

POURQUOI CONTINUER À CHERCHER EN PALÉONTOLOGIE ? LE LABORATOIRE EEP RÉPOND

par Catherine CRÔNIER (avec une contribution de l'équipe de Paléontologie)



LES CHERCHEURS

L'équipe Paléontologie PAL constitue une des deux équipes du Laboratoire EEP depuis 2015 suite au regroupement du laboratoire Génétique et Evolution des Populations Végétales (GEPV) et de l'équipe « Paléoécologie et Environnements Sédimentaires » de l'unité Géosystèmes. Elle comprend actuellement 4 chercheurs CNRS, 3 enseignants-chercheurs, 4 ingénieurs et techniciens (U Lille et CNRS), et 7 doctorants.

BREF HISTORIQUE DE L'ÉQUIPE

L'équipe de paléontologie de l'Université de Lille a un historique ancien. Dès le 19^e siècle, à côté de la paléontologie classique, la paléobotanique lilloise était très développée grâce aux études de la géologie du bassin houiller (Carbonifère). D'importantes collections ont été constituées depuis cette époque. Elles sont actuellement déposées en partie à l'Université de Lille et en partie au Musée d'Histoire Naturelle de Lille et à l'Université Catholique de Lille. Durant la deuxième moitié du 20^e siècle, l'Université de Lille et l'Université Catholique de Lille hébergeaient des paléontologues qui faisaient partie d'une même équipe de paléontologie du CNRS, notamment sous forme d'une UPRESA du CNRS jusqu'en 1997. Après un passage comme UMR indépendante durant les quadriennaux 1998-2001 et 2002-2005 et le début du quadriennal suivant (2006-2007), le « Laboratoire de Paléontologie et Paléogéographie du Paléozoïque » (UMR LP3), est devenu une des quatre équipes de l'UMR Géosystèmes, nouvelle UMR qui résultait, au 1^{er} janvier 2008 (à mi-parcours du quadriennal), de la fusion de toutes les géosciences de l'Université de Lille 1, intégrant la géologie structurale et sédimentaire, mais aussi la géochimie, la chimie de l'eau, et les géosciences de l'environnement.

Le questionnement scientifique central de l'équipe paléontologique lilloise, depuis plusieurs quadriennaux

déjà, est l'interaction entre la géosphère et la biosphère, notamment l'évolution de la paléobiodiversité en relation avec les changements globaux. L'expertise du laboratoire est historiquement axée sur le Paléozoïque, mais concerne aussi les époques plus anciennes (Ediacarien) et plus récentes, notamment avec une expertise dans le Quaternaire.

Plus précisément, l'équipe de paléontologie de Lille travaille depuis des décennies sur des questions d'évolution, de paléoécologie, de paléobiogéographie et de (paléo-) biodiversité, mais également sur des implications et des thématiques portant à la géodynamique et à l'analyse des bassins sédimentaires, la paléoocéanographie, ou encore le paléoclimat. Le champ d'activité de l'équipe concerne aussi l'analyse des paléoenvironnements *sensu latissimo*. Nous contribuons à des sujets géologiques purs et durs à l'instar des travaux sur les ophiolites et le domaine téthysien en Arménie (coll. Danelian-EEP, M. Seyler-LOG...). Ce champ d'activité relève également d'une contribution régionale (*sensu lato*, y compris Belgique ardennaise) : travaux sur les faunes quaternaires des Haut-de-France (Patrick Auguste), les trilobites du Dévonien du Massif des Ardennes (Bignon & Crônier 2011, 2015), les foraminifères et les ostracodes du Jurassique supérieur du Boulonnais (résultats de la collaboration avec Novossibirsk, Russie ; Colpaert *et al.* 2021).

PROJET DE RECHERCHE DE L'ÉQUIPE EN COURS

Les changements paléogéographiques à grande échelle ont modifié les conditions environnementales et climatiques. Ces changements peuvent avoir en partie contrôlé la restructuration d'anciens systèmes biologiques et conduit à des extinctions massives. Ces crises semblent avoir été souvent causées par des changements drastiques du climat de la Terre. Aujourd'hui, notre planète se réchauffe de plus en plus et fait face à une crise majeure de la biodiversité et à

la perte d'un élément biotique clé pour un fonctionnement équilibré de l'écosystème.

