci-dessus pour rendre compte de la répartition des faciès phosphatés est compatible avec la fragmentation contemporaine observée tant dans la région que de part et d'autre de la Manche (Duperret *et al.*, 2012).

*b) Les dépôts cénozoïques*

Sur ce territoire restreint, de transition entre l'Artois et l'Ardenne d'une part, entre le Bassin parisien et celui de Bruxelles d'autre part, les dépôts cénozoïques peuvent être décrits comme deux ensembles distincts. Du Paléocène moyen à l'Eocène supérieur, un ensemble encadré d'une transgression et d'une régression majeures couvre la craie de sédiments détritiques fins, dont la distribution met en lumière au moins deux cycles mineurs transgression/régression. Puis, à une longue période de lacune succèdent les dépôts éoliens de loess périglaciaires qui scellent une paléomorphologie proche de l'actuelle, dont on peut suivre l'évolution subséquente (Sommé, 1977 ; Deschodt, 2015).

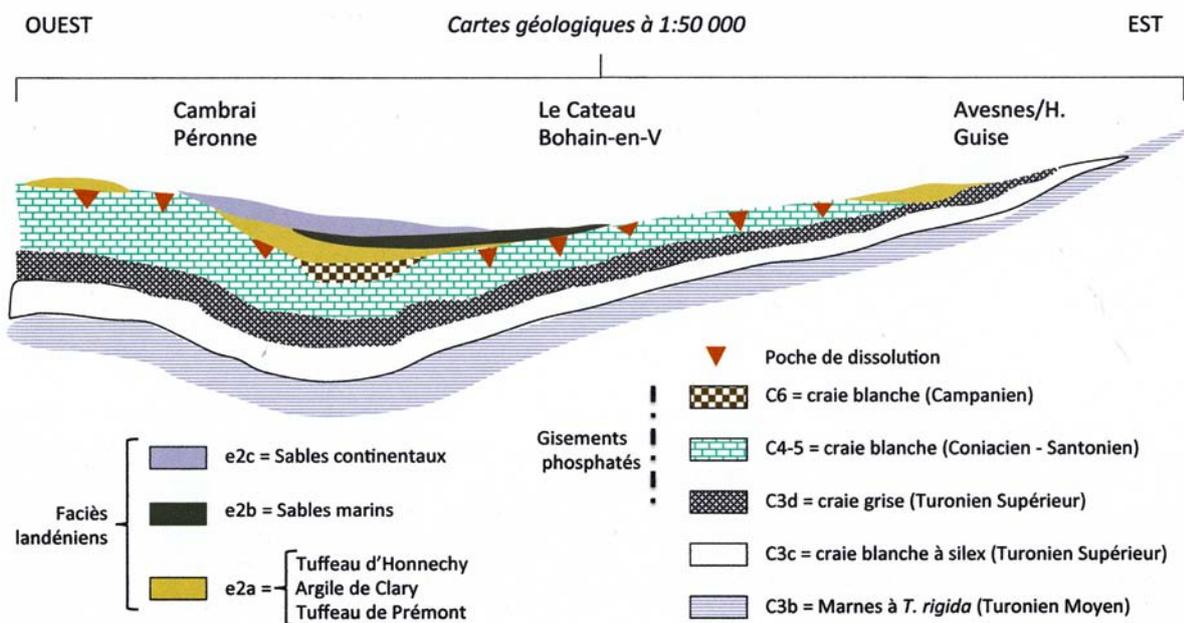


Fig. 3. – Schéma de la répartition spatiale des dépôts méso-cénozoïques entre l'Artois et l'Ardenne.  
 Fig. 3. – Sketch of the space distribution of the meso-cenozoic deposits between Artois and Ardenne.

La lacune constatée du Campanien supérieur au Thanétien inférieur est considérée comme un effet d'ajustements intraplaque, consécutifs à l'ouverture de l'Atlantique nord, de la rotation concomitante de l'Afrique qui induit la surrection des Pyrénées et des zones internes alpines (Dèzes *et al.*, 2004 ; Vrielynck, 2014 ; Wynns, 2014). Pour reprendre l'expression de ce dernier auteur, le territoire examiné ici est alors soumis à une altération soustractive le long de ce qui sera la ligne de crête de l'anticlinal de l'Artois. On peut comprendre aussi qu'un réseau hydrographique naissant descende de ces nouveaux reliefs et commence à inciser la craie, en s'immiscant préférentiellement dans les fractures nouvelles que ces ajustements ont provoquées sur la plate-forme. La craie est en effet un matériau très fragile, se fracturant très facilement en extension à l'extrados d'un dôme. Leriche (1909, 1923) a patiemment établi la trilogie qui transgresse ce nouveau paysage ; elle est aujourd'hui classique (Celet, 1969). La grésification partielle des sables continentaux qui la couvrent (Fig. 3), due à un batillement de nappe, est à l'origine d'un essor de l'économie régionale durant les XVIIIème et XIXème siècles (Gosselet, 1897a ; Dormard, 2013). L'Yprésien s'est probablement déposé presque partout, mais a aussi été très largement érodé puisqu'on ne le trouve qu'à l'état de blocs et galets parfois fossilifères, remaniés dans des lèss et limons divers, plio-quaternaires (Celet, 1969).

Il est admis que c'est pendant le Lutétien, probablement supérieur, que la compression d'origine pyrénéo-alpine a atteint son paroxysme et provoqué la compression de tout l'avant-pays jusqu'en Mer du Nord (Dèzes *et al.*, 2004). Cette sollicitation est diversement accommodée dans l'avant-pays en fonction des structures préexistantes. L'émergence de l'anticlinal de l'Artois date

de cette époque (Gosselet, 1908), comme celui du Pays de Bray (Wynns, 2014). Quelle épaisseur de dépôts (détritiques et craies) a été enlevée ? Nul ne le sait. Durant cette nouvelle période d'exondation, longue (Lutétien supérieur à Pléistocène, plus de 40 millions d'années) la craie a de nouveau été exposée aux intempéries. Les périodes chaudes et humides ont notamment amorcé une érosion karstique notable dont les traces sont observables tout le long de la crête de l'Artois (Leriche, 1923, 1932, 1933 ; Delay *et al.*, 1992 ; Bonnet *et al.*, 1996 ; Maqsooud *et al.*, 1996). Là où la craie était déjà dénudée, la dissolution a progressé et formé des poches dans lesquelles se sont invaginés, outre une pellicule noirâtre d'argiles de décalcification et des silex, quelques dépôts détritiques fins d'âge thanétien, mais aucun témoin d'âge yprésien ni lutétien (Richez & Bonte, 1953). Là où une couche argileuse thanétienne, protectrice, s'est maintenue, la dissolution n'a quasiment pas affecté la craie ; elle n'est devenue effective qu'en fonction des progrès de l'érosion, sous un dépôt perméable, sable ou limon, ou à l'air libre (Bonte *et al.*, 1955 ; Bonte, 1971). C'est pourquoi, aujourd'hui encore, de nombreux points hauts, couverts de bosquets dans le paysage, sont formés de sables aquifères dont le plancher est une couche d'argile thanétienne. Selon la pluviométrie, ces aquifères relâchent leur eau de façon plus ou moins violente et durable dans le réseau karstique durant les semaines ou mois suivants, ce qui peut provoquer des inondations épisodiques locales (Leriche, 1932, 1933).

### 3) Les coupes géologiques le long de la haute vallée de l'Oise

La succession temporelle des dépôts en place étant établie, il reste à préciser leur disposition spatiale. Pour cela il faut s'attacher à suivre quelques surfaces suffisamment bien connues au

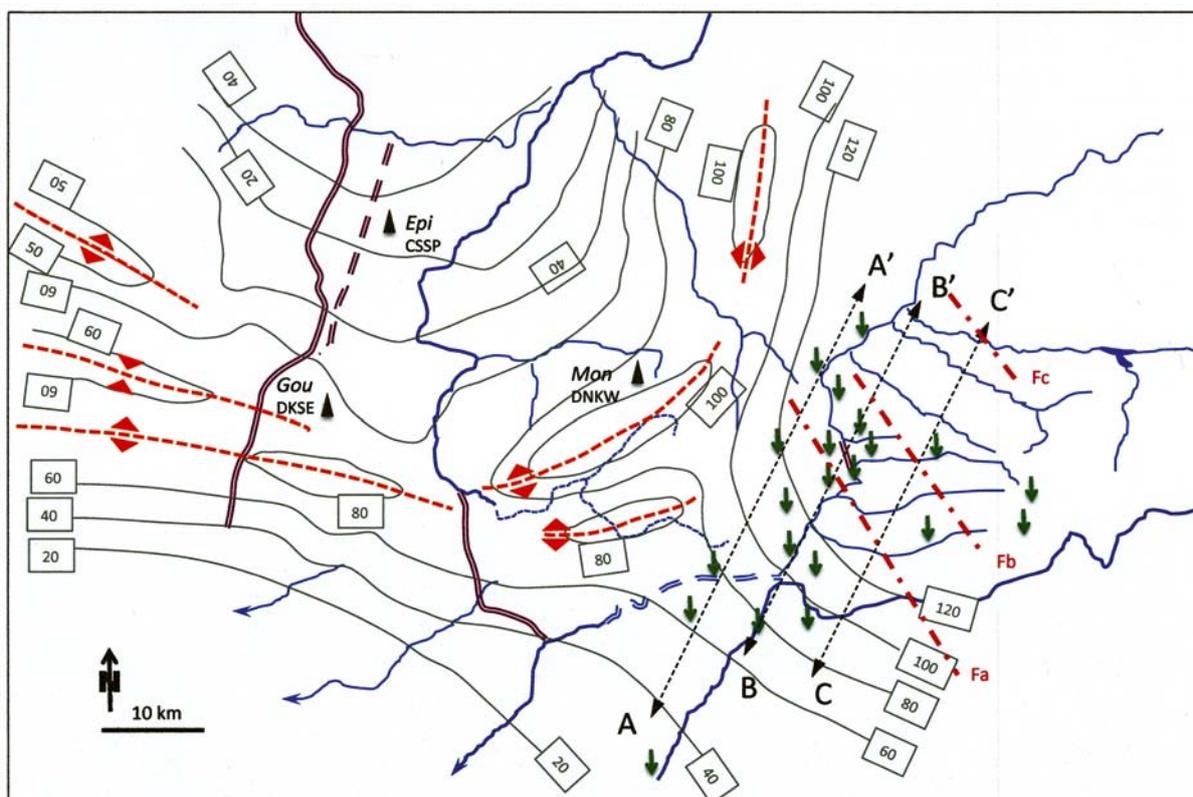


Fig. 4. – Même fond de carte qu'en Fig. 2, mais avec les isohypses du toit des marnes turoniennes (c3b) selon Celet (1956, 1969). Les trois forages profonds sont accompagnés du code permettant de les retrouver dans la Banque du Sous-Sol (BSS du site Infoterre). Les sondages ayant permis d'instruire les coupes A, B et C (Fig. 5) sont localisés par une flèche.

Fig. 4. – Same map as in fig. 2. However hypsometric lines for the roof of Turonian marls (c3b) are added, according to Celet (1956, 1969). The three deep boreholes are indicated with their BSS code (see Infoterre internet site). Boreholes that were used for drawing cross-sections A, B, C (Fig. 5) are located with an arrow.

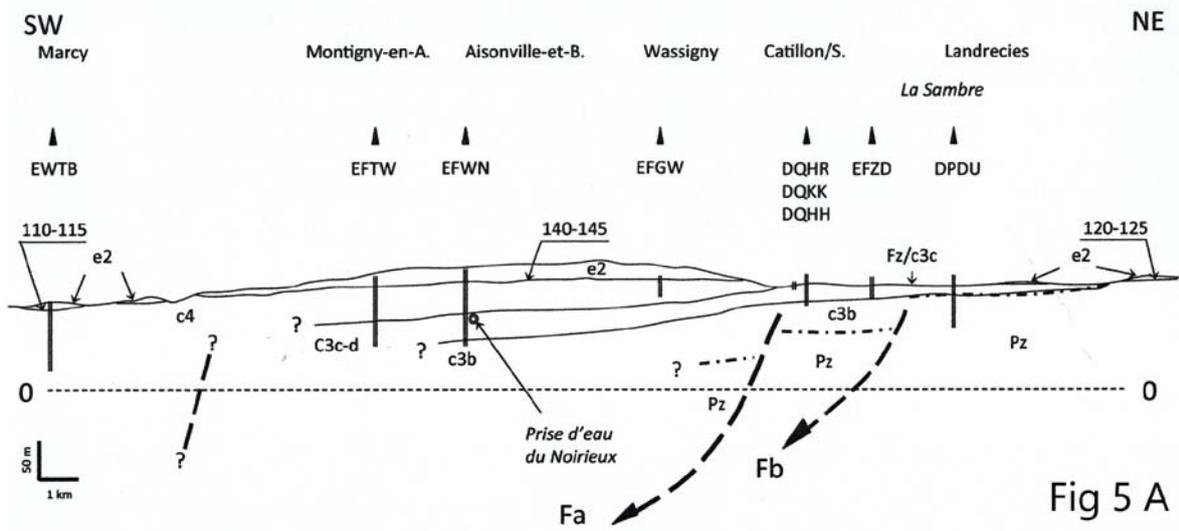


Fig 5 A

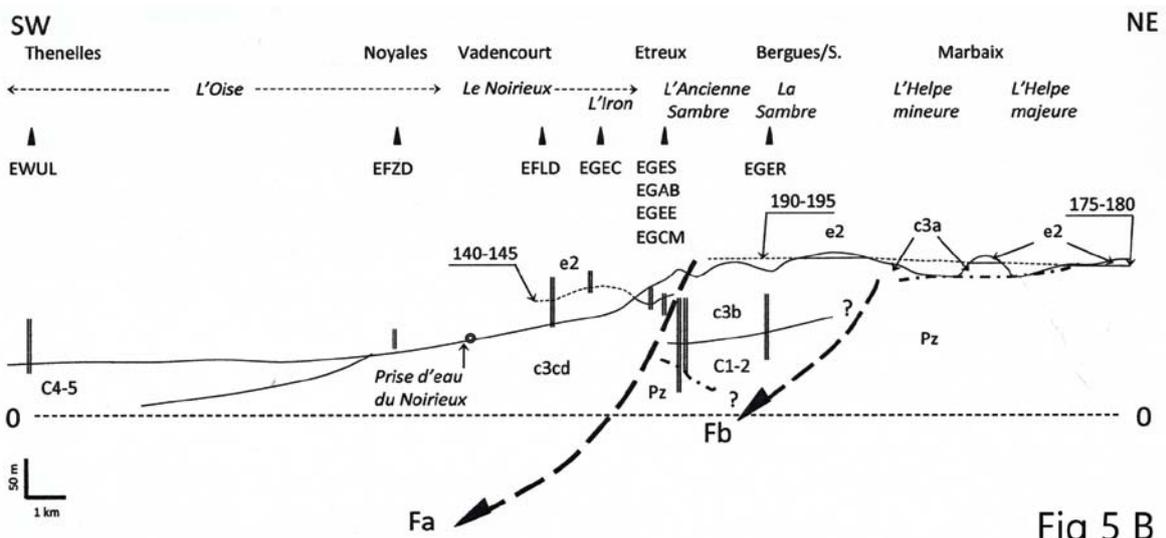


Fig 5 B

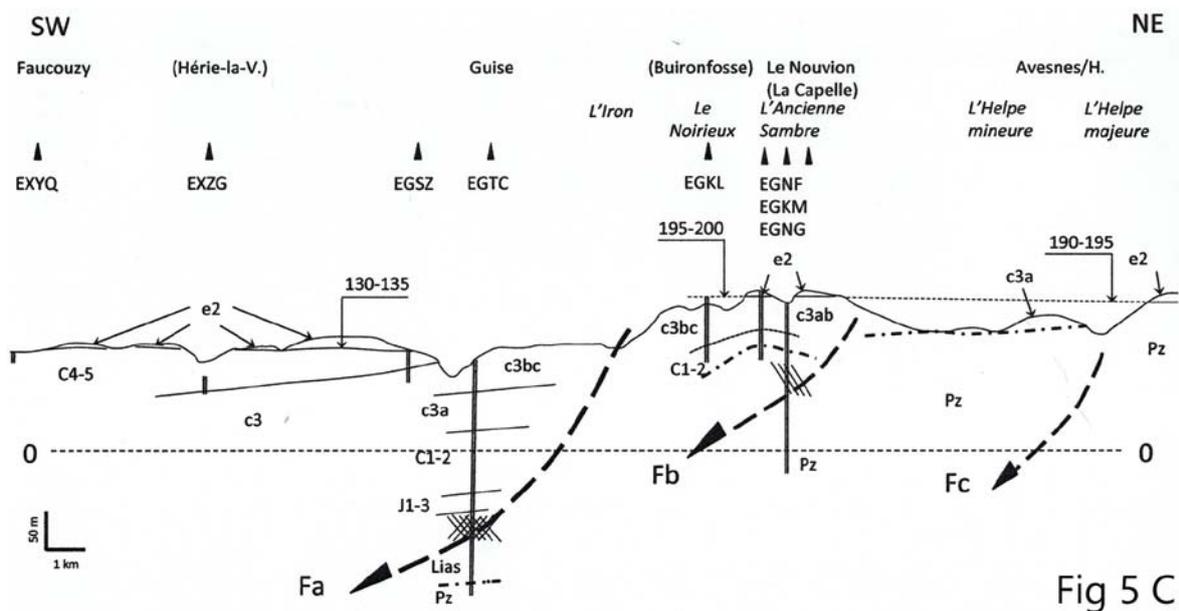


Fig 5 C

Fig. 5a, b et c. – Coupes géologiques positionnées en Fig. 4 et construites à partir de sondages renseignés dans la BSS (localisés en Fig. 4). Exagération verticale : x 20.

Fig. 5a, b, c. – Cross-sections as located on fig. 4. Utilized boreholes are all extracted from BSS (Infoterre).

travers du territoire, après avoir validé leur signification. Ce travail a été réalisé sur la base de trois coupes géologiques parallèles, proches l'une de l'autre (Fig. 1 et 4). La coupe centrale est calée sur la vallée de l'Oise moyenne et du Noirieux qui la prolonge ; l'une est située 5 km à l'ouest, traversant le massif de l'Arrouaise ; l'autre est située 8 km à l'est, traversant l'extrémité occidentale de la flexure ardennaise (Fig. 1). Toutes sont calées sur des sondages renseignés dans la Banque du Sous-sol (BSS : site internet Infoterre).

#### a) Les surfaces repères

Trois surfaces ont été particulièrement retenues, car elles sont potentiellement présentes sur l'ensemble du territoire : le toit du Paléozoïque, le toit des marnes turoniennes qui est un plancher d'aquifère, la base des dépôts cénozoïques.

Le toit du Paléozoïque est connu à l'affleurement à la périphérie du massif de l'Ardenne (Hatrival *et al.*, 1969). Dans le détail, la surface est irrégulière, altérée partout dans ce secteur comme le met en évidence le hasard des travaux (Meilliez, 2015). Elle a aussi été reconnue par diverses méthodes de géophysique profonde sous la large bande balayée par le projet ECORS-Nord de la France (Cazes & Torreilles, 1988). Elle est enfin traversée par divers sondages anciens (CFP *et al.*, 1965 ; Mascle & Cazes, 1988, BSS du site Infoterre) et divers travaux occasionnels, notamment pour la recherche d'eau dans le secteur des sources de l'Oise et de la Sambre d'une part, de la Somme et de l'Escaut d'autre part (Fig. 4). Dans les trois sondages profonds, réalisés pour la recherche d'hydrocarbures, le toit du Paléozoïque a été traversé vers la cote +10 à Montigny-en-Cambrésis, 0 à Gouzeaucourt, -100 à Epinoy (Fig. 4).

Le toit des marnes turoniennes (c3b) est aisé à identifier car c'est le plancher d'un niveau aquifère, dont l'affleurement est proche de sources permanentes ou épisodiques dans toute la région (Lerichie, 1909a, 1923). Pour cette raison, cette surface affleure dans la partie basse de presque tous les versants de vallées. D'où le choix de Celet (1956, 1969) pour en tracer une carte en isohypses (Fig. 4).

Le plancher des dépôts cénozoïques n'est pas un repère stratigraphique mais uniquement structural. Il matérialise la paléomorphologie qui a été progressivement ennoyée par la transgression thanétienne, aux retouches postérieures près. La trilogie tuffeau / argile / tuffeau définie par Lerichie (Fig. 3) permet de distinguer le territoire protégé par la couche d'argile de celui qui, plus élevé en altitude, ne l'était pas. La dissolution a été plus longtemps active sur le second que sur le premier. Et, comme signalé plus haut, dans le territoire protégé de la dissolution par l'argile, les sommets de buttes actuelles sont couverts de bosquets, et l'habitat s'est historiquement implanté à proximité des lignes de sources. C'est le cas de Bohain et Busigny par exemple (Fig. 2).

#### b) Les coupes géologiques

Sur la coupe occidentale (Fig. 5A : AA'), le plancher des dépôts cénozoïques esquisse un vaste dôme dont le faite est situé vers 140-145 m au sud de Wassigny, alors qu'il est 20 m plus bas à environ 11 km au nord, et 30 m plus bas environ 11 km au sud. L'absence ou la présence du Tuffeau de Prémont à la base de la série (Fig. 3) ne justifie pas un tel écart. Le dôme plus marqué qui module la topographie d'aujourd'hui se superpose donc à un dôme de la base de la série cénozoïque acquis, lui, lors de déformations intervenues à partir du Lutétien (§ II). Les sondages contraignent au décalage par failles du toit du Paléozoïque. Le toit de la craie marneuse à *T. rigida* (c3b) est cohérent sur l'ensemble des sondages disponibles et ne nécessite pas

d'être décalé par l'une ou l'autre des failles rendues nécessaires dessous. Ceci suggère que le c3b ait scellé ici les effets de la tectonique distensive.

Sur la coupe orientale (Fig. 5C : CC'), la base de la série cénozoïque est quasi horizontale jusqu'au Noirieux supérieur. Au sud de Guise, elle est très faiblement pentée vers le sud où elle couvre directement les craies du Coniacien-Santonien. Un rejet apparent vertical de l'ordre de 60 à 70 m la décale sans que l'on puisse, sur cette coupe caractériser l'action d'une ou plusieurs failles entre Guise et le cours de l'Iron. En-dessous, le toit du Paléozoïque est bien renseigné et révèle la présence de failles normales non décrites sur les cartes géologiques. Le sondage de Guise (Gosselet, 1879) démontre la présence du Jurassique et l'accumulation différentielle du Crétacé supérieur (Sables Verts notamment). Dans ce sondage, à 197 m de profondeur, sur près de 40 m de hauteur, « on ne retire plus rien du curage que de l'eau blanchâtre, toute la matière pulvérisée disparaît dans les fissures du sol », puis « l'eau jaillit ». Ce hiatus correspond probablement au passage d'une faille comblée de matériau finement pulvérisé et imperméable, dont la charge hydraulique a été libérée par le sondage. Le Dogger est identifié au-dessus, et le Lias au-dessous. La coupe suggère, mais ne démontre pas, que cette faille pourrait émerger à peu près sous le lit de l'Iron. Les sondages EGKL, EGNF, EGKM et EGNL esquissent une structure d'apparence antiforme du toit du Paléozoïque. C'est peut-être vrai, mais c'est peut-être aussi le résultat de distorsions dues à la projection orthogonale de trois des quatre sondages sur la ligne de coupe. En effet, les sondages effectués à La Capelle et Buirfosse ont paru importants à rapporter car ils sont bien renseignés. Le dessin donne priorité à celui du Nouvion (EGKM de la BSS) situé sur la coupe CC' (Fig. 4 et 5C). Là, des terrassements pour une recherche d'eau en 1952, ont permis à Gérard Waterlot de décrire plusieurs couches de Calcaire Carbonifère, altérées et fracturées. Je suggère d'y voir passer une faille, et d'imputer à celle-ci également le décalage constaté du toit du Paléozoïque.

Enfin la coupe centrale (BB' : Fig. 5B) confirme le décalage du toit du Paléozoïque et celui de la base des dépôts cénozoïques par des failles normales. Il semble que l'on puisse y retrouver les failles Fa et Fb proposées sur la coupe CC'. Si cela devait être vérifié, alors il apparaît qu'en aval d'Etreux la base des dépôts cénozoïques aurait été ployée contre le plan de la faille Fa servant de butoir, ce qui trahirait une sollicitation de la faille en inversion. La forte exagération verticale de l'échelle rend caduque toute spéculation sur les pendages apparents. Le fait que cette coupe soit principalement localisée le long du fond de vallée très encaissé, fait que la plupart des sondages, localisés sur le plateau, sont projetés au-dessus du profil topographique. Ces sondages sont précis et nombreux. Et tous ceux qui sont répertoriés dans la BSS n'ont pas été représentés, par raison de lisibilité.

En résumé, ces coupes suggèrent que :

- Le dépôt des sédiments jurassiques a été accommodé par un système faillé de type normal décalant le toit du Paléozoïque. Cela n'avait pas encore été démontré objectivement dans ce secteur.

- L'Albien (Sables Verts) a bien atteint et recouvert la bordure sud-ouest de l'Ardenne. Les divers faciès marneux puis crayeux leur ont succédé, toujours en contexte distensif, encore sensible jusque dans le Campanien en Picardie-Artois-Flandre, en s'atténuant ici durant le Turonien, sans doute à cause de la proximité d'un socle rigide.

- L'ensemble de la série crétacée et son substrat ont légèrement basculé vers le sud avant la transgression thanétienne, discordante sur des terrains de divers âges. Cette apparente bascule pourrait être rapportée autant à la compression et la

baisse eustatique de la fin du Crétacé qui ont aussi exondé l'Artois, qu'à la subsidence continue du centre du Bassin parisien (Briaïs *et al.*, 2016).

- Toutefois, le gaufage de la base des terrains cénozoïques (coupe AA') ou leur ondulation contre une faille synsédimentaire (coupe BB') suggèrent d'y voir une déformation sous l'effet d'une composante compressive nord-sud, accompagnant sans doute l'émergence de l'Eocène supérieur.

- Enfin, à la précision des reports près, en postulant que les trois failles indiquées sur les coupes aient une trace horizontale rectiligne, leur direction est à peu près NNW-SSE. Direction que l'on retrouve en surface dans la linéarité du cours de la Selle et dans l'orientation de la ligne de partage des eaux d'Auvillers (Fig. 2 et 4).

Il n'est guère possible d'en dire davantage à partir des données présentées ici. En multipliant les sites d'études très détaillées, les archéologues vont peu à peu préciser les mouvements relatifs intervenus durant le Plio-Quaternaire (Antoine *et al.*, 2014 ; Deschodt, 2015). C'est ainsi que l'empilement des terrasses alluviales de la Somme n'est plus vu comme l'effet du simple soulèvement par à-coups de l'ensemble du territoire, mais plutôt comme les effets prépondérants de dix cycles glaciaire-interglaciaire qui se sont produits durant le dernier million d'années tandis que l'ensemble du territoire se soulevait légèrement (Antoine *et al.*, 2007). Le territoire manque donc de marqueurs géologiques en capacité d'éclairer la compréhension des événements durant le Néogène. Pour l'instant, on ne peut que spéculer à partir d'événements bien connus dans les régions limitrophes, en prenant en compte les comportements rhéologiques des matériaux constitutifs du territoire examiné ici.

#### IV. – DISCUSSION SUR LA CINÉMATIQUE RÉGIONALE

L'objectif est d'examiner si les résultats qui viennent d'être dégagés (§ III) sont compatibles avec les éléments d'un scénario intraplaque tel qu'il a pu être résumé en introduction.

