

EXEMPLES DE PROTECTION URGENTE DU PATRIMOINE GÉOLOGIQUE DANS L'ANTI-ATLAS (FAUNE DE FEZOUATA)

Khadija EL HARIRI

Université Cadi Ayyad, Marrakech



INTRODUCTION

Le Maroc figure parmi les pays les plus riches au monde en termes de patrimoine géologique, la preuve en est de sa désignation par le qualificatif largement utilisé aujourd'hui par tous : «Paradis des géologues».

Sa situation géographique lui confère un rôle capital dans la compréhension des relations géologiques entre l'Afrique et l'Europe et entre l'Afrique et l'Amérique.

Il est également question de l'un des rares pays permettant une lecture aisée de son histoire géologique à travers les pans de ses affleurements et de ses splendides paysages, toujours plus généreux, nous dévoilant les mystères du passé, par la richesse et la diversité de ses roches, minéraux et fascinants fossiles (vertébrés et invertébrés).

L'histoire de notre planète Terre a été rythmée par le retour périodique d'événements et de situations analogues : la recomposition des continents, les cycles orogéniques, les ères glaciaires, les transgressions et les régressions des mers, etc. Pour retracer l'histoire de la vie, il faut remonter le temps, à travers ses différentes ères géologiques; autrement dit, faire appel aux archives!

Les premiers indices de l'existence de la vie sur Terre datent de l'Archéen, il y a environ 3,5 milliards d'années avec l'apparition d'une vie microbienne : les stromatolithes.

Il faudra attendre bien plus d'un milliard et demi d'années avant l'apparition d'une vie multicellulaire (El Albani et al. 2010), car avant, la terre correspondait à une boule de roches en fusion «Terre boule de feu», bombardée en permanence par une pluie de météorites.

Après, la terre va traverser une période de glaciation, la glaciation marinoenne (-635 Ma), désignée par «la Terre boule de neige». Immédiatement après sa sortie de cette période, les conditions propres à l'émergence de la vie s'installent.

Le Néo-protérozoïque «Événement d'oxydation Néoprotérozoïque» (NOE) sera accompagné par l'explosion de la vie pluricellulaire et l'installation d'écosystèmes diversifiés pendant l'Ediacarien.

L'explosion cambrienne (-541Ma), demeure quant à elle l'une des périodes les plus dynamiques de l'histoire. Des facteurs multiples et complexes ont été avancés pour expliquer son mystère. La modification de la géochimie et l'augmentation du taux d'oxygène des eaux océaniques après les périodes de glaciations est très prisée (Towe, 1970; Cook, P. J., Shergold, J. H., 1984; Brennan et al., 2004; Li et al., 2017). L'accroissement de la complexité des réseaux trophiques (apparition de la prédation) et le développement d'organes et de comportements complexes (locomotion, vision, fouissage, biominéralisation) et probablement en relation avec cet événement (Lefebvre et al., 2010).

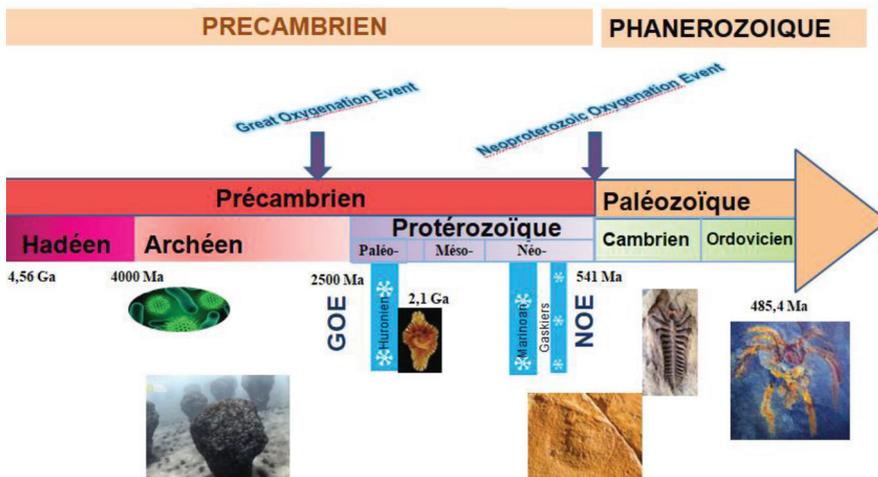


Figure 1 : Explosion de la vie pluricellulaire et installation des écosystèmes diversifiés au cours de l'Ediacarien et du Cambrien. Och et Sciels-Zhou, 2012, in Azizi 2019, modif.

