

RECHERCHE GÉOLOGIQUE, GÉOCONSERVATION ET EXPLOITATION COMMERCIALE DES SITES FOSSILIFÈRES

Juan Carlos GUTIÉRREZ-MARCO

*Instituto de Geociencias, Consejo Superior
de Investigaciones Científicas (CSIC) –
Universidad Complutense, Madrid (Espagne)*



1. Présentation

Depuis les temps des contributions de William Smith et de Charles Lyell au 19^{ème} siècle, les fossiles conservés dans les roches sédimentaires ont été associées à divers aspects de la recherche géologique, tels que la datation relative des couches, la reconstruction des anciens environnements de sédimentation ou la connaissance de la répartition des terres et des mers, ainsi que leur évolution temporelle, entre autres facteurs. La découverte de gisements paléontologiques importants et même de fossiles uniques, présentant un intérêt particulier pour l'évolution, est intégré au patrimoine géologique du type paléontologique, qui fait partie du patrimoine naturel et qui peut être inventorié et protégé en vue de sa préservation future (IUCN, 2012, 2016; ProGEO, 2011; Díaz-Martínez et al. 2013, 2016; Delvene et al., 2018; Vegas et al., 2019; DeMiguel et al., 2020).

Le Maroc présente une géodiversité élevée et une qualité exceptionnelle d'affleurements géologiques, appelé «paradis des géologues», capables de servir de base pour plusieurs géoparcs mondiaux, portant le label UNESCO, à l'avenir. Il en va de même sur le plan paléontologique, déjà depuis le milieu du XX^{ème} siècle des monographies sur les riches gisements du Paléozoïque de la Meseta et de l'Anti-Atlas ont commencé à être publiées sous la direction de Henri et Geneviève Termier, dans les magnifiques documents des *Notes et Mémoires* du Service géologique du Maroc, qui comportent 2 tomes en 5 volumes de la *Paléontologie Marocaine* (Figure 1), avec presque 1400 pages et des centaines de planches de fossiles (Termier & Termier, 1947, 1950a–d).



Figure 1 : À gauche, couverture d'un des volumes du tome II de la *Paléontologie marocaine* de Henri et Geneviève Termier (1950d). À droite, deux des livres qui rassemblent et diffusent de façon moderne le riche patrimoine paléontologique marocain (Lebrun, 2018).

Un certain nombre de fossiles abondants ont été étudiés depuis longtemps; ce sont les ammonites du Haut et Moyen Atlas et aussi les vertébrés du Plateau des phosphates qu'on trouve dans la monographie de Camille Arambourg (1952), avec la description de plusieurs requins et autres poissons et reptiles (Figure 2).

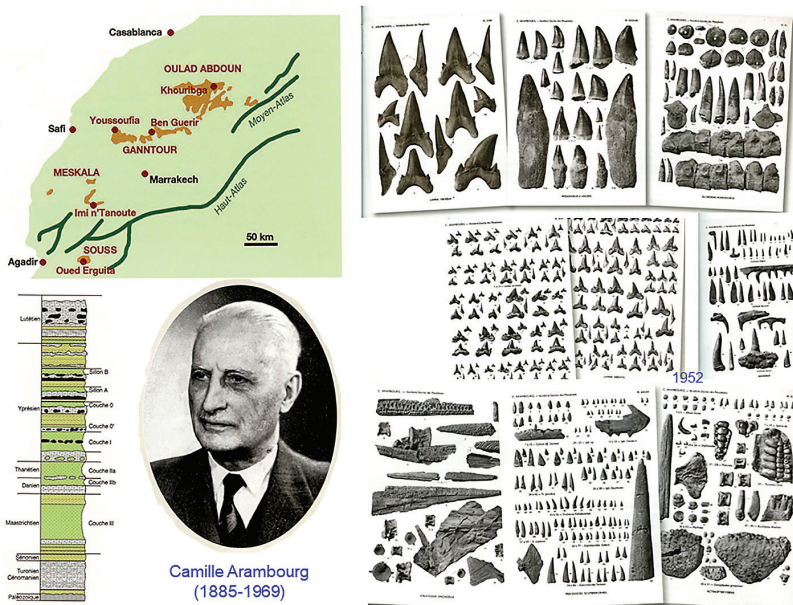


Figure 2 : À gauche, schéma de localisation des principaux bassins phosphatés au Nord d'Agadir et colonne stratigraphique des différentes couches minières (selon divers auteurs, in Lebrun, 2019). À droite, reproduction par Lebrun (2019) de neuf des 44 planches de la monumentale monographie d'Arambourg (1952), qui avait décrit plusieurs faunes de requins et poissons osseux, ainsi que des reptiles (mosasaures, plésiosaures, elasmosaures, crocodiliens, ...).

Ce genre de documents sont destinés aux scientifiques et sont donc peu connus du grand public.

Les choses ont changé depuis l'an 2000, avec l'apparition de publications populaires, lorsque Stephen Jay Gould publia un livre qui dénonce la vente de faux fossiles, sous le titre «Les pierres truquées de Marrakech» (Figure 3).

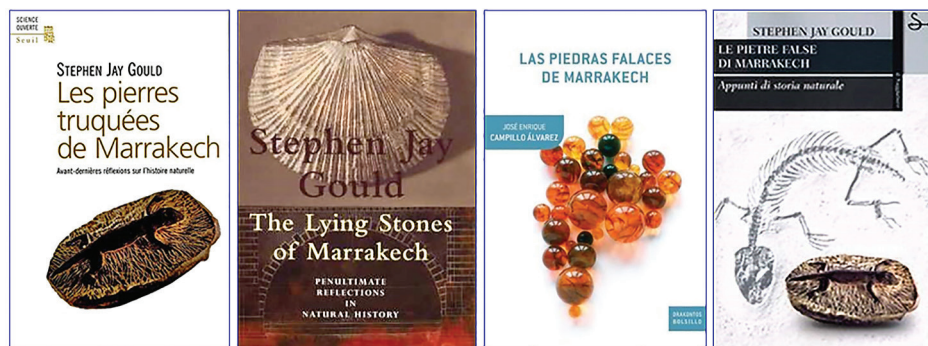


Figure 3 : Couverture du livre de Gould (2000, centre gauche) et traductions en plusieurs langues (français, espagnol, italien...).



Figure 4 : À gauche, portrait du professeur Beringer de Würzburg, avec deux des pierres originales (grenouilles copulant et araignée avec sa toile) et reproduction de deux planches de son œuvre *Lithographiae Wirceburgensis* (publiée en 1726), avec de faux fossiles d'animaux et de corps célestes. À droite, scorpions et trilobites faux, produits actuellement en série dans les ateliers de l'Anti-Atlas oriental, au Maroc.

L'autre document qui va attirer l'attention sur les fossiles du Maroc est un article dans le très célèbre journal *The New York Times*, en l'an 2000, sous le titre : «The Fossil Frenzy» (la frénésie des fossiles). Là, l'existence d'une authentique «industrie des fossiles» au Maroc est créditée, dont la vente rapporte environ 40 millions de dollars par année. Selon le journaliste Lawrence Osborne, c'est un commerce qui n'est pas régulé mais qui, déjà en 2000, constituait le principal moyen de vie d'environ 50 000 marocains.

En 2010, une série documentaire de la BBC très réussie, intitulée «First Life» et présentée par le célèbre naturaliste David Attenborough, explique comment au Maroc sont recherchés et produits les fameux trilobites dévoniens avec une grande qualité de préparation, permettant de bien voir les épines que portaient ces animaux (Figures 5 et 13). Les fossiles sont collectés dans des tranchées étroites, à mi-pente de certaines montagnes, qui s'étendent sur des kilomètres dans les régions de Tafilalt et de Maïder (Anti-Atlas oriental), et sont ouverts par des ouvriers locaux travaillant dans des conditions très difficiles au milieu de zones désertiques.



Figure 5 : Couverture de l'édition DVD de la série documentaire «First Life», qui traite des origines de la vie sur Terre. Différentes séquences de localités de trilobites au Maroc sont présentées avec la participation du spécialiste britannique Richard A. Fortey. Un très beau spécimen de trilobite épineux est donné ici à titre d'exemple (dans le coin inférieur droit).

Le grand public connaît les fossiles du Maroc parce qu'ils sont présents dans tous les musées et boutiques de minéraux et fossiles du monde entier, et également à travers les nombreuses foires (ou bourses) des fossiles et des minéraux (Figure 6).

Les principales foires internationales qui font l'exhibition et la vente des fossiles marocains sont :

- * Tucson (USA) : Janvier-Février; avec plusieurs exposants/vendeurs marocains étaient présents (Figure 6);
- * Sainte-Marie-aux-Mines (France) : Juin, généralement avec plus d'une centaine de vendeurs marocains;
- * Denver (USA) : Septembre;
- * Munich (Allemagne) : Octobre, avec une cinquantaine de exposants marocains (Figures 6-7); et
- * Tokyo (Japon) : Novembre-Décembre.