Dans ce contexte, l'objectif scientifique de l'équipe PAL est de contribuer au développement des connaissances sur **l'origine et l'évolution des paléo-écosystèmes**, notamment en relation avec les **changements environnementaux** (y compris le changement climatique) à **diverses échelles temporelles**. Fondé sur des études intégratives de la dynamique évolutive et paléoécologique, l'équipe tente d'aborder des questions relevant de la **macroévolution** et/ou de la **macroécologie** afin de mettre en évidence des processus évolutifs et écologiques opérant à différentes échelles de temps. Ainsi, nous cherchons à identifier les moteurs écologiques et évolutifs sous-jacents opérant à l'échelle du temps géologique, ainsi que les facteurs biotiques et abiotiques qui ont contribué aux changements dynamiques dans l'équilibre de la spéciation et de l'extinction. Nos stratégies incluent la quantification et la comparaison des modèles de diversité taxonomique par rapport à la disparité morphologique, la documentation des changements morphologiques corrélés aux facteurs environnementaux, la reconstruction des paléo-écosystèmes et les tentatives de déduire les processus sous-jacents à partir des modèles observés.

Pour ce faire, nous développons des bases de données paléobiologiques couvrant diverses échelles temporelles et géographiques afin de documenter les changements de biodiversité et d'explorer les facteurs possibles ayant contribué à ces changements. Notre équipe teste et continuera de tester les courbes de biodiversité en évaluant les différents biais introduits. Nous poursuivrons la mise à jour des courbes de biodiversité, en mettant en évidence les phases de radiation et d'extinction en relation avec les conditions environnementales, aussi bien au niveau mondial en temps profond (Cronier *et al.* 2013 ; Tétard *et al.* 2017 ; Bault *et al.* 2021 ; Danelian & Monnet 2021) qu'au niveau régional dans le passé récent (Van Bocxlaer 2017). À terme, nous souhaitons comparer les courbes de biodiversité obtenues pour différents groupes écologiques d'organismes, et l'évolution de leur espace morphologique (Danelian & Macleod 2019), afin de comprendre leurs interactions. Nos bases de données et ces courbes pourront ensuite être utilisées pour calculer les taux de spéciation et d'extinction, ou être combinées avec des données morphologiques. Il deviendra alors possible d'examiner si les spéciations et les extinctions sont confinées à des régions spécifiques de l'espace morphologique ou non. Pour certaines lignées, les archives fossiles ont été documentées avec un contrôle paléontologique exceptionnel nous permettant de relier l'évolution morphologique à la théorie génétique quantitative, et d'élargir les limites des connaissances actuelles sur ce sujet (Van Bocxlaer & Hunt 2013).

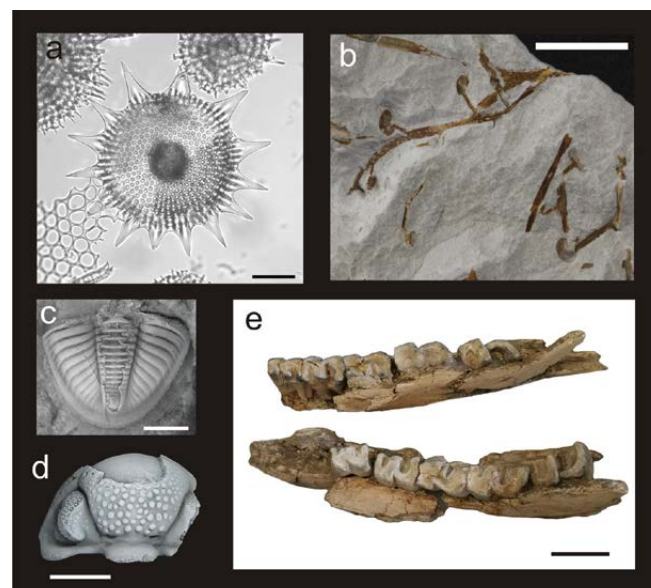


Planche. Quelques groupes fossiles étudiés par l'équipe PAL, UMR 8198 EEP, Lille. (a) Radiolaire, Atlantique équatorial, Eocène, échelle : 50 μ m. (b) Fragment de plantes, Nord de la France, Dévonien, échelle 10 mm. (c) Trilobite Proetidae (pygidium), Nord de la France, Dévonien, échelle : 5 mm. (d) Trilobite Phacopidae (céphalon), Belgique, Dévonien, échelle : 5 mm. (e) Hémimandibules de rhinocéros de prairie, Somme, France, 120 000 ans, échelle : 5 cm.