Le Lagerstätte des Fezouata

Le terme *lagerstätte* est traduit de l'allemand et désigne, en paléontologie, les dépôts sédimentaires remarquables par la richesse ou la qualité de la préservation de leur contenu fossilifère (Seilacher, 1970; Allison, 1988).

Le nouveau *lagerstätte* « le *Burgess Shale* ordovicien du Maroc » va se rajouter au registre mondial des *lagerstätten* les plus célèbres, permettant l'illustration de l'une des périodes les plus critiques du Paléozoïque inférieur, à la transition entre la fameuse explosion cambrienne et la grande biodiversification ordovicienne (Lefebvre et al.2016).

Les assemblages fauniques fournis sont comparables en termes de mode et de qualité de préservation aux *lagerstätten* cambriens tels que les schistes de Burgess au Canada, l'Emu Bay Shale en Australie, le Chengjiang en Chine ou encore le Sirius Passett au Groënland.

Le *Lagerstätte* de l'Ordovicien inférieur des Schistes de Fezouata se situe dans l'Anti-Atlas central, dans la région de Zagora. Le site de Bou Izargane, ayant fait l'objet de la campagne des fouilles est localisé à environ 20 km au nord de Zagora (Figure 3).

Les dépôts de l'Ordovicien inférieur affleurent dans la plaine des Ternata, en discordance sur les grès cambriens de Tabanit. C'est dans cette vaste plaine qu'ont été découverts tous les principaux gisements emblématiques du *Lagerstätte* des Fezouata (Ordovicien inférieur).

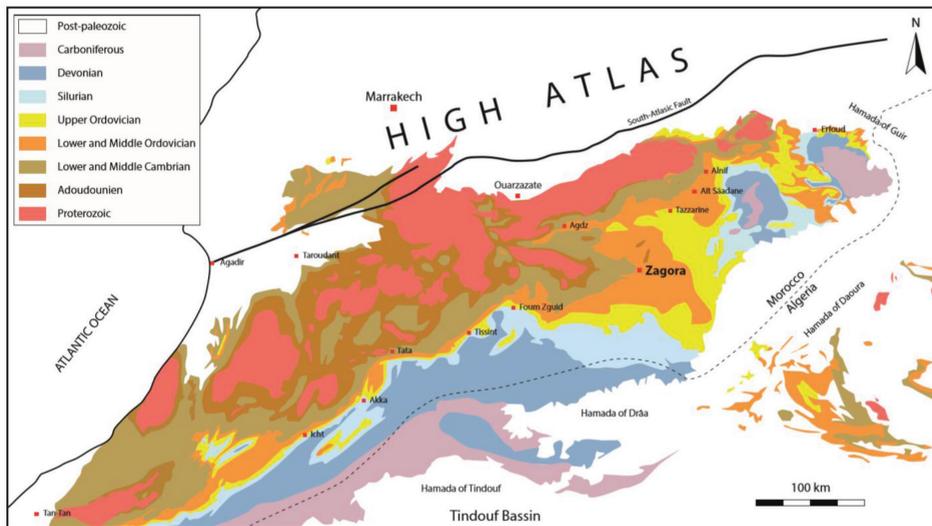


Figure 2 : Carte géologique simplifiée de l'Anti-Atlas marocain réalisée à partir de la carte géologique du Maroc au 1 000 000ème (Hollard et al., 1985, Marante, 2008, Vaucher 2016).

Campagnes de fouilles dans les Fezouata

Une campagne de fouilles de 4 semaines a été menée entre janvier et février 2014, dans le site de Bou Izargane dans la plaine de Ternata (environ 20 km au nord de Zagora), au sein de la partie inférieure des Schistes de Fezouata (Ordovicien). Les objectifs étaient multiples, notamment prospecter de grandes surfaces niveau par niveau, effectuer une collecte *in situ* et recueillir le maximum d'informations sur la composition et la distribution, dans le temps et dans l'espace, des assemblages caractéristiques du Fezouata Biota.