##### 1) Un scénario possible du Jurassique au Lutétien

L'individualisation du Bassin parisien au détriment du paysage post-varisque dont l'Ardenne est alors le témoin local est alors le premier marqueur. Le sondage de Guise marque une limite septentrionale à l'extension du Lias dans la région. Au-dessus, le Bathonien transgressif est connu à l'affleurement à l'est de Guise (vallée du Ton, Fig. 4), en sondages à Gouzeaucourt, et au sud de l'Authie (Mégnien coord., 1980, II, carte JM6). Le Jurassique n'est mentionné ni dans le sondage de Montigny, ni dans celui d'Épinoy.

Un deuxième épisode tectonique est révélé par la discordance cartographique du Crétacé sur les divers terrains jurassiques, tant en bordure sud de l'Ardenne (Fig. 1) que dans le Boulonnais et le Pays de Bray (Guillocheau *et al.*, 2000). Cette discordance n'est pas perceptible dans les sondages étudiés ici.

Les grands cycles sédimentaires du Crétacé supérieur ne sont pas clairement identifiés dans le Bassin parisien (Guillocheau *et al.*, 2000). Des sédiments attribuables à la série du Gault (Aptien) et peut-être plus anciens ont été reconnus seulement dans le sondage d'Épinoy (Fig. 4). Ils sont surmontés des marnes et craies qui se succèdent du Turonien à la fin du Crétacé, présentes dans tous les sondages. Les analyses de cartes en isopaques et isohypses ont démontré l'activité d'une tectonique distensive durant le Turonien, s'estompant durant le Campanien (*cf.* II.2.a ci-dessus). Les coupes géologiques présentées ici illustrent les effets de cette activité tectonique (Fig. 5). Ils ont

aussi été observés sur les falaises côtières de part et d'autre de la Manche (Duperret *et al.*, 2012). Les divers événements locaux sont d'autant mieux calés dans le temps qu'une activité volcanique explosive, opérant en Mer du Nord a été révélée par les dépôts de cendres mêlées de sédiments en de nombreux endroits (Deconinck, 2014). C'est durant cette période que s'est inversée la sollicitation tectonique crustale générale : à la distension induite par l'ouverture de l'Atlantique nord a succédé une mise en compression due à la rotation de l'Afrique et au début de l'émergence des Pyrénées, suivie de peu d'une mise en compression alpine (Dèzes *et al.*, 2004 ; Vrielynck, 2014). L'intensité de cette phase a provoqué une redistribution du champ de contraintes en Europe, se traduisant par un basculement crustal de l'avant-pays péri-alpin et la vidange corrélative du Bassin parisien vers le nord, ainsi que quelques inversions tectoniques ressenties jusqu'en Mer du Nord (voir par exemple Huyghe & Mugnier, 1995). Il est donc compréhensible que de tels changements aient induit des ajustements variables selon la géométrie des structures crustales anciennes, comme la réactivation des failles de l'Artois (Gosselet, 1908). La combinaison de ces mouvements avec les variations eustatiques signalées (Amedro & Robaszynski, 2014) peut expliquer d'une part la genèse des gisements phosphatés sur des hauts fonds balayés de vifs courants, ainsi que l'évolution de certains d'entre eux en sables enrichis en phosphate par altération (*cf.* §II.2.a). Les émergences des anticlinaux du Pays de Bray et de l'Artois en sont une autre conséquence, à l'origine d'une première érosion partielle de la craie sur les points hauts (Wynns, 2014). Guillocheau *et al.* (2014, p. 218) parlent même de plis à courte longueur d'onde. Cela me semble difficile par raison rhéologique ; en surface, les sollicitations dans ce contexte général sont plutôt cassantes, donnant de minuscules horst et graben (métriques à décimétriques), comme Gosselet (1896, 1901) en a illustrés. Une couverture sédimentaire non consolidée a pu facilement glisser et se mouler sur de telles structures, donnant des plis métriques, vus comme des anomalies par les premiers observateurs. En revanche, des ondulations à grande longueur d'onde sont possibles (Briaïs *et al.*, 2016).

Le cycle sédimentaire du Paléogène engendre des accumulations sédimentaires différenciées de part et d'autre de l'anticlinal d'Artois, même si les faciès sont proches. A l'échelle de l'Europe, la croûte continentale est prise en étau entre la collision avec la plaque africaine au sud et le début de l'ouverture de l'océan Arctique au nord associé à un volcanisme abondant. Cette compression générale pourrait être responsable de l'amorce de l'intumescence du Massif Ardenno-Rhénan, par association de flambage crustal et de la fusion partielle du manteau supérieur par décompression locale (Clothing *et al.*, 2005), les deux processus étant capables de s'auto-entretenir par interactions. Ce qui expliquerait l'étendue des activités volcaniques sous cette partie du globe dès l'Eocène, et dont des traces sont encore perceptibles aujourd'hui dans le manteau (Rickers *et al.*, 2013).

Revenant au territoire régional exploré ici, les dépôts cénozoïques sont discordants sur tous les terrains sous-jacents. Les coupes ont montré que cette discordance pouvait être aussi décalée par faille normale (ou transtensive) en bordure de l'Ardenne (fig. 5c). Le début de la surrection ardennaise est bien établi par ailleurs, conduisant au façonnage d'une surface d'aplanissement éocène très bien conservée dans l'ouest de l'Ardenne (Voisin, 1981 ; Demoulin, 1995a). La compression pyrénéo-alpine qui se fait sentir dans la région à compter du Lutétien moyen (Vrielynck, 2014) peut rendre compte des ondulations observées à la base des dépôts cénozoïques sur la coupe BB' (Fig. 5b). Enfin cette compression pyrénéo-alpine est depuis longtemps tenue

pour responsable de la différenciation définitive de l'anticlinal de l'Artois, de l'érosion et du recyclage des dépôts yprésiens, ultérieurement retrouvés dans des poches de dissolution et dans des limons d'origines diverses.

Au-delà de cette phase sévère, on ne peut rien dire venant de la région elle-même. Il faut reprendre les abondants travaux réalisés sur l'Ardenne et le Massif Schisteux Rhénan pour tenter de comprendre à quelles sollicitations ce territoire a dû faire face. C'est ainsi que le Rhin inférieur et la Meuse inférieure se sont implantés dans des graben qui s'ouvrent en éventail depuis l'Eocène, dans la partie septentrionale du système de rift européen (Dèzes *et al.*, 2004). Des observations restent à interpréter, comme par exemple une structure antiforme picarde en rive droite de l'Oise, mais traversée par la ligne actuelle de partage des eaux de Picardie (Fig. 2), et qualifiée de « môle Bray-Artois » (Dupuis *et al.*, 1984). De nombreux auteurs se sont aussi attachés à retracer le développement du réseau hydrographique ardennais, les uns voyant la prépondérance d'une surimposition, d'autres de captures multiples par érosion régressive (Grimbérieux *et al.*, 1995). Briquet (1908) voyait l'effet d'une capture du cours supérieur de la Sambre par l'Oise dans le cours actuel du Noirieux (Fig. 2). Pinchemel (1954) a même localisé l'endroit de la capture (Fig. 2), mais en la situant dans un contexte un peu différent. Bref, pour avancer sur la compréhension de ces observations il est impératif de se focaliser sur ce que les géologues appellent « formations superficielles », imbriquant altérites de divers âges et divers types de limons corrélatifs de l'érosion. Les dépôts éoliens périglaciaires contribuent à préciser l'histoire du dernier million d'années (Antoine *et al.*, 2007, 2014). Ils scellent une adaptation en cours à d'importants mouvements verticaux

qui ont débuté peut-être vers la fin du Miocène, mais se sont amplifiés au cours du Pléistocène, en interférence avec les effets induits par l'évolution climatique (Demoulin, 1995b ; Van Balen *et al.*, 2000 ; Demoulin & Hallot, 2009 ; Sougnez & Vanacker, 2011). Cette analyse fait partie d'un autre travail à venir.

## 2) Les failles affectant le socle sont-elles polyphasées ?

Comme l'illustrent les coupes géologiques (Fig. 5), le socle varisque a été découpé par des failles normales accommodant les dépôts sédimentaires du Bassin parisien dès le Lias. Dans cette première approche de leur tracé avec les données disponibles ici, nous admettons que les failles notées **Fa** et **Fb** puissent effectivement se correspondre d'une coupe à l'autre. Si cette hypothèse est vérifiée, alors il faut constater qu'elles s'amortissent à leur extrémité nord-ouest où le toit du niveau c3b est à peine fléchi au-dessus de leur trace (Fig. 5A). Reportée sur carte (Fig. 6), leur direction est proche de N150 (NNW-SSE). La différence de rejet constatée entre les coupes AA' et CC' au niveau du toit du Paléozoïque implique un pitch (pendage apparent dans le plan de la faille) de l'ordre de 1°, ce qui est tout à fait recevable. Même s'il s'agit d'une simplification, on peut raisonner sur cette base. Ces failles ont-elles une signification par rapport à d'autres structures géologiques connues ?

En Fig. 6 sont reportées les trois failles identifiées dans un précédent travail (Meilliez, 2016), dont l'une avait été décelée sur le terrain par Leriche (1936), Celet & Charvet (1968). Elles semblent en étroite relation avec le tracé de cours d'eau actuels, qu'elles peuvent avoir contribué à drainer sur une certaine distance. Ce n'est pas le cas des failles mises en évidence cette fois, hormis le fait d'être localisées dans le prolongement de la

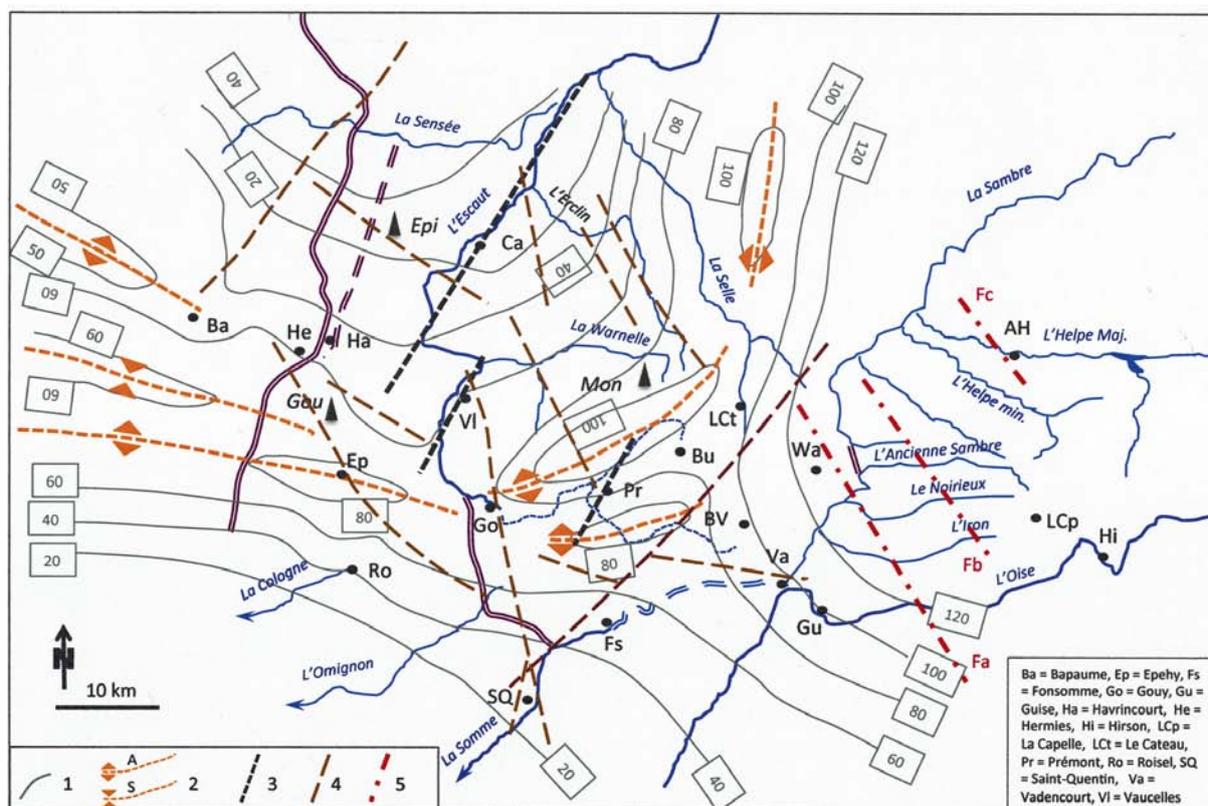


Fig. 6. – Carte de la Fig.4 sur laquelle ont été reportées : les failles (3) déterminées par Meilliez (2016), les failles (4) extraites de la carte de l'écorché infra-mésozoïque (CFP *et al.*, 1965), les failles (5) déterminées dans ce travail.

Fig. 6. – Same map as in Fig. 4. Have been added : faults (3) determined by Meilliez (2016), faults (4) extracted from the top-palaeozoic map (CFP *et al.*, 1965), faults (5) determined in this paper.

flexure sud-ardennaise, qui est également une ligne de partage des eaux (Fig. 2). A noter aussi que le cours de la Selle est étrangement rectiligne par rapport aux autres affluents de rive droite de l'Escaut, et de même orientation que les failles Fa et Fb, lesquelles ne semblent pas être en rapport avec la morphologie du toit des marnes turoniennes (c3b) (Fig. 6).

La connaissance de la géologie du toit du Paléozoïque est essentiellement due aux cuttings récoltés lors de forages réalisés lors d'une campagne d'exploration (CFP *et al.*, 1965). L'âge des échantillons récoltés a été attribué sur la base de restes de macrofossiles lorsqu'il y en avait, sinon au faciès, ce qui peut avoir été source d'erreurs d'interprétation. Le principal résultat de cette campagne a été la mise en évidence que sous la Picardie, l'Artois et la Flandre se retrouvait la même logique structurale que celle établie par les divers géologues ayant cartographié l'Ardenne. C'est sur ce constat qu'a été identifié le Synclinorium de Dinant sous la Picardie, mais avec une direction dite armoricaine (NW-SE). Pour la raccorder à la structure éponyme en Ardenne, de direction dite varisque (WSW-ENE), il fallait dessiner une double charnière, suggérant que l'ensemble du synclinorium fut affecté d'un pli dissymétrique plongeant très faiblement et approximativement vers le nord (Fig. 7). L'idée d'une telle continuité d'ouest en était guidée par la continuité du gisement houiller et des divers faciès de Calcaire Carbonifère depuis la région de Liège jusque dans le Boulonnais, argumentée par Gosselet (1874). Effectivement, plusieurs failles de direction NNW-SSE ont été

dessinées par les pétroliers, sans que le maillage de leurs forages donne l'impression de les justifier toutes. Elles sont localisées dans le prolongement de la flexure sud-ardennaise définie ici (Fig. 7). Leur carte mentionne une longue faille orientée SW-NE, passant par Saint-Quentin et Bohain-en-Vermandois, contre laquelle s'atténuent les failles reconstituées ici dans la couverture. Est-ce une coïncidence, ou cela a-t-il une signification ? C'est l'une des questions qui se posent maintenant.

## V. – CONCLUSION

Sommé (1977) ayant attiré l'attention sur le désaccord entre la morphologie et le réseau hydrographique régional, il me fallait rechercher une explication structurale en ce qui concerne le passage de l'Ardenne aux plaines du Nord de la France. Voisin (1981), comme de nombreux autres géographes et géologues, belges et français, s'est beaucoup intéressé aux surfaces d'aplanissement et aux terrasses alluviales étagées (*résumé in* Demoulin, 1995a). Sur carte, comme sur le terrain, le passage de la vallée de l'Oise à celle de la Sambre étonne. Il est suffisamment surbaissé pour avoir permis l'implantation d'un canal de liaison (Fig. 2) en 1839 (site internet du projet Babel). De plus, sur ce bief, en 1684, le cours d'eau appelé Ancienne Sambre (Fig. 6) a été détourné pour soutenir le courant du Noirieux et de l'Oise afin de faciliter le flottage du bois destiné à Paris (Rabelle, 1900). Quels phénomènes naturels et

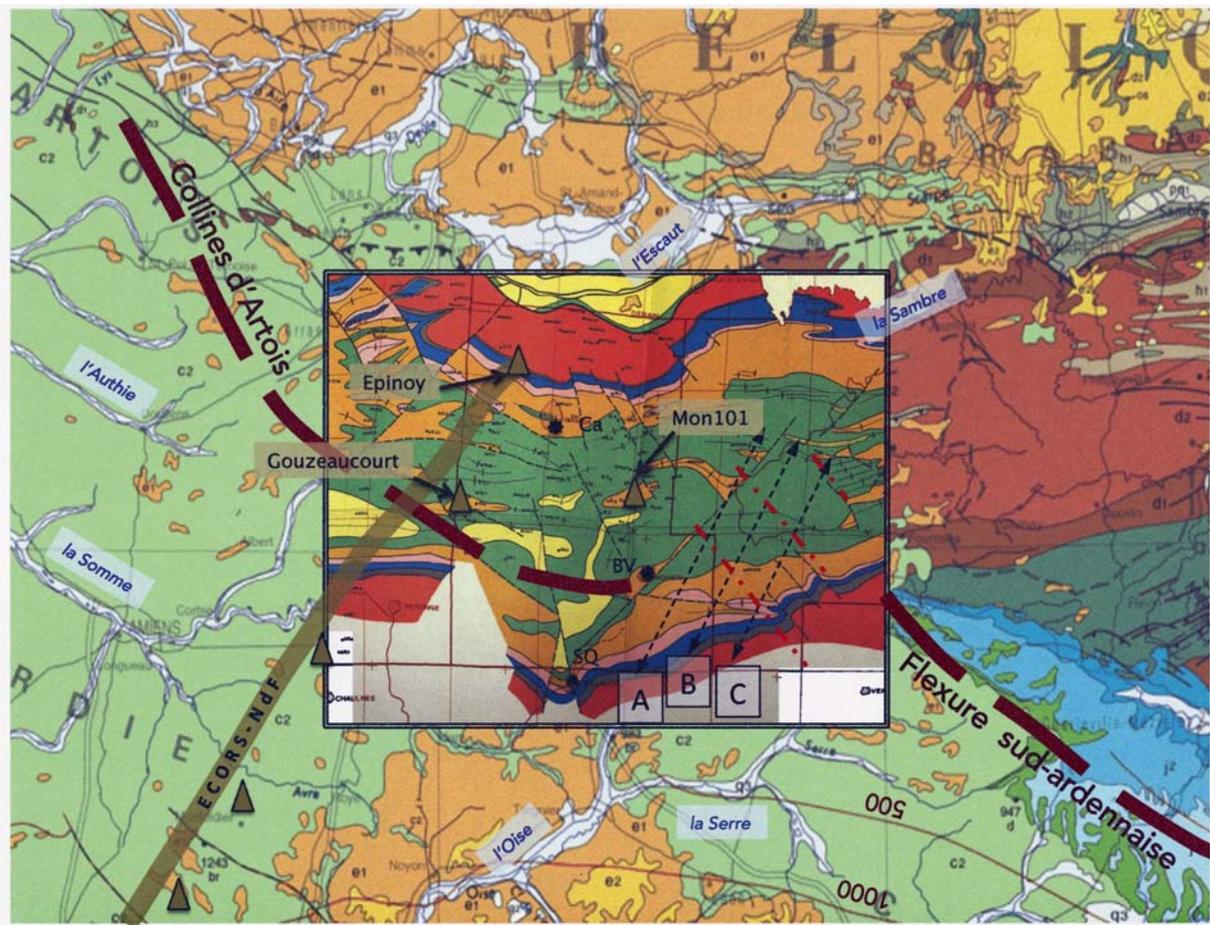


Fig. 7. – Carte de la Fig. 1, mise en légère transparence, sur laquelle ont été appliquées : les failles (en tiretés rouges) déterminées dans ce travail, et un extrait de l'écorché inframésozoïque (CFP *et al.*, 1965). Sans surprise on voit que les failles déterminées ici prolongent la flexure sud-ardennaise.  
Fig. 7. – Weakly transparent map (Fig. 1) on which are reported : faults (red dashes) determined in this paper, and a piece of the top-palaeozoic map (CFP *et al.*, 1965). It can be seen that here-defined faults seem to be linked to the south-Ardenne flexure.

interactions humaines ont contribué au façonnement des paysages de ce territoire depuis la fin de la déformation varisque ? Quelles sont les parts respectives de la tectonique, de la dynamique sédimentaire (eustatisme, érosion, sédimentation), du climat (forte altération chimique lors de périodes chaudes et humides, forte incision sans altération lors des alternances glaciaire/interglaciaire) ?

Le profil ECORS – Nord de la France avait apporté des informations à l'échelle de la croûte et sur une bande large de plusieurs dizaines de kilomètres. Mais l'information manquait entre ce regard d'ensemble et le détail de la cartographie sur le terrain. D'où le recours aux sondages de faible profondeur (moins de 1000 m), plus ou moins bien renseignés dans la Banque du Sous-Sol (BSS : site internet Infoterre). Et le choix de coupes géologiques parallèles à cette « *vallée [...] qui s'étend presque en ligne droite depuis Liège jusqu'à Pontoise* » qui étonnait tant Gosselet (1900). L'analyse de ces coupes révèle des failles synsédimentaires fonctionnant dès le Jurassique inférieur jusque dans le Crétacé supérieur, décalant aussi le toit du socle varisque (Masclé & Cazes, 1988). Ces failles ont donc participé à l'accommodation de la différenciation du Bassin parisien. Ont-elles encore été actives par la suite ? Apparem-

ment pas, en tout cas, aucun des cours d'eau qui se sont mis en place durant le Plio-Quaternaire, selon les auteurs (résumé dans Cloething *et al.*, 2005) ne semble influencé par elles. Une seule exception : la Selle coule dans la même direction d'une façon très rectiligne, mais en aval du tracé des failles identifiées ici. Il reste à discuter d'un héritage possible de ces failles à partir de la réactivation du socle varisque. Ce qui demande une analyse rénovée des travaux d'exploration menés autrefois (CFP *et al.*, 1965). Ce travail est en cours et sera rapporté dans une prochaine communication.

**Remerciements.** – La volonté de confronter aux observations de terrain laborieusement acquises par les découvreurs, les modèles géologiques spatio-temporels qui, depuis quelques années, tentent de rendre compte de la dynamique géologique de l'Europe, a été stimulée par les lecteurs et relecteurs de la précédente publication (Meilliez, 2016). Qu'ils en soient tous remerciés ici. Merci aussi à Laurent Deschodt et Jean Sommé qui m'ont donné l'occasion d'approfondir cette réflexion. Merci à Pierre Dron dont la connaissance du terrain a permis d'énoncer de judicieuses améliorations. Merci à l'équipe rédactionnelle des Annales pour le travail sérieux qui y est mené.

## BIBLIOGRAPHIE

- AMEDRO F. & ROBASZYNSKI F. (2014). – Le Crétacé du Bassin parisien. In Gély J.P. & Hanot F. (dir), Le Bassin parisien, un nouveau regard sur la géologie. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*. Mémoire hors-série n° 9. : 75-84.
- ANTOINE P., LIMONDIN LOZOUET N., CHAUSSÉ C., LAUTRIDOU J.-P., PASTRE J.-F., AUGUSTE P., BAHAIN J.-J., FALGUERES C. & GALEHB B. (2007). — Pleistocene fluvial terraces from northern France (Seine, Yonne, Somme) : synthesis, and new results from interglacial deposits. *Quat. Sc. Rev.*, **26** : 2701-2723.
- ANTOINE P., GOVAL E., JAMET G., COUTARD S., MOINE O., HERISSON D., AUGUSTE P., GUERIN G., LAGROIX F., SCHMIDT E., ROBERT V., DEBENHAM N., MESZNER S. & BAHAIN J.-J. (2014). — Les séquences loessiques Pléistocène supérieur d'Havrincourt (Pas-de-Calais, France) : stratigraphie, paléoenvironnements, géochronologie et occupations paléolithiques. *Quaternaire*, **25** : 321-368.
- BONNET T., COLBEAUX J.-P. & BRACQ P. (1996). – Analyse multicritères d'une région du Nord de la France (Bapaume). Importance du contexte morphostructural sur le débit des captages d'eau potable obtenu dans l'aquifère crayeux. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **T 4** (2ème série) : 91-98.
- BONTE A. (1971). – Poches de dissolution et argile résiduelle. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XCI** : 39-46.
- BONTE A., DELATTRE C. & CELET P. (1955). – Observations sur les environs de Péronne et de Bapaume. (Feuille de Cambrai au 80 000è). *Bull. Carte géol. France*, n°246, fasc. A, **TLIII** : 11 p.
- BONTE A., BROQUET P., BELLERY B., DEZWARTE J.-M. & FENET B. (1964). – La craie phosphatée dans le Nord – Pas-de-Calais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXXXIV** : 41-42.
- BRIAIS J., GUILLOCHEAU F., LASSEUR E., ROBIN C., CHATEAUNEUF J.-J. & SERRANO O. (2016). – Response of a low-subsiding intracratonic basin to long-wavelength deformations : the Palaeocene – early Eocene eriod in the Paris Basin. *Solid Earth*, EGU, **7** : 205-228.
- CAYEUX L. (1890). – ondulations de la craie sur la feuille de Cambrai et rapports de la structure ondulée avec le système hydrographique de cette carte. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XVII** : 71-90.
- CAZES M. & TORREILLES G. coord. (1988). — *Etude de la croûte terrestre par sismique profonde. Programme ECORS – Profil Nord de la France*. Technip, Paris : 260 p.
- CELET P. (1956). – La surface des marnes grises à Terebratulina rigida (Turonien moyen) sur la feuille de Cambrai au 1/80 000. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXXVI** : 14-24.
- CELET P. (1969). — Géologie du Cambrésis et des régions avoisinantes. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXXXIX** : 91-102.
- CELET P. (1978). — *Carte géologique de Péronne*. B.R.G.M. édit., Orléans, Feuille XXV-8.
- CELET P. & CHARVET J. (1968). — *Carte géologique de Cambrai*. B.R.G.M. édit., Orléans, Feuille XXV-7.
- CELET P. & MONCIARDINI C. (1972). — *Carte géologique de Bohain-en-Vermandois*. B.R.G.M. édit., Orléans, Feuille XXVI-8.
- C.F.P.(M.), COPESEP, R.A.AP. & S.N.P.A. (1965). — Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXXXV** : 273-281.
- CLOETHING S., ZIEGLER P.A., BEEKMAN F., ANDRIENSSSEN P.A.F., MATENCO L., BADA G., GARCIA-CASTELLANOS D., HARDEBOL N., DÉZES P. & SOKOUTIS D. (2005). — Lithospheric memory, state of stress and

rheology : neotectonic controls on Europe's intraplate continental topography. *Quat. Sc. vent.*, **24** : 241-304.

COLBEAUX J.-P., BEUGNIES A., DUPUIS C., ROBASZYNSKI F. & SOMME J. (1977). — Tectonique de blocs dans le Sud de la Belgique et le Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XCVII** : 191-222.

DECONINCK J.-F. (2014). — Quelles nouveautés pour le Crétacé ? *Géologues*, S.G.F. édit., n°180 : 59-62.

DELATTRE C. & MÉRIAUX E. (1967). — *Carte géologique de Le Cateau*. B.R.G.M. édit., Orléans, Feuille XXVI-7.

DELAY F., BRACQ P. & COLBEAUX J.-P. (1992). — Cartographie numérique de linéaments morphostructuraux : exemple d'application à l'hydrogéologie de la craie du Nord de la France. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **T.163** : 345-352.

DEMOULIN A. (1995a). — L'Ardenne des plateaux, héritage des temps anciens. In DEMOULIN A. ed., *L'Ardenne, essai de géographie physique*, Université de Liège, édit. : 68-93.

DEMOULIN A. (1995b). — L'Ardenne bouge toujours. In DEMOULIN A. ed., *L'Ardenne, essai de géographie physique*, Université de Liège, édit. : 110-135.

DEMOULIN A. & HALLOT E. (2009). — Shape and amount of Quaternary uplift of the western Rhenish shield and the Ardennes. *Tectonophysics*, **474** : 696-708.

DESCHODT L. (2015). — L'apport des opérations archéologiques à la connaissance du Pléistocène régional – Exemple des fonds de vallées de l'Escaut français. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **T22** (2ème série) : 41-56.