A ces événements internationaux, il faut ajouter les nombreuses foires nationales et régionales qui se tiennent chaque année en Belgique, France, Allemagne, Grande Bretagne, Italie, Espagne, Suisse, etc., et où les fossiles du Maroc atteignent également une grande importance commerciale.



Figure 6 : En haut, point de vente de fossiles de vertébrés du Crétacé supérieur et du Paléogène provenant de bassins phosphatés marocains, exposés à la Foire de Munich en 2018. En bas, stand avec de grosses dalles de trilobites et d'échinodermes du Paléozoïque de l'Anti-Atlas à la Foire de Tucson aux USA en 2020.

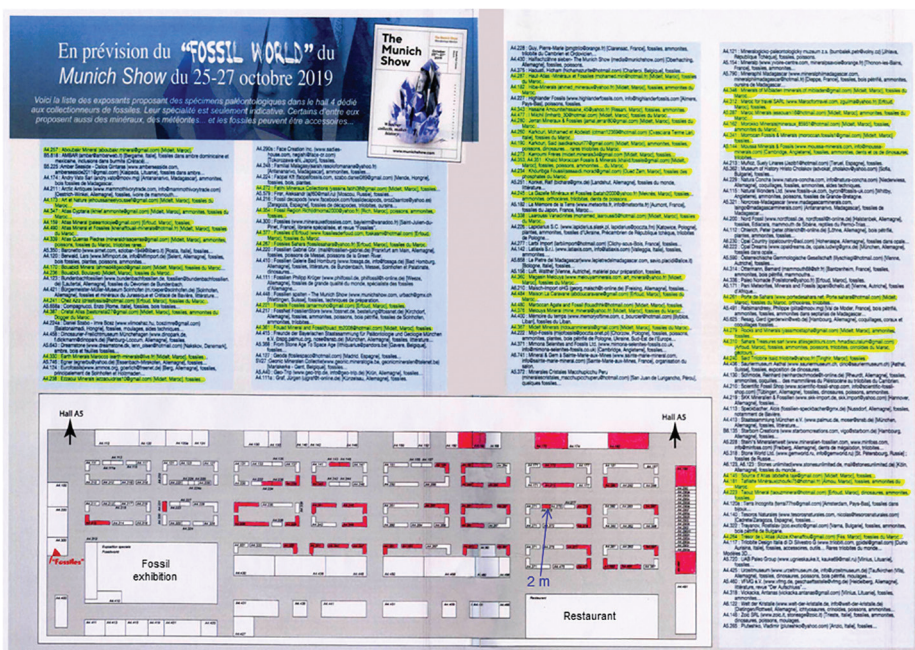


Figure 7 : Liste des exposants et plan général du pavillon dédié aux fossiles à la Foire de Munich (Allemagne) en 2019, avec en bas le plan général de la foire qui montre (en rouge) les stands des marchands marocains. Reproduit et adapté de *Fossiles*, n° 39 (Juillet-Août-Septembre 2019), p. 62-63.

La présente conférence tente aussi de montrer les éléments remarquables associés au commerce de fossiles au Maroc et ses conséquences sur l'étude et préservation/dégradation du patrimoine géologique. Les éléments clés de ce genre de commerce sont des personnes, les plus humbles, qui ouvrent manuellement des tranchées et des carrières au milieu du désert à la recherche de fossiles, des artisans qui préparent et restaurent des fossiles et en produisent des copies ou des récréations à valeur exclusivement esthétique, les ateliers de travail sur les roches ornementales riches en fossiles, et les principaux espaces de vente de la région de l'Anti-Atlas (zone présaharienne). La gamme de fossiles concernés s'étend des invertébrés paléozoïques, âgés de 570 à 340 millions d'années, aux ammonites, aux dinosaures exceptionnels et à d'autres rares vertébrés du Crétacé, âgés de 70 à 100 millions d'années.

2. L'industrie des fossiles du Maroc

Les principaux aspects de cette industrie des fossiles ont été traités de manière moderne par Gutiérrez-Marco & García-Bellido (2018) et Lebrun (2018), les premiers dans un rapport général, avancé en ligne, par la Société géologique de Londres. Cette publication est restée gratuite pendant 22 jours et, dans cette situation, le document a été téléchargé plus de 4 000 fois; ce qui explique le grand intérêt que mérite la problématique du commerce de fossiles marocains.

La Figure 8 montre les principaux centres de l'industrie des fossiles paléozoïques et mésozoïques de l'Anti-Atlas, avec une concentration dans la partie Est de cette chaîne.

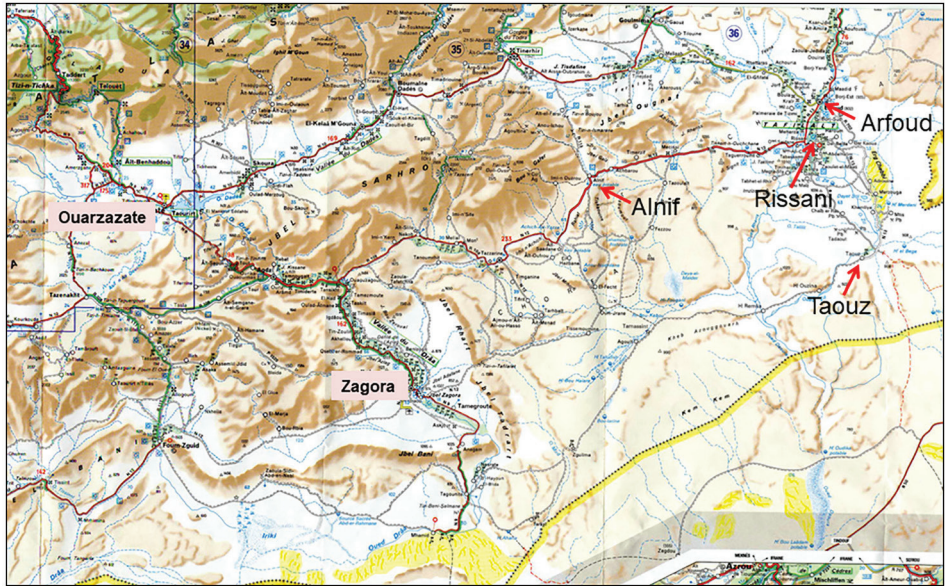


Figure 8 : Principaux centres du commerce des fossiles, situés dans l'Anti-Atlas oriental (flèches rouges)

L'étude de la situation a permis de dégager un **schéma général de cette industrie**, qui est subdivisée en deux parties :

A. Fossiles pour collection ou pour décoration, les groupes suivants étant impliqués

- Des ouvriers qui travaillent à creuser des tranchées, carrières et mines, mal payés, souvent analphabètes appartenant à des groupes familiaux ou incorporant individus de tribus nomades, berbères et arabes vivant dans le désert ou dans les hameaux (Figure 9);
- Des préparateurs et des ouvriers de coopératives («usines de fossiles») du niveau basique installés dans les villages et les villes. Ce groupe comprend également des «artisans» dévoués à la reconstruction, sculpture et contrefaçon de fossiles;
- Des préparateurs hautement spécialisés, produisant des spécimens de qualité muséale (tels que des trilobites épineux), utilisant des vibro-outils pour le travail au micro-percuteur pneumatique et la technique du micro-sablage pour dégager les fossiles (Figure 10);
- Commerces de proximité et commerçants marocains «**de niveau moyen**», qui vendent dans les bourses ou en ligne dans le Sud de Maroc;
- Des vendeurs/commerçants marocains internationaux «**haut niveau**», qui participent en tant qu'exposants aux foires les plus prestigieuses, ou qui vendent des fossiles en tant que grossistes à l'étranger.

B. Roches ornementales fossilifères, ce sont les :

- «Marbre Tazarine», cela correspond aux «calcaires noirs à orthocères» (= Calcaire à *Temperoceras* d'après Kröger, 2008) du Ludlow supérieur (Silurien) ;
- «Marbre d'Erfoud» ou calcaires brunâtres ou rougeâtres du Dévonien Moyen-Supérieur (avec par exemple des goniatites de grande taille du genre *Gonioclymenia*).

Les figures 9 à 14 résument les principales activités de la population locale participant à «l'économie des fossiles», telles que décrite par «*The New York Times*», également appelé «économie des trilobites» par Sicree (2009).

Les figures 9 et 10 montrent quelques tranchées, petites carrières et mines creusées par les travailleurs les plus humbles au milieu du désert; la Figure 11 illustre le travail des «préparateurs de base», qui installent leurs ateliers même dans la rue et travaillent avec leur mains ou avec de petits outils électriques. Ces deux groupes forment, avec les artisans et les «fabricants» de faux fossiles (voir ci-dessous), la «couche sociale» la plus nombreuse et élémentaire de la population vivant du commerce des fossiles.

La suivante «couche sociale», qui est la plus élevée parmi les préparateurs de matériel paléontologique est composée d'experts hautement spécialisés en trilobites dévoniens, y compris de nombreuses espèces épineuses, dont l'excellente préparation de qualité muséale apporte une énorme valeur ajoutée aux produits.