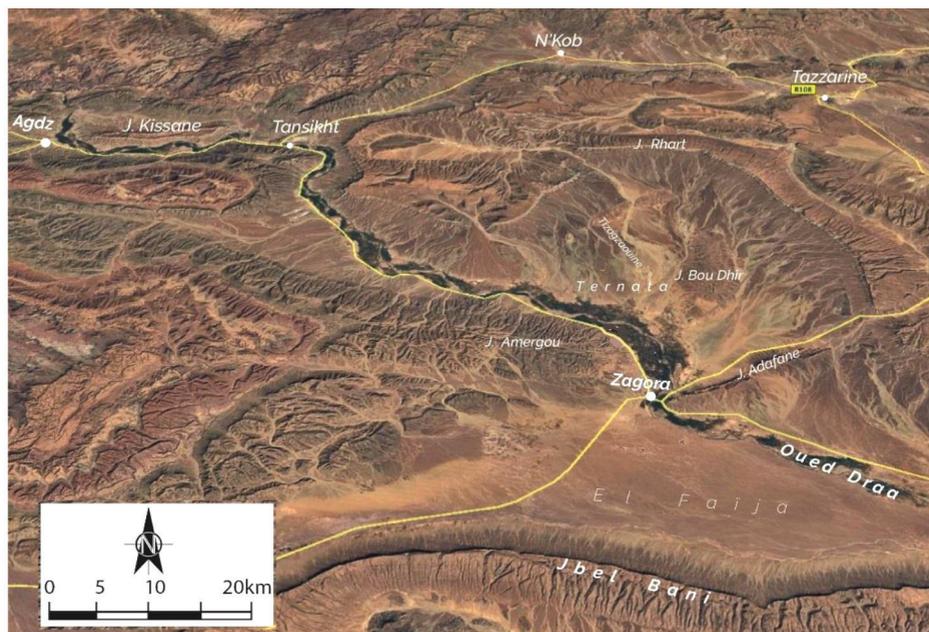


Figure 3 : Les affleurements ordoviciens de Fezouata dans la plaine de Ternata, au nord de Zagora.

Plusieurs sites abritant les organismes exceptionnellement préservés de Fezouata-Biota ont été découverts au début des années 2000. Néanmoins, les travaux de fouilles organisés par une équipe pluridisciplinaire, initiés dans le cadre d'une collaboration entre l'université Cadi Ayyad (Pr. Khadija El Hariri), et l'université de Bourgogne (Pr. B. Lefebvre) puis avec l'université de Claude Bernard Lyon 1.

Plus de 200 taxons ont été répertoriés et une collection de plus de 7000 spécimens est constituée entre Lyon et Marrakech.

Ces collections qui vont non seulement permettre la précision de la position stratigraphique des intervalles fossilifères à préservation exceptionnelle (Gutiérrez-Marco et al., 2016) mais également d'analyser les divers assemblages fauniques et d'apporter plus de précisions sur certains groupes restés longtemps énigmatiques (Lefebvre et al. 2019) ou sur apporter un éclairage sur les conditions environnementales d'une telle préservation.

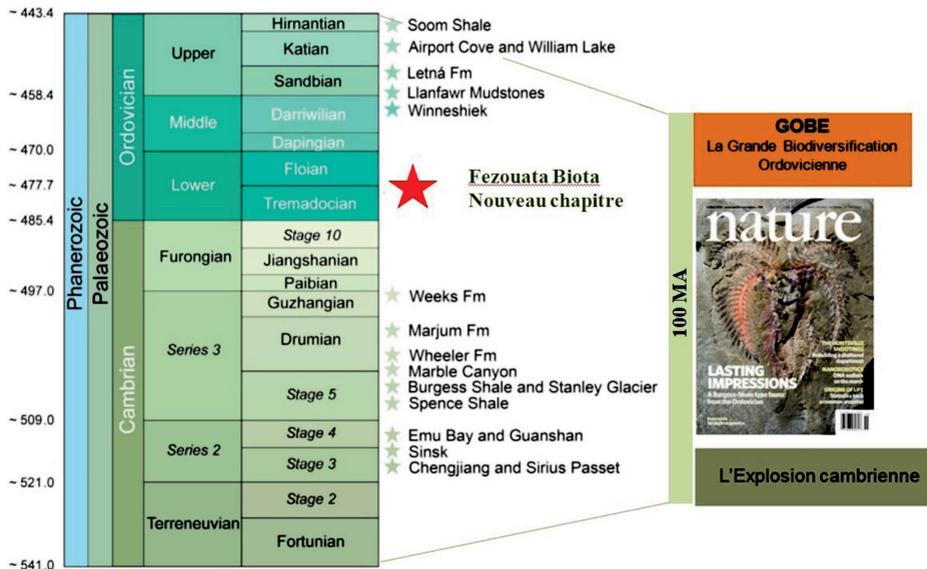


Figure 4 : Distribution stratigraphique des principales faunes exceptionnelles du Cambrien et de l'Ordovicien. Les âges sont en millions d'années MA, (Van Roy et al. 2010, Martin, 2016, Modif.)

Les assemblages de Fezouata sont caractérisés par un mélange de taxons post-cambriens typiques (par exemple, astéroïdes, chéloniellides, cirripèdes, crinoïdes, eurypterides, graptolites, ostracodes, xiphosurans), ainsi que les taxons emblématiques du Cambrien (par exemple anomalocaridids, demosponges, lobopodes, marrellomorpha, naraoïds).