DÈZES P., SCHMID S.M. & ZIEGLER P.A. (2004). — Evolution of the European Cenozoic Rift System : interaction between the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. *Tectonophysics*, **389** : 1-33.

DORMARD S. (2013). — Les Etats de la Flandre wallonne et l'entretien du réseau routier : de la régie des grès à la liberté du commerce (1750 – 1790). Commission Historique du Nord, *Lettre d'Information* n° 26 : 2-4.

DRIRE-Picardie (1994). — Anciens travaux miniers en Picardie : état des connaissances. Rapport R 38 075, 17 p., 1 annexe.

DUPERRET A., VANDYCKE S., MORTIMORE R. & GENTER A. (2012). — How plate tectonics is recorded in chalk deposits along the eastern English Channel in Normandy (France) and Sussex (UK). *Tectonophysics*, **581** : 163-181.

DUPUIS C., de CONINCK J. & ROCHE E. (1984). — Remise en cause du rôle paléogéographique du horst de l'Artois à l'Yprésien inférieur. Mise en évidence de l'intervention du Môle transverse Bray-Artois. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **II**, **298** : 53-56.

FOUCAULT A., RAOULT J.-F., CECCA F. & PLATEVOET B. (2014). — Dictionnaire de Géologie. 8ème édition, *Dunod*, 396 p.

GELY J.-P. et HANOT F., (dir.), AMEDRO F., BERGERAT F., DEBÉGLAI N., DELMAS J., DEROIN J.-P., DOLIGÉZ B., DUGUÉ O., DURAND M., EDEL J.-B., GAUDANT J., HANZO M., HOUEL P., LORENZ J., ROBASZYNSKI F., ROBÉLIN T., THIERRY J., VICELLI J., VIOLETTE S., VRIELYNCK B.,

WYNNS R. et coll. (2014). — Le Bassin parisien, un nouveau regard sur la géologie. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*. Mémoire hors-série n° 9. 228 p., 1 pl.

GOSSELET J. (1874). — Etudes sur le gisement de la houille dans le Nord de la France. *Bull. Soc. Indust. Nord Fr.*, **n° 6** : 102-124.

GOSSELET J. (1878). — Sondage de M. Godin à La Capelle. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **V** : 3-4.

GOSSELET J. (1879). — Sondage de Guise. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **VI** : 104-106.

GOSSELET J. (1893). — Note sur les gîtes de phosphate de chaux des environs de Fresnoy-le-Grand. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXI** : 149-159.

GOSSELET J. (1896). — Note sur les gîtes de phosphate de chaux d'Hem-Monacu, d'Etaves, du Ponthieu, etc. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXIV** : 109-134, 3 pl. h-t.

GOSSELET J. (1897a). — Géographie physique du Nord de la France et de la Belgique : VII – L'Ostrevant. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXVI** : 243-262.

GOSSELET J. (1897b). — Limites supérieures et latérales des couches de craie phosphatée d'Etaves et de Fresnoy. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXVI** : 119-125.

GOSSELET J. (1900). — Quelques réflexions sur les cours de l'Oise moyenne et de la Somme supérieure. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXIX** : 36-49.

GOSSELET J. (1901). — Plis dans la craie du Nord du bassin de Paris révélés par l'exploitation des phosphates. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXX** : 7-13.

GOSSELET J. (1908). — Note sur quelques failles communes aux terrains crétacique et houiller de l'Artois. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXXVII** : 80-109, 1 pl. h-t.

GUILLOCHEAU F., ROBIN C., ALLEMAND P., BOURQUIN S., BRAULT N., DROMART G., FRIEDENBERG R., GARCIA J.P., GAULIER J.M., GAUMET F., GROSDOY B., HANOT F., LE STRAT P., METTRAUX M., NALPAS T., PRIJEAC C., RIGOLLET C., SERRANO O. & GRANDJEAN G. (2000). — Meso-cenozoic geodynamic evolution of the Paris Basin : 3D stratigraphic constraints. *Geodynamica Acta*, **13** : 189-245.

HATRIVAL J.-N., BEUGNIES A., BONTE A., DELATTRE C. & WATERLOT G. (1969). — Carte géologique d'Hirson. B.R.G.M. édit., Orléans, Feuille XXVIII-8.

HUYGHE P. & MUGNIER J.-L. (1995). — A comparison of inverted basins of the Southern North Sea and inverted structures of the external Alps. In BUCHANAN J.G. & BUCHANAN P.G. ed., *Bassin inversion*, Geol. Soc. Sp. Pub. N°88 : 339-354.

LADRIÈRE J. (1888a). — Note sur la découverte d'un silex taillé et d'une défense de mammoth à Vitry-en-Artois. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XV** : 108-112.

LADRIÈRE J. (1888b). — L'ancien lit de la Scarpe. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XV** : 217-238.

- LERICHE M. (1909a). — Observations sur la Géologie du Cambrésis. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXXVIII** : 372-411.
- LERICHE M. (1909b). — Observations sur la géologie du Cambrésis. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXXVIII**: 372-411.
- LERICHE M. (1923). — Révision de la feuille de Cambrai : le massif tertiaire de l'Arrouaise. *Bull. Carte géol. Fr.*, n° 146, **XXVI** : 158-164.
- LERICHE M. (1932). — Révision de la feuille de Cambrai au 80.000e : observations hydrologiques dans la haute vallée de l'Escaut. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, n° 179, **XXXIV** : 271-272.
- LERICHE M. (1933). — Révision de la feuille de Cambrai au 80.000e : observations hydrologiques. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, n° 190, **XXXVIII** : 117-124.
- LERICHE M. (1936). — Le Turonien à Vaucelles (vallée de l'Escaut) et les « brèches » de Vaucelles. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXI**: 136-144.
- LERICHE M. (1939). — Révision de la feuille de Cambrai au 80.000e. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, n° 199, **XL** : 309-312.
- LERICHE M. (1943). — Révision de la feuille de Cambrai au 80.000e. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, n° 212, **XLIV** : 1-11, 1 pl h-t.
- LERICHE M. (1944). — Révision de la feuille de Cambrai au 80.000e. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, n° 216, **XLV** : 1-13, 2 pl h-t.
- LOUIS E. & COLLETTE O. (2009). — Douai et les détournements de la Scarpe, IXe – XIe siècles. *Revue du Nord*, hors-série n°14 : 81-100.
- MAQSOUDA., BRACQ P., CRAMPON N. & COLBEAUX J-P. (1996). — La craie du Bassin Artois-Picardie peut-elle être karstifiée ?. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **T 4** (2ème série) : 99-109.
- MASCLE A. & CAZES M. (1988). — La couverture sédimentaire du Bassin parisien. In Cazes et Torreilles (coord.) - *Etude de la croûte terrestre par sismique profonde. Programme ECORS – Profil Nord de la France*. Technip, Paris : 157-169.
- MEILLIEZ F. (2014). — Lecture géologique du site de Bouvines. *Pays de Pévèle*, Société Historique du *Pays de Pévèle*, n°76 : 45-47.
- MEILLIEZ F. (2015). — Paléoaaltérations et paléomorphologies, des observations éphémères – Exemples autour de Fourmies (Nord). *Ann. Soc. Géol. Nord*, **T22** (2ème série) : 101-107.
- MEILLIEZ F. (2016). — Le Cambrésis masque-t-il un lien ou une discontinuité structurale entre l'Artois et l'Ardenne ?. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **T23** (2ème série) : 17-29.
- MINGUELY B. (2007). — *Caractérisation géométrique 3-D de la couverture sédimentaire méso-cénozoïque et du substratum varisque du Nord de la France : apports des données de sondages et des données géophysiques*. Thèse de Doctorat, Université de Lille : 231 p.
- PINCHEMEL A. (1954). — Les plaines de craie du nord-ouest du Bassin parisien et du sud-est du Bassin de Londres et leurs bordures. *Lib. Armand Colin*, Paris, 502 p.
- POMEROL C. coord., DUVAL O., SOLAU J-L., MAUCORPS J. & CELET P. (1978). — Carte géologique de Guise. *B.R.G.M. édit.*, Orléans, Feuille XXVII-8.
- POMEROL C. coord., BOUTTEMY R., SOLAU J-L., MAUCORPS J. RESENDE S. & HOLEF J. (1980). — Carte géologique de Saint-Quentin. *B.R.G.M. édit.*, Orléans, Feuille XXVI-9.
- RABELLE M. (1900). — Puits et sources du canton de Ribemont ; note additive de M. Melleville. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXIX** : 3-7.
- RAOULT J.F. & MEILLIEZ F. (1987) – The Variscan Front and the Midi Fault between the Channel and the Meuse river. *Journ. Struct. Geology*, Oxford, 9, pp. 473-479.
- RICHEZ E. & BONTE A. (1953). — Observations sur le Landénien continental de Noyelles-sur-Escaut. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXXXIII** : 197-202.
- RICKERS F., FICHTNER A. & TRAMPERT J. (2013). — The Iceland-Jan Mayen Iplume system and its impact on mantle dynamics in the North Atlantic region : evidence from full-waveform inversion. *Earth and Planetary Science Letters.*, **367** : 39-51.
- SOMMÉ J. (1977). — Les plaines du Nord de la France et leur bordure. Etude géomorphologique. Thèse d'Etat, présentée devant l'Université de Paris-1 (1975). *Atelier reproduction des thèses, Université de Lille-III*. 2 tomes, 810 p.
- SOUGNEZ N. & VANACKER V. (2011). — The topographic signature of Quaternary tectonic uplift in the Ardennes massif (Western Europe). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **15** :1095-1107.
- VAN BALEN R.T., HOUTGAST R.F., VAN der WATEREN F.M., VANDENBERGHE J. & BOGAART P.W. (2000). — *Sediment budget and tectonic evolution of the Meuse catchment in the Ardennes and the Roer Valley Rift System. Global and Planetary Change*, **27** : 113-129.
- VOISIN L. (1981). — Le modèle schisteux en zones froide et tempérée. Analyse géomorphologique d'une région type de l'Ardenne occidentale. Univ. Lille3, édit., 2 t., 884p (thèse D.E., Univ. Paris, 1978).
- VRIELYNCK B. (2014). — Géodynamique du Bassin parisien dans le contexte de la plaque eurasiennne. In Gély J.P. & Hanot F. (dir), *Le Bassin parisien, un nouveau regard sur la géologie*. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris. Mémoire hors-série n° 9* : 44-47.
- WATERLOT G. (1969). — Carte géologique de Guise. *B.R.G.M. édit.*, Orléans, Feuille XXVII-7.
- WYNNS R. (2014). — Le Bassin parisien du Tertiaire à l'Actuel. In Gély J.P. & Hanot F. (dir), *Le Bassin parisien, un nouveau regard sur la géologie*. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris. Mémoire hors-série n° 9* : 85-93.
- ZIEGLER, P.A., SCHUMACHER, M.E., DÉZES P., van WEES, J.-D., CLOETINGH, S., (2004). — Post-Variscan evolution of the lithosphere in the Rhine Graben area: constraints from subsidence modelling. In: Wilson, M., Neumann, E.-R., Davies, G.R., Timmerman, M.J., Heeremans, M., Larsen, B.T. (Eds.), *Permo– Carboniferous Magmatism and Rifting in Europe*, *Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, vol. 223, pp. 289– 317.

WEBOGRAPHIE

Géoportail : <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>

InfoTerre : <http://infoterre.brgm.fr/>

Projet Babel : [http://projetbabel.org/fluvial/rica\\_oise-sambre-canal.html](http://projetbabel.org/fluvial/rica_oise-sambre-canal.html) (consulté le 2017-1127)

**RÉSUMÉ TOUT PUBLIC**

**UN NŒUD STRUCTURAL MOBILE A LA JONCTION  
DU CAMBRÉSIS, DE LA THIÉRACHE  
ET DU VERMANDOIS**

Le Massif de l'Ardenne est un « massif ancien » (plus de 300 millions d'années). L'érosion et la tectonique l'ont ensuite peu à peu « grignoté » et recouvert de sédiments plus jeunes (environ 115 à 40 millions d'années). La Sambre et ses affluents de rive droite ont façonné sur ce massif un glacis d'érosion par une alternance de phases de submersion marine avec dépôts sédimentaires, et de phases d'émersion avec altération météorique de ces dépôts. Curieusement, la Sambre ne suit pas la ligne de plus grande pente de ce glacis, mais s'écoule sur une pente plus douce en le contournant vers le nord. Plus bas, l'Escaut a le même comportement entre Cambrai et Condé/l'Escaut (Fig.2). Cette disposition pourrait être l'effet d'un soulèvement progressif de l'Ardenne dans son ensemble. La Sambre coulerait alors dans une « gouttière » qu'elle a elle-même taillée à la base de la pente (cuesta) formée par les dépôts de la couverture sédimentaire plus jeune. Ce scénario est cohérent avec l'enfoncement lent et progressif (subsidence) par lequel s'est différencié le Bassin parisien au sud de l'Ardenne (entre 270 et 40 millions d'années). Cette subsidence a été accommodée par des failles, le plus souvent révélées au gré de travaux divers (terrassements, recherche d'eau, sondages, explorations pour hydrocarbures). Quelques-unes sont décrites dans cet article, reconstituées à partir de coupes géologiques construites sur la base des observations sur le terrain et de données anciennes, déposées par leur propriétaire, dans la Banque du Sous-Sol (<http://infoterre.brgm.fr/>). Les mêmes failles ont pu être réactivées lors du soulèvement ardennais, consécutif à la collision des plaques Afrique et Europe, responsable de la formation des reliefs alpins et pyrénéens.

**ALL AUDIENCE ABSTRACT**

***A MOBILE STRUCTURAL CRUX  
UNDERNEATH CAMBRÉSIS, THIÉRACHE  
AND VERMANDOIS LANDS***

The Ardenne Massif is ancient (more than 300 millions years). Erosion and tectonics had progressively crunched it then, and covered it with young (roughly 115 to 40 millions years) sedimentary deposits. Then, alternating periods of marine flooding with subsequent deposits and aerial emergence with subsequent alteration have shaped a smooth erosion surface on which runoff waters have flowed for a long time along the direct slope. Part of this water is collected by the Escaut river at the slope foot, between Cambrai and Condé/l'Escaut (Fig. 2). However another part is collected in the middle of the slope by the Sambre river which flows northwards along a gently dipping direction, quasi orthogonal to the main slope. Sambre has carved its bed at the slope feet of the sedimentary cover (cuesta). Such an organization suggest that Ardenne massif would have been progressively tilted as a whole northwards. This interpretation is coherent with concomitant subsidence of center of the Paris basin (roughly between 270 and 40 millions years). Such a subsidence was accommodated by faults, as revealed by various investigations (boreholes, geophysical studies, water or hydrocarbon exploration campaigns, public works). This paper establishes a few of such faults from geological cross-sections. These are made with data coming from geological mapping and from a central database (<http://infoterre.brgm.fr/>). These faults might have been reactivated while Ardenne Massif rising, due to convergence of Africa and Europe lithospheric plates, with Alps and Pyrénées mountains correlative effects.

## La Société Géologique du Nord, une maison d'édition



Anticlinal de la Crèche dans les dépôts du Jurassique supérieur au nord de Boulogne-sur-Mer

© Alain Trentesaux, 2006

La Société géologique du Nord publie :

- des *Annales* : 152 tomes de 1870 à 2018, dont de nombreux fascicules thématiques : géologie du nord de la France (générale et thématique), tectonique (rupture des roches et massifs rocheux, tectonique cassante), Paléozoïque, géologie du Gondwana (générale et thématique : Dévonien de l'Ougarta au Sahara, Paléozoïque moyen du Gondwana du Nord, Paléozoïque de l'Iran, Paléozoïque inférieur de la Montagne Noire), géologie de l'Europe, énergie et matières premières, géologie de l'Ardenne ... ; certains de ces fascicules sont des fascicules jubilaires (Centenaire de la SGN, Centenaire du Musée Gosselet) ;
- des *Publications* spéciales : 33 tomes depuis 1977 : Dinarides, arc égéen, Hellénides, Atlantique Sud, Afghanistan, Rocheuses canadiennes, Chaîne caraïbe du 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 traitent d'objets ou événements géologiques : minéraux argileux, aquifère crayeux, événement anoxique cénomaniens, modélisation hydrodynamique des eaux souterraines ...
- des *Mémoires* : 25 mémoires de 1876 à 1983 ; cette série est reprise avec le tome XVII sur l'histoire de la SGN et des sciences de la Terre dans le nord de la France (paru en décembre 2014) ;
- des *Tables Générales* : cinq ont été publiées ; la 6<sup>e</sup> a été mise en ligne en janvier 2013 et imprimée dans le tome 20 des *Annales* en décembre 2013.

Catalogue et bon de commande téléchargeables à l'adresse suivante : <http://sgn.univ-lille.fr>

## THE WAXWEILER PROJECT, EODEVONIAN HETEROSTRACAN PTERASPIDOMORPHS AND MYTHOLOGY OF THE BIG FIVE

### *Le projet Waxweiler, les Ptéraspidomorphes hétérostracés éodévonien et le mythe des 'Big Five'*

by Alain R. M. BLIECK<sup>1</sup>

*All audience abstract.* – Waxweiler is a small city in Eifel, West Germany. Several quarries for extracting black shale are open there. They regularly yield a fossil assemblage of Early Devonian age. This includes, in particular, a new small pteraspid heterostracan, i.e., a 'primitive' jawless, armoured fish without paired fins, known as the 'Waxweiler-Form'. It is represented by many complete or near-complete individuals which are used for re-interpreting a series of palaeontology topics. The latter include morphology and anatomy, systematics (taxonomy, phylogeny, nomenclature, classification), evolutionary biology (evolutionary trends, ecology, ethology), palaeoenvironments and especially those of the Old Red Sandstone that is a post- and late-Caledonian or Ellesmerian as well as pre-Variscan molassic megafacies. Other elements of the assemblage are other fishes, molluscs, ostracodes, eurypterids, lingulids, plants, trace fossils. Another important locality is Odenspiel in Bergisches Land. It delivers another new pteraspid which is most probably of the same clade as the 'Waxweiler-Form'. It does show convergence with the psammosteid Drepanaspis which is usually another component of Early Devonian fossil assemblages of the Ardenne-Rhenish Slate Massif. Both discoveries will lead to new geobiological interpretations of the end-Proterozoic (Ediacaran) to Mid-Palaeozoic Biodiversification events, including crises and radiations.

*Résumé tout public.* – Waxweiler est une petite commune rurale de l'Eifel de l'ouest de l'Allemagne. Plusieurs grandes carrières pour l'extraction de schistes noirs y sont ouvertes. Ils fournissent régulièrement un assemblage fossile du Dévonien inférieur. Celui-ci comprend : un nouveau petit hétérostracé ptéraspide, c'est-à-dire un poisson cuirassé 'primitif' sans mâchoires et sans nageoires paires, connu sous le nom de 'Waxweiler-Form'. Cette espèce est représentée par de nombreux individus complets ou presque complets, qui sont utilisés pour réinterpréter une série de sujets de paléontologie actuelle. Ceux-ci comprennent les thèmes suivants : morphologie & anatomie, systématique (taxonomie, phylogénie, nomenclature, classification), biologie évolutive (tendances évolutives, écologie, éthologie), paléo-environnements et tout particulièrement les Vieux Grès Rouges qui sont des litho-faciès post- à tardi-calédoniens et pré-hercyniens. Les autres éléments de l'assemblage fossile sont d'autres poissons, des mollusques, des ostracodes, des plantes, des traces fossiles. Une autre localité importante est celle d'Odenspiel en Bergisches Land. Elle a fourni un autre ptéraspide nouveau qui est probablement du même clade (= ensemble d'organismes) monophylétique que la 'Waxweiler Form'. Ce second ptéraspide offre une convergence probablement éco-phénotypique avec le psammostéide Drepanaspis qui est un autre élément des assemblages fossiles de type Waxweiler. Ces deux découvertes conduiront à de nouvelles interprétations géobiologiques des événements de biodiversification de la fin du Protérozoïque (Ediacarien) au Paléozoïque moyen, en particulier les crises et les radiations

*Key words.* – Ediacaran, Cambrian, Ordovician, Silurian, Devonian, geobiology, evolution, adaptation, convergence, fossils, databases, analogic and numerical modelling.

*Mots clés.* – Ediacarien, Cambrien, Ordovicien, Silurien, Dévonien, géobiologie, évolution, adaptation, convergence, fossiles, banques de données, modélisations analogiques et numériques.

### I. - INTRODUCTION

Waxweiler is a small locality in the west of Germany, situated in the Eifel region within the Hautes Fagnes – Eifel Natur Park ([http://www.botrange.be/index.php?id\\_surf=&surf\\_lang=de](http://www.botrange.be/index.php?id_surf=&surf_lang=de)). A series of huge quarries devoted to black shale extraction, yielded a wealth of splendidly preserved fossils of Early Devonian age, i.e., ca. 413 million years Before Present (413 My BP, viz., before year 1950 which was established as a standard year with nearly 0 radio-isotope in atmosphere, before the series of numerous anthropic experiments had went on from 1945 to 1996: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_d%27essais\\_nucléaires](https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_d%27essais_nucléaires)). The locality gives its name to the project under focus here. We will see how much important are Waxweiler and other equivalent localities around, as concerned with a series of basic questions in palaeontology: fish evolution, systematics (phylogenetics, taxonomy, nomenclature, classification), palaeobiology (growth, development, ecology, ethology), biostrati-

graphy, palaeochorology, historical palaeobiogeography, palaeoenvironments, palaeohistology, biogeochemistry, retro-tectonic and/or retro-diagenetic deformations, assemblages, semantics, philosophy and history of palaeontology, geobiology. Waxweiler is indeed an actual Konzentrat-Fossil-Lagerstätte and perhaps also a Konservat-Fossil-Lagerstätte. It is one of the most diversified localities with a high disparity and quite abundance of various fossils such as fish (jawless heterostracans, jawed placoderms), ostracods, bivalves, lingulids, plants, trace fossils. Eurypterid remains have not been discovered yet. This locality does correspond to a geobiological event that pertains to the end of the very first peak of palaeobiodiversity of the Palaeozoic. The latter occurred in the Lower Devonian, either Lochkovian or Pragian and was named The Great Eodevonian Biodiversification Event (GEBE, Blicck, 2015). Later, this appeared to be the acme of the Early-Middle Palaeozoic Biodiversification, that is, the main phase of a continuous, latest Proterozoic to early Palaeozoic biodiversity rise of life on Earth (Blicck, 2018).

<sup>1</sup> 38 Rue Paul Doumer, F-59320 Haubourdin (France) ; [alain.blicck@yahoo.fr](mailto:alain.blicck@yahoo.fr)

## II. - THE WAXWEILER PROJECT

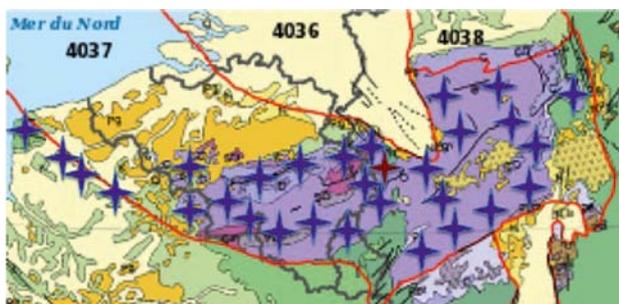


Fig. 1. — Simplified geological map between the Channel and the Rhine River, including the Boulonnais Inlier in the West & the Ardenne-Rhenish Slate Massif (ARSM) in the Centre and East. Blue stars- heterostracan-bearing localities; red star- Waxweiler; purple- Palaeozoic rocks; blue- Jurassic; green- Cretaceous; orange- 'Tertiary'; pale yellow- Quaternary; lighter blue- North Sea; pale brown with small 'v'- volcanic rocks.

Fig. 1. — Carte géologique simplifiée du Pas de Calais au Rhin, comprenant la boutonnière du Boulonnais à l'ouest et l'Ardenne-Massif Schisteux Rhénan à l'est. Etoiles bleues pour les localités à hétérostracés, rouge pour Waxweiler ; violet pour le Paléozoïque, bleu pour le Jurassique, vert pour le Crétacé, orange pour le 'Tertiaire', jaune-pâle pour le Quaternaire, bleu clair pour la Mer du Nord, brun pâle avec de petits 'v' pour les volcanites.

Waxweiler is located in the heart of the Ardenne-Rhenish Slate Massif (ARSM), west of the Rhine Graben, east of the Ardenne Sub-Massif. It shows a Lower Devonian sedimentary series with, *inter alia*, Emsian black shales. The latter are dark grey to black thinly laminated, organic- and metal-rich argillites having been slightly metamorphosed during the late- and post-Caledonian tectonic phase, also known as the early or pre-Hercynian tectonic phase. This phase did occur in the western French Armorican Massif, the French Central Massif, the Vosges Massif continued in the West-German Black Forest Massif, the Harz Mountains and all along the SW-NE trending branch of the Variscan, Mid-European Mountain Belt (see, e.g., Meilliez *et al.*, 1992; Fig. 1-2 here).

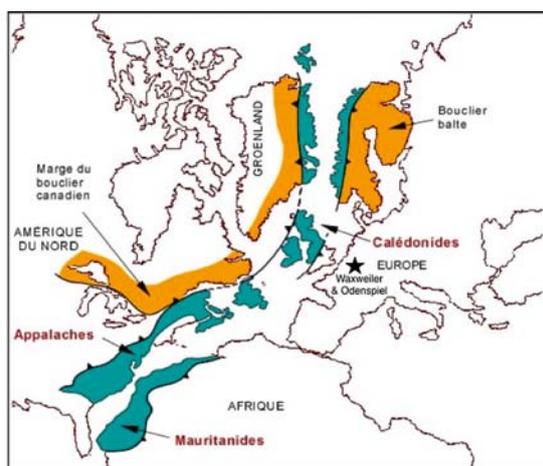


Fig. 2. — Reconstruction of the North-Atlantic, Early-Middle Palaeozoic mountain belts after <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourques1/derive.html>. Blue is for the Appalachian-Caledonian mountain belts, orange for the basement shields.

Fig. 2 — Reconstitution des chaînes de montagnes du Paléozoïque inférieur et moyen de l'Atlantique Nord d'après <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourques1/derive.html>. Chaînes de montagnes appalachiennes-calédoniennes en bleu, boucliers en orange.

Original collections were made by German amateur palaeontologists such as Peter Bardenheuer (Düren, Germany) who proposed the material of the 'Waxweiler-Form' (*sensu* Friman, 1986 a-b; fig. 3-4 here), for study to the present author. I proposed it to a then young student in Berlin, Markus Otto who, in turn, did not fulfill the project. Thus, the material was sent back to me.

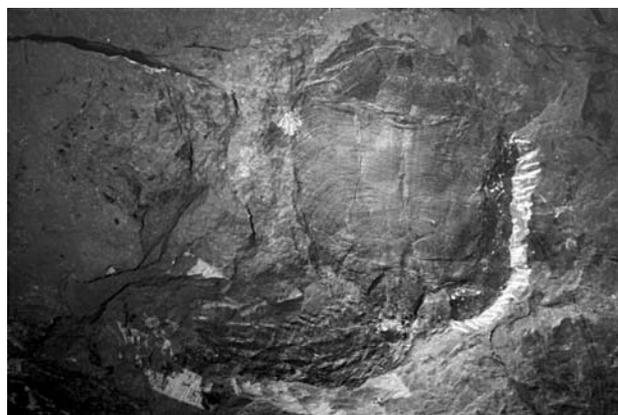


Fig. 3. — The 'Waxweiler-Form' of P. Bardenheuer. Full length of animal is ca. 4 cm. The crescent-shaped pineal plate is clearly visible in the midline at ca. ¼ of the head length from its tip to the posterior end of the dorsal shield. Armoured head on top. Near complete trunk and caudal paddle bottom left. © P. Bardenheuer's image.