Les activités de l'équipe seront structurées autour de trois axes de recherche :

- ✧ Dynamique de la paléobiodiversité dans le temps profond : comprendre l'impact du changement climatique sur les extinctions dans les écosystèmes marins et terrestres, les seuils d'effondrement et les récupérations post-crisis. Modérateur : Borja CASCALES-MIÑANA
- ✧ Modalités et rythme de l'évolution morphologique : décrypter le message des changements de forme en termes d'évolution et d'adaptation, explorer le lien entre les processus microévolutifs et macroévolutifs. Modérateur : Bert VAN BOCXLAER
- ✧ Reconstructions des paléoécosystèmes : comprendre comment les écosystèmes ont été structurés dans le passé et comment le changement global peut avoir affecté leur structure, leur remplissage écologique et leur distribution biogéographique ; aperçus de la comparaison avec des analogues modernes. Modérateur : Sébastien CLAUSEN

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

Le projet de recherche en cours de l'équipe consiste à explorer et comprendre comment les taxons ont répondu à diverses crises biotiques mondiales ou locales, comment ces crises ont affecté le fonctionnement des écosystèmes et dans quelle mesure les changements résultent de processus



évolutifs (adaptation) et écologiques (interactions migration/espèces). Les questions scientifiques à cet égard sont :

Comment les diversités taxonomiques, morphologiques et phylogénétiques sont-elles liées les unes aux autres à travers le temps géologique, lors des extinctions massives et des phases d'entrée et de sortie de crise ?

Quels sont les liens et les stratégies d'occupation spatio-temporelles développées entre les faunes ?

Quelle est la relation entre la taille corporelle adulte des espèces, leur phylogénie, leur durée de vie, leur type de développement, leur répartition géographique et leur position latitudinale ?

Comment la diversité répond-elle aux changements paléo-environnementaux ? Quelles sont les relations avec les proxys environnementaux ?

Quel est le point de non-retour d'une érosion irréversible de la biodiversité face aux changements environnementaux ?

FAITS MARQUANTS

Programme CNRS 80Prime « Reconstructing the environmental history of Plio-Pleistocene hydrosystems in the Omo-Turkana Basin », *via* des études intégratives de sédimentologie et de mollusques d'eau douce ; PI Bert VAN BOCXLAER

Programme ANR « Earthgreen – Comprendre le verdissement de la Terre primitive », PI Borja CASCALES-MIÑANA.

Programme régional STIMule « ProtéOSHdF » ; participant Patrick AUGUSTE – couplage des données protéomiques *vs* morphologiques

Revalorisation de nos collections patrimoniales de recherche *via* programme ANR « Earthgreen » (issues des années d'exploitation houillère) et **participation au réseau RECOLNAT/TRANSTYFIPAL**

Un focus : comment la planète bleue est-elle devenue verte ?

par Borja CASCALES-MIÑANA (projet ANR en cours)

Les écosystèmes terrestres actuels se sont développés après que les plantes aient colonisé la Terre, un phénomène crucial pour la biodiversité mondiale. L'évolution de la végétation a provoqué des changements climatiques majeurs et des extinctions massives. Ce projet vise à fournir de nouvelles données sur l'origine, la diversification et la dispersion des premières flores et à quantifier leur impact sur le système Terre. Nous proposons (1) de caractériser les dynamiques spatio-temporelles de la végétation du Silurien au Mississippien (~ 430-320 Ma), (2) de réviser les étapes clés de l'évolution initiale des plantes et (3) de quantifier l'impact de l'évolution des plantes sur la dynamique du climat. Les résultats attendus permettront de préciser le moment de la colonisation initiale des continents et l'évolution morphologique et architecturale des flores anciennes. Ce projet permettra de mieux comprendre les relations entre la biosphère terrestre primitive et l'environnement physique.

L'histoire de la Terre montre de profondes différences dans la composition des environnements terrestres. Ces différences proviennent notamment de l'assemblage progressif des premiers écosystèmes terrestres, avec des événements marquants décalés motivés par l'évolution des plantes. Nombre de ces événements ont joué un rôle crucial dans la formation de la géobiosphère que nous connaissons aujourd'hui, par exemple, le rayonnement végétal le plus ancien et/ou l'expansion des premières forêts de la Terre. Le verdissement progressif de la planète a provoqué des changements paléoenvironnementaux mondiaux majeurs qui ont agi avec des effets de rétroaction sur l'évolution des premiers écosystèmes terrestres. En effet, il est bien connu que l'évolution de la végétation terrestre primitive a déclenché des changements globaux majeurs, y compris des transitions climatiques et atmosphériques soudaines. Malheureusement, malgré leur pertinence, de nombreuses questions concernant la terrestrialisation de la surface de la Terre restent en suspens. Par exemple, « quand » et « comment » les premiers processus de colonisation des plantes terrestres (= embryophytes) ont eu lieu ne sont toujours pas résolus. Les connaissances acceptées suggèrent que les premiers embryophytes ont évolué à partir d'algues vertes charophycées. Les plus anciennes preuves de fossiles végétaux proviennent de spores dispersées de l'Ordovicien moyen (~ 470 Ma) qui ont probablement été produites par de petits organismes non vasculaires ressemblant à des bryophytes. Les preuves de fossiles de spores suggèrent également que le premier rayonnement des plantes vasculaires (= trachéophytes) s'est probablement produit au cours de l'Ordovicien supérieur (~ 450 Ma). Cependant, des macrofossiles végétaux sans équivoque n'ont été identifiés que pendant la période du Silurien moyen (~ 430 Ma). Documenter le verdissement des premiers écosystèmes terrestres nécessite de bien comprendre les grandes étapes de l'évolution des plantes, plus particulièrement l'origine des plantes vasculaires. Les embryophytes comprennent les lignées de bryophytes et les polysporangiophytes (c'est-à-dire les plantes avec un sporophyte ramifié indépendant). Tous les polysporangiophytes existants sont des trachéophytes, mais les polysporangiophytes les plus basiques (Horneophytosida et *Aglaophyton/Teruelia*, les soi-disant protrachéophytes) ne sont pas vasculaires. Les protrachéophytes sont essentiels pour élucider l'origine des flores vasculaires les plus précoces, en particulier les plantes du Dévonien inférieur de