En raison de la renommée de ces trilobites du Dévonien marocain dans le monde entier, il convient d'expliquer brièvement le processus laborieux nécessaire pour obtenir et préparer ces fossiles si remarquables (Figures 12, 13). Tout d'abord, de longues tranchées parfois poursuivies sur des kilomètres, sont creusées à la main dans l'affleurement naturel (Figure 5). En même temps les creuseurs fendent systématiquement la roche à la recherche de sections de trilobites, qu'ils plongent dans l'eau pour améliorer le contraste (Figure 12g). Les trilobites sont emmenés au laboratoire pour poursuivre leur préparation. Une fois arrivés, les deux moitiés de la roche encaissant le trilobite sont collées ensemble, le fossile est lentement libéré de la matrice environnante en découpant habilement avec diverses aiguilles reliées à un micro-percuteur pneumatique (Figure 12a,c). Une connaissance préalable de la morphologie de chaque espèce permet d'établir des phases séquentielles dans la préparation des épines principales et secondaires (Figure 12b). Dans le cas des trilobites à grandes épines, comme *Dicranurus* (Figure 13a-b), ceux-ci sont soigneusement séparés et disposés de manière à pouvoir être recollés sur la carapace à la fin du processus de nettoyage (Figure 12c-e). La préparation se termine par l'utilisation de micro-sableuses pour éliminer les particules restantes coincées à la surface (Figure 12d) et avec le passage d'une très fine couche du vernis pour retrouver la couleur originelle du fossile. La base des spécimens est vissée sur les couvercles en tupperware (Figures 12e, 13a-b), et ces récipients sont utilisés comme protection contre la poussière pendant le stockage et le transport. Parfois, la préparation de certains trilobites avec des épines minuscules, spécialement délicates (Figure 13e), se fait exclusivement avec la sableuse, utilisant des poudres minérales (habituellement dolomie ou oxyde de fer) d'une granulométrie comprise entre 25 et 80 microns.

Selon la morphologie des trilobites du Dévonien de l'Anti-Atlas, le temps consacré au dégagement d'un seul spécimen peut varier entre 4 heures de travail spécialisé pour les espèces de carapace simple (sans épines), jusqu'à plus de 50 heures dans les cases plus «délicats» et épineux.



Figure 9 : Activités de fouilles anciennes et récentes dans l'Ordovicien de l'Anti-Atlas : (a), «Mines de trilobites» abandonnées, exploitées dans les années 1970, dans le niveau à *Flexicalymene ouzregui* (Katien supérieur) près d'Oum-Jrane, désormais visible sous la forme d'une ligne de talus effondré de couleur claire; (b), excavation dans l'une des multiples fouilles de la «faune de Fezouata» (Tremadocien supérieur) au nord de Zagora; (c), carrière pour collecter la «faune de Tafilalt» (site de Bou Nemrou au nord de Ksar Tamarna, Sandbien inférieur), actuellement épuisée et abandonnée; (d), tranchée pour les échinodermes et les trilobites sur le site de la colline Isthlou (Katien inférieur-moyen, SO du Ksar Tamarna). Images reproduites de Gutiérrez-Marco & García-Bellido (2018).



Figure 10 : Activités de creusement dans le «calcaire à *Scyphocrinites*» du Silurien. (a), Vue aérienne (de Google Earth) de la séquence monoclinale du Silurien supérieur au sud-ouest d'Erfoud montrant des affleurements des deux lits de calcaires successifs (avec symboles dip & strike) et l'impact de l'industrie extractive des fossiles (tranchées et fosses); (b, c), puits verticaux creusés à la main dans des schistes noduleux altérés, stratigraphiquement placés sous le calcaire à *Scyphocrinites*, montrant les points d'appui réguliers dans la paroi; (d), à partir de chaque puits verticale, une ou plusieurs galeries horizontales s'étendent pour atteindre la couche basale de calcaire avec un seul niveau préservant les tiges et les calices articulés des scyphocrinoïdes; (e), l'horizon fossilifère est extrait par fragments qui sont réassemblés à l'extérieur, où l'argile est décapée avec un traitement mécanique et chimique combiné; (f), détail de deux calices articulés de *Scyphocrinites elegans*, après la préparation et le collage des dalles ensemble dans les ateliers à Erfoud (Anti-Atlas oriental). Images en partie reproduites de Gutiérrez-Marco & García-Bellido (2018).



Figure 11 : Exemples des «laboratoires de préparation» artisans dans les rues de Rissani (a) et d’Erfooud (c), avec des ouvriers préparant des morceaux de calcaire noir à orthocères du Silurien, par découpe à l’aide de scies radiales (c). Les détails montrent d’autres travaux développés sur les calcaires dévoniens, y compris la retouche périphérique des fossiles avec un marteau (b) et le polissage sélectif des orthocères et goniatites à l’aide d’un petit moteur électrique (d).



Figure 12 : Préparation hautement spécialisée de trilobites dévoniens préservés dans les calcaires micritiques. Les travailleurs utilisent un micro-percuteur pneumatique pour dégager les fossiles (a, c), une loupe oculaire binoculaire Optivisor (a, c-e) et une micro-sableuse opérée à l'intérieur d'une boîte de prothésiste dentaire (f). Pour une explication détaillée, voir le texte. En (b) s'illustre un spécimen de *Walliserops* à moitié préparation, avec le «trident» antérieur caractéristique mais avec les trois rangées de petites épines (une sur l'axe et deux sur les plèvres) encore à l'intérieur de la roche. En (g) il y a un morceau de calcaire humide et fendu montrant une petite section transversale d'un trilobite enroulé, difficile à distinguer avant la préparation. Images en partie reproduites de Gutiérrez-Marco & García-Bellido (2018).

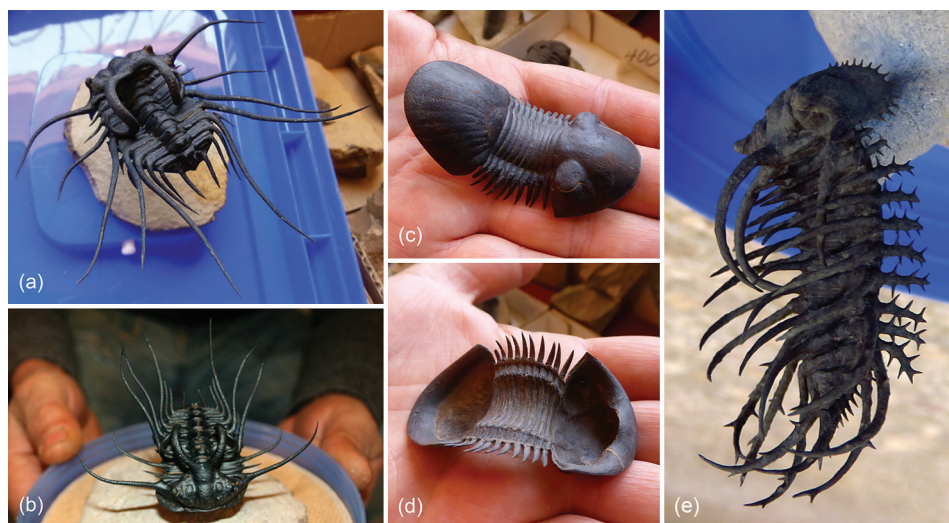


Figure 13 : Préparation exceptionnelle de certains trilobites du Dévonien de l'Anti-Atlas.

(a, b), *Dicranurus monstruosus*, un odontopleuride à longues épines comportant des «cornes» en forme de bélier sur le céphalon; (c, d), *Paralejurus* sp., un styginide également préparé par voie ventrale, de façon à ce qu'il est complètement exempt de la matrice rocheuse; (e), *Koneprusia* sp., un odontopleuride délicat et épineux, en vue latérale droite.

Images reproduites de Gutiérrez-Marco & García-Bellido (2018).

Concernant les activités basées sur les roches ornementales fossilifères, celles-ci sont exploitées principalement dans la région de Tafilalt et impliquent des unités calcaires d'épaisseur relativement faible (de plusieurs décimètres à quelques mètres), mais qui ont une grande continuité latérale d'affleurements. Les plus anciennes datent du Ludfordien («Calcaires à *Temperoceras*», Figure 13) et les plus jeunes sont du Famennien («Calcaires à *Gonioclymenia*», Figures. 15-16).

L'excavation des carrières se faisait manuellement (entre 1970-1990), par la suite les exploitants utilisaient des grues et de gros engins pour tailler et transporter de gros blocs de calcaire vers les ateliers d'Erfoud et de Rissani. Là, ils sont coupés, polis et transformés en divers objets, tel que des tables, des éviers, des bases de douche, des fontaines, des carreaux de sol, des plateaux et assiettes, des vases, des porte-bouteilles, des cadres de miroirs, des figures et sculptures artistiques, des boîtes en pierre, des presse-papiers, des dessous de verre, etc... La commercialisation de ces produits se fait dans ces ateliers et/ou dans les bazars, les boutiques et les maisons privées réparties dans toute la région, d'où sont expédiés par voie terrestre, maritime ou rarement par avion aux quatre coins du monde, d'une manière non rapide vers les pays les plus éloignés, mais étonnamment efficace.