Fig. 3. — La 'Waxweiler-Form' de P. Bardenheuer. Longueur totale de l'animal env. 4 cm. La plaque pinéale en forme de croissant est nettement visible au milieu à env. ¼ de la longueur entre le bord antérieur de la tête et le bord postérieur du bouclier dorsal. Carapace céphalique en haut. Carapace presque complète du tronc avec sa palette natatoire caudale en bas à gauche. © Cliché P. Bardenheuer.

The main aim of the Waxweiler Project is to:

- study the fish (vertebrate) fauna of Waxweiler and Odenspiel and their surrounding localities in the ARSM,
- study all elements of its accompanying assemblage with 'invertebrates', plants, traces and eventually microfossils,
- synthesize these results in all possible fields of Palaeozoic geobiology by using all possible hard or computer, technical tools, i.e., hammers, field lenses, acid and mechanical preparations, CT-Scan, SEM, HD optical microscopy, morphometry, 3D reconstruction and eventually holographic techniques.

This will not be made in a single year. It was initiated as a third-year Bachelor's Degree practical learning (Hautier, 2018) and will be hopefully continued later. Collaboration is planned with both the colleagues of (i) the Senckenberg Institute and Museum of Natural History in Frankfurt.a/Main (Senckenberg Institut u. Natur-Historisches Museum, <http://www.senckenberg.de>: Drs E. Schindler, P. Königshof, R. Brocke *et al.*), and (ii) the Bavarian Land Collection of Palaeontology & Geology in München (Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie und GeoBio-Center LMU, München, <http://www.geo.uni-muenchen.de/departhenv/sektionen/paleo/index.html>: Dr A. Lopez-Arbarello).

I was invited by Prof. Dr. Adriana Lopez-Arbarello to study, in the München collection, a series of very well 3D-preserved, new psammosteid-like specimens that are named here 'Drepanaspis of Odenspiel' (Lopez-Arbarello & Blicck, 2010; Fig. 5 here). This was collected in Odenspiel, a locality of Bergisches Land, Germany. It turns out to probably be of the same clade as the 'Waxweiler-Form' and a few other 'bizarre' pteraspids with apparently homologous features to the 'Waxweiler Form' and the 'Drepanaspis of Odenspiel'. These 'bizarre' forms were collected in Spitsbergen («some aberrant form of Pteraspidomorphi, related to real Pterasp-

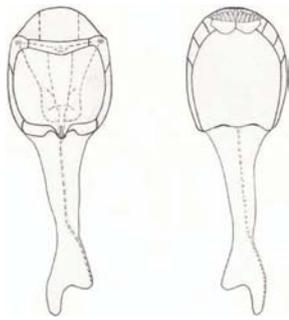


Fig. 4. — Provisional reconstruction of the 'Waxweiler-Form' by P. Bardenheuer (see also Friman 1986a, fig. 5: 9). Dorsal (left) and ventral (right) views of both head carapaces and trunk and tail scale cover. The caudal paddle is slightly distorted for convenient view. This provisional reconstruction is to be tested. The adult animal was 2 to 6 cm long.

Fig. 4. — Essai de reconstitution de la 'Waxweiler-Form' par P. Bardenheuer (voir aussi Friman 1986a, fig. 5 : 9). Vues dorsale (gauche) et ventrale (droite) des carapaces de la tête et du tronc avec la couverture d'écaillés de la queue. La palette natatoire caudale est légèrement tordue pour des raisons de représentation. Cette reconstitution provisoire demande à être vérifiée. L'animal adulte faisait 2 à 6 cm de longueur.

pid» Føyn & Heintz, 1943, fig. 14 and p. 34; from the Late Devonian Wijde Bay Formation), and Lithuania (*Skalviaspis narbutasi* Karatajūtė-Talimaa, 1989, from the East Baltic Lower Devonian). What is 'bizarre' is that all latter taxa seem not to have an external dentine layer of the bone of their dermal carapace. They seem phylogenetically related to the Central-West US taxon Protaspidinae or Protaspididae (*sensu* Blicek, 1984; Pernègre & Elliott, 2008; "Protaspis"- Gruppe of Friman, 1986b, p. 99). If confirmed, this hypothesis leads to establish a monophyletic group (clade) for all these taxa.



Fig. 5. — Dorsal view of a near-complete specimen of the 'Drepanaspis' of Odenspiel ('Drepanaspis-artiger Fisch' *sensu* Lopez-Arbarello & Blicek, 2010, fig. 2: specimen BSPG 2009 I 22). Head armour on top left, trunk and caudal fin armour at right. The head carapace bony plates and the thick bony trunk scales are slightly displaced for diagenetic or tectonic reasons. The black and white label gives the metric scale in cm.

Fig. 5. — Vue dorsale d'un individu presque complet du 'Drepanaspis' d'Odenspiel' ('Drepanaspis-artiger Fisch' *sensu* Lopez-Arbarello & Blicek, 2010, fig. 2: spécimen BSPG 2009 I 22). Carapace céphalique en haut à gauche, carapace du tronc et de la nageoire caudale à droite. Les plaques osseuses de la tête et les grosses écailles du tronc sont légèrement déplacées les unes par rapport aux autres pour des raisons diagenétiques ou tectoniques. L'étiquette noir et blanc donne l'échelle en cm.

### III. - EODEVONIAN HETEROSTRACAN PTERASPIDOMORPHS

The Pteraspidomorphi is a group of jawless vertebrates that lived from the Early Ordovician to the Late Devonian (ca. 470 to 372 My BP = ca. 100 My long). The head is generally covered by a bony dermal armour organized into large dorsal and ventral plates, and the trunk and tail by scales (Fig. 3-5). They had no paired lateral or unpaired midline fins other than the caudal fin. They are united by the presence of acellular bone (aspidin) in the armour. Four clades are included in the Pteraspidomorphi: the Arandaspidia, Astraspida, Eriptychiida and Heterostraci (*sensu* Janvier, 1996). Heterostraci are concerned here. They are known from the Lower Silurian to the Frasnian (Upper Devonian), that is, from 430 to 374 My BP, a geologically-long time slice of 56 million years. This very long time may be compared to the one that has been needed since after the end-Cretaceous and 'disappearance' of dinosaurs for Earth climate to rise up to its present state of global-warming (<https://www.youtube.com/watch?v=81Zb0pJa3Hg>). Heterostracans were collected mainly in sedimentary series originated from Laurentia, Avalonia and Baltica palaeocontinents in the Silurian, and the Old Red Sandstone Continent and Siberia in the Devonian.

Heterostracans have a single paired external branchial opening, and a cancellous (honeycomb-stitch-like) dermal bone. They were diverse, with more than 300 species described to date, but, their diversity or specific richness is under evaluation. The best known heterostracans are the Cythaspidiformes (including amphiaspids) and the Pteraspidiformes (including psammosteids). Both latter taxa are concerned with in Waxweiler and Odenspiel. In addition to these two major, cythaspid and pteraspid, clades there are a number of minor groups whose affinities are uncertain, viz., traquiraspids, cardipeltids, corvaspids, ctenaspids, *Nahanniaspis*, and various tessellated taxa (*Tesseraspis*, *Lepidaspis*, *Aporemaspis*, *Strosipherus-Oniscolepis*...; Blicek & Elliott, 2017; Blicek *et al.*, 2018a).

#### Geodistribution of heterostracans

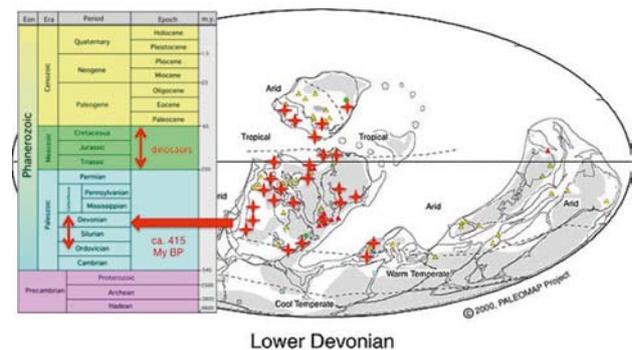


Fig. 6. — Stratigraphic (time) and geographic (space) distribution of Early Devonian heterostracans. This distribution is compared to the dinosaur's one. Palaeocontinents after Chris Scotese's Paleomap Project (see <http://www.scotese.com/newpage3.htm>).

Fig. 6. — Répartition stratigraphique (temps) & géographique (espace) des Hétéostracés éodévonien. Cette répartition est comparée à celle des dinosaures. Reconstitution paléocontinentale d'après le Paleomap Project de Chris Scotese (voir <http://www.scotese.com/newpage3.htm>).

From analysis of published palaeobiodiversity curves, heterostracans recently appeared to be one of the major elements of the Great Eodevonian Biodiversification Event or GEBE, *sensu* Bleick (2011). Their major peak is Lochkovian or Pragian in age, that is, early-mid Early Devonian. Whole ostracoderm diversity declines and reaches zero by the Frasnian/Famennian boundary time in the Upper Devonian. It is replaced by a placoderm diversity peak of Mid-Late Devonian age (Fig. 6-7). This must be situated in the trophic relationship frame within the Devonian seas, when ostracoderms were preyed by jawed fishes (gnathostomes), eurypterid arthropods, or other predators such as ammonoid cephalopods (Bleick, 2011). It does correspond to the very first mega-turnover of vertebrate assemblages on Earth through the Phanerozoic. GEBE appears to be the end and acme of the Great Ediacaran to Mid-Palaeozoic Biodiversification on Earth (GEMPB, Bleick, 2018). This topic is aimed at being developed in the forthcoming years.

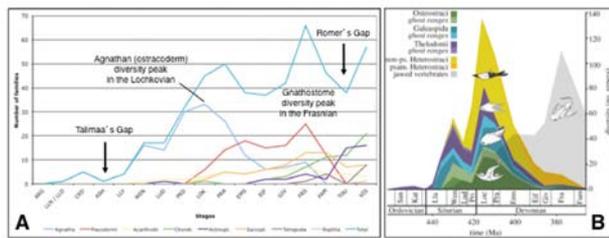


Fig. 7. — Biodiversity curves of (A) Ordovician to Carboniferous Lower Vertebrates, and (B) Ordovician to Devonian ostracoderms (jawless, ossified fishes; left) and placoderms (armoured jawed fishes, in grey; right) after Bleick (2017). © Palaeobiodiversity & Palaeoenvironments, Fischer Verlag.

Fig. 7. — Courbes de biodiversité des Vertébrés inférieurs ordoviens à carbonifères (A) et des Ostracodermes (poissons ossifiés sans mâchoires) et Placodermes (poissons cuirassés à mâchoires) ordoviens à dévoniens (B, respectivement à gauche et à droite) d'après Bleick (2017). © Palaeobiodiversity & Palaeoenvironments, Fischer Verlag.

#### IV. - THE BIG FIVE

« In *Africa*, the big five game animals are the lion, leopard, rhinoceros (both black and white species), elephant, and Cape buffalo. The term «big five game» (usually capitalized or quoted as «Big Five») was coined by big-game hunters and refers to the five most difficult animals in Africa to hunt on foot [in fact, after hunters themselves, the water buffalo is the most dangerous]. Subsequently the term was adopted by safari tour operators for marketing purposes » ([https://en.wikipedia.org/wiki/Big\\_five\\_game](https://en.wikipedia.org/wiki/Big_five_game)). ‘The Big Five’ expression was given for the five major biotic crises of Phanerozoic Time on Earth (Fig. 8).

A new interpretation of ‘The Big Five’ is given on Fig. 8 bottom. It does not show the classical division into an Ediacaran ‘origination’ (not shown on figure), the ‘Cambrian Explosion’, the GOBE (Great Ordovician Biodiversification Event), the ‘Palaeozoic Plateau’ and end-Permian-early Triassic (P/T) biotic crisis, a.k.a., ‘The Great Dying’ (Wikipedia, 2018), usually interpreted as the major Phanerozoic biotic crisis. Contrarily, we show a simpler model with an Ediacaran to Early-Middle Palaeozoic Biodiversification, GEBE, a Late Palaeozoic ‘Plateau’, P/T crisis and a Meso-Cenozoic Biodiversification (Fig. 8 bottom). This analogic model will be tested through statistical analyses made in collaboration with various scientists. Even simpler interpretations were published. They are out of the scope of the present short paper, but, will be evaluated as well.

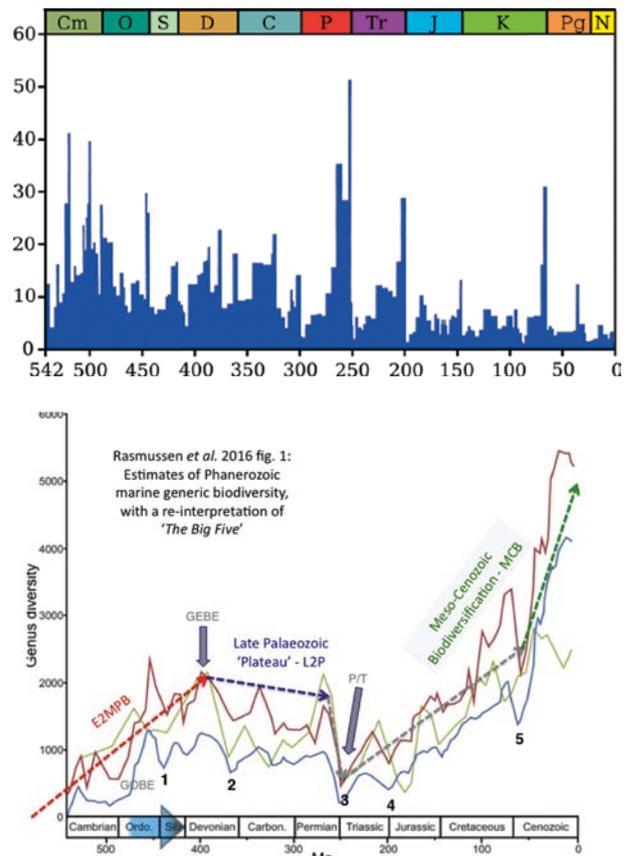


Fig. 8. — Phanerozoic biotic extinctions. Top) Phanerozoic mass extinction intensity after Wikipedia (2018). This graph clearly shows the two-shot end-Permian crisis at the end (right) of the ‘P’ red box. This biotic event is often considered as the most important Phanerozoic one and is sometimes known as ‘The Great Dying’. Bottom) A re-interpretation of ‘The Big Five’. Biodiversity curves from Rasmussen *et al.* (2016, fig. 1): red- Sepkoski’s curve, blue- Rohde & Muller’s curve, green- Alroy *et al.*’s curve. Variations in the palaeobiodiversity of marine organisms (including armoured agnathans and fishes) are re-interpreted as a five-slice analogic model, represented by five differently coloured lines. Other captions: E2MPB- Ediacaran to Early-Middle Palaeozoic Biodiversification whose ‘Cambrian Explosion’ and ‘GOBE’ are just shorter-term elements, GEBE- Grande Eodevonian Biodiversification Event, L2P- Late Palaeozoic ‘Plateau’, P/T- Permian-Triassic Crisis, MCB- Meso-Cenozoic Biodiversification which may in fact correspond to a logarithmic rise, 1-5- «The Big Five» *sensu* Sepkoski (1981) and Sepkoski & Raup (1986).

Fig. 8. — Les extinctions biotiques phanérozoïques. En haut) Intensité des extinctions en masse du Phanérozoïque d’après Wikipédia (2018). Ce graphique montre clairement la crise de la fin du Permien en deux étapes à la fin (à droite) du rectangle rouge ‘P’. Cet événement est souvent considéré comme la plus importante des crises biotiques du Phanérozoïque et est parfois dénommé ‘La Grande Mort’. En bas) Réinterprétation des ‘Big Five’. Courbes de biodiversité in Rasmussen *et al.* (2016, fig. 1): courbes de Sepkoski (rouge), de Rohde & Muller (bleu) et d’Alroy *et al.* (vert). Les variations de la paléobiodiversité marine (incluant celles des agnathes et des poissons) sont réinterprétées sous la forme d’un modèle analogique à cinq phases, représentées par des segments de droites de couleurs différentes. Autres légendes : E2MPB- Biodiversification de l’Ediacarien – Paléozoïque inférieur et moyen dont l’« Explosion cambrienne » et ‘GOBE’ ne sont que des épisodes à plus court terme ; GEBE- Grande Biodiversification éodévoniennne ; L2P- ‘Plateau’ du Paléozoïque supérieur ; P/T- Crise Permien/Trias ; MCB- Biodiversification méso-cénozoïque ; 1-5- Les «Big Five» *sensu* Sepkoski (1981) et Sepkoski & Raup (1986).

Pushing our reasoning far onward, it shows that the so-called ‘Big Five’ crises in geobiological events and diversifications are a probable pure myth. Some recent and more ancient results show that (1) the Permian-Triassic boundary, considered as ‘the mother’ of ‘The Big Five’, is not that short, abrupt and long as previously thought (Wikipedia, 2018), (2) the post-crisis intervals were not at all devoid of life as exemplified by the earliest, 5 My-long, Triassic case (Hofmann, 2014), and (3) previous modelling arrived to conclude that the development of life on Earth from the Ediacaran to the Present was more probably a ‘Long Quite River’ without strong crises. This was concluded as such by Lane & Benton (2003, fig. 2D): their “*Species curve modeled by extrapolating the differences between the derived parameters of the familial and generic curves*” shows a three-phase development without any strong biotic crisis (Fig. 9). It is comparable to the three-phased numerical model developed by Sclafani & Holland (2013, fig. 9) for local, regional and global species/surface relationships. If correct, this analogy between variously scaled species-time and species-surface diversity curves leads to consider that the Ediacaran-Phanerozoic marine biodiversity does not show any ‘deep trench or graben’ in its development.

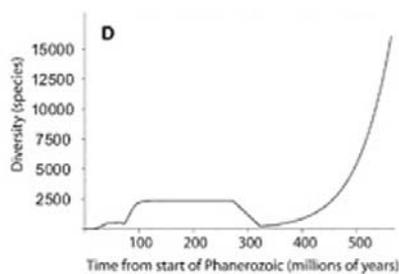


Fig. 9. — Phanerozoic Marine Biodiversity Species Curve modeled by extrapolating the differences between the derived parameters of the familial and generic curves from Lane & Benton (2003, fig. 2D).

Fig. 9. — Courbe de biodiversité spécifique des organismes marins du Phanérozoïque, modélisée par extrapolation des différences entre les paramètres issus des courbes aux rangs familial et générique, d’après Lane & Benton (2003, fig. 2D).

## V. - CONCLUSIONS

Waxweiler, Odenspiel and a series of new, unpublished Early Devonian Fossil-Lagerstätten from N France to W Germany through S Belgium and the G. D. of Luxembourg, yield new, often ‘bizarre’ morphologies of lower/early vertebrates. Among the latter, heterostracans are the most significant and useful for local, regional and international, global geobiological problematics. Studies in progress aim at proposing a worldwide, practical and theoretical, analogical and numerical model for palaeontological studies. This programme is part of the *Handbook of Palaeoichthyology* vol. IA, ‘Agnatha’ I (Blicek *et al.*, 2018b). To-day’s palaeontology does again and again show its capability, usefulness and pertinence for human activities, both practically and theoretically. It opens to geoheritage, semantics, history and philosophy of sciences.

**Acknowledgments.** — We thank all elder and present colleagues, parents and friends who interact(ed) in giving practical and scientific knowledge. Special thanks to Daniel F. Goujet, Philippe Janvier, Hervé Lelièvre, a.k.a., The Three Parisian Musketeers *sensu* Susan Turner (Brisbane, Australia), i.e., all three plus the present author. ‘Sue’, as she is known worldwide, was always inspiringly rich in innovative scientific thoughts. Additionally, she is a talented pastel-painter. This work is dedicated to her as well as to the Three Musketeers team of the East Baltic area, viz., †Elga Mark-Kurik and Tiiu Märss (Tallinn, Estonia), †L.A. Lyarskaya (Riga, Latvia), and Valentina N. Karatjūtė-Talimaa (Vilnius, Lithuania). The present author was invited to participate in two field seasons in the W-Rheinisches Schiefergebirge in the region of Koblenz (Alken-an-der-Mosel) and the Eifel in 1999 by the Devonian palaeontologists of the Senckenberg Institut und Museum in Frankfurt-am-Main, E. Schindler, R. Brocke, P. Königshof, U. Jansen, G. Plodowski and V. Wilde as well as their colleagues A. Wehrmann, G. Hertweck & S. Schultka from the Senckenberg in Wilhelmshaven and the Humboldt-Universität zu Berlin respectively. Mr. Peter Bardenheuer (Düren, FRG) is warmly thanked for his field collecting in Waxweiler and the fact that he sent his material for study.

## REFERENCES

BLIECK A. (1984). — Les Hétéostracés Ptéraspidiformes, Agnathes du Silurien-Dévonien du Continent nord-atlantique et des blocs avoisinants : révision systématique, phylogénie, biostratigraphie, biogéographie. *Cahiers de Paléontologie (Vertébrés)*, Editions du CNRS, Paris : 199 p. [In French, with English abstract]

BLIECK A. (2011). — The André Dumont medallist lecture — From adaptive radiations to biotic crises in Palaeozoic vertebrates: a geobiological approach. *Geologica Belgica*, **14** (3-4): 203-227; WWW address: <http://popups.ulg.ac.be/Geol/docanexe.php?id=3426>

BLIECK A. (2015). — An Early Devonian peak of biodiversity: the case of heterostracan vertebrates. In: MOTTEQUIN B., DENAYER J., KÖNIGSHOF P., PRESTIANNI C. & OLIVE S. eds, IGCP 596 – SDS Symposium: Climate change and biodi-

versity patterns in the Mid-Palaeozoic (Sept. 20-22, 2015, Brussels). *Strata*, Série 1: communications, vol. **16**: 16-17 [extended abstract].

BLIECK A. (2017). — Heterostracan vertebrates and the Great Eodevonian Biodiversification Event — an essay. In: MOTTEQUIN, B., SLAVIK, L. & KÖNIGSHOF, P. eds, Climate change and biodiversity patterns in the mid-Palaeozoic (IGCP 596 – SDS Symposium MPBCC, Brussels, 20-22 Sept. 2015). *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, **97** (3): 375-390; DOI:10.1007/s12549-016-0260-1 [Online First 13-DEC-2016].

BLIECK A.R.M. (2018). — *From Ediacaran to Devonian - The Great Early-Middle Palaeozoic Biodiversification (GEMPB)*. [http://www.academia.edu/36285593/From\\_Ediacaran\\_to\\_Devonian\\_-\\_The\\_Great\\_Early-Middle\\_Palaeozoic\\_Biodiversification\\_GEMPB](http://www.academia.edu/36285593/From_Ediacaran_to_Devonian_-_The_Great_Early-Middle_Palaeozoic_Biodiversification_GEMPB).

- BLIECK A. & ELLIOTT D.K. (2017). — Pteraspidomorphs (Vertebrata), the Old Red Sandstone, and the special case of the Brecon Beacons National Park, Wales, U.K. In: KENDALL R. (ed.), Special section on Sediments, Floras and Faunas of the Old Red Sandstone. *Proceedings of the Geologists' Association*, **128** (3): 438-446; doi:10.1016/j.pgeola.2016.07.003 [Online publication 6-AUG-2016].
- BLIECK A., ELLIOTT D.K. & KARATAJUTE-TALIMAA V.N. (2018) [BLIECK *et al.*, 2018a]. — A redescription of *Tes-seraspis mosaica* Karatajūtė-Talimaa 1983 (Vertebrata: †Pteraspidomorphi: Heterostraci) from the Lochkovian (Lower Devonian) of Severnaya Zemlya, Russia, with a review of tessellated heterostracan taxa. In: GINTER M. (ed.), ISELV 14 volume. *Acta Geologica Polonica*, **68** (3): 275-306; DOI:10.1515/agp-2018-0024; WWW address: <https://geojournals.pgi.gov.pl/agp/article/view/26047>.
- BLIECK A.R.M., JANVIER P., ELLIOTT D.K., TURNER S., GLINSKIY V., GAI S-K., CHEVRINAIS M., GERMAIN D. & GOEDERT J. (2018) [BLIECK *et al.*, 2018b]. — *Handbook of Paleichthyology*, vol. IA, “Agnatha” I, H.-P. Schultze ed. Dr Friedrich Pfeil publ., München. [In progress].
- FØYN S. & HEINTZ A. (1943). — The Downtonian and Devonian Vertebrates of Spitsbergen. VIII. The English-Norwegian-Swedish expedition 1939. Geological results. *Norges Svalbard- og Ishavs-Undersøkelser*, Skrifter, 85: 51 p.
- FRIMAN L. (1986a). — Die devonische Agnatha des Rheinischen Schiefergebirges unter besonderer Berücksichtigung ihrer Histologie. *Münstersche Forschungen Geologie und Paläontologie*, **64**: 1-91. [In German]
- FRIMAN L. (1986b). — Die devonische niederen Wirbeltiere des Rheinischen Schiefergebirges (eine Auflistung aller Holotypen). *Münstersche Forschungen Geologie und Paläontologie*, **64**: 93-125. [In German]
- HAUTIER B. (2018). — *Développement de la biodiversité au Dévonien inférieur : Le cas de l'enregistrement fossile de Waxweiler*. Rapport de Stage S6, Licence Sciences de la Terre, Université de Lille, soutenu le 5 juin 2018 : 25 p. ; Villeneuve d'Ascq (France). [In French]
- HOFMANN R. (2014). — *Early Triassic recovery from the end-Permian extinction of benthic ecosystems in the palaeotropics*. University of Zurich Dissertation: 2 p.; Zurich Open Repository and Archive; [www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch) [Abstract, Viewed on 15/05/2018].
- JANVIER P. (1996). — *Early Vertebrates*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, **33**: 393 p.
- KARATAJUTE-TALIMAA V.N. (1989). — *Skalviaspis narbutasi* gen. et sp. nov. — Novyj predstavitel' otrjada pteraspidid (Heterostraca) iz nizhnego devona pribaltiki [*Skalviaspis narbutasi* gen. et sp. nov., a new representative of the Pteraspida (Heterostraci) from the East Baltic Lower Devonian]. *Lietuvos TSR auksh tuju mokyklu mokslo darbai, Geologija*, **10**: 79-93. [In Russian, with Lithuanian and English abstracts]
- LANE A. & BENTON M.J. (2003). — Taxonomic level as a determinant of the shape of the Phanerozoic marine biodiversity curve. *The American Naturalist*, **162** (3): 265-276.
- LOPEZ-ARBARELLO A. & BLIECK A. (2010). — Neuer Vertreter der Psammosteiformes (Heterostraci, kieferlose Fische) aus dem Unterdevon des Bergischen Landes [New representative of the Psammosteiformes (Heterostraci, agnathan fishes) from the Lower Devonian of Bergisches Land]. *Freunde der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Historische Geologie München, Jahresbericht 2009 und Mitteilungen* **38**: 33-39. [In German]
- MEILLIEZ F. avec la collaboration de : ANDRE L., BLIECK A., FIELITZ W., GOFFETTE O., HANCE L., KHATIR A., MANSY J.-L., OVERLAU P. & VERNIERS J. (1992). — Ardenne-Brabant. In: PIQUE A. coord., Les massifs anciens de France, T. I: Ardenne-Massif Armoricaïn-Massif Central. *Sciences Géologiques, Bulletin*, **44** (1-2) [1991]: 3-29. [In French]
- PERNEGRE V.N. & ELLIOTT D.K. (2008). — Phylogeny of the Pteraspidiformes (Heterostraci), Silurian-Devonian jawless vertebrates. *Zoologica Scripta*, **37** (4): 391-403.
- RASMUSSEN C.M.Ø., ULLMANN C.V., JAKOBSEN K.G., LINDSKOG A., HANSEN J., HANSEN T., ERIKSSON M.E., DRONOV A., FREI R., KORTE C., NIELSEN A.T. & HARPER D.A.T. (2016). — Onset of main Phanerozoic marine radiation sparked by emerging Mid Ordovician icehouse. *Scientific Reports*, **6**: 18884, 9 p.; DOI:10.1038/srep18884.
- SCLAFANI J.A. & HOLLAND S.M. (2013). — The species-area relationship in the Late Ordovician: A test using neutral theory. *Diversity*, **5**: 240-260; doi:10.3390/d5020240.
- SEPKOSKI J.J.Jr. (1981). — A factor analytic description of the Phanerozoic marine fossil record. *Paleobiology*, **7** (1): 36-53.
- SEPKOSKI J.J.Jr. & RAUP D.M. (1986). — Periodicity in marine extinction events. In: ELLIOTT D.K. ed., *Dynamics of extinction*. J. Wiley & Sons, New-York: 3-36.
- WIKIPEDIA (2018). — *Permian–Triassic extinction event*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Permian–Triassic\\_extinction\\_event](https://en.wikipedia.org/wiki/Permian–Triassic_extinction_event) [Viewed on 15/05/2018].