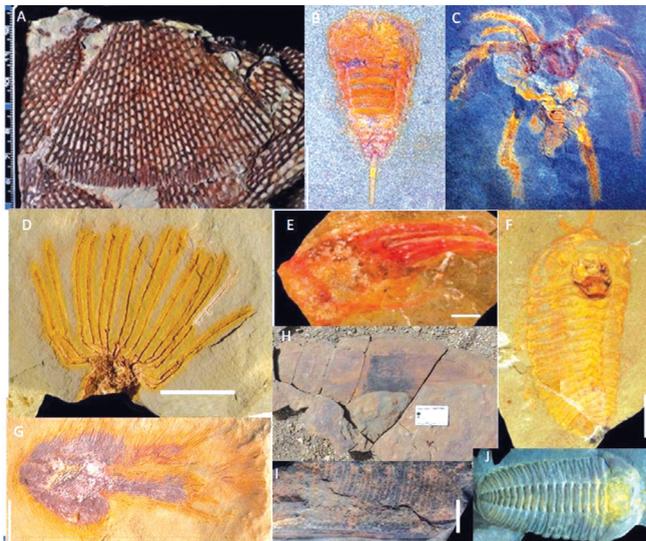


Figure 5 : Exemples de fossiles à préservation exceptionnelle de Fezouata, Zagora, Maroc. A. *Araneograptus murrayi*; B. Xiphosuran (Chelicerata), C. *Furca* sp. (Marrellomorpha), D. Echinoderme, E. Appendice – Pince très probablement d'un chélicérate, F. *Bavarilla zemmourensis* avec antennes et G. Spongiaire: *Pirania auraeum* Botting, 2007, H. Anomalocaride, I. Antenne d'Anomalocaride, J. *Bavarilla* sp.

Les vers Paleoscolidés

Le chantier de fouilles et principalement la partie inférieure des Schistes de Fezouata (Trémadocien) a livré des vers paléoscolécides, *Palaeoscolex* cf. *tenensis*, soit sous forme de longs fragments ou d'individus presque complets. Ces spécimens marocains sont préservés en compression et affichent des détails très précis. (Martin et al., 2016).

D'abondants longs fragments de paléoscolécides ont été collectés durant ce chantier de fouilles et attribués provisoirement à *Palaeoscolex tenensis*. Nous avons utilisé la microtomographie à rayons X (XR- μ CT) pour explorer et étudier la morphologie tridimensionnelle de *Palaeoscolex* cf. *tenensis*. Cette méthode a révélé des aspects importants sur son anatomie interne, notamment un pharynx portant des rangées longitudinales de petites dents et des structures tubulaires interprétées comme les fragments d'un tube digestif cylindrique s'étendant de la bouche à l'anus.



Figure 6 : Exemples de vers paléoscolécides en provenance de Fezouata (région de Zagora, Maroc)

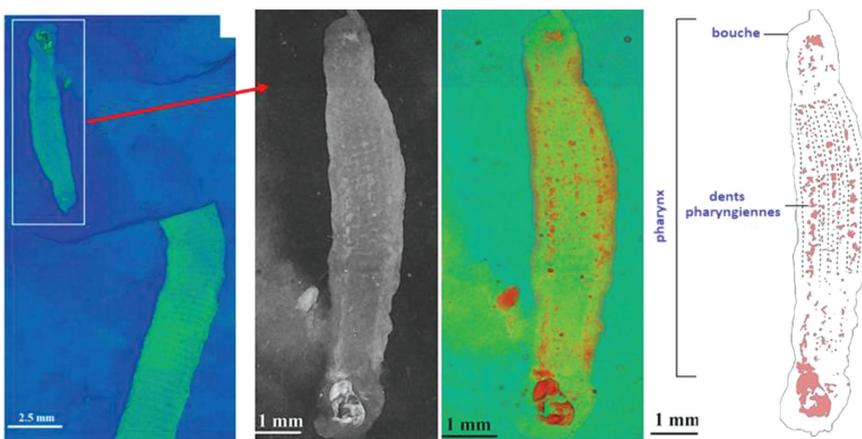


Figure 7 : *Palaeoscolex* cf. *tenensis* du Trémadocien (Ordovicien inférieur) des Schistes de Fezouata (région de Zagora, Maroc), images microtomographiques et dessin des microstructures détaillées le long du proboscis (rectangle) interprétées comme des rangées longitudinales de dents pharyngiennes (Kouraiss, 2019; Kouraiss et al. 2018)

Les arthropodes *Ampyx priscus*: la plus ancienne organisation collective et sociale datée de 480 Millions d'année a été découverte au Maroc

Des amas linéaires monospécifiques de trilobites raphiophoridés ont été découverts *in situ* dans l'Ordovicien inférieur des Schistes de Fezouata.