Un fait surprenant lié à l'exploitation massive de la roche ornementale, en tant que ressource géologique régionale, est que souvent elle n'affecte pas le patrimoine géologique. La raison est que les affleurements naturels, où le calcaire est fissuré et cassant, ne peuvent pas être utilisés pour fabriquer des produits, de sorte que les tranchées et les carrières finissent par «respecter» les unités fossilifères qui apparaissent à la surface

(Figure 14). Malheureusement, ce sont parfois les déblais qui finissent par couvrir certains niveaux fossilifères intéressants, intercalés entre les «calcaires commerciaux», comme cela s'est déjà produit avec plusieurs horizons de la succession du Dévonien, et dont la surexploitation entraîne parfois la destruction totale des affleurements (Hartenfels & Becker, 2018).

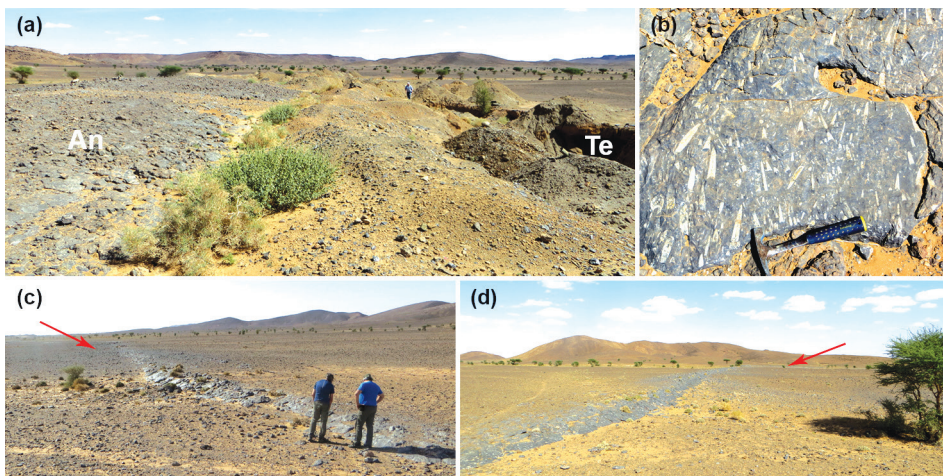


Figure 14 : Calcaire à *Temperoceras* (= «calcaires noirs à orthocères») du Ludfordien (Ludlow) au Sud-Est d’Erfoud. (a) Affleurement naturel (An) et tranchée d’exploitation de la couche (Te), suite à son pendage vers le sud (à droite sur l’image); (b), détail du calcaire à la surface, montrant l’abondance des nautiloïdes du genre *Arionoceras*; (c-d), affleurements de ce même calcaire silurien dans des endroits éloignés des voies de communication (année 2019), avec des conditions optimales pour une exploitation commerciale. Les flèches rouges indiquent les endroits où la continuité se poursuit visuellement.

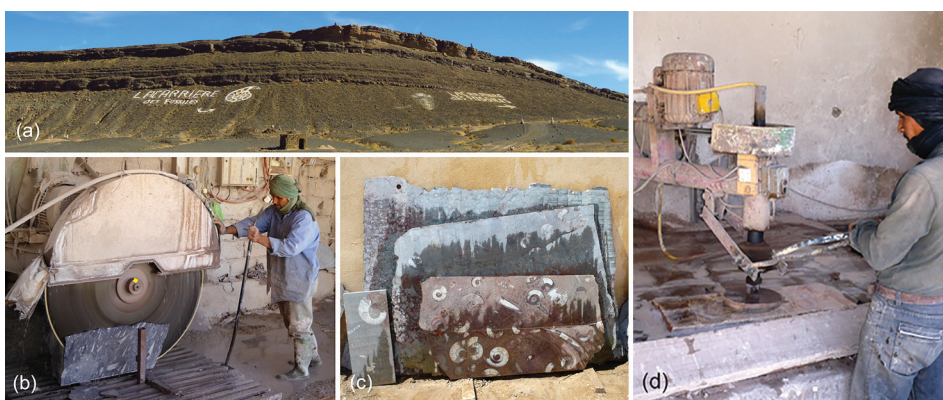


Figure 15 : Travaux d’extraction et de préparation de roches ornementales dans le Tafilalt. (a), Affleurement du Dévonien inférieur au Sud d’Erfoud avec de grandes enseignes en pierres peintes à la main indiquant la route d’accès à une carrière vendant des fossiles; (b) scie à disque coupant un bloc de calcaire noir silurien; (c) dalles taillées dans du calcaire dévonien avec de gros ammonioïdes (*Gonioclymenia*) avant polissage; (d) processus de polissage avec un petit bras abrasif de mouvement circulaire. Images (b)-(d) prises à la «Macro Fossiles Kasbah» d’Erfoud, et reproduites de Gutiérrez-Marco & García-Bellido (2018).

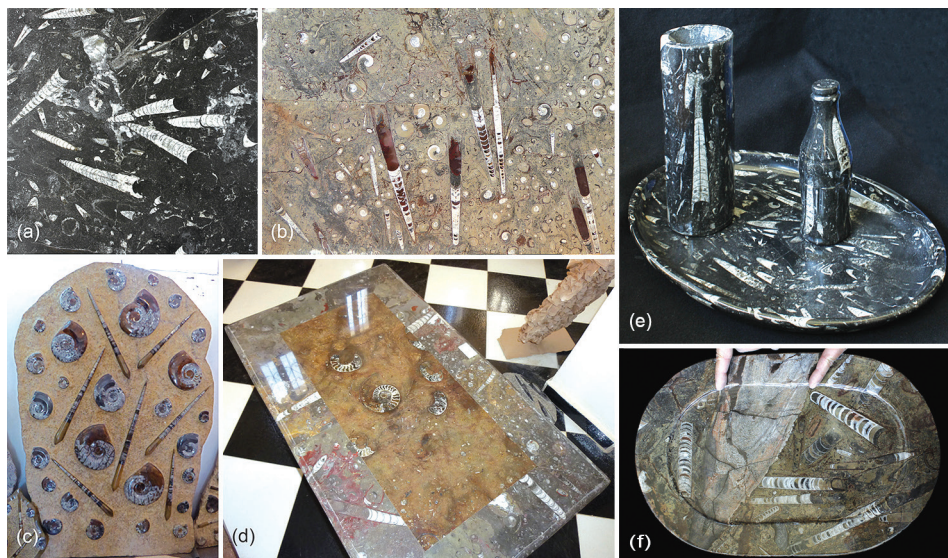


Figure 16 : Exemples de roches ornementales riches en fossiles de la région de Tafilalet :
 (a) calcaire noir silurien («pierre de Tazarine») présentant plusieurs fragmocones d'*Arionoceras* sp.; (b) calcaire du Dévonien brun à rougeâtre («dalles d'Erfoud», non poli) avec des nautiloïdes orientés sur fond de petites goniatites;
 (c) un «composite» d'échantillons polis de *Gonioclymenia* (gros ammonoïdes) et des nautiloïdes longicones, assemblés artificiellement en une seule plaque;
 (d) vue supérieure d'un dessus de table en pierre combinant deux types de «dalles d'Erfoud» d'horizons et avec des fossiles différents; (e) plateau, vase et bouteille sculptés dans le calcaire noir silurien avec des nombreux spécimens d'*Arionoceras* sp.; (f) plateau en calcaire du Dévonien montrant des restes de nautiloïdes et une section d'un crâne de poisson (voir les doigts de la personne pour l'échelle). Images reproduites de Gutiérrez-Marco & García-Bellido (2018).

3. L'artisanat des fossiles du Maroc

Debrenne (2003) a divisé en trois étapes les processus conduisant à la falsification des fossiles marocains, notamment les trilobites. L'étape (I) consiste à reconstruire des spécimens incomplets pour les faire apparaître entiers et ainsi faciliter leur vente. Les parties manquantes sont reconstituées avec fragments d'autres trilobites, avec des morceaux de roche collée et sculptée ou avec des matériaux synthétiques. La coloration finale de la surface avec des vernis ou pigments minéraux tend à masquer la nature et le pourcentage de l'intervention. L'étape (II) de la falsification, consiste à produire de faux trilobites avec des parties vraies («style Frankenstein»). L'étape (III) correspond à un remplacement total des spécimens par des imitations sous forme des moulages ou de sculptures.

Sur la Figure 17, on peut voir des contrefaçons de trilobites de type III, parmi lesquelles se détachent les «tableaux de la vie au Dévonien» (selon Debrenne, 2003: Figures 17e-f). Ceux-ci correspondent généralement à des plaques de calcaire à contours arrondis ou elliptiques sur lesquelles sont montés un ensemble de 5-9 répliques de différentes espèces de trilobites. Le résultat est des pièces assez bon marché et attrayantes pour la décoration ou pour les néophytes. Ces pièces sont produites en masse, avec pratiquement aucune différence entre une pièce ou une autre. Il en va de même pour les spécimens individuels d'autres trilobites, comme certaines des formes épineuses très coûteuses (à comparer *Dicranurus* sur les Figures 4 et 13). Le travail de reproduction à partir d'un moulage négatif du fossile original se fait avec des outils simples, en le remplissant d'une pâte composée d'une mixture de poussière de roches broyées avec une résine epoxy cohésive, ou directement avec du mastic de carrossiers.