## AMENDEMENT ALCALIN A BASE DE BOUES DE PATES DE SUCRERIE ET D'ARGILES: APPLICATION SUR LES RÉSIDUS DE LA MINE ABANDONNEE DE KETTARA (MAROC)

### *Alkaline amendment based of sludge pulp of sweets and clays: application to the tailings of the abandoned kettara mine (morocco)*

Samih NFISSI, Saida ALIKOUSS, Youssef ZERHOUNI, Zouhir BAROUDI & Mohamed SAMIR\*

**Résumé.** – Les rejets miniers sulfurés de la mine de Kettara (région de Marrakech) sont entreposés sur un socle schisteux très fracturé sur une superficie d'environ 16 hectares. Dans ce site, plus de 3 millions de tonnes de résidus sont stockés sur le sol sans aucune contrariété de leurs impacts sur l'environnement. Les minéraux acidogènes composant ces rejets, sous l'action de l'eau et de l'oxygène, génèrent du Drainage Minier Acide (DMA). Ce phénomène entraîne une acidité du milieu qui provoque la destruction de la flore et de la faune ainsi que la contamination des eaux souterraines.

Ces rejets solides à fortes concentrations en métaux (As, Pb, Fe, Cu...), produisent des lixiviats très acides ( $\text{pH} \leq 3$ ) entraînant la solubilisation des sulfures et la libération des métaux toxiques qui polluent les ressources hydriques de la région.

Afin d'atténuer le DMA à Kettara, un protocole d'amendement alcalin a été testé au laboratoire en utilisant les boues de pâte de sucrerie (Sludge Pulp of Sweets : SPS) et des argiles (Clays : Cly).

Les matériaux choisis ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique et minéralogique puis d'une série d'essais de lixiviation en mini-cellules d'altération. Ces essais ont montré que les pH des SPS et des Cly varient respectivement entre 6,1 et 8,5 et entre 6,7 et 9. Le potentiel neutralisant de ces matériaux, déterminé par la méthode Acid-Base Accounting, est de l'ordre de 878,5 Kg  $\text{CaCO}_3/\text{t}$  pour les SPS et de 299 Kg  $\text{CaCO}_3/\text{t}$  pour les Cly. Ces matériaux fins et alcalins ont donc un potentiel neutralisant assez élevé susceptible de réduire considérablement le DMA.

Les SPS et des Cly, au vue de leur potentiel de neutralisation et leurs propriétés physico-chimiques, constitueraient d'excellents matériaux de base pour un amendement visant l'atténuation du DMA dans la mine abandonnée de Kettara.

**Abstract.** – Sulphide waste from the Kettara mine (Marrakesh region) is stored on a highly fractured shale bed covering an area of about 16 hectares. In this site, more than 3 million tons of residues are stored on the ground without any concern for their impact on the environment. The acidogenic minerals contained in these residues, under the action of water and oxygen, generate Acid Mining Drainage (AMD). This phenomenon leads to an acidity of the environment that causes the destruction of flora and fauna and the contamination of groundwater. These solid wastes with high concentrations of metals (As, Pb, Fe, Cu ...), produce very acidic leachates ( $\text{pH} \leq 3$ ) leading to the solubilization of sulphides and the release of toxic metals that pollute the water resources of the region. In order to mitigate AMD at Kettara, an alkaline amendment protocol was tested in the laboratory using Sludge Pulp of Sweets (SPS) and clays (Clays: Cly). The chosen materials were subjected to a physico-chemical and mineralogical characterization followed by a series of leaching tests in mini-cells of alteration. These tests have shown that the pH of SPS and Cly vary respectively between 6.1 and 8.5 and between 6.7 and 9. The neutralizing potential of these materials, determined by the Acid-Base Accounting method, is of the order of 878.5 Kg  $\text{CaCO}_3/\text{t}$  for SPS and 299 Kg  $\text{CaCO}_3/\text{t}$  for Cly. These fine and alkaline materials have a high enough neutralizing potential that can significantly reduce the AMD. SPS and Cly, in view of their neutralization potential and their physicochemical properties, will be excellent materials of amendment to mitigate AMD in the abandoned Kettara mine.

**Mots-clés.** – Drainage Minier Acide, rejets miniers, boues de sucrerie, argiles, amendement alcalin.

**Key words.** – Acid Mine Drainage, residues, Sludge Pulp of Sweets, Clay, alkaline amendment.

### I. — INTRODUCTION

L'exploitation, l'extraction et le traitement des minerais sont à l'origine de la production des rejets acides qui auront des conséquences fatales sur l'environnement. Ces rejets miniers engendrent des problèmes majeurs pour l'environnement. Le DMA qui s'y déclenche en constitue un exemple très répandu à l'échelle de la planète au niveau des parcs à résidus miniers. Ce phénomène est provoqué naturellement dès que des sulfures acidogènes (pyrite, pyrrhotite ...) sont en contact avec l'eau et l'air (Fig. 1), générant ainsi un pH bas et d'énormes quantités de sulfates, de fer et de métaux toxiques susceptibles de déséquilibrer,

voir même détruire, les écosystèmes naturels et d'infecter les ressources en eau (Aubertin *et al.*, 2002; Sracek *et al.*, 2004; Álvarez-Valero *et al.*, 2009).

Plusieurs méthodes visant l'atténuation du DMA ont été développées parmi lesquelles on peut citer la désulfuration environnementale (Benzaazoua *et al.*, 2000a; Benzaazoua & Kongolo, 2003; Mermillod-Blondin *et al.*, 2005), les traitements des effluents actif et passif (Ouakibi *et al.*, 2013), les recouvrements de type couvertures à effets de barrière capillaire (Bossé, 2013) et l'amendement alcalin qui consiste à mélanger les résidus générateurs de DMA avec des matériaux alcalins pour limiter l'oxydation des sulfures et neutraliser

\* Département de Géologie. Laboratoire de Géodynamique des Chaînes Anciennes.

Faculté des Sciences Ben M'Sik, Université Hassan II de Casablanca, BP : 7955, Maroc.

E-mails: snfissi@gmail.com; alikouss@gmail.com; zerhouni.y@gmail.com; zbaroudi@gmail.com; samirmoha8@gmail.com

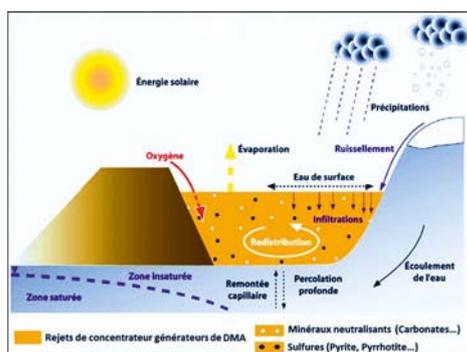


Figure 1. — Interactions rejets-atmosphère et bilan hydrique d'un parc à rejets de concentrateur générateur de DMA (Bossé, 2013).  
 Figure 1. — Release-atmosphere interactions and water balance of an AMD-generating concentrator release plant (Bossé, 2013).

l'acidité générée (Hakkou *et al.*, 2009; Nfissi *et al.*, 2014, 2017).

La présente étude se propose d'évaluer l'efficacité d'un amendement composé de boues de sucrerie (SPS) et d'argiles (Clys) pour le contrôle du phénomène du DMA. Elle s'intègre dans le cadre d'un projet de recherche sur la gestion et stabilisation des rejets miniers et industriels qui s'articulent autour de plusieurs axes parmi lesquels la caractérisation des déchets miniers, l'étude d'impact sur l'environnement et la santé et la proposition de scénarios de restauration.

Le site pilote choisi fait partie des mines abandonnées du Maroc et qui ont suscité une attention particulière étant donné l'étendue de son parc à résidus (16 hectares) qui renferme plus de 3 millions de tonnes de résidus sulfurés. Il s'agit de la mine de Kettara, située dans les Jebilet centrales à environ 32 Km au Nord-Ouest de la ville de Marrakech (Fig. 2). Elle a été exploitée pendant 35 ans, au début pour les ocres de 1945 à 1961, ensuite pour la pyrite et le cuivre de 1956 à 1963 essentiellement dans la zone de cimentation et enfin pour la pyrrhotine de 1965 à 1980.

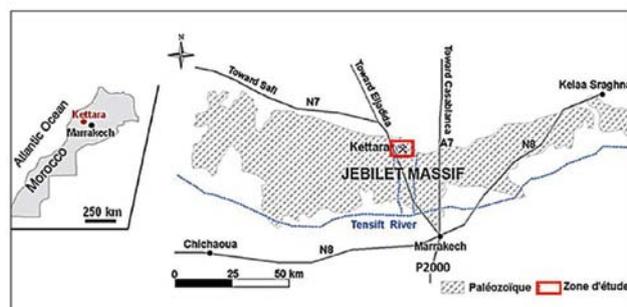


Figure 2. — Localisation géographique de la mine de Kettara (Khalil *et al.*, 2014).  
 Figure 2. — Geographical location of the Kettara mine (Khalil *et al.*, 2014).

La mine de Kettara correspond à un amas sulfuré datée du Viséen supérieur. Elle se situe entre deux plaines; au Nord la plaine de la Bahira et au Sud la plaine du Haouz (Fig. 3). Cet amas sulfuré est caractérisé par une minéralisation constituée principalement de pyrrhotine et de pyrite, mais appauvrie en métaux de base (Bordonaro, 1984).

Les principales caractéristiques géologiques de l'amas sulfuré de Kettara sont rattachées à sa position stratigraphique au-dessus du volcanisme acide du membre supérieur d'une série dite de Sarhlef (Jebilet centrales) et en dessous d'une autre dite de Teksim (Jebilet orientales). La minéralisation présente des

structures primaires témoignant de sa contemporanéité avec la sédimentation. Le contrôle structural joue un rôle important dans les positions du corps minéralisé avec développement d'une altération hydrothermale importante à séricite, chlorite, qui accompagne la mise en place de l'amas (Felenc *et al.*, 1986).

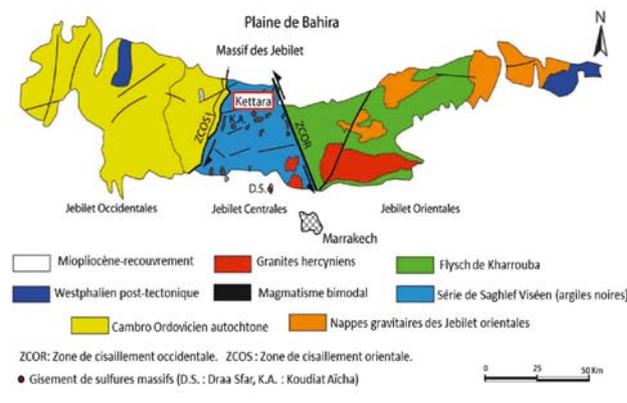


Figure 3. — Carte géologique du massif des Jebilet (modifiée d'après Huvelin, 1972).  
 Figure 3. — Geological map of the Jebilet massif (modified after Huvelin, 1972).

La lixiviation des résidus miniers de cette ancienne mine engendre un précipité de couleur rouge brique très acide. Les valeurs mesurées du pH varient entre 1,5 et 3 (Fig. 4) (Nfissi, 2013). Les pH acides des résidus sont similaires à ceux produit lors des tests en cellules humides effectués sur les déchets miniers de Kettara (Hakkou *et al.*, 2008b).

Ces résidus très perméables à texture grossière (Nfissi *et al.*, 2011, 2013), assurent un bon drainage et une oxydation très poussée des résidus et par ailleurs l'accentuation du processus du DMA. La paragenèse minérale à l'origine du DMA est dominée par la pyrrhotine et la pyrite, à qui sont associés, en faible quantités, la chalcopyrite, la sphalérite, la goëthite, les aluminosilicates, la chlorite-serpentine, le talc et le quartz.



Figure 4. — Eaux de ruissellement aux alentours de la mine abandonnée de Kettara (Effet DMA).  
 Figure 4. — Runoff water around the abandoned Kettara mine (AMD effect)

Hakkou *et al.*, (2008a) ont déterminé le potentiel de génération d'acide (PA) et le potentiel de neutralisation (PN) des résidus de Kettara par le test statique. Ce test permet d'établir la capacité d'un échantillon de produire de l'acide et de le neutraliser. Il s'agit de créer un bilan chimique entre les minéraux producteurs d'acide et les minéraux acidivores pouvant le neutraliser. Le test statique le plus couramment utilisé est la méthode standard (Acid-Base Accounting : ABA), développée par Smith *et al.* (1974) et modifiée par différents auteurs (Sobek *et al.*, 1978; Lawrence et Wang, 1997; MEND, 2009; Bouzahzah, 2013).

La comparaison entre PA (Pouvoir d'Acidité) et PN (Pouvoir de Neutralisation) obtenus par les tests statiques permet de classer les rejets miniers. Il existe deux critères de classification qui sont le Pouvoir Net de Neutralisation ( $PNN = PN - PA$ ) et le rapport PN/PA appelé NPR ( $NPR = PN/PA$ ).

En se basant sur le rapport NPR, les auteurs (Adam *et al.* (1997) et Price *et al.* (1997)) suggèrent des valeurs de classifications des rejets. La classification basée sur ce rapport confirme que les rejets sont générateurs d'acidité, lorsque le rapport NPR < 1. La figure 5 représente le résultat de la prévision statique de génération de l'acidité de Kettara, en utilisant le rapport PN/PA.

Les valeurs de  $PNN < -20\text{kgCaCO}_3/\text{t}$  indiquent un matériau produisant de l'acide, tandis que les matériaux à  $PNN > 20\text{kgCaCO}_3/\text{t}$  sont considérés comme consommateur d'acide (Miller *et al.*, 1991; Ferguson et Morin, 1991).

Les résidus miniers de Kettara, dotés d'un faible potentiel net de neutralisation (-453 à -22,5 kg  $\text{CaCO}_3/\text{t}$ ), d'un potentiel net de génération d'acide élevé entre (51 à 453 kg  $\text{CaCO}_3/\text{t}$ ) et d'un potentiel de neutralisation négligeable (Fig.5), sont responsables d'une manière incontestable du déclenchement du DMA dans ce site (Hakkou *et al.*, 2008a).

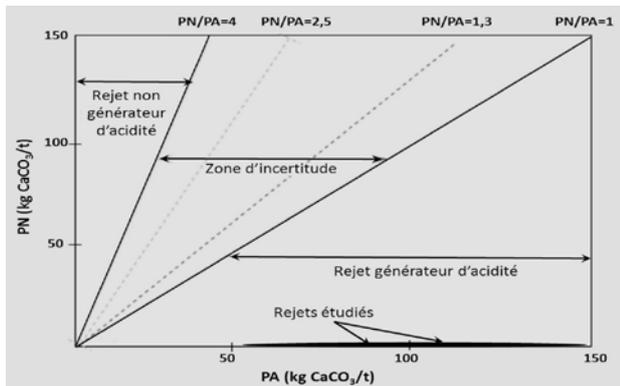


Figure 5. — Résultat de la prévision statique de génération de l'acidité de Kettara.

Figure 5. — Acidity generation static prediction result of Kettara.

## II. — MATERIAUX INITIAUX

Les matériaux alcalins utilisés dans cette étude sont les boues de sucrerie et les argiles qui proviennent respectivement de la station d'épuration des eaux usées de la Compagnie Sucrière Marocaine de Casablanca (COSUMAR), considérée comme étant l'une des plus grandes raffineries d'Afrique, et d'une carrière d'argile du barrage de Sidi Abderrahmane à une dizaine de Km à l'Est de la ville de Safi (Fig. 6).

La caractérisation physico-chimique et minéralogique des matériaux étudiés (Zerhouni *et al.*, 2016) a montré qu'ils sont dotés d'un potentiel de neutralisation assez élevé. Il est de l'ordre de 878,5 kg  $\text{CaCO}_3/\text{t}$  pour les SPS et de 299 kg  $\text{CaCO}_3/\text{t}$  pour les Clys (Tabl. 1). En ce qui concerne les boues de sucrerie, la principale phase détectée par diffraction des rayons X est représentée par la calcite et des traces de quartz. Leur teneur en matière organique est de l'ordre de 8,35%. Pour les argiles, le spectre de diffraction des rayons X a révélé la présence de la kaolinite, de la muscovite, du quartz et de la calcite. Leur teneur moyenne en matière organique est de l'ordre de 0,53%. Ces deux matériaux peuvent donc être retenus pour la stabilisation des rejets miniers acides de Kettara.

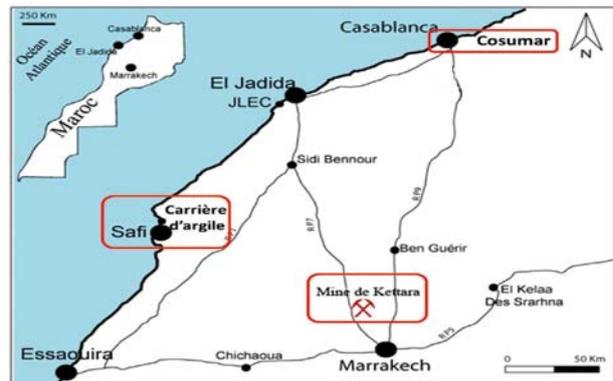


Figure 6. — Situation des différents sites de collecte de matériaux utilisés (SPS et Clys) (Nfissi *et al.*, 2014).

Figure 6. — Situation of the different material collection sites used (SPS and Clys) (Nfissi *et al.*, 2014).

Echantillons	PN (kg/t $\text{CaCO}_3$ )	M.O. (%)	$\text{CaCO}_3$ (%)
SPS	878.5	8.35	80
Cly	299	0.53	10.48

Tableau 1. — Dosage de la matière organique, des carbonates et du potentiel de neutralisation dans les boues de sucrerie et les argiles (Zerhouni *et al.*, 2016).

Tableau 1. — Determination of organic matter carbonates and neutralization potential in mud pulp sweets and clays (Zerhouni *et al.*, 2016).

## III. — MATERIELS ET METHODES ;

Plusieurs essais cinétiques peuvent être utilisés. Nous citons les essais en colonnes, les mini-cellules d'altération et les cellules humides (Lawrence, 1990; Price *et al.*, 1997; Villeneuve *et al.*, 2003; Villeneuve *et al.*, 2009; MEND, 2009; Sapsford *et al.*, 2009; Plante *et al.*, 2012). Les tests cinétiques adoptés dans cette étude ont été effectués en mini-cellules d'altération. Cette méthodologie est basée sur les travaux de Cruz *et al.* (2001a, 2001b) qui ont développé le protocole standardisé de l'essai en cellules humides de l'ASTM (American Society for Testing and Materials) (1998) et de Morin & Hutt (1997). Les mini-cellules d'altération ont été retenues comme test cinétique parmi plusieurs parce qu'elles nécessitent une petite quantité d'échantillon, sont faciles à mettre en place, peu coûteuses et donnent des résultats assez rapides dans le temps (Villeneuve, 2004). Ces essais ont permis de suivre le comportement des matériaux initiaux et l'effet de l'amendement sur les résidus miniers à petite échelle.

Le dispositif expérimental retenu comporte cinq essais refermant 2/3 de résidus miniers, mélangés à 1/3 des matériaux choisis. La lixiviation consiste à faire percoler 50 ml d'eau distillée à travers l'entonnoir Buchner et ce, deux fois par semaine pendant 67 jours. Les différentes configurations choisies sont décrites ci-dessous (Fig. 7):

**Essai 1** : comporte exclusivement des résidus miniers fins de Kettara (TK).

**Essai 2** : comporte uniquement les argiles de Safi (Clys).

**Essai 3** : comporte les boues de pâte de sucrerie de la COSUMAR (SPS) seuls.

**Essai 4** : renferme 2/3 de résidus miniers (TK) mélangés

avec 1/3 d'argiles (Clys).

**Essai 5** : renferme 2/3 de résidus miniers (TK) mélangés

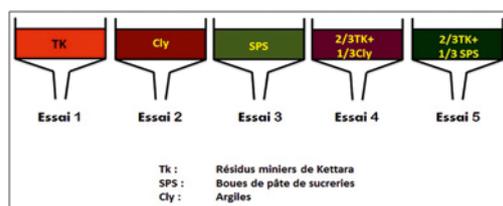


Figure 7. — Description du protocole expérimental.

Figure 7. — *Experimental protocol description.*

avec 1/3 de boues (SPS).

Les lixiviats récoltés après chaque rinçage ont fait l'objet de plusieurs mesures : volume récupéré, pH, conductivité, acidité et alcalinité. Le pH des lixiviats obtenus est mesuré à l'aide d'un pH-mètre type (pH/Ion 510, Bench pH meter); la conductivité des lixiviats récoltés est mesurée à l'aide d'un conductivimètre type (con510, Bench conductivity). L'acidité est déterminée à l'aide du titrage par l'hydroxyde de sodium (norme PE3-AC-08) et l'alcalinité des mélanges par titration à l'acide sulfurique (norme PE3-AC-07).

#### IV. — RESULTATS ET DISCUSSION

L'évolution du pH, de la conductivité, de l'acidité et de l'alcalinité des lixiviats des cinq colonnes a été suivie pendant 67 jours. L'essai 1 (résidus seuls) se distingue de l'ensemble des autres par le volume le plus élevé des lixiviats, alors que l'essai 2 (argiles seules) a donné le volume le plus faible qui est dû au pouvoir de rétention des argiles. Le volume recueilli dans l'essai 3 (Boues de pâte de sucrerie seule) bien qu'élevé ne dépasse guère celui de l'essai 1. Les essais 4 et 5, qui comportent un mélange des Tk avec les SPS ou les Clys, produisent un volume important probablement dû au ratio des résidus miniers (2/3) par rapport à celui des SPS et Clys (1/3).

Durant les 67 jours, le pH le plus bas (2,14) a été enregistré pour l'essai 1 (TK seuls) qui est considéré comme essai témoin (Fig. 8a). Le pH des lixiviats des boues de sucrerie (Essai 3) est compris entre 6,12 et 8,47 alors que celui des argiles seules (Es-

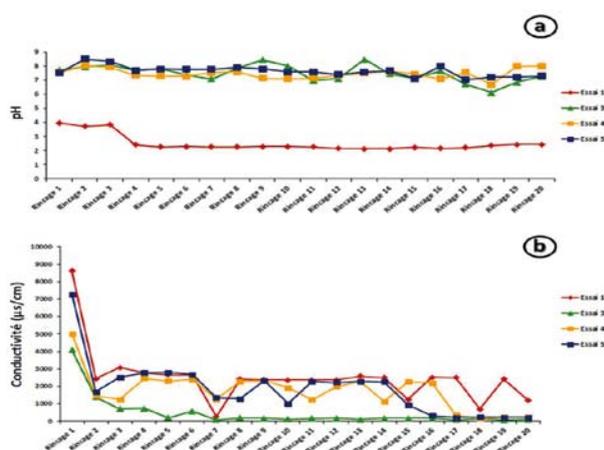


Figure 8. — Cinétique des mesures ponctuelles du pH et de conductivité électrique des lixiviats.

Figure 8. — *Kinetics of point measurements of pH and electrical conductivity of leachates.*

sai 2) est compris entre 6,68 à 9,05 (Fig. 9a). Les argiles seules ont un pouvoir de rétention très grand, d'où la difficulté de récupérer des lixiviats chaque semaine. Les argiles jouent un rôle très important pour empêcher le drainage des eaux acides étant donnée leurs propriétés d'adsorption et d'absorption (Parker & Rae, 1998). Pour les essais 4 et 5 comportant l'amendement, l'évolution du pH montre une certaine tendance vers la neutralité. Ces deux matériaux peuvent donc jouer un rôle très important pour la neutralisation des eaux acides. L'essai 4, contenant 2/3 TK et 1/3 Clys, a fourni le pH le plus élevé (pH=8) (Fig. 8a).

Au début de l'essai cinétique, la conductivité électrique pour les colonnes 1, 3, 4 et 5 augmente pour atteindre des valeurs de 8620 µS/cm pour l'essai 1; 4100 µS/cm pour l'essai 3; 5030 µS/cm pour l'essai 4 et 7290 µS/cm pour l'essai 5 (Fig. 8b). Puis une diminution rapide de la conductivité a été notée pour les quatre essais. A la fin de l'essai, les valeurs les plus élevées ont été enregistré pour l'essai 1 qui comporte uniquement les résidus miniers. La courbe de la conductivité de l'essai 2 montre une augmentation de la conductivité dès le premier rinçage puis une chute remarquable de celle-ci dès le troisième rinçage (Fig. 9b). Pour l'essai 3, la conductivité est au minimum à partir du 7ème rinçage (4ème semaine) par opposition aux essais 4 et 5 qui n'atteignent le minimum de conductivité qu'à partir du 17ème rinçage (Fig. 8b). Nous constatons donc que les SPS et les Clys contribuent à la diminution de la conductivité des lixiviats qui

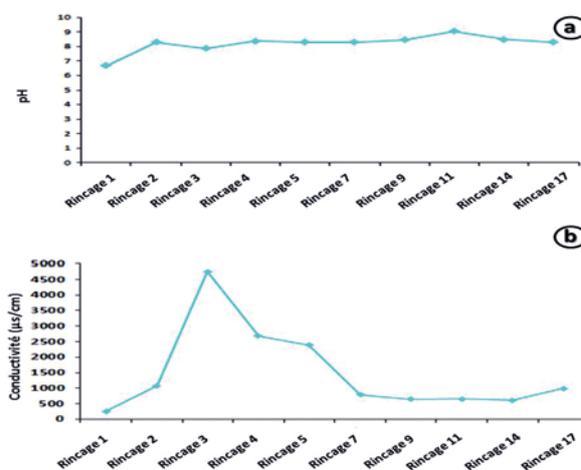


Figure 9. — Cinétique des mesures ponctuelles de pH et de la conductivité électrique des lixiviats d'argile.

Figure 9. — *Kinetics of point measurements of pH and electrical conductivity of clay leachates.*

atteint son minimum à partir de la 8ème semaine.

L'acidité la plus élevée est enregistrée dans l'essai 1 qui comporte uniquement les résidus miniers de Kettara. Par contre, les essais renfermant l'amendement à base des SPS ou des argiles ne génèrent aucune acidité (Fig. 10a), celle-ci reste faible jusqu'à la fin de l'essai cinétique.

Les lixiviats de l'essai 4 présentait des niveaux élevés d'alcalinité, compris entre 16,4 et 677,42 mg de CaCO<sub>3</sub>/l, alors que celui des boues de pâte de sucrerie (essai 5) sont compris entre 9,9 et 878,472 mg de CaCO<sub>3</sub>/l (Fig. 10b). On en conclut donc que l'amendement par les SPS ou les Clys (essais 4 et 5) a permis une diminution progressive de l'alcalinité et l'activation des processus de neutralisation et ce jusqu'à épuisement des carbonates.