Rhynie *Horneophyton* et *Aglaophyton*, précurseurs directs actuels des trachéophytes, sont particulièrement importantes. L'écosystème terrestre précoce de Rhynie, formé dans les zones humides géothermiques, se traduit par une préservation anatomique unique et exceptionnelle des premières plantes terrestres. Il fournit une « fenêtre évolutive » inégalée pour tester la première évolution des trachéophytes. Par exemple, les similitudes dans les éléments conducteurs entre *Aglaophyton* et *Rhynia* (trachéophytes basaux) remettent en question la nature non vasculaire d'*Aglaophyton*. La résolution de cette incertitude est essentielle pour élucider l'origine et la dispersion précoce de la biodiversité végétale vasculaire existante. Ce projet vise à (1) caractériser la dynamique spatio-temporelle de la diversification des plantes ordoviciennes-dévonien (spores incluses), et (2) revoir si *Aglaophyton* et / ou *Horneophyton* présentent des traits vasculaires, et si oui, fournir en conséquence une nouvelle étude cladistique sur les premières relations évolutives des plantes vasculaires.

RÉFÉRENCES

- BAULT V., CRONIER, C., ALLAIRE, N. & C. MONNET. 2021. Trilobite biodiversity trends in the Devonian of North Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **565**. DOI 10.1016/j.palaeo.2020.110208
- CLEAL, C.J. & B. CASCALES-MIÑANA. 2014. Composition and dynamics of the great Phanerozoic Evolutionary Floras. *Lethaia*, **47**, 469–484.
- COLPAERT, C., NIKITENKO, B., DANELIAN, T., FURSENKO, E. & I. KOSENKO. 2021. Upper Kimmeridgian to Lower Tithonian foraminifers and ostracods of the Boulonnais Region, Northern France. Stratigraphic and palaeoenvironmental implications and inter-regional correlations with the Siberian Arctic. *Marine Micropaleontology*, **164**, Article 101976.
- CRONIER, C., MALTI, F.Z., FRANÇOIS, A., BENYOUNCEF, M. & D. BRICE. 2013. First occurrence of a phacopid trilobite faunule from the Upper Devonian of Saoura Valley, Algeria and biodiversity fluctuations. *Geological Magazine*, **150**, 1002–1021.
- BIGNON, A. & C. CRÔNIER. 2011. Middle Devonian trilobites from the Mont s'Haus section in Givet, France, with two new species of *Dechenella*. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **102**, 1–15.
- BIGNON, A. & C. CRÔNIER. 2011. Trilobite faunal dynamics on the Devonian continental shelves of the Ardenne Massif and Boulonnais (France, Belgium). *Acta Palaeontologica Polonica*, **60**, 949–962.
- DANELIAN, T. & N. MACLEOD. 2019. Morphometric Analysis of Two Eocene Related Radiolarian Species of the *Podocyrthis* (*Lampterium*) Lineage. *Paleontological Research*, **23**, 314–330.
- DANELIAN, T. & C. MONNET. 2021. Early Paleozoic radiolarian plankton diversity and the Great Ordovician Biodiversification Event. *Earth Science Reviews*.
- TÉTARD, M., MONNET, C., NOBLE, P.J., & T. DANELIAN. 2017. Biodiversity patterns of Silurian Radiolaria. *Earth Sci. Rev.* **173**, 77–83.
- VAN BOCXLAER, B. & G. HUNT. 2013. Morphological stasis in an ongoing gastropod radiation from Lake Malawi. *Proceedings of the National Academy of Science of the U.S.A.*, **110**, 13892–13897.