D'autres manufactures spectaculaires tirées à partir de moulages sont les «pétrifications» des scorpions, lézards, crabes, etc. (Figures 3, 4), dont la texture indique qu'ils auraient pu être moulés et sculptés à partir d'animaux actuels. Ces faux fossiles sont les soi-disant «pierres truquées de Marrakech» (Gould, 2000), faisant allusion à leur similitude avec des pièces fabriquées en Allemagne 250 ans plus tôt (Figure 4). Cependant, l'origine de ces contrefaçons se situe très probablement dans les ateliers de l'Anti-Atlas et non à Marrakech, où seules quelques pièces arrivent à la vente. Rappelons, par ailleurs, que le toponyme Marrakech est parfois utilisé pour signifier le Maroc, et c'est très probablement dans ce sens que Gould (2000) l'a utilisé dans son ouvrage. Selon Debrenne (2003), «la capitale de la contrefaçon est Midelt, au nord du Haut Atlas, dont la population est intégrée au marché de fossiles». Mais en réalité la même intégration de la population à ce marché se produit dans d'autres endroits de l'Anti-Atlas où des copies sont produites massivement, comme par exemple à Rissani, Alnif, Tazarine et Tabourit.

En ce qui concerne les trilobites, les contre façons de type (II) et (III) sont vendues par les producteurs et commerçants marocains à des prix proches de l'artisanat, comme c'est le cas avec les presse-papiers scorpion ou d'autres «pierres truquées». La reconstitution et la réintégration des parties manquantes prédominent dans les grandes plaques de scyphocrinoïdes du Silurien et également parmi les grands ammonoïdes du Mésozoïque, qui ont généralement la partie centrale sculptée, ou avec des tubercules manquants et même des côtes artificiellement ajoutées. Une partie des énormes dalles à trilobites du Cambrien et de l'Ordovicien (Figure 6), ainsi que les mélanges de grosses goniatites et des orthocères (Figure 16c), sont en fait des «composites» qui rassemblent des spécimens authentiques ou partiellement reconstruits, pour faire pièces uniques et même exceptionnelles pour la décoration et les musées.

De toute façon, l'«Association Artisanat des Artisans et Commerçants des Fossiles d'Erfoud» (sic) a été créée récemment pour garantir dès l'origine l'authenticité des pièces en vente et résoudre les problèmes liés à l'excès de contrefaçons qui entrent sur le marché.

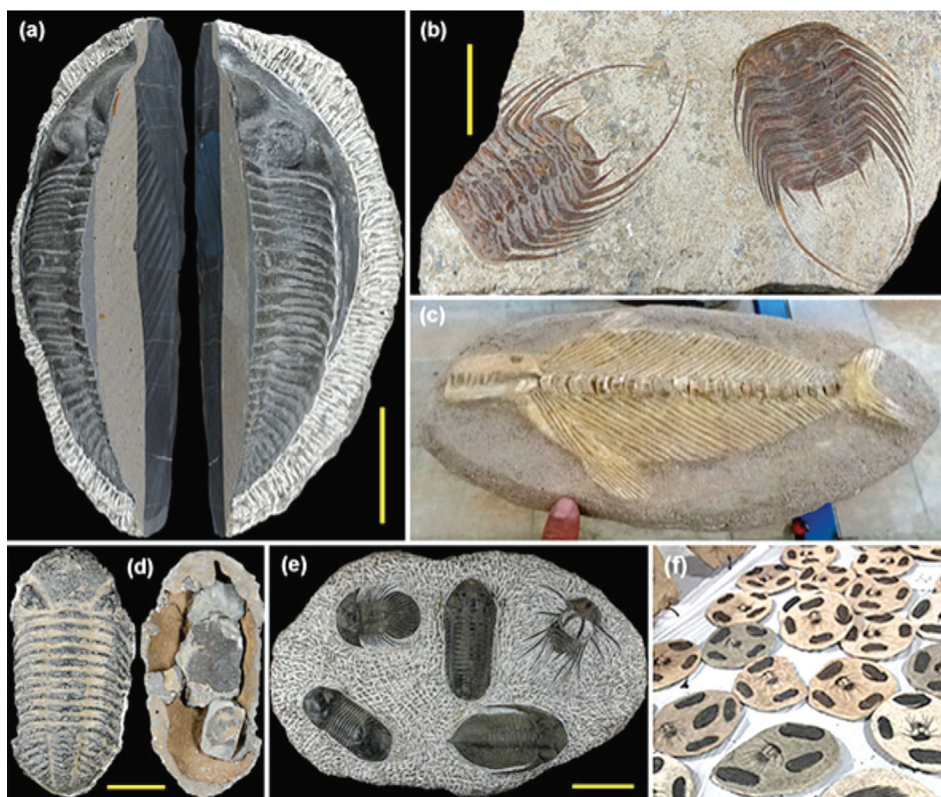


Figure 17 : Quelques exemples de contrefaçons trouvées à Erfoud. (a), Réplique époxy d'un spécimen d'*Odontochile* monté sur de la vraie pierre. La coupe longitudinale révèle qu'elle consiste en une fine couche de résine foncée appliquée par le haut dans un moulage négatif concave (elle est épaissie au centre), puis remplie de mastic de carrossier de couleur claire, pour finir montée sur un calcaire gris sombre. La matrice environnante a été calibrée pour imiter les marques de préparation normales par des vibro-outils ou des points; (b), deux *Selenopeltis* ordoviciens, magnifiquement sculptées en grès fin; (c), une chimère qui ressemble à un poisson fossile avec une tête de reptile, sculptée dans du plâtre mélangé avec de l'argile, et avec de vraies vertèbres des poissons fossiles montées en son centre; (d) faux trilobite phacopide, entièrement coulé en résine, après avoir été détaché de la matrice rocheuse. La vue inférieure (à droite) montre le renforcement interne avec divers morceaux de roche; (e), une «paella trilobite» typique, montrant cinq fausses espèces différentes, avec des signes de bulles d'air dans la matrice et les exosquelettes; (f), «paellas» ou «pizzas» trilobitiques en vente à la Foire Tucson 2020, comme un produit typique de l'artisanat marocain. Barres d'échelle, 40 mm (a, b, e), 30 mm (d). Images de l'auteur, adaptées de Gutiérrez-Marco & García-Bellido (2018).



Figure 18 : (a) Exemple de façade dans l'un des grands magasins à Erfoud, annonçant la «fabrication» de fossiles, comme les grandes ammonites taillées en grès et exposées de part et d'autre de la porte; (b) signalisation de rue à Rissani d'une association de «sculpteurs» de roches, dédiée aux fossiles; (c), détail d'une dalle rocheuse photographiée dans un magasin au col du Tichka (Haut Atlas) montrant, de haut en bas, des sculptures d'ammonite du Crétacé, d'oursin, d'holothurie, d'étoile de mer et, à droite et coexistant avec les autres, un poignard berbère «fossilisé»; (d) façade d'un autre magasin, avec représentations de fossiles, au bord de la route entre Erfoud et Rissani; (e), magasin récemment construit, avec service de snacks et hébergement, dans un endroit isolé sur la route entre Msissi et Alnif, mentionnant une exposition de fossiles pour la vente.

4. Aspects positifs (?) du commerce de fossiles à grande échelle au Maroc

Si nous jugeons l'étendue de l'industrie des fossiles au Maroc et examinons ses localités d'origine sur le terrain, il est clair que les fouilles excessives et/ou la recherche massive de fossiles de surface infligent souvent des dommages irréparables et à des degrés divers au patrimoine paléontologique du Maroc. Cependant, en plus de ces inconvénients patrimoniaux, il y a aussi parfois des avantages incontestables que nous devons mentionner. Certains d'entre eux ont même un impact décisif sur le développement scientifique de la paléontologie mondiale, et d'autres fournissent des moyens de subsistance à de larges segments de la population locale.

Si nous considérons tous les aspects positifs possibles que le commerce des fossiles marocains peut générer, en fonction de leur signification temporelle, deux grands groupes peuvent être reconnus :

A. Contemporains

- Les fossiles sont la principale source de revenus pour quelque 58 000 personnes qui vivent de ce commerce dans le Sud et le Sud-Est du Maroc,
- Le nombre de possibilités d'emplois dans les régions désertes de l'Anti-Atlas est très limité, malgré l'amélioration du secteur touristique, des services et des emplois occasionnels dans la construction ou l'agriculture.