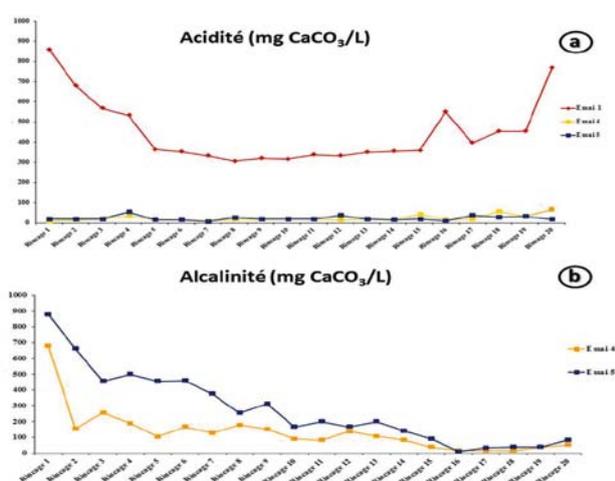


Figure 10. — Cinétique des mesures ponctuelles de l'acidité et de l'alcalinité des lixiviats.  
 Figure 10. — Kinetics of point measurements of leachate acidity and alkalinity.

## V. — CONCLUSION

Les essais en mini cellules d'altération, ont permis de suivre sur une durée de dix semaines l'effet d'un amendement alcalin à

base de boues de sucrerie (SPS) et d'argiles (Clys) sur la neutralisation du drainage minier acide produit par les résidus miniers de la mine abandonnée de Kettara. L'ensemble des analyses effectuées ont montré que ces deux matériaux (SPS et Clys) sont tout à fait appropriés et aptes pour la stabilisation des rejets miniers acides. En se basant sur le pH et l'alcalinité, il semblerait que l'amendement à base des SPS et des Clys seuls s'avère actif et capital pour la neutralisation des lixiviats acides. Ces matériaux peuvent être utilisés seules ou mélangées avec d'autres matériaux. A l'issu des résultats obtenus, des tests cinétiques seront conduits au laboratoire pour déterminer les proportions relative de SPS et des Clys propices pour atténuer le drainage minier acide dans ce site minier. Cette étude vise l'atténuation de l'impact du drainage minier acide dans le site minier de Kettara, qui pourrait s'étendre sur d'autres régions à climat semi-aride présentant une problématique similaire.

**Remerciements :** Les auteurs tiennent à remercier les organismes subventionnaires de cette étude; en particulier la Compagnie Sucrière Marocaine (COSUMAR, Casablanca), le Centre National de la Recherche Scientifique et Technique (CNRST, Rabat) et le laboratoire de Géodynamique des chaînes anciennes de la Faculté des Sciences Ben M'Sik (FSBM, Casablanca). Nos remerciements vont aussi au Directeur de la publication ainsi qu'aux membres de la revue des Annales de la Société Géologique du Nord et aux relecteurs qui ont bien voulu lire et critiquer la présente note.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAM K., KOURTIS A., GAZEA B., KONTOPOULOS A. (1997) — Evaluation of static tests used to predict the potential for acid drainage generation at sulfide mine sites. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, section A, mining industry, 106p.
- AUBERTIN M., BUSSIÈRE B., BERNIER L., CHAPUIS R., JULIEN M., BELEM T., SIMON R., MBONIMPA M., BENZAAZOUA M. & LI L. (2002) — La gestion des rejets miniers dans un contexte de développement durable et de protection de l'environnement. Congrès annuel de la Société canadienne de génie civil. Montréal, Québec, Canada. Paper No.GE-045 /Article No. GE-045. 33p.
- ÁLVAREZ-VALERO A.M., PÉREZ-LÓPEZ R. & NIETO J.M. (2009) — 'Prediction of the environmental impact of modern slags: A petrological and chemical comparative study with Roman age slags'. American Mineralogist, **94** (10):1417-1427p.
- BENZAAZOUA M., BUSSIÈRE B., KONGOLO M., MCLAUGHLIN J. & MARION P. (2000a) — Environmental desulphurization of four canadian mine tailings using froth flotation, International Journal of Mineral Processing, **6**: 57-74 p.
- BENZAAZOUA M. & KONGOLO M. (2003) — Physico-chemical properties of tailing slurries during environmental desulphurization by froth flotation. International Journal of Mineral Processing, **69** : 221-234p.
- Bordonaro M. (1984) - La ceinture ibéro-marocaine. Géologie structurale du district de Kettara, thèse de 3ème cycle, Strasbourg.
- BOUZAHZAH H. (2013) — Modification et amélioration des tests statiques et cinétiques pour une prédiction fiable et sécuritaire du drainage minier acide. Thèse de Doctorat, Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue (UQAT). Août 2013, 11-130 et 288p.
- BOSSE B. (2013) — Évaluation du comportement hydrogéologique d'un recouvrement alternatif constitué de rejets calcaires phosphatés en climat semi-aride à aride'. UQAT, Rouyn-Noranda, Canada. Ph.D, Doctorat en sciences de l'environnement : 301p.
- CRUZ R., MÉNDEZ B.A., MONROY M. & GONZÁLEZ I. (2001a) — cyclic voltammetry applied to evaluate reactivity in sulfide mining residue. Applied Geochemistry, **16**: 1631-1640p.
- CRUZ R., BERTRAND V., MONROY M. & GONZÁLEZ I. (2001b) — Effect of sulfide impurities on the reactivity of pyrite and pyritic concentrates: a multi-tool approach. Applied Geochemistry, **16**: 803-819p.
- FELENC J., FOURNIER M., HMEURAS M. (1986) — Contrôles géologiques des amas à pyrrhotine des Jebilet et Gue-massa. Définition des guides de recherche. Rapport du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), 86 MAR 131, 54 p.

- HAKKOU R., BENZAAZOUA M. & BUSSIÈRE B. (2009) — Laboratory evaluation of the use of alkaline phosphate wastes for the control of acidic mine drainage. *Mine Water Environ*, **28**: 206–218. 3-11p.
- HAKKOU R., BENZAAZOUA M. & BUSSIÈRE B. (2008a) — Acid Mine Drainage at the Abandoned Kettara Mine (Morocco): 1. Environmental Characterization, *Mine Water Environ*, **27**: 145–159. 5-8 p.
- HAKKOU R., BENZAAZOUA M. & BUSSIÈRE B. (2008b) — Acid Mine Drainage at the Abandoned Kettara Mine (Morocco): 2. Mine Waste Geochemical Behavior, *Mine Water Environ*, **27**: 160–170. 3-10 p.
- KHALIL A., HANICH L., HAKKOU R. & LEPAGE M. (2014) — GIS-based environmental database for assessing the mine pollution: A case study of an abandoned mine site in Morocco. *Journal of Geochemical Exploration*, **144**: 468-477. 2p.
- LAWRENCE R.W. & WANG Y. (1997) — Determination of neutralization potential in the prediction of acid rock drainage. In: *Proceedings of 4th international conf on acid rock drainage*, vol 1, Vancouver, Canada, 451–464p.
- LAWRENCE R.E. (1990) — Laboratory procedures for the prediction of long term Weathering characteristics of mining wastes. Conférence présentée au Symposium on Acid Mine Drainage; Annual Meeting Geological Assoc. Canada and Mineralogical Assoc., VCH, Canada. In BOUZAHZAH H. (2013), Modification et amélioration des tests statiques et cinétiques pour une prédiction fiable et sécuritaire du drainage minier acide. Thèse de Doctorat, Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue (UQAT) 187p.
- MEND. (2009) — Report 1.20.1. Prediction manual for drainage chemistry from sulphidic geologic materials. By Price, W.A. CANMET, Natural resources Canada.
- MERMILLOD-BLONDIN R., KONGOLO M., DE DONATO P., BENZAAZOUA M., BARRÈS O., BUSSIÈRE B. & AUBERTIN M. (2005) — Pyrite flotation with xanthate under alkaline conditions- application to environmental desulfurization. Centenary of Flotation Symposium, Brisbane, QLD, 6-9 June. 683-692p.
- MORIN K.A. & HUTT N.M. (1997) — Environmental geology of mine site drainage: practical theory and case studies. MDAG Publishing, Vancouver (Canada). 333p.
- NFISSI S., ALIKOUSS S., ZERHOUNI Y., HAKKOU R., BENZAAZOUA M. & BOUZAHZAH H. (2017) — Control of acid mine drainage from an abandoned mine in Morocco by using cement kiln dust and fly ash as amendments. *Journal of materials and Environmental Sciences*. **8** : 4457-4466p.
- NFISSI S., ALIKOUSS S., ZERHOUNI Y., HAKKOU R., BENZAAZOUA M., SAMIR M. & BAROUDI Z. (2014) — Evaluation of the capacity of cement kiln dust and fly ash for the neutralization of acidic mine tailings'. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*. **4** : 2277-2081. 51-61 p.
- NFISSI S. (2013) — Evaluation de la capacité de matériaux industriels alcalins à neutraliser les rejets miniers acides de la mine de Kettara (Jebilets Centrales, Maroc). Université Hassan II Mohammedia- Casablanca, FSBM, Maroc. Doctorat en Géologie Appliquée : 74-122p.
- NFISSI S., ZERHOUNI Y., BENZAAZOUA M., ALIKOUSS S., CHTAINI A., HAKKOU R. & SAMIR M. (2011) — Caractérisation des résidus miniers des mines abandonnées de Kettara et de Roc Blanc (Jebilet centrales, Maroc)'. *Annales de la Société géologique du Nord Tome 18 (2ème série)*, 43-53p.
- OUAKIBI O., LOQMAN S., HAKKOU R. & BENZAAZOUA M. (2013) — The Potential Use of Phosphatic Limestone Wastes in the Passive Treatment of AMD: A Laboratory Study, *Mine Water and the Environment (Journal of the International Mine Water Association (IMWA))*, **32**: 266–277. 5-10 p.
- PARKER A. & RAE J.E. (1998) — Environmental interactions of Clays. Berlin: Springer. 271 p.
- PLANTE B., BUSSIÈRE B. & BENZAAZOUA M. (2012) — Static tests response on 5 Canadian hard rock mine tailings with low net acid-generating potentials. *Journal of Geochemical Exploration*, **114**: 57-69p.
- PRICE W. A., MORIN K. & HUTT N. (1997) — Guide lines for the Prediction of Acid Rock Drainage and Metal Leaching for Mines in British-Columbia: Part II- Recommended Procedures for Static and Kinetic Testing. *Proceedings Fourth International Conference on Acid Rock Drainage*, Vancouver, B.C. Canada may 31 – June 6, **1** : 15–30p.
- SAPSFORD D.J., BOWELL R.J., DEY M. & WILLIAMS K.P. (2009) — Humidity cell tests for the prediction of acid rock drainage. *Minerais Engineering*, **22 (1)**: 25-36p.
- SMITH R.M., GRUBE W.E., ARKLE T. & SOBEK A. (1974) — Mine Spoil Potentials for Soil and Water Quality. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA-670/2-74-070, 303p.
- SRACEK O., CHOQUETTE M., GÉLINAS P., LEFEBVRE R. & NICHOLSON R.V. (2004) — Geochemical characterization of acid mine drainage from a waste rock pile, Mine Doyon, Québec, Canada. *Journal of Contaminant Hydrology*. **69**: 45-71p.
- SOBEK A.A., SCHULLER W.A., FREEMAN J.R. & SMITH R.M. (1978) — Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils. EPA-600/2-78-054. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.

VILLENEUVE M., BUSSIÈRE B., BENZAAZOUA M. & AUBERTIN M. (2009) — Assessment of interpretation methods for kinetic tests performed on tailings having a low acid generating potential. Conférence présentée à la 8ème International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), June 23-26, Skelleftea, Sweden. In BOUZAHZAH H. (2013), Modification et amélioration des tests statiques et cinétiques pour une prédiction fiable et sécuritaire du drainage minier acide. Thèse de Doctorat, Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue (UQAT), 190p.

VILLENEUVE M., BUSSIÈRE B., BENZAAZOUA M., AUBERTIN M., & MONROY M. (2003) — The influence of kinetic test type on the geochemical response of low acid generating potential tailings. Conférence présentée au Tailings and mine waste '03. Sweets & Zeitlinger, Vail, CO., USA. 269-279 p.

VILLENEUVE M. (2004) — Évaluation du comportement géochimique à long terme de rejets miniers à faible potentiel de génération d'acide à l'aide d'essais cinétiques. Mémoire de maîtrise en génie minéral, École Polytechnique de Montréal, 576p.

ZERHOUNI Y., ALIKOUSS S., SABER N., NFISSI S., ZAHOUR G., BAROUDI Z. & SAMIR M. (2016) — Caractérisation des boues de sucrerie et des argiles pour la neutralisation des résidus miniers de la mine de Kettara (Jebilet centrales, Maroc). European Scientific Journal May 2016 edition, **12 (15)**: 1857 – 7881. 326-328 p.

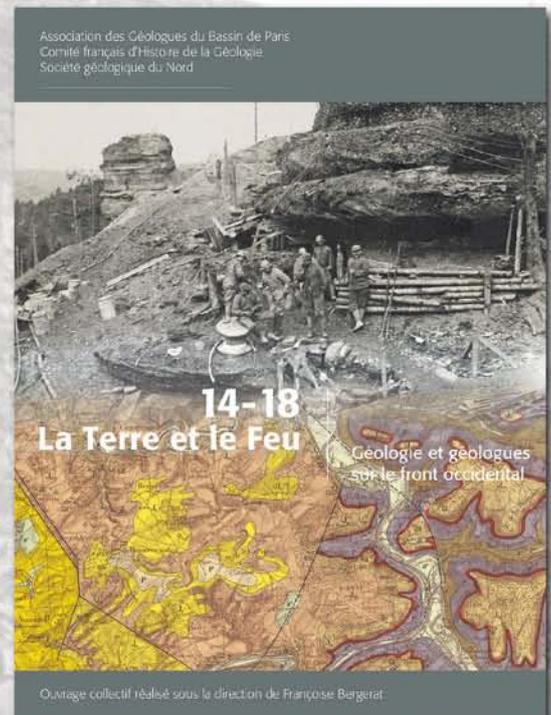
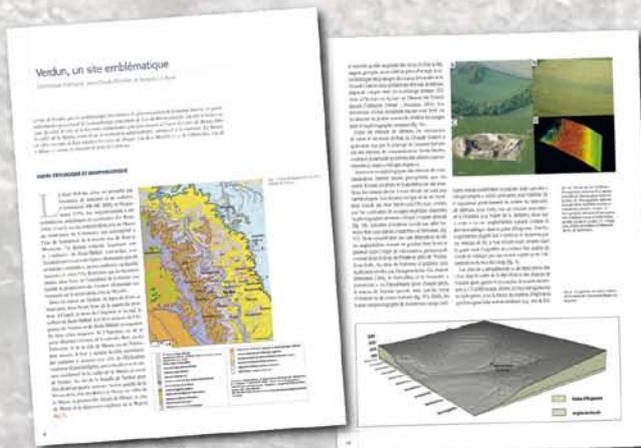
# 14-18 : La Terre et le Feu

## Géologie et géologues sur le front occidental

Une publication de l'AGBP, du COFRHIGEO et de la SGN

### Le rôle des formes du relief

La stratégie des belligérants a été marquée dès le début de la guerre par le rôle de la géomorphologie. Les auréoles concentriques du Bassin parisien, avec leurs escarpements de côtes face à l'est et défendus par les fortifications du système Séré de Rivières constituaient l'impenable « forteresse France » que les Allemands ont dû contourner par la Belgique.



### La nature des roches

La nature des roches a défini les conditions dans lesquelles les soldats ont creusé tranchées et galeries de mines, et l'aptitude à la circulation des troupes et des équipements lourds, notamment les chars.

Les carrières souterraines des régions calcaires ont offert des abris aux combattants. La guerre de mines a été influencée, comme les autres travaux du génie, par la distribution, l'épaisseur et la structure des roches, leurs caractéristiques physiques et la présence d'eaux souterraines.

### Les géologues dans le conflit

À la différence des Allemands et des Britanniques, les Français n'ont pas constitué de corps de géologues militaires, l'information géologique reposant davantage sur des spécialistes non mobilisés et des réseaux informels. Les géologues des diverses parties ont été impliqués dans l'approvisionnement en eau et en ressources minérales, dans le creusement des mines et dans le choix des sites stratégiques. Parallèlement, une guerre idéologique a opposé les scientifiques des deux camps.



### Les conséquences environnementales

Les nouvelles technologies (systèmes d'information géographique, images Lidar...) permettent d'identifier les traces du conflit dans la morphologie. La dégradation des sols et les zones polluées constituent un nouveau domaine d'étude en phase avec les préoccupations contemporaines.

L'ouvrage, de plus de 450 pages et richement illustré en quadrichromie (cartes, dessins, photographies) est disponible au prix de 38 €. Il peut être retiré à la Société géologique du Nord sur rendez-vous ([sgn-edition@univ-lille.fr](mailto:sgn-edition@univ-lille.fr)) ou être envoyé par voie postale par l'AGBP (frais d'emballage et d'expédition en sus) : renseignements et commandes par courriel ([association.agbp@gmail.com](mailto:association.agbp@gmail.com)) ou par courrier (Association des Géologues du Bassin de Paris, Tour 56-55, E5, Sorbonne Université, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05).

## NOTES DE LECTURE

**Le paléontologue et l'évolution, par Pascal Tassy, 2016, édition mise à jour,  
Le Pommier édit., Paris, 128 p., ISBN 978-2-746-50079-2 ; Diffusion Belin, Paris, 8 €**

par Alain R. M. BLIECK<sup>1</sup>

Ce livre est une édition mise à jour du livre de Pascal Tassy paru en 2000 avec le même titre, où l'on apprend, entre autres, que le mot 'fossiles' a été utilisé par Georg Bauer dit Agricola en 1546 dans *De Natura Fossilium* (Tassy, 2016, p. 12). L'auteur donne l'excellente définition suivante : "... le fossile, par sa nature, est littéralement tiré de sa couche géologique - donc du temps - par le paléontologue" (*ibid.*, p. 43). Ici, le fossile est du temps et, comme le temps c'est de l'argent, le fossile c'est de l'argent... au moins chez les marchands de fossiles et minéraux.

L'ouvrage est structuré en cinq chapitres intitulés :

- '*L'évidence de l'objet*' qui est une brève histoire de la paléontologie aboutissant à la notion d'espèces perdues ;

- '*La construction du temps*' pour ce qui est de l'établissement des échelles de temps dites 'relative' (biostratigraphie) & 'absolue' (radiochronologie) & de l'installation du concept d'évolution ;

- '*Paléontologie et évolution: une liaison passionnelle*' pour les notions basiques d'homologie, de descendance, d'histoire évolutive, de processus & de biogéographie ;

- '*La phylogénétique*' pour la discipline actuelle d'établissement des relations de parenté entre taxons (groupes d'organismes) et ses principes fondamentaux que sont la monophylie, la cladistique, l'orientation des caractères, la ressemblance, les ancêtres et la paléontologie cladistique assistée par ordinateur ;

- '*L'exemple des mammifères*', en particulier des éléphants (proboscidiens) dont l'auteur est spécialiste et des baleines (cétacés) qui sont un exemple de retour à la vie aquatique au sein des vertébrés.

Je n'analyserai ici que deux des thèmes qui sont développés dans le livre, à savoir le temps des géologues et des paléontologues au travers des notions d'âges dits relatifs et absolus d'une part, et l'évaluation du nombre total d'espèces fossiles et actuelles que la Terre a portées et porte encore d'autre part. Je terminerai par quelques commentaires sur d'autres passages du livre.

### AGES 'RELATIFS' & AGES 'ABSOLUS'

Tassy (2016) revient sur les notions fondamentales en biogéosciences que sont celle de temps profond et celle de datation de ce temps profond. 'Biogéosciences' est un terme récent qui combine les racines 'bio' pour biologie, 'géo' pour géologie & sciences. Il s'agit des sciences dites tour à tour 'paléontologie', 'paléobiologie', 'géobiologie', etc. Le temps profond est celui des géologues, y compris des paléontologues, minéralogistes et autres géoscientifiques — et non pas 'géoscientistes' comme disaient, pour plagier le 'geoscientists' des Anglo-Américains, un collègue et néanmoins ami géologue pétrolier que je ne nommerai pas pour ne pas l'embarrasser.

Tous les systèmes de datation du temps profond sont relatifs. Comme le rappelle Tassy (2016, p. 27 et seq.), le premier système de datation du temps profond enregistré par les roches sédimentaires

renfermant des fossiles est fondé sur les fossiles eux-mêmes. Les strates en position inférieure dans une configuration normale, non déformée par les mouvements tectoniques, renferment les fossiles les plus anciens et vice-versa pour les strates supérieures et fossiles les plus jeunes. Ce système est dit relatif parce que les dates sont relatives à la position des strates au-dessus ou en dessous les unes des autres. Le deuxième système se fonde sur l'existence dans les roches, leurs minéraux ou les éventuels fossiles qu'elles renferment d'éléments chimiques radioactifs. Il mesure la proportion d'éléments chimiques issus (dits fils) de la désintégration des radioéléments, ce qui fournit des âges en milliers, millions ou bien milliards d'années. Ces âges sont dits 'absolus', mais absolus par rapport à quoi ou à qui? En fait, ces âges sont obtenus par la comparaison de la proportion entre l'élément radioactif et le ou les éléments fils par rapport à un ou des étalons conservés et entretenus dans quelques laboratoires géochimiques au monde. Ils sont régulièrement réévalués et corrigés (voir par ex. le cas du C<sup>14</sup> : Wikipédia). Ils sont donc calculés relativement à des étalons radio-chronométriques. Ils sont donc tout aussi relatifs que ceux issus de l'étude des strates et des fossiles. CQFD.

A ce sujet, je reviens sur l'exemple que j'ai traité il y a quelques années dans les colonnes de la revue *Science et pseudo-sciences* (SPS : Blicek, 2011). Il était question de la datation des 'derniers' des dinosaures. J'écris 'derniers' entre guillemets parce que, comme chacun le sait aujourd'hui ou devrait le savoir, les dinosaures ne sont pas morts il y a près de 65 millions d'années. L'un de leurs groupes, des dinosaures bipèdes prédateurs, a donné naissance aux oiseaux anciens et actuels. Bref, en 2011, dans SPS, il était question "*d'un résultat récent sur la datation radio-isotopique d'os de dinosaures de séries sédimentaires continentales des États-Unis. Fassett et al. (2011) rapportent la datation directe, faite sur les os d'hadrosaures provenant de deux gisements du bassin de San Juan datés de part et d'autre (l'un avant, l'autre après) de la limite Crétacé-Tertiaire (ou limite K-T, limite entre l'ère Mésozoïque et l'ère Cénozoïque, anciennement dénommées Secondaire et Tertiaire). Comme le soulignent les auteurs eux-mêmes et comme le met en avant P. Le Vigouroux dans SPS, ce qui est remarquable c'est l'utilisation d'une technique nouvelle (datation U-Pb par ablation laser in situ) pour établir des datations absolues d'os de vertébrés continentaux.*" J'y commentai la notion d'âges absolus dans les termes suivants. "*Dans le cas qui nous intéresse ici, la limite K-T est habituellement datée à 65,5 +/- 0,3 Ma (million d'années) BP (« before present ») soit entre 65,2 et 65,8 Ma BP [il y a toujours une marge d'erreur sur toute mesure physique] ; la datation de l'os d'hadrosaure du gisement supérieur de la série du San Juan Basin est de 64,8 +/- 0,9 Ma BP soit entre 63,9 et 65,7 Ma BP. Autrement dit, l'âge possible de l'hadrosaure recouvre l'âge possible de la limite K-T à 0,1 Ma près. L'hadrosaure peut tout aussi bien être antérieur que posté-*

<sup>1</sup> 38 Rue Paul Doumer, F-59320 Haubourdin (France) ; [alain.blicek@yahoo.fr](mailto:alain.blicek@yahoo.fr)

rieur à celle-ci. On ne peut donc pas en tirer la conclusion que la datation de l'hadrosaure met en question la survie des dinosaures après la crise K-T. Mais las, c'eût été trop simple. Un autre résultat est tombé récemment sur le site Web du CNRS [CNRS, 2011] : « En analysant par la méthode de la cyclostratigraphie des séries sédimentaires marines prélevées dans les océans Indien et Atlantique lors d'anciennes campagnes océanographiques des programmes internationaux ODP et DSDP, une équipe de chercheurs français et américains a pu démontrer la corrélation des cycles sédimentaires avec les variations des paramètres orbitaux de la Terre et dater la limite Crétacé-Paléogène [K-T], soit à 65,59 +/- 0,07 Ma, soit à 66 +/- 0,07 Ma. Cette deuxième proposition est plus en accord avec les dernières données radiométriques, ce qui recule dans le temps cette limite de 405 000 ans par rapport à ce qui est actuellement admis. » Par conséquent, le site à hadrosaure (64,8 +/- 0,9 Ma) serait finalement plus récent que la limite K-T (66 +/- 0,07 Ma)." Autrement dit, au moins une espèce de dinosaure, un hadrosaure des USA, aurait 'passé' la limite K/T. CQFD bis repetita.

Autrement dit, à la place de 'datations relatives & de 'datations absolues', je préfère personnellement parler de dates ou âges stratigraphiques & de dates ou âges radio-isotopiques.

**ARBRE DE LA VIE, EVALUATION DU NOMBRE D'ESPECES PERDUES ET ACTUELLES ET TAUX DE SPECIATION**

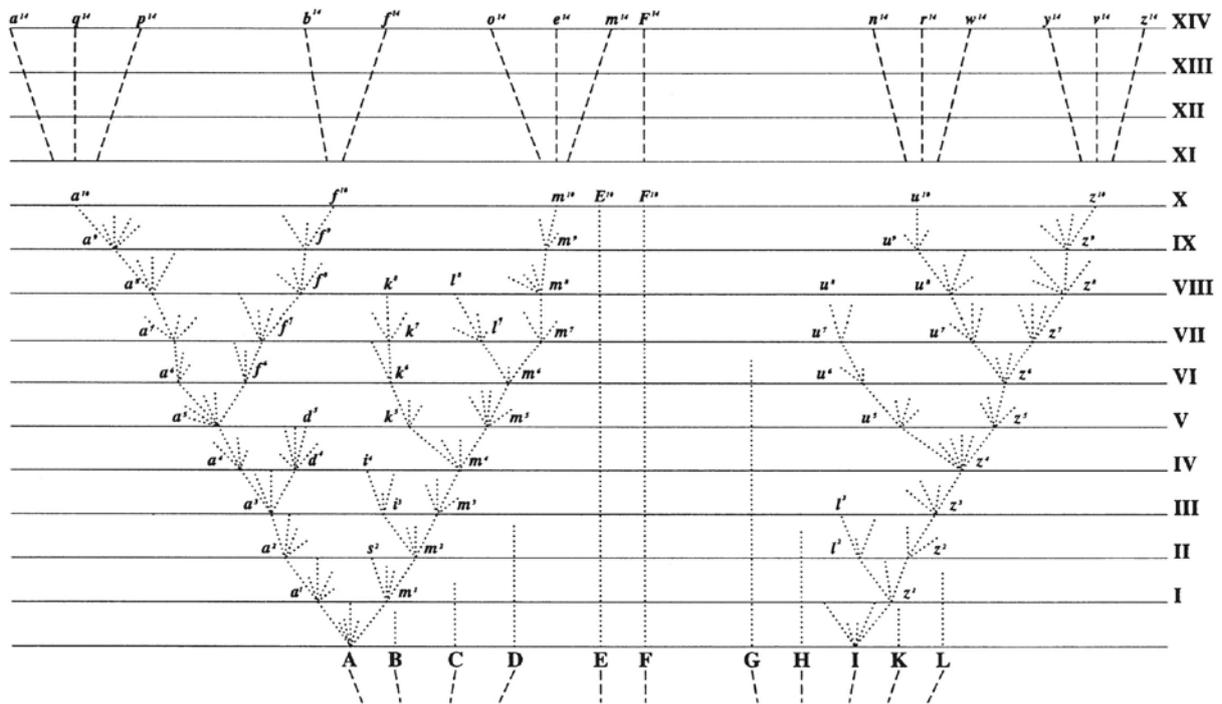


Fig. 1. — Figure 1 du livre de Darwin (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection...* Cette figure est une "généalogie théorique [qui] montre de petits bouquets de variations à chaque tranche de temps" (Bonhomme, 2016, fig. 1). Légende : A-L, espèces ; a, m, u, etc., 'variétés' ; I-XIV, tranches de temps.