Leur analyse très détaillée est à l'appui de l'hypothèse de l'acquisition chez les animaux et depuis 480 Millions d'années, d'étonnants comportements collectifs voire sociaux indispensables à leur survie.

On peut citer les sauterelles, les fourmis, les abeilles, les chenilles processionnaires, les bancs de poissons, les oiseaux migrateurs ...

De tels comportements de groupe ont longtemps préoccupé les scientifiques cherchant à mieux comprendre les facteurs biologiques et environnementaux les déclenchant.

Ces comportements sont-ils apparus récemment ou bien ont-ils une origine très ancienne?

Il est important de noter que l'on connaît avec de plus en plus de précision l'anatomie des premiers animaux apparus il y a environ un demi-milliard d'années, grâce à l'étude de faunes à préservation exceptionnelle. Cependant, on ignore pratiquement tout de leur comportement, faute de preuves tangibles.

L'étude des amas de ces trilobites, *Ampyx priscus*, de l'Ordovicien inférieur du Maroc, Fezouata *Lagerstätte*, (environ 480 Ma), permet d'apporter un éclairage sur ce type de groupement social!

Les individus tous orientés vers une même direction, forment des files régulières et maintiennent entre eux des contacts étroits via leurs très longs processus épineux

L'analyse de ces associations atypiques et du sédiment qui les renferme montre que ces trilobites ont été ensevelis en position de vie par des dépôts de tempêtes. Tout semble indiquer qu'ils se rassemblaient et se déplaçaient en groupe sur les fonds marins, mais pour quelles raisons? Les animaux actuels permettent d'apporter des éléments de réponse. Ainsi, certaines langoustes d'Amérique du Nord, se déplacent en file indienne pour échapper aux perturbations environnementales induites par des tempêtes saisonnières. Elles réagissent à des signaux hydrodynamiques et maintiennent la cohésion du groupe grâce à des contacts tactiles. Chez d'autres espèces, comme les limules, c'est au contraire l'attraction chimique (ex : phéromones) qui provoque la migration et le regroupement de nombreux individus pendant la saison de reproduction. Les processions d'*Ampyx* pourrait donc bien correspondre à des comportements collectifs similaires déclenchés par des perturbations environnementales cycliques (ex : tempêtes saisonnières) ou des signaux chimiques liés à la reproduction.

Ce travail nous permet de conclure que le comportement collectif a une origine très ancienne et s'est probablement développé au cours des deux grandes biodiversifications animales du Cambrien et de l'Ordovicien, en réponse à l'augmentation de pression sélective liée à la complexification des ecosystems (Vannier et al. 2019).