B. Permanents

- L'activité extractive et commerciale à grande échelle centrée sur les fossiles du Maroc, au cours des 20 dernières années, a constitué une avancée sans précédent dans la stratigraphie et la paléontologie du Paléozoïque et du Mésozoïque en Afrique, surtout dans la connaissance des paléofaunes gondwaniennes et africaines dans son contexte mondial;
- Progrès de 3 à 4 générations d'études paléontologiques internationales (au moins un siècle) sur les fossiles paléozoïques, mésozoïques et cénozoïques;
- Découverte «fortuite» de Fossil-Lagerstätten variés d'intérêt international (Cambrien, Ordovicien, Crétacé...), avec des cas remarquables de préservation exceptionnelle, ouvrant des fenêtres sur le passé et l'histoire de la vie (Figures 19 et 20). Cela place le Maroc dans une position mondiale pour le développement des sciences géologiques, comme en témoignent les résultats publiés dans de prestigieuses revues telles que *Nature*, *Science*, *PNAS*, *Scientific Reports*, *Geology*, etc. Et certainement, les surprises scientifiques continueront de se produire dans la mesure où ces fouilles commerciales se poursuivent;
- La caractérisation de plus d'un millier de nouveaux genres et espèces d'invertébrés et de vertébrés fossiles, dont beaucoup présentent un grand intérêt évolutif et paléobiogéographique.

Les Figures 19 et 20 montrent deux des gisements dits «à préservation exceptionnelle» (ou *Fossil-Lagerstätten*) de l'Ordovicien de l'Anti-Atlas, récemment popularisés dans le magazine *Géochronique* (Lefebvre, 2020). Les conditions de fossilisation qui s'y produisent sont si particulières que non seulement les «squelettes» des animaux sont conservés (coquilles, carapaces), mais aussi les organismes de corps mou et d'autres restes organiques peu ou pas minéralisés.

Le premier des Lagerstätten est celui de l'Ordovicien inférieur (Tremadocien supérieur-Floien) qui a fourni le «Biota de Fezouata» (Figure 19), et qui comporte des éléments comparables au «Biota de Burgess Shale» du Cambrien canadien. La faune de Fezouata est préservée dans un schiste vert très fin, et constitue un jalon entre Explosion cambrienne et Grande Biodiversification ordovicienne, deux des étapes majeures dans l'Histoire de la vie sur Terre (Lefebvre et al., 2016; El Hariri, ce volume).



Figure 19 : Groupes de recherche sur la plaine de Ternata au nord de Zagora (Anti-Atlas central), «localité-type» du Lagerstätte des Fezouata de l'Ordovicien Inférieur.

Les photographies de dessous reproduisent deux des arthropodes les plus connus dans la presse mondiale sur le site, qui figurent aussi sur des timbres postaux marocains (un marrellomorphe à gauche et un radiodonte géant à droite). Le portrait correspond à Mohamed Ben Moula, le fouilleur et marchand de fossiles qui a découvert le site, primé par la Palaeontological Association britannique pour ce fait. La dernière photo correspond à un trilobites asaphide en vue ventrale, qui conserve les appendices.

Le deuxième exemple de Lagerstätte vient de l'Ordovicien Supérieur (Sandbien-Katien) et a permis la caractérisation de la «Bioti du Tafilalt» (Figure 20). Il est dominé par des concentrations de trilobites et d'échinodermes (essentiellement des ophiures ou des éocrinoides) enfouis vivants par des avalanches de sable. À eux s'ajoutent des organismes avec cuticules coriaces ou faiblement minéralisées, tels que des formes discoïdes énigmatiques, des vers palaeoscolecids et machaeridiens, des arthropodes chéloniellides, etc. Une caractéristique remarquable des gisements est que la conservation de tous ces organismes, y compris celle de certains organes internes des trilobites, se produit dans les grès grossiers et est très similaire à la préservation du «type Ediacara» (Neoproterozoïque d'Australie).

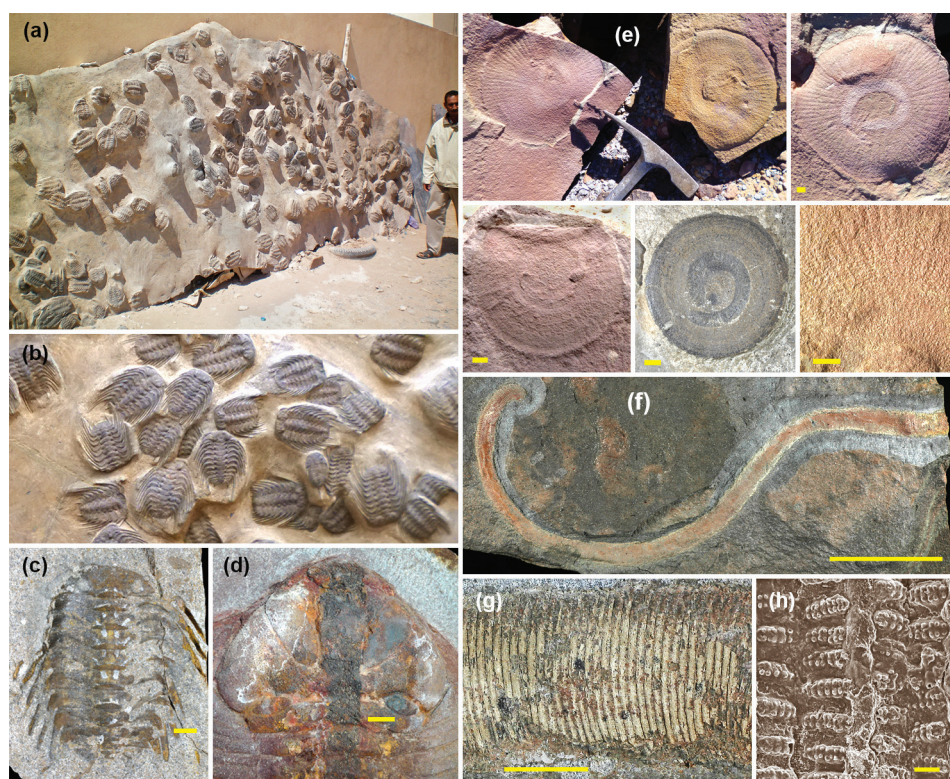


Figure 20 : Quelques fossiles du Lagerstätte de Tafilalt. (a-b), Niveaux de concentration de trilobites épineux (*Selenopeltis*); (c-d) vestiges d'anatomie interne sur le thorax de *Selenopeltis* (c) et trace du tube digestif (bande axiale sombre) au céphalon d'*Uralichas*; (e), *Discophyllum*, un fossile discoïde énigmatique (eldonioïde); (f-h), *Gamascolex*, un ver palaeoscolecide avec sa cuticule (g) et sclérites (h) finement phosphatées. Gisements : (a-b), Bou Tchrafine au sud-est d'Erfooud; (c-h), Bou Nemrou au Jbel Tijarfaïouine (El Qaid Errami). Barres d'échelle : 50 mm (f), 10 mm (c-e), 5 mm (g) et 100 microns (h).

Les exemples précédents ne sont pas les seuls lieux d'un intérêt paléontologique exceptionnel dans le Paléozoïque de l'Anti-Atlas : des spécialistes travaillant sur les matériaux du Précambrien, Cambrien, Silurien, Dévonien et Carbonifère ont également signalé des nombreuses localités fossilifères d'importance mondiale, bien qu'elles ne

conserver pas des organismes à corps mous et ne rentrent donc pas dans la catégorie des Fossil-Lagerstätten. Cependant, dans les affleurements mésozoïques les plus méridionales de l'Anti-Atlas oriental (au sud du Maïder), les couches de Kem-Kem ont récemment fourni le soi-disant «Gara Sbaa Fossil Lagerstätte», avec divers vertébrés (poissons, lézards), crustacés, insectes et plantes préservés dans les calcaires lithographiques dont l'âge probable serait le Cénomanien (Martill et al., 2011).

5. Détérioration du patrimoine paléontologique marocain et perspectives d'avenir

Sans aucun doute, des fouilles excessives aux niveaux fossilifères les plus importants sur le plan commercial (Figure 21) ou les collectes intensives de fossiles à la surface (Figure 22) entraînent des dommages irréparables à la plupart des gisements paléontologiques marocains touchés par ces pratiques. Cependant, il ne faut pas oublier que cette même intensité dans la prospection sur le terrain et dans le creusement de tranchées, de carrières et de petites mines, généralement à la main et par des «brigades» d'humbles travailleurs, est à l'origine de beaucoup de découvertes et de nouveautés scientifiques. Il faut aussi remarquer que ces anciens gisements, démunis ou presque de fossiles commerciaux, peuvent encore être utilisés comme moteur de développement pour la région, comme nous le verrons plus loin.

En revanche, le phénomène de destruction généralisée du patrimoine paléontologique de l'Anti-Atlas doit également être examiné en pourcentage, par rapport à la surface des matériaux géologiques affectés. Il est vrai qu'à l'Est de la verticale de Zagora on rencontre des tranchées de recherche ou d'exploitation un peu partout, mais surtout concentrées dans certains endroits des régions de Tafilalt et de Maïder. C'est-à-dire, que la dégradation des affleurements fossilifères n'affecte pas encore l'ensemble de l'Anti-Atlas, mais plutôt une petite partie de son secteur oriental qui coïncide avec la zone la plus peuplée et la plus visitée en raison de la bonne infrastructure routière.