Fig. 1. — Figure 1 of Darwin's (1859) book *On the Origin of Species by Means of Natural Selection...* This figure is a "theoretical genealogy [that] shows small packets of variations at each time slice" (Bonhomme, 2016, fig. 1). Captions : A-L, species ; a, m, u, etc., 'varieties' ; I-XIV, time slices.

Dans son chapitre 'Paléontologie et évolution', Tassy (2016) parle de documenter l'histoire évolutive des espèces fossiles et vivantes à partir de l'établissement des arbres dits phylogénétiques, c'est-à-dire de schémas de relations de parenté entre espèces. Il cite ainsi, parmi les précurseurs et premiers acteurs, le français Albert

Gaudry, les allemands Franz Hilgendorf et Ernst Haeckel et bien sûr, l'anglais Charles Darwin. Rappelons ici que l'*opus magnum* de Darwin (1859), *De l'origine des espèces*, ne renferme qu'une seule figure qui est un arbre théorique de relations de parenté entre espèces (Fig. 1; Bonhomme, 2016). Tassy (2016, p. 46-47) considère d'abord "les deux millions d'espèces vivantes répertoriées aujourd'hui" puis les 10 millions d'espèces fossiles. Considérant que "par le biais des processus de fossilisation, une espèce sur 1000 parvient à notre connaissance", il donne ainsi un outil pour proposer une évaluation plausible mais actuellement indémontrable du nombre total d'espèces ayant vécu sur Terre depuis leur origine au Précambrien jusqu'à aujourd'hui. Les évaluations d'espèces actuelles varient énormément, de 3 à 100 millions, et peuvent même aller jusqu'à 1 000 milliards (1 trillion en anglais : Wikipédia). Je choisis arbitrairement le nombre de 100 millions. S'il y a eu 10 millions d'espèces fossiles réellement fossilisées et qu'elles ne représentent que 1/1 000 des espèces fossiles totales, alors il y aurait eu 10 000 millions = 10 milliards d'espèces fossiles depuis la nuit des temps. Ce qui aboutit à un grand total de 10,1 milliards d'espèces fossiles et vivantes. En adoptant un intervalle de confiance de l'ordre de +/- 5% (cf. ci-dessus l'évaluation des âges radio-isotopiques), on aboutit à une évaluation comprise entre 9,595 & 10,605 milliards d'espèces, soit environ 10 milliards d'espèces (Gsp), sans compter les virus, bactéries & archées dont, à ma connaissance, aucune évaluation

du nombre d'espèces fossiles et actuelles n'a jamais été proposée. D'autres évaluations ont été avancées comme, par exemple, celle que rapporte Wikipédia : "... in May 2016, scientists reported that 1 trillion species are estimated to be on Earth currently with only one-thousandth of one percent described" (NSF, 2016), soit

1 000 milliards d'espèces ou 100 fois plus que celle qui vient d'être proposée. Il faudrait revenir ici sur la notion d'espèce en biologie et en paléontologie, ce qui sort du cadre de cette analyse d'ouvrage (voir par exemple Wikipédia)

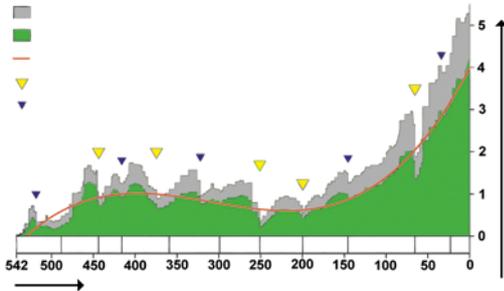


Fig. 2. — Evolution de la biodiversité marine (nombre de genres) au cours des temps géologiques phanérozoïques, d'après Rohde & Muller (2005). En abscisse, échelle des temps phanérozoïques en millions d'années ; en ordonnée, le nombre de genres en milliers. Code couleur : gris, genres connus d'après le compendium de Sepkoski (2002) ; vert, "genres bien définis" c'est-à-dire genres connus en excluant ceux qui ne sont connus que par une occurrence et ceux dont les âges sont incertains ; rouge, tendance pour les "genres bien définis" ; jaune, les cinq extinctions en masse dites 'Big Five' dans la littérature en anglo-américain ; bleu, autres événements d'extinction.

Fig. 2. — Marine biodiversity evolution (number of genera) through the Phanerozoic geologic time, after Rohde & Muller (2005). In abscissa, Phanerozoic time scale in million years; in ordinate, number of genera in thousands. Color code: grey, genera known after Sepkoski's (2002) compendium; green, "well-defined genera", i.e., known genera, excluding those that are known after a single occurrence and those whose ages are uncertain; red, general trend for "well-known genera"; yellow, the Big Five; blue, other extinction events.

Partant, on peut aller jusqu'à tenter d'évaluer le taux moyen de spéciation au cours des temps géologiques. Avec 10 Gsp pour 635 millions d'années (635 Ma) d'évolution biologique terrestre depuis le début de l'Ediacarien (Wikipédia), on aboutit à un taux moyen d'apparition de  $10 \text{ Gsp}/635 \text{ Ma} = 15,75 \text{ sp/a}$ , soit environ 16 espèces/an. Je choisis arbitrairement le début de l'Ediacarien parce que c'est la période géologique où l'on connaît les premières traces fossilisées d'organismes pluricellulaires. Avant l'Ediacarien, la vie terrestre était surtout représentée par des organismes unicellulaires tels que des bactéries, des archées & des protistes dont on vient de voir qu'une évaluation du nombre d'espèces pose problème. Comme le rappelle Wikipédia, "A broad range of studies have demonstrated that diversification rates can vary tremendously both through time and across the tree of life. Current research efforts are focused on predicting diversification rates based on aspects of species or their environment." Néanmoins, quelques auteurs tels que Rohde & Muller (2005) ont proposé des courbes de biodiversification comme celle de la Figure 2, où l'on voit que le nombre de genres reconnus a varié entre 0 et 5 000 au cours des temps géologiques phanérozoïques (du début du Cambrien à l'Actuel), avec un 'haut relatif' autour de 1 000 au Dévonien inférieur vers 400 millions d'années BP, suivi d'une baisse et ensuite d'une montée jusque vers 4 000-5 000 genres à l'Actuel (Fig. 2). A noter que les 'Big Five' extinctions en masse habituellement reconnues au cours du Phanérozoïque sont sujettes à caution (Bleick, 2018).

Tout ceci mérite bien entendu d'être "pris avec des pincettes". Il ne s'agit que de tentatives d'évaluations à partir de nombres entachés de marges d'erreur importantes.

## AUTRES ANECDOTES ET COMMENTAIRES

A propos de l'identification du processus même de l'évolution, Tassy rappelle les deux modèles conceptuels qui ont été développés au cours du XX<sup>e</sup> siècle, celui du gradualisme phylétique et celui des équilibres intermittents (traduction de *punctuated equilibria*, plus correcte que 'équilibres ponctués'). Il précise que "les deux visions se complètent, et il semble bien que l'évolution, selon les cas, se soit accommodée de vitesses différentes" (Tassy, 2016, p. 53). Ceci me remet en mémoire l'inscription qui avait été taguée sur le pignon ouest du bâtiment de biologie végétale (SN2) du campus Cité Scientifique de l'Université de Lille - Sciences et Technologies au printemps 1968 : "Darwin avait raison, l'évolution n'est pas pour tout le monde." Il s'agissait bien entendu d'une boutade à caractère socio-politique. Ceci évoque l'avatar social du darwinisme, ou spencérisme, ou évolutionnisme social, dont "[l']action politique préconise de supprimer les institutions et comportements qui font obstacle à l'expression de la lutte pour l'existence et à la sélection naturelle" (Wikibéral, 2018). Ce programme a tout d'un programme anarchiste que je qualifierai de droite. En effet, "il préconise la levée des mesures de protection sociale, l'abolition des lois sur les pauvres ou l'abandon des conduites charitables" (op. cit.). D'altruisme il n'est pas question alors qu'il a été montré qu'en maintes occasions, celui-ci, s'il peut paraître défavorable à court terme, est nettement avantageux en terme de succès évolutif à long terme. Autrement dit, c'est comme si la nature appliquait l'adage "Un bienfait n'est jamais perdu."

Dans le même chapitre du livre, Tassy aborde les 'Big Five': "Pour ces extinctions en masse touchant des groupes biologiques différents et aux affinités écologiques distinctes (...), il est tentant de chercher des explications planétaires dépassant de loin la simple adaptation des espèces à leur environnement immédiat" (Tassy, 2016, p. 55). Je fais remarquer qu'une extinction en masse n'est tout compte fait que la résultante de la sommation des extinctions locales, régionales, continentales, marines... avec certes une dimension globale qui dépasse la somme des parties. En ce sens, cette vision des extinctions est holiste et elle s'oppose au réductionnisme (Wikipédia). Tassy rappelle aussi que deux auteurs états-uniens, Raup et Sepkoski, ont envisagé que les extinctions biotiques d'ampleur mondiale étaient rythmiques. Raup a même conçu l'hypothèse dite Némésis, d'après "le nom prêté à une étoile inconnue, compagne du Soleil, qui, tous les 26 millions d'années, [provoquerait] des pluies de comètes sur la Terre entraînant des extinctions en masse" (Tassy, 2016, p. 56). Cette hypothèse est aujourd'hui oubliée. En attendant, Raup et Sepkoski ont fait parler d'eux et fait monter leurs indices bibliométriques de citation, ce qui est la moindre des choses au pays réputé être celui du "publish or perish" (Wikipédia). En fait, à l'issue de cette partie de son livre, Tassy (2016, p. 57) conclut que "On ne peut donc pas encore retracer de façon fiable une chronologie précise des événements climatiques et des réponses biologiques."

Au chapitre 'La phylogénétique', Tassy (2016, p. 62) rappelle que la systématique phylogénétique de Willi Hennig, une fois qu'elle se fut imposée, bouleversa l'univers méthodologique des systématiciens du monde entier. Elle était connue des entomologistes parce que Hennig était entomologiste. Signalons ici que, d'après ce qui s'apparente à une légende urbaine, c'est l'un des opposants les plus virulents à cette nouvelle méthode, Ernst Mayr, qui qualifia de 'cladistique' la systématique phylogénétique hennigienne pour s'en moquer (Wikipédia). Le terme est resté. La cladistique s'imposa rapidement aux (paléo)vertébristes. Je peux en témoigner pour avoir reçu du Prof. Dr. Robert

Hoffstetter au début de l'année 1973 ce qui fut probablement le premier cours en France de systématique phylogénétique allié à un cours de (paléo)biogéographie historique, dans le cadre du DEA de Paléontologie des vertébrés et paléontologie humaine de l'Université Pierre-et-Marie Curie - Paris 6. Cette même année fut organisée au Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) à Paris, par l'entomologiste Loïc Matile et le paléontologue Daniel Goujet, une séance de débats autour de cette nouvelle méthode de reconstructions des phylogénies (Matile *et al.*, 1987). J'ai eu la chance d'avoir Goujet comme maître de stage de DEA au MNHN, tout comme j'avais eu la chance d'avoir comme professeur de géologie le Prof. Dr. Jean Dercourt en 2<sup>e</sup> année de Maîtrise de Géologie de l'Université des Sciences et Techniques de Lille en 1970-1971. Dercourt nous enseigna ce qui fut certainement l'un des premiers cours de tectonique des plaques. Tectonique des plaques + systématique cladistique, j'étais équipé des deux concepts nouveaux en biogéosciences qui devinrent le cadre paradigmatique des (paléo) évolutionnistes de la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Ce cadre est encore celui dans lequel nous évoluons intellectuellement en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle.

Je terminerai par ce que j'appelle la *Géobiologie pour les Nuls*. Deux notions constituent la base des sciences de l'évolution, le temps et les relations de parenté, ce que les évolutionnistes, zoologistes, botanistes, microbiologistes, paléontologues et autres naturalistes appellent relations phylogénétiques. Or, en dehors de durées temporelles à échelle humaine (1 an, 1 siècle) et en dehors de relations généalogiques proches (parents, frères, sœurs, cousins), il est impossible à l'écrasante majorité des êtres humains de se représenter, de ressentir dans leur chair et leur intelligence ce qu'est 1 million d'année et ce que sont des membres de la tribu, de l'espèce humaine, des quelques 2 à 3 millions d'espèces biologiques vivant actuellement sur la Terre et encore moins de l'énorme quantité d'es-

pèces (évaluée jusqu'à 1 000 milliards) ayant vécu depuis l'origine des temps géologiques (évaluée à environ 4,5 milliards d'années terrestres). Or, ces grandeurs, le million et le milliard d'années ainsi que les millions voire les milliards d'espèces SONT l'évolution. M'inspirant d'une réflexion de mon collègue le Prof. Dr. Patrick De Wever du MNHN, je propose donc ce qui suit en guise d'approximation :

#### **Temps profond de l'archéologue-astrophysicien-géologue-paléontologue-**

1 année OK  
100 ans OK  
10 000 ans = vieux  
1 000 000 années = 1 Ma = très vieux  
1 000 000 000 années = 1 Ga = très très vieux  
4 567 890 000 années = 4,567890 Ga = très très très vieux  
14 000 000 000 années = 14 Ga = très très très très vieux  
Avant = effroyablement vieux ;

#### **Cladistique / Evolution / Généalogie / Systématique**

Frères et sœurs OK  
Cousins OK  
Cousins éloignés = éloignés  
Clan = très éloignés  
Tribu = très très éloignés  
Population = très très très éloignés  
Espèce *Homo sapiens* = très très très très éloignés  
Plus distant généalogiquement = obscurément éloignés  
Cousins grands singes = religieusement inacceptable  
Cousins animaux éloignés = voué aux enfers  
Cousins archéo-bactériens = laisse tomber, c'est sans espoir...

"(\*) Je ne commente pas ici les soi-disant fossiles pluricellulaires du Francevillien (Précambrien) du Gabon ou 'gaboniontes' (Wikipédia : Groupe fossile de Franceville)."

#### REFERENCES CITEES

- BLIECK, A. (2011). — Retour sur la fin des dinosaures, la limite Crétacé-Tertiaire et les datations « absolues ». *Science et pseudo-sciences*, **298** : 11-12.
- BLIECK, A. R. M. (2018). — The Waxweiler Project, Eodevonian Heterostracan Pteraspidomorphs & Mythology of the Big Five. *Annales de la Société Géologique du Nord*, **25** : p 69-74.
- BONHOMME, F. (2016). — *Le doigt de Darwin*. <https://www.sfecologie.org/regard/r65-speciation-f-bonhomme/> [consulté le 14/08/2018].
- CNRS (2011). — *En direct des labos*. <http://www.cnrs.fr/en-directdeslabos/actus.php?numero=579> [consulté le 12/08/2018].
- DARWIN, C. (1859). — *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray publ., London, vii + 502 p.
- FASSETT, J. E., HEAMAN, L. M. & SIMONETTI, A (2011). — Direct U-Pb dating of Cretaceous and Paleocene dinosaur bones, San Juan Basin, New Mexico. *Geology*, **39** (2) : 159-162.
- MATILE, L., TASSY, P. & GOUJET, D. (1987). — Introduction à la systématique zoologique (Concepts, Principes, Méthodes). *Biosystema*, **1** : 126 p. [réédition, 2013 : <https://materielogiques.com/biosystema-1142-7833/145-biosystema-n1-1987-reedition-2013-introduction-a-la-systematique-zoologique-9782919694853.html>].
- NSF (2016). — *Researchers find that Earth may be home to 1 trillion species*. [https://www.nsf.gov/news/news\\_summ.jsp?cntn\\_id=138446&WT.mc\\_id=USNSF\\_51&WT.mc\\_ev=click](https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=138446&WT.mc_id=USNSF_51&WT.mc_ev=click) [consulté le 14/08/2018].
- ROHDE, R. A. & MULLER, R. A. (2005). — Cycles in fossil diversity. *Nature*, **434** (7030) : 208-210 ; <http://muller.lbl.gov/papers/Rohde-Muller-Nature.pdf>, doi:10.1038/nature03339.
- SEPKOSKI, J. J. Jr. (2002). — *A compendium of fossil marine animal genera*. Paleontological Research Institution, Ithaca, NY, **363** : 560 p.
- TASSY, P. (2016). — *Le paléontologue et l'évolution*. Poche-Le Pommier, Paris, 128 p.
- WIKIBERAL (2018). — *Darwinisme social*. [https://www.wikiberal.org/wiki/Darwinisme\\_social](https://www.wikiberal.org/wiki/Darwinisme_social) [consulté le 16/08/2018].



## LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

Arrêtée au 22 octobre 2018, établie par Fabien GRAVELEAU et Didier TORZ

### Membres à perpétuité

Voir la note parue dans le tome 19 (2<sup>e</sup> série) des Annales (2012),  
p. 175

### Membres à vie (Présidents d'Honneur)

BRICE Denise, Paléontologue, Chercheuse Emérite  
ROBASZYNSKI Francis, Géologue, Professeur honoraire

### Membres titulaires / Personnes morales

ADREMAP, Association, Grande Synthe  
AGEOL, Association, Villeneuve d'Ascq  
APBG, Association, Sibiville  
BDE Géosciences Lille, Association, Villeneuve d'Ascq  
CDP Consulting, Entreprise, Blois  
CAUE, Lille  
UNICEM Hauts-de-France, Arras  
SOLETANCHE-BACHY, Entreprise, Wavrin  
MRES, Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités

### Membres titulaires / Personnes physiques

ACQUART Raphaël, Lycéen  
AMBERG Chloé  
AMEDRO Francis, Professeur de SVT retraité  
AUGUSTE Patrick, Paléontologue – Archéozoologiste, CNRS,  
Université Lille  
AVERBUCH Olivier, Géologue structuraliste - Maître de  
Conférence, Université Lille  
BAELE Jean-Marc, Professeur Université Mons  
BAILLON Christophe, ingénieur  
BALESCU Sanda, Maître de Conférence, Université Lille  
BEAUCHAMP Niniane, Service Université de Lille  
BECKARY Sophie, Service du développement durable Ville de  
Lille  
BELIN Jean-Jacques, Retraité  
BERNARD Renaud, Etudiant  
BERREHOUC Géraldine, Ingénieure  
BEUN Noël, Retraité  
BLANDIN Marie-Christine, Ancienne Sénatrice du Nord  
BLIECK Alain, Paléontologue  
BOITEL Laurence, Professeure agrégée de lettres  
BOIVIN Clément, Etudiant  
BONAVENTURE, Maryse, Professeure SVT retraitée  
BONAVENTURE, Patrick, Pharmacien retraité  
BONNIERE Antoine, Etudiant  
BOUSSIN Jean-Marie, Géologue  
BOUTON Pascal, Géologue  
BRETON Gérard, Conservateur du patrimoine retraité  
BRICE Denise, Chercheuse émérite  
BROQUET Paul, Professeur  
BUDZIK Edmond, Consultant  
BUR Nicolas, Maître de Conférences  
CADART Raoul, Professeur SVT retraité  
CAPETTE Ludovic  
CHARLET Jean-Marie, Professeur émérite  
COEN-AUBERT Marie, Chercheuse  
COULON Hervé, Géologue  
CREPIN Benoît, Journaliste Scientifique  
CUVELIER Jessie, Ingénieure d'étude CNRS

DAMBRINE Jean-Michel, Professeur SVT retraité  
DANELIAN Taniel, Paléontologue  
DE BAERE Jean-Pierre, Géologue  
DECROUEZ Danielle, Géologue Retraitée  
DELFOLE Gerald, Médiateur des Sciences  
DELVAL Thierry, Enseignant SVT  
DESCHODT Laurent, Géoarchéologue  
DE WEVER Patrick, Professeur MNHN  
DEZWARTE Jean-Marie, Hydrogéologue  
DOFFE Michel, Enseignant Retraité  
DUCHAUSSOIS François, Professeur SVT retraité  
DUCHEMIN Renée, Inspectrice d'Académie retraitée  
DUPUIS Christian, Professeur Polytech'Mons, Mons (Belgique)  
DUPUIS Matthieu  
EL KHATTABI Jamal, Professeur Polytech'Lille  
FERRANDON Alain, Retraité  
FORESTIER-ROUGET Marie-Nathalie, Professeure Agrégée  
SVT  
GADEN Jean-Luc, Hydrogéologue retraité  
GAULLIER Virginie, Professeure  
GAYOT Philippe, Conservateur du patrimoine  
GIGAUX Alain, Professeur SVT retraité  
GIROUX Françoise, Professeur SVT retraitée  
GOEMAERE Eric, Géologue  
GOMEZ Gustave, Retraité  
GOURVENNEC Rémy, Paléontologue  
GRAVELEAU Fabien, Géologue - Maître de Conférences  
GREVET Nicolas, Inspecteur d'Académie - Inspecteur  
Pédagogique  
GUILLOT François, Chercheur  
GUYETANT Gaëlle, Chargée de mission patrimoine géologique  
HAMELIN Arnaud, Géologue  
HAUTIER Blandine, Etudiante  
HENNION Marie, Technicienne Bio géosciences  
HOUSEN Pierre, Retraité  
IMBENOTTE Christine, Professeure de SVT  
LACQUEMENT Frédéric, Géologue  
LASSERRE Emilie, Jardinière et animatrice  
LAUWERS Alain, Géologue  
LAVEINE Jean-Pierre, Professeur de paléobotanique Retraité  
LECOMTE Justin, Chargé d'études en Hydrogéologie  
LEGRAND Jean-Marc, Retraité  
LEGRAND Marie France, Retraitée  
LEGRAND Victor, Lycéen  
LEGRAND Philippe, Ingénieur  
LEGRAND Philippe, Ingénieur géologue retraité  
LEGRAND-BLAIN Marie, Paléontologue retraitée  
LEMOINE Guillaume, Géologue & Écologue  
LEPLAT José, Géologue  
LESAGE Francis, Instituteur retraité  
LIMOGES Chloé, Etudiante  
LLORET Emily, Géochimiste - Maître de Conférences  
LOONES Christian, Paléontologue retraité  
LOUCHE Barbara, Hydrogéologue - Maître de Conférences  
MAILLET Sébastien, Doctorant  
MAITTE Bernard, Historien des sciences et cristallographe  
MANIA Jacky, Professeur honoraire  
MARECHAL Christine, Professeure des Ecoles

MATRION Antoine, Chargé de mission patrimoine  
MATRION Bertrand, Paléontologue  
MAVEL Joris, Hydrogéologue  
MEILLIEZ Francis, Professeur émérite  
MISTIAEN Bruno, Professeur émérite  
MONNET Claude, Ingénieur de recherche / paléontologue  
MORTIER Thierry, Polytech'Mons  
MOULLET Jean-Marc, Inspecteur National  
NICOLLIN Jean-Pierre, Paléontologue – professeur  
NICOLLIN Sylvie, Professeure SVT  
NODIN Sabine, Etudiante  
NOLF Dirk, Chef de travaux honoraire  
NUTTEN Claire  
NUTTEN Jean-Marc, Instituteur spécialisé  
NUTTEN Gwendoline, Etudiante  
NUTTEN Jean-Bernard, Etudiant  
ODIC Morgane Etudiante  
OUALI MEHADJI Abdelkader, Enseignant-chercheur  
OUDOIRE Thierry, Conservateur du patrimoine  
PAGNIER Grégoire, Professeur SVT  
PAMART Laetitia, Enseignante  
PENISSON Jean-Pierre, Président de la Société d'Histoire  
Naturelle des Ardennes  
PICHARD Olivier, Directeur d'étude  
PICKAERT Ludivine, Responsable Service ressource en Eau  
PINTE Pierre, Géologue  
POTY Edouard, Géologue  
PRUD'HOMME Agnès, Professeure agrégée  
PRUVOST Luc, Enseignant Retraité  
QUESNEL Bernard, Enseignant Retraité  
REYNAUD Jean-Yves, Professeur  
RICOUR Jean, Ingénieur géologue retraité  
ROBASZYNSKI Francis, Professeur honoraire  
ROBERT Nicolas, Chargé d'Etude Géotechnique  
ROBITAILLE Yves, Ingénieur géologue retraité  
ROHART Jean-Claude, Professeur de SVT retraité  
ROUGE Jacques, Ingénieur géologue retraité  
SARRAZIN MICHAUX Nadine, Enseignante retraitée  
SCHIETTECATTE Jean, Géologue  
SILVA CARDENAS Tatiana, Etudiante  
SOMME Jean, Professeur émérite  
STYZA André, Ingénieur  
SWIALKOWSKI Mickaël, Professeur SVT  
TIEGHEM Gilbert  
TORZ Didier, Retraité  
TRENTESAUX Alain, Professeur  
VACHARD Daniel, Retraité CNRS  
VANDENBERGHE Noël, Géologue - Professeur émérite  
VANDYCKE Sara, Géologue – Professeure  
VAN WELDEN Aurélien, Senior Geologist  
VERGNE Virginie, Maître de Conférence  
VERNIERS Jacques, Paléontologue – Professeur  
VIDIER Diane, Géologue retraitée  
VILAPLANA Françoise, Retraitée  
VILAPLANA José, Retraité  
VREULX Michel, Professeur SVT  
YANS Johan, Géologue – Professeur  
ZERHOUNI Youssef, Professeur

## **ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD**

### **INSTRUCTIONS AUX AUTEURS**

#### **Liminaire**

La SGN travaille depuis 2017 avec l'entreprise Chevillon (pré-pressé ou PAO, impression), ce qui implique :

- de déposer les projets d'articles avant le 15 mai de l'année en cours dernier délai et il n'y aura pas d'exception,
- de lire et d'appliquer **à la lettre** les Instructions aux auteurs des *Annales de la SGN (ASGN)*, soit en Français soit en Anglais,
- de respecter les divers délais de la procédure qualité-contrôle de l'édition des articles, depuis la soumission jusqu'à la publication puis la mise en ligne suivant les règles définies et distribuées par la SGN (<http://sgn.univ-lille.fr/index.php?page=Publications>).

Des articles courts factuels de description d'affleurements éphémères et destructibles seront bien accueillis. Si vous n'êtes pas des professionnels de la publication, la SGN est prête à vous aider. **Les professionnels sont instamment invités à fournir des articles en Anglais.**

Les *ASGN* s'intègrent dans le nouveau système de mise en libre accès des publications (articles, archives, livres, etc.) de l'Université de Lille, baptisé LILLOA (<https://lilliad.univ-lille.fr/chercheur/open-access/lilloa-lille-open-archive>), et s'intégreront dans APES (Acteurs pour une économie solidaire – Hauts-de-France : <http://apes-hdf.org/page-0-0-0.html>), une procédure d'ouverture à de nouveaux publics. Dans ce cadre, tous les auteurs des *ASGN* doivent **obligatoirement** rédiger un résumé en Français et un résumé en Anglais, d'une demi-page chacun, pour chaque article soumis à publication, dans un langage accessible à tous les publics de la société civile (grand public, décideurs, politiciens, aménageurs, collectivités, associations, CSTI, enseignants, étudiants, etc.). Le non-respect de cette norme entraîne *ipso facto* le rejet de l'article.

#### **Ligne éditoriale**

Les *ASGN* 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 à la région des Hauts-de-France et aux régions limitrophes. Cependant, des résultats issus d'autres régions françaises et d'autres pays y trouvent aussi leur place. Les *ASGN* peuvent publier aussi des fascicules thématiques sous la responsabilité d'un ou de plusieurs 'éditeurs' (rédacteurs, directeurs) invités.

Afin d'être en conformité avec la loi de l'Union européenne et celle de la France, toute œuvre écrite produite avec au moins 50% de travail dans le cadre d'un emploi public rémunéré par un Etat de l'UE (Université, CNRS, etc.), doit impérativement être mise gratuitement à disposition du public, en archive ouverte (*free open access*) avec une période d'embargo n'excédant pas 6 mois. Les *ASGN* se conforment à cette disposition.