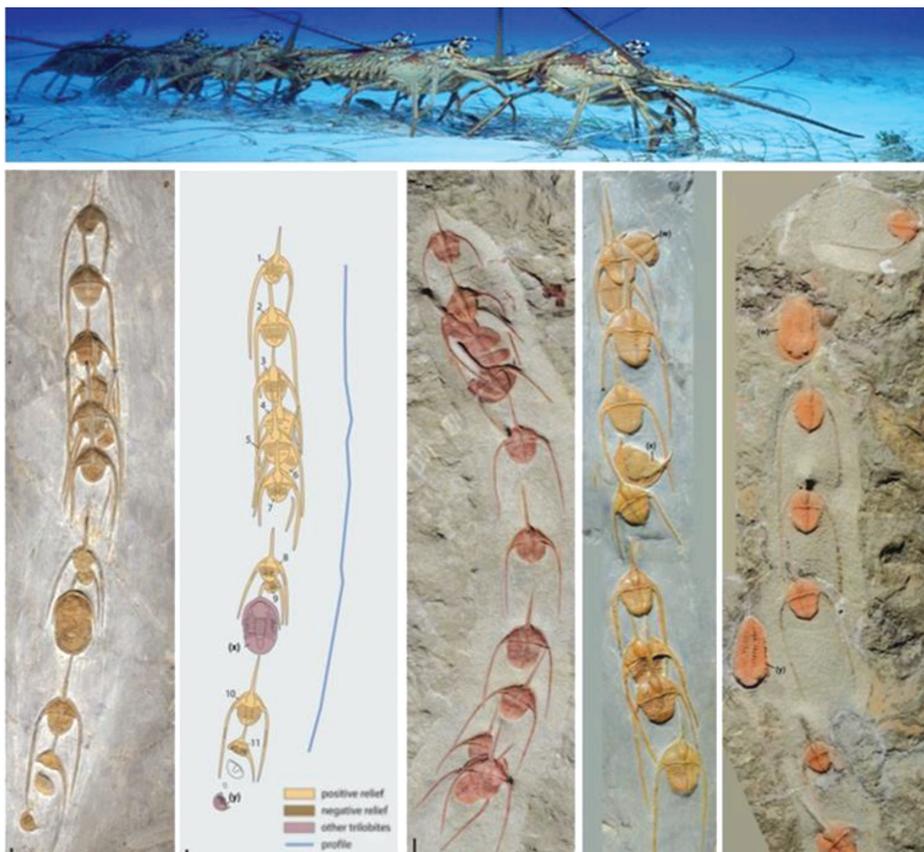


Figure 8 : A.Langoustes (*Panulirus argus*), migrant en file indienne. (<http://www.bbc.co.uk/earth/story/20160905>; crédits: Doug Perrine/naturepl.com).B.Amas groupes linéaires de *Ampyx priscus* du Ordovicien inférieur (supérieur Trémadocien-Floien, 480 Ma)

Ce travail a été mené avec le soutien de l'Académie des Sciences et Techniques Hassan II.

Un paléo-environnement caractérisé par des dépôts de tempêtes !

L'analyse sédimentologique des dépôts de Fezouata, va permettre la précision des conditions du contexte environnemental de la préservation exceptionnelle de Fezouata (Vaucher et al. 2017).

La préservation exceptionnelle trouve alors sa réponse dans les conditions marines de vie des organismes animaux, et plus précisément, à une profondeur se situant entre 50 et 150 mètres.

La dynamique caractérisant cet environnement est en faveur d'un enfouissement rapide d'une faune dont la majorité sera immédiatement ensevelie, ce qui permet la préservation également des parties molles.

Un patrimoine géologique unique au monde

Le patrimoine géologique englobe tout objet ou site qui incarne la mémoire de la Terre.

La Terre conserve la mémoire du passé, inscrite dans ses profondeurs et sa surface. Elle peut être lue à travers ses roches ou minéraux, les traces de vie (fossiles, habitats, ...), les indices de climat, les témoins de l'évolution des sols, sous-sols mais aussi de tout paysage passé ou actuel et toute archive en rapport avec la géologie.

C'est un héritage précieux dont nous sommes tous responsables vis-à-vis des générations futures. Une approche humaniste consiste en effet à dire : « nous n'héritons pas la Terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants ».

Les fossiles représentent la clé de la compréhension de l'évolution de la vie sur terre ou encore de la biodiversité. Il s'agit d'un patrimoine paléontologique qui incarne et conserve la mémoire de la Terre, permet de documenter et de retracer l'histoire de la vie, vieille d'environ plus de trois milliards et demi d'années. L'histoire racontée par les fossiles est incomparablement plus longue et plus riche en événements et elle est la seule à pouvoir révéler les grandes transformations évolutives.

L'essentiel de l'information est accessible à travers la bonne préservation des assemblages in situ (biocénoses) et d'autres incluant des éléments transportés (taphocénoses).

C'est ainsi que le *lagerstätte* des Fezouata, unique au monde, va ouvrir un nouveau chapitre dans cette fascinante histoire pendant l'Ordovicien inférieur.

Depuis quand le patrimoine géologique va-t-il susciter un réel intérêt à l'échelle internationale?

Si aujourd'hui les Etats prennent conscience de l'importance du patrimoine celle-ci reste tout de même récente. L'intérêt va concerner de prime abord le patrimoine architectural puis des monuments historiques (1887 puis 1930).

On n'abordera sa protection, naturel qu'elle soit ou culturel, qu'avec la Convention de protection du patrimoine mondial, et son adoption lors de la Conférence générale de l'UNESCO en novembre 1972. Celle-ci va reconnaître l'interaction entre l'être humain et la nature, et le besoin fondamental de préserver l'équilibre entre les deux.

La prise en compte du Géopatrimoine et du Géohéritage ne connaîtra un net progrès qu'au 21^{ème} siècle.

Au Maroc, la loi-cadre N° 99-12 (2014) portant Charte Nationale de l'Environnement et du Développement durable, fixe les objectifs fondamentaux de l'action de l'Etat en matière de protection de l'environnement et de développement durable. Parmi ses principaux objectifs, le renforcement de la protection et la préservation des ressources et des milieux naturels, de la biodiversité et du patrimoine culturel et la lutte contre les pollutions et les nuisances.