De la région d'Alnif et du Maïder à la côte atlantique, la chaîne du Anti-Atlas présente des affleurements continus d'unités paléozoïques peu ou pas fouillées pour l'exploitation commerciale, avec la relative exception de quelques gisements, très ponctuels, de trilobites cambriens, ordoviciens et dévoniens. Dans de nombreux cas, la continuité des mêmes unités fossilifères assure l'existence de «réserves» sur des centaines de kilomètres, intactes pour de futures études scientifiques. Dans d'autres cas, certains faciès particuliers de l'Anti-Atlas oriental n'ont pas encore été reconnus vers le Sud-Ouest, où ils pourraient être remplacés par d'autres dont le contenu paléontologique est dans une phase d'étude très préliminaire.

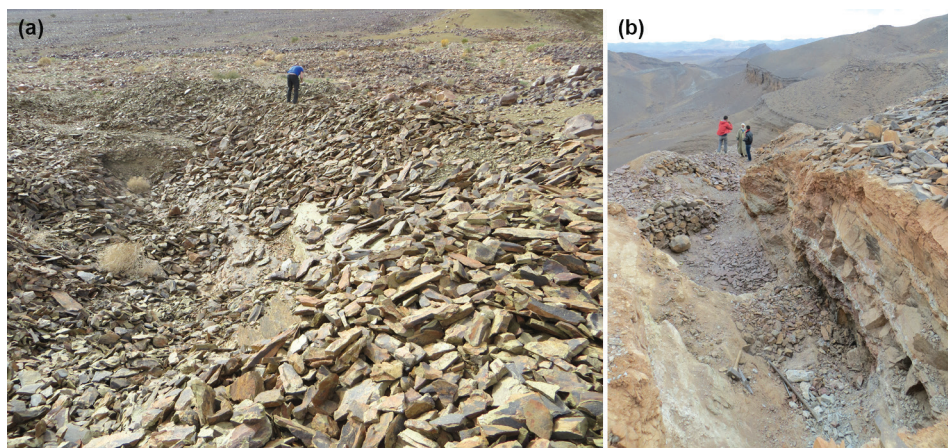


Figure 21 : (a), Etat du gisement fossilifère avec la «faune de Fezouata» (ici du Floien moyen) situé au pied du Jbel Bou Zeroual (nord de Zagora), avec d'abondants déblais d'origine anthropique recouvrant les strates fossilifères; (b), carrière ouverte presque au sommet du site de Bou Nemrou (Jbel Tijarfaïouine) pour obtenir des dalles à éocrinoïdes de la «faune du Tafilalt» (ici du Sandbien basal).



Figure 22 : (a) Sacs et piles de fossiles à l'extérieur du magasin d'un marchand de fossiles, résultant de recherches massives à la surface des affleurements. Ici ont été séparées les goniatites pyritisées, les trilobites enroulés, les bryozoaires ramifiés, les petits coraux, les fragmocones des nautiloïdes longiconiques, etc, qui sont vendus en vrac; (b), empilement de coraux coloniaux massifs; (c), lobolithes (= «flotteurs») des scyphocrinoïdes du Dévonien basal.

D'autres détériorations graves du patrimoine paléontologique marocain affectent les matériaux post-paléozoïques. C'est le cas, notamment, des ammonites du Jurassique et du Crétacé du Haut Atlas (Figure 23), exploitées massivement dans les carrières et même dans les mines de fortune, avec un grand impact destructeur sur les couches qui les contiennent. Aussi des dinosaures et autres vertébrés du Crétacé supérieur des couches de Kem Kem (Figure 24), où les découvertes paléontologiques d'intérêt ne s'arrêtent pas (Ibrahim et al., 2020a, 2020b). Cependant, dans ce cas les fossiles de vertébrés sont rares et correspondent généralement à des éléments isolés transportés par d'anciennes rivières, alors que l'activité commerciale (actuellement presque limité aux petites mines) est la seule chose qui soutient le rythme des découvertes paléontologiques. Du point de vue de

leur extension, les deux formations géologiques, composant le Groupe du Kem Kem et constituant l'escarpement de la Hamada vers l'Est et le Sud-Est de l'Anti-Atlas, peuvent être suivies sur quelques centaines de kilomètres (Figure 24).

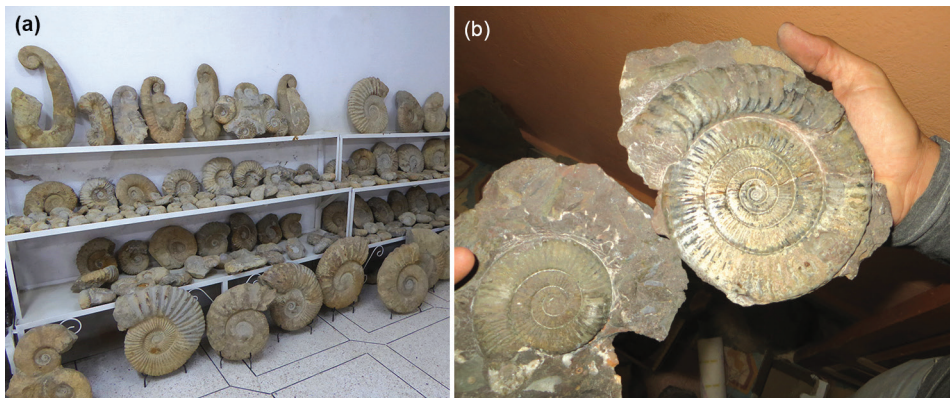


Figure 23 : Ammonites du Crétacé (a) et du Jurassique (b) du Moyen et Haut Atlas, en vente à Erfoud.

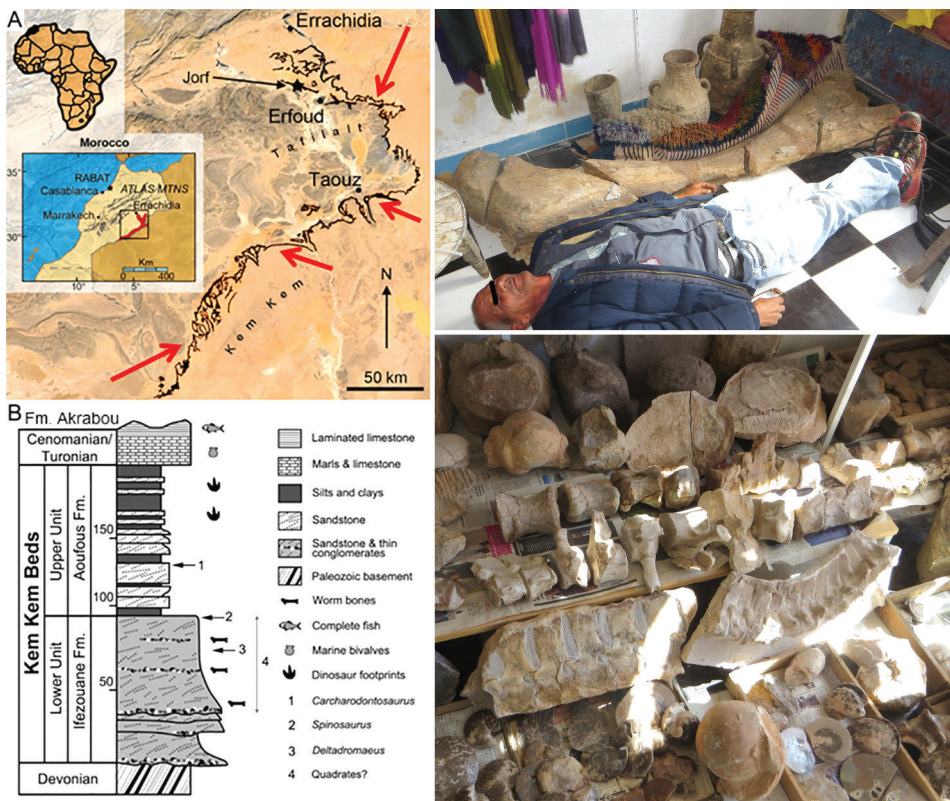


Figure 24 : Distribution géographique des affleurements, log stratigraphique et vente de dinosaures du Groupe Kem Kem. À gauche, selon Hendrickx et al. (2016). En haut à droite, un vendeur est à côté d'un fémur pour servir d'échelle. En dessous, vertèbres articulées et autres ossements.

Notons enfin, que la tentative de vente aux enchères d'un spécimen de plésiosaure (qui en fait un assemblage à partir de quatre individus, et plus de 25% reconstitué en résine), a donné lieu en 2017 à une polémique internationale; ce qui a réveillé une certaine sensibilisation des citoyens marocains au patrimoine géologique. Rappelons que cette histoire s'est terminée par l'annulation de la vente en question et, heureusement, la restitution du fossile au Maroc, grâce notamment aux nombreuses tractations de l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM) et aussi l'intervention efficace de diverses instances diplomatiques et organismes nationales.