#### **Conditions de publication aux Annales**

**Un membre SGN doit 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 cosignataires de la même note sont membres de la Société (à jour de leur cotisation + abonnement). Le prix de la page de dépassement (texte ou planche) en N&B est fixé à 10 €, et en couleurs à 25 €, avec une possibilité de réduction de la facturation au cas par cas, sur décision du Conseil d'administration (\*).

**Pour les non-membres ou des personnes devenues membres depuis moins de 3 ans**, s'il s'agit d'un article qui est sollicité dans le cadre, par exemple, d'une séance thématique de la SGN, une franchise de pages peut être accordée par le Conseil Scientifique et Editorial de la SGN au cas par cas, en fonction en particulier des possibilités financières de la Société. Pour les non-membres, le prix d'une page de texte de dépassement (texte ou planche) en N&B aux *Annales* est de 20 €, et en couleurs de 50 €. (\*\*)

(\*) 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.

(\*\*) Si un article qui a été sollicité par la SGN dépasse le nombre de pages de franchise alloué, la Société peut envisager d'en prendre en charge au moins une partie. Ce point est négociable.

Pour toute question complémentaire, veuillez contacter le Rédacteur-en-chef [didiertorz@gmail.com](mailto:didiertorz@gmail.com) (Didier TORZ) ou le Secrétaire de la Société [fabien.graveleau@univ-lille.fr](mailto:fabien.graveleau@univ-lille.fr) (Fabien GRAVELEAU) qui transmettra à qui de droit.

#### **Informations générales**

Soumettre un article pour publication aux *ASGN* implique que celui-ci n'a pas été soumis à une autre revue et que le ou les auteurs respectent(nt) la charte de « Politique et éthique éditoriales » de la revue. Un formulaire de cession des droits d'auteur devra être signé avant l'acceptation définitive du projet d'article, en particulier pour autoriser la mise en ligne sur le Web des articles des *ASGN*. 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 au Directeur de la publication.

Les aspects nomenclatureaux 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)*, etc.

Les spécimens types des organismes fossiles et autres spécimens décrits, figurés et/ou mentionnés dans les articles des *ASGN* 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 *ASGN* 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 *ASGN* les noms de deux relecteurs avec leurs coordonnées (courriel, adresse, téléphone).

### Structure et format des projets d'articles

**Soumission** : Les projets d'article doivent suivre rigoureusement les recommandations aux auteurs et sont adressés à la revue :

#### SOCIETE GEOLOGIQUE DU NORD

c/o Université de Lille – Campus Cité Scientifique  
Faculté des Sciences et Technologies - bâtiment SN5 (Sciences de la Terre)  
F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex (France)  
Rédacteur-en-chef : [didiertorz@gmail.com](mailto:didiertorz@gmail.com) (Didier TORZ)

Les projets d'article (textes et illustrations) seront soumis par voie électronique au format 'doc' ou bien 'docx' 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 à l'ouvrage suivant : David L. 2011 – *Ecrire les sciences de la nature. Tout ce qu'il faut savoir pour rédiger mémoires, thèses & articles*. Vuibert et Soc. Géol. Fr. édit., coll. « Interactions » : 217 p. ; Paris. Les articles en Français doivent respecter les règles du « Lexique des règles typographiques en usage à l'Imprimerie nationale » : <http://j.poitou.free.fr/pro/html/typ/resume.html>. 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 (1) (2) etc. leur(s) adresse(s) professionnelle(s) et électronique(s) à la suite ;
- Résumé en Français d'une demi-page formatée pour tous publics ;
- Résumé en Anglais d'une demi-page formatée pour tous publics ;
- Résumé en Français n'excédant pas 350 mots pour publics experts ;
- Résumé en Anglais (traduction exacte) pour publics experts ;
- 5 mots clés en Français ;
- 5 mots clés en Anglais (traduction exacte) ;

- Dépôt dans ZooBank des actes nomenclatureaux (au sens du *Code International de Nomenclature Zoologique*, 1999) publiés dans les articles de paléontologie : les *ASGN* étant mises en ligne au format numérique en libre accès après une période d'embargo de 6 mois suivant leur parution, il est demandé aux auteurs d'enregistrer leurs actes nomenclatureaux AVANT la soumission de leurs articles sur le Official Registry of *Zoological Nomenclature* (ZooBank) à l'adresse suivante : [www.zoobank.org](http://www.zoobank.org) (voir [www.iczn.org/content/about-zoobank](http://www.iczn.org/content/about-zoobank)) ; concernant les articles de paléobotanique, les auteurs se référeront à : Knapp et al. 2011, Changes to publication requirements made at the XVIII International Botanical Congress in Melbourne - what does e-publication mean for you? *BMC Evolutionary Biology*, 11: 251-254 (voir l'*International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants*).

- Texte de l'article avec la chronologie suivante des titres :

### I. INTRODUCTION [centré]

#### 1) Historique [justifié à gauche]

##### a) Premières études [décalé vers la droite]

- A la fin du texte, avant la liste des références bibliographiques citées, un paragraphe de remerciements mentionnant les rapporteurs & toute personne ayant, de près ou de loin, aidé à l'élaboration de l'article.

- Dans le texte courant, les références aux illustrations 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), (Dupont 1956), (Dupont 1956, 1981), Dupont & Martin (2003), (Dupont & Martin 2003 ; Dupont & Dupont 1950), Dupont & Dupont (1934, p. 45).

- De même, dans le texte courant, les auteurs suggéreront l'emplacement souhaitable de leurs illustrations par la mention suivante, **écrite en rouge et gras** : **[Insérer ici Fig. X (ou Tabl. Y) sur 1 (ou 2) colonne(s)]**

- 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 ; dans la mesure du possible, les références bibliographiques des auteurs de noms de taxons cités doivent figurer dans la liste bibliographique ;

- REFERENCES CITEES dans l'ordre alphabétique suivant la forme ci-dessous :

- NOM Initiale du prénom, 2<sup>e</sup> NOM Initiale du prénom, etc. année. titre. Revue [nom en toutes lettres], Volume : pages.

- NOM Initiale du prénom, 2<sup>e</sup> NOM Initiale du prénom, etc. année. Titre du livre ou du volume. Collection [facultatif] ; Editeur, Ville : pages.

- NOM Initiale du prénom, 2<sup>e</sup> NOM Initiale du prénom, etc. année. Titre. In NOM Initiale du prénom, 2<sup>e</sup> NOM Initiale du prénom, etc. ed. (eds), Titre du livre ou du volume. Collection [facultatif] ; Editeur, Ville : pages.

- NOM Initiale du prénom, 2<sup>e</sup> NOM Initiale du prénom, etc. année. Titre. In NOM Initiale du prénom, 2<sup>e</sup> NOM Initiale du prénom, etc. ed. (eds), Titre du volume ou du fascicule. Revue [nom en toutes lettres], Volume : pages.

- NOM Initiale du prénom année. Titre de la thèse. Université, Nom du diplôme (Date) : volumes, 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 & en Anglais.

Illustrations : Les figures, tableaux ou planches sont au format 'jpg' 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).

Epreuves : Les épreuves seront adressées sous forme de fichiers 'pdf' à l'auteur correspondant et devront être retournées corrigées dans un délai inférieur ou égal à deux semaines.

Diffusion des articles des *Annales* : Les articles sont distribués aux auteurs sous le format électronique 'pdf' aux conditions suivantes :

- pour un 1er 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 1er 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. L'ensemble des *Annales* & des *Mémoires* de la SGN sont téléchargeables en accès libre & gratuit aux adresses suivantes : <http://iris.univ-lille1.fr/handle/1908/32/browse> (*Annales*), <http://iris.univ-lille1.fr/handle/1908/75/browse> (*Mémoires*).

### **Droits d'auteurs / copyright**

Dans tous les cas, si une illustration comporte un ou des éléments d'origine extérieure à l'auteur (photo ou dessin repris d'un autre article par exemple), l'origine de cet élément ou de ces éléments doit être indiquée clairement (auteur, année, référence, éditeur, copyright, etc.). De la même façon, si un extrait de texte d'un autre article ou chapitre de livre ou article issu du World Wide Web est cité dans le texte, l'origine de cet extrait doit être indiquée clairement (auteur, année, référence, éditeur, copyright, etc.).

### **Contact**

Pour de plus amples informations sur la réalisation technique d'un article, vous pouvez consulter le Rédacteur-en-chef [didiertorz@gmail.com](mailto:didiertorz@gmail.com) (Didier TORZ) qui transmettra à l'imprimeur.

## CATALOGUE DES ÉDITIONS DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD (\*) *en vente au siège de la Société ou expédiées par courrier*

### Annales de la Société Géologique du Nord

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

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

### Tables générales des Annales, des Mémoires et des Publications de la SGN

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 XCIX).....	8 € par Table
---	---------------

Les Tables générales n°5 et 6 des *Annales*, des *Mémoires* et des *Publications* sont accessible sur le site Web de la SGN en version numérique : <http://sgn.univ-lille1.fr/sgn.php?page=Publications> ; la Table 6 a été imprimée dans le Tome 20 (2013) des *Annales* (2<sup>e</sup> série).

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

Ces fascicules sont tous à 10 € TTC sauf indication contraire

Constant Prévost – Coup d'œil rétrospectif sur la géologie en France pendant la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, par GOSSELET J. (Ann. SGN, XXV : 346 p., 1896)

Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France (avec l'Ecorché géologique infra-mésozoïque), par C.F.P.(M.), COPESEP & S.N.P.A. (Ann. SGN, LXXXV (3), 1965)

Géologie du Nord de la France (Ann. SGN, LXXXIX (1), 1969)

Rapport des Travaux du Centenaire 1870-1970 (Ann. SGN, XC (4), 1970, publié 1971)

Rupture des roches et massifs rocheux (Ann. SGN, XCV (3), 1975)

Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale (Ann. SGN, XCVI (4) et XCVII (1), publié 1977)

Apports récents à la géologie du Gondwana (Ann. SGN, XCVII (4), 1977, publié 1978)

Géologie de l'Europe, du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens (Ann. SGN, XCIX (1), 1979, publié 1980)

Géologie appliquée aux problèmes d'énergie et de matières premières (Ann. SGN, CII (2), 1982)

Tectonique cassante en distension et coulissement (Ann. SGN, CIII (2-3), 1983, publié 1984)

Aspects de la géologie de l'Ardenne, hommage au Professeur Beugnies (Ann. SGN, CV (2), 1985, publié 1986)

Paléozoïque supérieur continental (Ann. SGN, CVI (2), 1986, publié 1987)

Actualisation de quelques thèmes géologiques – Conférences (Ann. SGN, CVI (4), 1986, publié 1988)

Aspects de la géologie du Gondwana (Ann. SGN, CVII (1), 1987, publié 1988)

Géologie et aménagement régional (Ann. SGN, CIX (1-2), 1989, publié 1990)

Le Nord et son environnement géologique (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 2 (1), publié 1993)

Le Jurassique du Boulonnais (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 4 (4), 1996)

Séance spécialisée - bassins houillers du nord de la France et du sud de la Belgique (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 5 (1), 1997)

Dossier consacré au Dévonien de l'Ougarta (Sahara occidental, Algérie) (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 5 (2), 1997)

La craie : objet géologique, réservoir, matériau et paysage (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 5 (3) et 5 (4), 1997)

Colloque Artois-Brabant (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 6 (2), 1998)

North Gondwana Mid-Palaeozoic Bioevent / Biogeography patterns ... (IGCP 421, Isfahan) (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 7 (1) et 7 (2), 1999)

2<sup>e</sup> Journées Nationales du Patrimoine Géologique (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 7 (4), 2000)

New systematic and palaeobiogeographic data from the Palaeozoic of Central Iran (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 8 (2), 2000)

The Cambrian and Lower Ordovician of the southern Montagne Noire (Languedoc, France) ... (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 8 (4), 2001)

La nouvelle carte géologique de Marquise (Ed. 2000) (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 9 (1-2), 2002)

Centenaire du Musée Gosselet (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 10 (2-3), 2003)

Dossier spécial : Stratigraphie du Paléozoïque (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 11 (4), 2005)

GeoReg – Géosciences des régions de France et des pays environnants (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 19, 2012)

Les enjeux « naturels » du développement urbain (séance A. Bonte) & 6<sup>e</sup> Table générale (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 20, 2013)

Ressource en eau du bassin Artois-Picardie et Journée géoarchéologie (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 22, 2015)

Bassin Minier du Nord - Pas-de-Calais (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 24, 2017).....

Transition énergétique (Ann. SGN, 2<sup>e</sup> série, 25, 2018).....

### Mémoires de la Société Géologique du Nord : derniers tomes disponibles

<b>Tome I</b>	n° 1. — Ch. BARROIS, Recherches sur le terrain crétacé de l'Angleterre et de l'Irlande, 1876, 232 p.....	30,00 €
	n° 2. — P. FRAZER, Géologie de la partie Sud-Est de la Pennsylvanie, 1882, 178 p.....	25,00 €
	n° 3. — R. ZEILLER, Mémoire sur la flore houillère des Asturies, 1882, 24 p.....	2,50 €
<b>Tome VI</b>	n° 1. — P. BERTRAND, Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri, B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl.....	7,00 €

<b>Tome VIII</b>	n° 2. — Ed. LEROUX, Le tunnel de l'Ave Maria, 1929, 50 p., 5 pl.....	10,00 €
<b>Tome IX</b>	n°1. — G. DUBAR, Etude sur le Lias des Pyrénées françaises, 1925, 332 p., 7 pl.....	30,00 €
<b>Tome X</b>	n° 2. — J. LAVERDIERE, Terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales, 1931, 132 p., 8 pl.....	14,00 €
<b>Tome XII</b>	D. LE MAITRE, Faune des calcaires dévoniens du Bassin d'Anceis, 1934, 268 p., 18 pl.....	30,00 €
<b>Tome XIII</b>	P. BRICHE et al., Flore infraliasique du Boulonnais, 1963, 145 p., 11 pl.....	25,00 €
<b>Tome XIV</b>	G. WATERLOT, Les Gigantostacés du Siluro-Dévonien de Liévin, 1966, 23 p., 5 pl.....	7,00 €
<b>Tome XV</b>	J. MANIA, Gestion des Systèmes aquifères. Application au Nord de la France, 1978, 228 p.....	15,00 €
<b>Tome XVI</b>	A. BOUROZ et al., Essai de synthèse des données acquises sur la genèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers [en Français et en Anglais], 1983, 74 p., 10 pl.....	20,00 €
<b>Tome XVII</b>	A. BLIECK & J.-P. DE BAERE eds, La Société géologique du Nord et l'histoire des sciences de la Terre dans le nord de la France, 2014, 183 p., illustré.....	40,00 €

#### Tables, Annales et Mémoires en accès libre et gratuit en ligne

Les Tables générales 1 à 5 des Annales et des Mémoires (1870 à 1979), les tomes I à CIX (1ère série, 1875-1989) et 1 à 20 (2e série, 1991-2013) des *Annales*, et les Tomes I (1876) à XVI (1983) des *Mémoires* sont numérisés et accessibles gratuitement en ligne sur le site IRIS (bibliothèque numérique en histoire des sciences de l'Université de Lille) aux adresses suivantes : <http://iris.univ-lille1.fr/handle/1908/32/browse> et <http://iris.univ-lille1.fr/handle/1908/75/browse>. Les *Annales* sont également accessibles en ligne, en partie, sur le site de Gallica (bibliothèque numérique de la BNF) : <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/cb343964078/date>.

#### Publications de la Société Géologique du Nord : tomes disponibles

<b>Publication N° 1.</b>	J. CHOROWICZ (1977) Etude géologique des Dinarides le long de la transversale Split-Karlovac (Yougoslavie), 331 p., 10 pl., 1 carte hors texte.....	10,00 €
<b>Publication N° 2.</b>	J. CHARVET (1978) Essai sur un orogène alpin : Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Saravejo (Yougoslavie), 554 p., 21 pl., 1 carte hors texte. [volume de texte épuisé ; carte disponible]	5,00 €
<b>Publication N° 3.</b>	J. ANGELIER (1979) Néotectonique de l'arc égéen, 417 p., 29 pl.....	11,00 €
<b>Publication N° 4.</b>	J.-J. FLEURY (1980) 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 ; 2 vol., 651 p., 10 pl., cartes hors texte.....	12,00 €
<b>Publication N° 5.</b>	M. COUSIN (1981) Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie ; 2 vol., 521 + 521 p.....	12,00 €
<b>Publication N° 6.</b>	F. THIEBAULT (1982) L'évolution géodynamique des Héliénides externes en Péloponnèse méridional (Grèce) ; 2 vol., 574 p., cartes hors texte.....	14,00 €
<b>Publication N° 7.</b>	P. DE WEVER (1982) Radiolaires du Trias et du Lias de la Téthys (Systématique, Stratigraphie) ; 2 vol., 599 p., 58 pl.....	13,00 €
<b>Publication N° 8.</b>	J. FERRIERE (1982) Paléogéographie et tectoniques superposées dans les Héliénides internes : les massifs de l'Othrys et du Pélion (Grèce continentale) ; 2 vol., 970 p.....	14,00 €
<b>Publication N° 9.</b>	H. MAILLOT (1983) Les Paléoenvironnements de l'Atlantique Sud : Apport de la géochimie sédimentaire, 316 p.....	9,00 €
<b>Publication N° 10.</b>	Cl. BROUSMICHE (1983) Les Fougères sphénoptériennes du Bassin Houllier Sarro-Lorrain (Systématique – Stratigraphie) ; 2 vol., 480 p., 100 pl.....	15,00 €
<b>Publication N° 11.</b>	B. MISTIAEN (1985) Phénomènes récifaux dans le Dévonien d'Afghanistan (Montagnes Centrales). Analyse et systématique des Stromatopores ; 2 vol., 381 p. + 5 pl., 245 p. + 20 pl.....	15,00 €
<b>Publication N° 12.</b>	T. HOLTZAPFFEL (1986) Les minéraux argileux. Préparation, analyses diffractométriques et détermination ; 136 p.....	6,00 €
<b>Publication N° 13.</b>	J.-L. MANSY (1986) Géologie de la Chaîne d'Omineca des Rocheuses aux Plateaux intérieurs (Cordillère Canadienne). Evolution depuis le Précambrien ; 2 vol., 718 p., 387 fig., 49 tabl., cartes hors texte.....	15,00 €
<b>Publication N° 14.</b>	C. BECK (1986) Géologie de la Chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela) ; 462 p., 4 pl., 1 carte hors texte.....	10,00 €
<b>Publication N° 15.</b>	J.-M. DEGARDIN (1988) Le Silurien des Pyrénées : Biostratigraphie, Paléogéographie ; 506 p., 16 pl.....	10,00 €
<b>Publication N° 16.</b>	J. SIGAL (1989) Les recherches sur les Foraminifères fossiles en France des environs de 1930 à l'immédiat après-guerre ou : « avant l'oubli », 107 p.....	7,00 €
<b>Publication N° 17.</b>	F. DELAY (1990) Le massif nord-pyrénéen de l'Agly (Pyrénées Orientales) : Fasc. 1 : Evolution tectono-métamorphique – Exemple d'un amincissement crustal polyphasé ; Fasc. 2 : Etude conceptuelle, fonctionnelle et organique d'un système de traitement informatique des microanalyses chimiques ; Fasc. 3 : Notice et carte géologiques en couleurs au 1/25 000 ; 3 vol., 393 + 152 + 34 p., carte hors texte sur CD.....	27,00 €
<b>Publication N° 18.</b>	A. KHATIR (1990) Structuration et déformation progressive au front de l'allochtone ardennais (Nord de la France) ; 293 p., cartes et coupes hors texte.....	11,00 €
<b>Publication N° 19.</b>	C. LAMOUREUX (1991) Les mylonites des Pyrénées. Classification. Mode de formation. Evolution ; 371 p., 9 pl.....	11,00 €
<b>Publication N° 20.</b>	G. MAVRIKAS (1993) Evolution Crétacée-Eocène d'une plate-forme carbonatée des Héliénides externes. La plate-forme des Ori Valtou (« massif du Gavrovo »), Zone de Gavrovo-Tripolitza (Grèce continentale) ; 240 p., 10 pl.....	11,00 €

<b>Publication N° 21.</b>	P. BRACQ (1994) L'effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux, apport de l'analyse morphostructurale ; 244 p. ....	11,00 €
<b>Publication N° 22.</b>	N. FAGEL (1994) Flux argileux du Néogène au Quaternaire dans l'Océan Indien Nord, mise en évidence et interprétation ; 265 p. ....	11,00 €
<b>Publication N° 24.</b>	B. LOUCHE (1997) Limites littorales de la nappe de la craie dans la région Nord Pas-de Calais. Relations eaux souterraines-eaux superficielles-mer ; 286 p. ....	11,00 €
<b>Publication N° 25.</b>	J.-G. BREHERET (1997) L'Aptien et l'Albien de la Fosse vocontienne (des bordures au bassin). Évolution de la sédimentation et enseignements sur les événements anoxiques ; 614 p., 18 pl. ....	22,00 €
<b>Publication N° 26.</b>	T. PLETSCHE (1997) Clay minerals in Cretaceous deep-water formations of the Rif and the Betic Cordillera (northern Morocco & southern Spain), 118 p., 7 pl. ....	10,00 €
<b>Publication N° 27.</b>	E. VENNIN (1997) Architecture sédimentaire des bioconstructions permo-carbonifères de l'Oural méridional (Russie) ; 350 p. ....	13,00 €
<b>Publication N° 28.</b>	D. BRICE coord. (1998) Actes des 1ères journées régionales Nord/Pas-de-Calais du Patrimoine Géologique (Lille, 20-23 Novembre 1997), 109 p. ....	5,00 €
<b>Publication N° 30.</b>	R. PLATEVOET (2001) Diversité des formations pyroclastiques s.l. du strato-volcan du Cantal au Miocène (Massif central français). Elaboration d'une méthodologie de corrélation ; 271 p. ....	12,00 €
<b>Publication N° 31.</b>	P. PELLENARD (2003) Message terrigène et influences volcaniques au Callovien-Oxfordien dans les bassins de Paris et du sud-est de la France ; 362 p., 19 pl. ....	14,00 €
<b>Publication N° 32.</b>	S. LALLAHEM (2003) Structure et modélisation hydrodynamique des eaux souterraines. Application à l'aquifère crayeux de la bordure nord du bassin de Paris ; 217 p. ....	14,00 €
<b>Publication N° 33.</b>	C. DERYCKE-KHATIR (2005) Microrestes de vertébrés du Paléozoïque supérieur de la Manche au Rhin ; 261 p., 35 pl. ....	14,00 €

#### Autres éditions

Esquisse géologique du Nord de la France, Fascicule IV : Terrains quaternaires, par J. Gosselet (1903) ; texte imprimé + planches sur CD [ou en fac-similé]..... 10 €

*Toutes les publications de la SGN sont accessibles dans de nombreuses bibliothèques : bibliothèque de l'Université de Lille – Faculté des Sciences et Technologies, de l'UMR 8198 du CNRS, bibliothèque de la Ville de Lille, au Conservatoire d'Espaces Naturels, à l'APBG, à la BNF, aux Archives départementales du Nord & dans de nombreuses bibliothèques publiques universitaires ou associatives, françaises ou étrangères (USA, RU, Union Européenne, Chine, Japon, Russie, etc.)*

**\*Veillez noter que les prix ci-dessus sont TTC (TVA 20 % incluse) mais hors frais de port et d'emballage. Un tarif réduit de 20% est accordé aux membres de la SGN.**

**Les prix sont augmentés des frais de port et d'emballage quand les volumes ne sont pas pris directement au dépôt.**

Les chèques, tirés sur une banque française uniquement, sont à adresser à la Société Géologique du Nord. Pour tout autre moyen de paiement, veuillez consulter la Trésorière, Mme Renée DUCHEMIN :  
[ducheminrenee@yahoo.fr](mailto:ducheminrenee@yahoo.fr)

Les commandes sont à envoyer à : Société Géologique du Nord, Mme la Trésorière,  
c/o Université de Lille – Campus Cité Scientifique, Faculté des Sciences et Technologies, bâtiment SN5  
(Sciences de la Terre), 59655 Villeneuve d'Ascq cedex (France).

Le catalogue avec son bon de commande est téléchargeable sur le site Web :  
<http://sgn.univ-lille.fr/index.php?page=Publications>



## LE CADRE DE VIE EST UN BIEN COMMUN

Avec le CAUE du Nord, participez ensemble  
à construire vos lieux de vie.

Je suis  
membre d'une  
**association,**  
je développe des initiatives  
grâce aux ressources  
locales.

Je suis  
**technicienne,**  
je découvre des  
expériences ancrées  
dans leur contexte.

Je suis  
**enseignante,**  
je développe une  
pédagogie active en  
relation avec le  
territoire.

Je suis  
**habitant,**  
je conçois un projet  
d'habitat qui s'intègre  
dans mon cadre de  
vie.

Je suis  
**élu,**  
je réussis un projet  
adapté à mon  
territoire.

Je suis  
**enfant,**  
je comprends  
l'évolution de mon  
environnement.

Je suis  
**professionnel,**  
j'exerce mon activité en  
connaissance des  
enjeux locaux.



ACCOMPAGNER LES PROJETS  
CONTRIBUER AU DÉBAT PUBLIC  
DIFFUSER LES EXPÉRIENCES  
FACILITER LES COOPÉRATIONS

POUR UNE ÉCOLE PERMANENTE DU CADRE DE VIE





# CONSTRUIRE SUR DU SOLIDE



[www.soletanche-bachy.com](http://www.soletanche-bachy.com)

## Antenne Nord Picardie

6<sup>ème</sup> rue du Port Fluvial

BP 7 – Santes

59536 Wavrin cedex

Tél.: 03 20 50 92 92 / Fax: 03 20 50 93 83

[guillaume.catel@soletanche-bachy.com](mailto:guillaume.catel@soletanche-bachy.com)

IRIS - LILLIAD - Université Lille



# SOLETANCHE BACHY

**SOMMAIRE**  
**Tome 25 (2<sup>e</sup> série)**  
*parution 2018*

Avant-propos : vie de la société .....	5
La Société Géologique du Nord il y a 50 ans.....	13
<b>SEANCE « Énergies citoyennes au service de la transition énergétique » (Lille, 12 octobre 2017) »</b>	
Francis MEILLIEZ. - Énergies citoyennes au service de la transition énergétique, Journée de rencontre et d'échange, Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités, Lille .....	15
Nicolas TRIBOVILLARD & François BAUDIN. - Sedimentologie de la matière organique en milieu marin : Le point de départ de la formation des roches mères d'hydrocarbures .....	23
Jean SCHIETTECATTE.- Les Hydrocarbures – Situations et perspectives.....	29
Barbara NICOLOSO.- Peak all et sobriété énergétique.....	35
Jacques ROUGE. – Le biogaz, une énergie renouvelable en pleine évolution.....	39
Philippe LEGRAND, Gérard BELLIGAUD, Bruno GILLES & Jean-François DEMAIZIERE.- Ammonites du Bathonien de Saint-Éloi (Nièvre, France) .....	41
Francis MEILLIEZ.- Un nœud structural mobile a la jonction du Cambrésis, de la Thiérache et du Vermandois ..	53
Alain R. M. BLIECK.- The Waxweiler project, Eodevonian heterostracan pteraspidomorphs & Mythology of the Big Five.....	69
Youssef ZERHOUNI, Samiha NFISSI, Saida ALIKOUSS, Zouhir BAROUDI et Mohamed SAMIR.- Amendement alcalin à base de boues de pâtes de sucrerie et d'argiles : application sur les résidus de la mine abandonnée de Kettara (Maroc).....	75
Alain R. M. BLIECK.- Notes de lecture, Le paléontologue et l'évolution, par Pascal TASSY.....	83
Liste des membres de la Société Géologique du Nord.....	88
Instructions aux auteurs.....	90
Catalogues des éditions .....	93

©2018 Société Géologique du Nord Editeur, Villeneuve d Ascq

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage est interdite. Une copie ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque, ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteurs.

Imprimé en France (Printed in France)