Ce n'est qu'avec la publication de la loi des mines N° 33-13 en juillet 2015 et plus particulièrement le décret portant sur l'application de son article 116 en août 2019, que l'on va pouvoir instaurer des remédiations en relation avec sa protection. Ce dernier détaillant les mesures et dispositions juridiques qui visent à organiser son extraction, sa collecte et sa commercialisation.

Pourquoi ces actions de protection urgente du Lagerstätte des Fezouata?

Il est de toute évidence qu'avant de protéger, valoriser et développer qu'il est fondamental d'identifier, d'apprendre et de comprendre son patrimoine géologique.

Identifier, Apprendre et Comprendre : Aujourd'hui, l'urgence de poursuivre les actions de sensibilisation du public, jeune et adulte sur la question du patrimoine géologique est manifeste, pas uniquement pour sa conservation, mais dans l'optique de ses multiples fonctions et de ses significations dans son écosystème, paléontologique, culturel et de développement durable.

Cette sensibilisation passe de prime abord par un partage de l'information. Certes, il existe bien des publications scientifiques de haut niveau, mais celles-ci restent inaccessibles au grand public. D'où l'honorable cadence des manifestations scientifiques internationales organisées au sein de notre pays et ce depuis presque plus d'une décennie et demi (RVP3, NAVEP, RALI ...)

Protéger Valoriser pour Développer

L'idée de l'organisation en 2015 de la conférence internationale RALI2015, sous le haut patronage de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, l'appel de Marrakech, l'édition d'un numéro spécial des Notes et Mémoires du Service Géologique (El Hariri et Chennaoui, 2018) (le premier d'une série qui soit dédiée au patrimoine géologique marocain), présentant le patrimoine d'une manière simple mais non simpliste... toutes des actions s'inscrivant dans une démarche complète et intégrée visant la préservation, la valorisation et la promotion du patrimoine géologique levier incontournable de développement durable :

1. Exhibitions à l'occasion de RALI 2015 au palais des congrès de Marrakech.
2. Exposition au Centre Culturel Golf Atlas Marrakech à l'occasion de la célébration de la journée internationale de la Terre.
3. Exposition lors du Workshop IGCP 653 organisé par l'Université Cadi Ayyad en 2018.
4. Des projets de recherche internationaux: Projet de l'Académie des Sciences et Techniques Hassan II; Projet ANR(RALI); CNRST-CNRS...
5. Des procédures engagées pour l'inscription du *Lagerstätte* des Fezouata dans le patrimoine national puis de l'UNESCO.
6. Travaux de recherche (04 thèses soutenues).
7. Une base de données de toute la collection de Marrakech et une modélisation 3D des spécimens de ladite collection.



Figure 9 : Emission de timbres postaux lors de la Conférence Internationale RALI 2015, de gauche à droite : Météorite de Tissint, Anomalocaride *Aegirocassis benmoulai*, Stromatolites d'Aït Saouï; Arthropode *Marella - Furca sp.* (Marrellomorpha)



Figure 10 : Revues, numéros spéciaux et ouvrages sur Fezouata (région de Zagora, Maroc)

Les concrétisations au Maroc vis-à-vis du Patrimoine Géologique

Des efforts louables et estimables déployés visant la promotion du patrimoine géologique marocain, portés soit par le ministère de tutelle; Ministère de l'Énergie, des Mines et du Développement Durable (MEMDD), par la société civile; Association Pour la Protection du Patrimoine Géologique Marocain (APPGM), International Council On Monuments and Sites (ICOMOS); Association Marocaine des Sciences de la Terre (AMST), Association Marocaine de Géologie (AMG); ou par des universitaires marocains de renommée.

Le Géoparc M'Goun, labellisé en 2014 par l'UNESCO et intégré dans le « Global Geopark UNESCO»; le Décret de loi, l'adoption du 14 novembre comme journée nationale du Patrimoine Géologique Marocain, quelques initiatives louables de création de musées privés ou publics dédiés au Patrimoine Géologique au Maroc sont d'ores et déjà mises en place... Au-delà de tous ces efforts, il est fondamental qu'une loi dédiée au Patrimoine Géologique Marocain et avec ses différentes composantes (fossiles, minéraux, météorites, géosites...) demeurant encore ni bien connues ni préservées, puisse voir incessamment le jour, car s'agissant d'un patrimoine national non renouvelable et d'une très grande valeur scientifique et universelle.



Figure 11 : Photo du 14 novembre 2018, présentation de l'Appel de Marrakech à l'occasion de la 1^{ère} Journée Nationale du Patrimoine Géologique du Maroc

Bibliographie

- Allison, P.A., 1988. Konservat-Lagerstätten: cause and classification. *Paleobiology*, 331–344.
- Brennan, S. T., Lowenstein, T. K. & Horita, J., 2004. Seawater chemistry and the advent of biocalcification. *Geology*, 32, 473–476.
- Azizi A. 2019. Étude du passage Ediacarien-Cambrien dans l'Anti-Atlas occidental; paléontologie, sédimentologie, stratigraphie et évolution des ecosystems. Thèse de Doctorat, *inédit* (FST, UCA Marrakech, Maroc, 225p).
- Cook, P. J., Shergold, J. H., 1984. Phosphorus, phosphorites and skeletal evolution at the Precambrian–Cambrian boundary. *Nature*, 308, 231–236.
- El Albani, A., Bengtson, S., Canfield, D. E., Bekker, A., Macchiarelli, R., Mazurier, A., Fürsich, F. T., 2010. Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1 Gyr ago. *Nature*. 466, 100.
- El Hariri, K., & Chennaoui-Aoudjehane, H., 2018. La conférence internationale RALI2015, The Rise of Animal Life, Cambrian and Ordovician Biodiversification. Promoting Geological Heritage: Challenges and issues, sous le haut patronage de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, *Spécial Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc* dédié au Patrimoine Géologique du Maroc.
- El Hariri, K., & Kouraiss, K., 2018. Fezouata Biota : Un Patrimoine paléontologique unique au monde - une fenêtre ouverte sur la transition entre Explosion cambrienne et

- Grande biodiversification ordovicienne (Anti-Atlas, Maroc). Numéro Spécial Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc dédié au Patrimoine Géologique du Maroc. 77-97.
- Gutiérrez-Marco, J.C. & Martin, E.L.O., 2016. Biostratigraphy and palaeoecology of Lower Ordovician graptolites from the Fezouata Shale. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 460, 35–49.
- Kouraiss, K., 2019. Sur le mémoire de thèse, présentée à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech (Université Cadi Ayyad) pour obtenir le grade de: Docteur, par Khaoula KOURAISS et intitulé: Préservation et valorisation des gisements fossilifères à préservation exceptionnelle de l'Ordovicien inférieur (480 Ma) de la région de Zagora (Anti-Atlas central, Maroc). Thèse de Doctorat, *inédit* (FST, UCA Marrakech, Maroc, 225p).
- Kouraiss, K., El Hariri, K., El Albani, A., Azizi, A., Mazurier, A., Vannier, J., 2018. X-ray microtomography applied to fossils preserved in compression: Palaeoscolecoid worms from the Lower Ordovician Fezouata Shale. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 508, 48–58.
- Lefebvre, B., El Hariri, K., Lerosey-Aubril, R., Servais, T., Van Roy, P., 2016a. The Fezouata Shale (Lower Ordovician, Anti-Atlas Morocco): a historical review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 460, 7–23.
- Lefebvre, B., Guensburg, T. E., Martin, E. L., Mooi, R., Nardin, E., Nohejlová, M., Saleh, F., Kouraiss, K., El Hariri, K., & David, B., 2019. Exceptionally preserved soft parts in fossils from the Lower Ordovician of Morocco clarify stylophoran affinities within basal deuterostomes. *Geobios*, 52, 27-36.
- Martin, E. L., 2016a. Communautés animales du début de l'Ordovicien (env. 480 Ma): études qualitatives et quantitatives à partir des sites à préservation exceptionnelle des Fezouata, Maroc: *Unpublished Ph. D* (Doctoral dissertation, Thesis, Lyon 1 University, France, 483p).
- Martin, E.L., Lerosey-Aubril, R., Vannier, J., 2016b. Palaeoscolecoid worms from the Lower Ordovician Fezouata Lagerstätte, Morocco: Palaeoecological and palaeogeographical implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 460, 130–141.
- Seilacher, A., 1970. Begriff und Bedeutung der Fossil-Lagerstätten. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 34–39
- Van Roy, P., Orr, P.J., Botting, J.P., Muir, L.A., Vinther, J., Lefebvre, B., Hariri, K. el, Briggs, D.E.G., 2010. Ordovician faunas of Burgess Shale type. *Nature* 465, 215–218. doi:10.1038/nature09038
- Vannier, J., Vidal, M., Marchant, R., El Hariri, K., Kouraiss, Pittet, B., K., El Albani, A., Mazurier, A., Martin, E.L. 2019. Collective behaviour in 480-million-year-old trilobite arthropods from Morocco. *Scientific Reports* volume 9, Article number: 14941 (2019).
- Vaucher, R., Pittet, B., Hormière, H., Martin, E. L., & Lefebvre, B., 2017. A wave-dominated, tide-modulated model for the Lower Ordovician of the Anti-Atlas, Morocco. *Sedimentology*, 64(3), 777-807.