En tout cas, cet épisode du plésiosaure contribuera à réfléchir sur l'importance du contenu fossilifère des bassins phosphatés où, comme à Khouribga, l'État marocain possède une licence exclusive et a installé doré et déjà un premier Musée dédié pour illustrer cette richesse paléontologique des séries phosphatées. Cela signifie que les milliers de restes de crocodiles, mosasaures et plésiosaures du Crétacé (Figure 25) qui entrent chaque année dans les circuits commerciaux ont une origine illégale, tout comme les dizaines de milliers de dents de requin du Paléocène-Éocène, ou les centaines de dents et mandibules de basilosaures (cétacés primitifs) du bassin de Bou-Craâ, dans la province de Lâayoune. Ces fossiles semblent être liés aux niveaux riches en minéral phosphaté (Figure 25) et, pour cette raison, ils sont donc systématiquement détruits au fur et à mesure de l'exploitation de chaque couche dans les différentes mines. En d'autres termes, le célèbre plésiosaure et d'autres fossiles remarquables qui apparaissent en permanence ne seraient aujourd'hui rien de plus que de la poudre de phosphate minéral... Et personnellement, je suis convaincu que le matériel paléontologique qui a été «sauvé» pour cette vente illégale, ne représente qu'une infime partie de tout ce qui est détruit quotidiennement avec l'activité minière. Cependant, tant sur le plan étique que juridique, le problème semble impossible à résoudre.

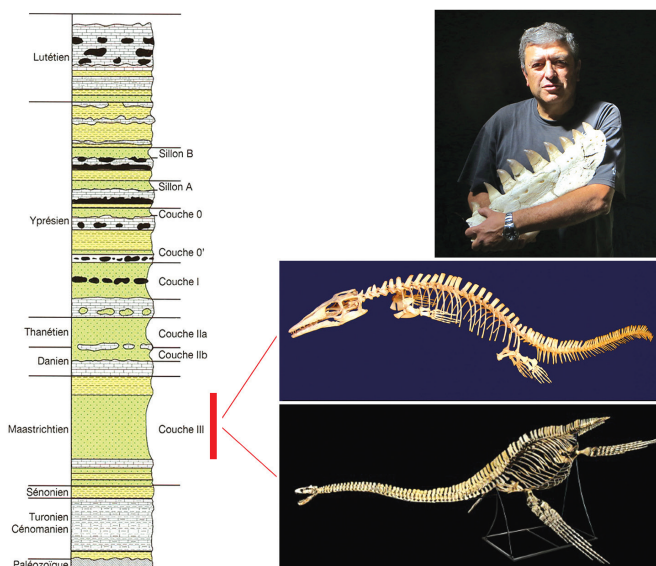


Figure 25 : Colonne stratigraphique de la succession phosphatée des Oulad Abdoun dans la zone minière du Grand Daoui (à l'Est de Khouribga), avec le découpage minier en couches et sillons phosphatés (selon différents auteurs in Lebrun, 2019). À droite et de haut en bas, trois des fossiles du Crétacé Supérieur (Maastrichtien, Couche III) du Bassin de Khouribga : l'auteur avec une mâchoire supérieure d'un mosasaure; squelette complet d'un autre mosasaure; squelette du plésiosaure rapatrié de France (longueur environ 7 m).

6. Conclusion : Réflexions et perspectives sur l'avenir du patrimoine paléontologique marocain

En tant que scientifique, collaborant depuis des années à la recherche paléontologique au Maroc, je souhaite tout d'abord présenter cette contribution comme un ensemble d'idées relatant de mes réflexions personnelles uniquement. Dans les organes ministériels et dans l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc, il y a beaucoup plus de gens avertis et sages qui sauront élaborer une législation juste et équilibrée pour protéger les affleurements dont l'intérêt scientifique est certain; et aussi pour prendre en compte les intérêts de la population locale; car environ 58 000 personnes vivent aujourd'hui de cette activité.

Sur le plan économique, il s'agit d'une industrie qui génère environ 40 millions de dollars par an. Elle est relativement modeste par rapport à de nombreuses entreprises dédiées à l'exploitation des ressources géologiques, qu'elles soient minérales ou énergétiques. Cependant, le fait que les fossiles fixent et soutiennent un nombre si élevé de personnes dans les zones désertiques, telles que l'Anti-Atlas oriental, signifie que toute décision de sauvegarder strictement le patrimoine paléontologique peut avoir un effet indésirable et dévastateur sur le facteur humain, ce qui nécessite des efforts dans la recherche de solutions adéquates à ce problème.

Au vu des considérations qui précèdent, la première décision qui devrait être prise pourrait être de maintenir temporairement la situation des zones actuellement exploitées commercialement, en interdisant peut-être l'utilisation d'explosifs ou de machines lourdes ou individuelles (telles que pelles rétro et marteaux perforateurs, par exemple), pour éviter de multiplier la dégradation des gisements paléontologiques dans l'avenir immédiat. Cependant, cela ne s'appliquerait pas dans les carrières dédiées à l'obtention des roches ornementales pour la coupe et le polissage, à condition qu'ils aient les permis appropriés.

La deuxième décision, après avoir reconnu le territoire pris "de facto" par la population vivant des fossiles, mais avec des méthodes d'extraction traditionnelles, serait d'instaurer une interdiction totale pour empêcher le commerce d'*envahir* le reste de l'Anti-Atlas. Pour cela, un point de référence réaliste pourrait être établi, par exemple en convenant d'une ligne méridienne près de la localité de Zagora, définie par les sites de la «faune de Fezouata», à partir de laquelle près des trois quarts de l'Anti-Atlas deviendraient une «réserve paléontologique naturelle» consacrée aux études scientifiques uniquement. Cette ligne, de longitude 5° 35' W, pourrait parfaitement servir cet objectif et préserver les réserves paléontologiques à l'ouest de celle-ci.

Le moment présent est tout à fait opportun pour la prise en compte d'une telle décision, parallèlement au désenclavement de cette zone par le gouvernement, par la construction de réseau primaire de routes rurales et puits d'eau à de nombreux endroits de ce territoire largement dépeuplé; ce qui favorise l'installation de nombreux établissements agricoles. Il me semble donc urgent d'empêcher, à l'Ouest de cette ligne longitudinale, une partie de «colons» nouvellement arrivés de rechercher et de commercialiser les fossiles, sous prétexte de complément pour leurs revenus agricoles, voire même en tant que «professionnels» selon le modèle de l'Anti-Atlas oriental. Ceci d'autant plus que les territoires situés le long de la vallée du Draa regroupent également divers lieux d'intérêt géologique et paléontologique.

Concernant la «faune de Fezouata» et d'autres sites géologiques, les premières étapes ont déjà été franchies pour lancer des initiatives de géotourisme liées au développement durable (El Hariri & Lefebvre, 2015; Lagnaoui et al., 2015; Beraaouz et al., 2019; Lahmidi et al., 2020; El Hariri, ce volume).

En ce qui concerne l'Anti-Atlas oriental, l'avenir du commerce des fossiles doit d'abord surmonter les facteurs intrinsèques de tout marché, où le renouvellement permanent des produits fossilifères destinés au commerce n'est pas indéfini. Autrement dit, si chaque année le marché n'est pas «alimenté» par de nouveaux trilobites ou par d'autres fossiles rares, il viendra un moment où les fossiles ordinaires satureront ce marché, entraînant nécessairement une perte de la valeur commerciale; ce qui pourrait coïncider avec l'épuisement et l'abandon des principales couches fossilifères. Certains commerçants locaux visionnaires ont déjà perçu ce risque et, profitant des réseaux touristiques qui se sont multipliés dans la région ces dernières années (autour des dunes, exotisme, aventure et sport extrêmes), ont donc commencé à proposer des visites géotouristiques sur des sites paléontologiques et autres lieux d'intérêt géologique (Figure 26). Ces excursions se font en véhicules tout-terrain accompagnés d'un guide de fortune, et visitent généralement les gisements d'invertébrés du Paléozoïque une fois que leur exploitation a cessé; ceci est encouragé par l'existence des morceaux de fossiles ou d'autres groupes sans intérêt commercial se trouvent encore sur place, parmi les déblais. Cette utilisation des anciennes fouilles et tranchées s'étend également aux secteurs en déclin (*i.e.* les «mines» de dinosaures) dans les couches de Kem Kem (Figures 24 et 26), dont les visites impressionnent les géotouristes, par l'emplacement des sites, les méthodes et les risques d'excavation pour obtenir un si petit nombre de restes d'ossements fossiles (dents et fragments de dents).

Pour le développement futur d'une région avec un patrimoine paléontologique aussi vaste que celui de l'Anti-Atlas, nos idées concordent avec celles d'El Hassani et *al.* (2017), qui soutiennent, entre autres idées pouvant contribuer au développement durable de la région, la nécessité d'un futur musée des sciences de la Terre à Rabat, mais combiné avec la construction de petits musées régionaux, ainsi que la création de géoparcs, la réalisation de panneaux explicatifs à fixer sur des géosites ou itinéraires géologiques, déjà inventoriés et connus; et, enfin, la fabrication et la vente de moulages au lieu des fossiles originaux.

Cette idée de géoparcs labellisés UNESCO avait été suggérée pour l'Anti-Atlas par Errami et *al.* (2015) pour l'élaboration d'un géoparc paléontologique thématique pour la région d'Alnif-Erfoud (Anti-Atlas oriental), avec des nombreux gisements paléozoïques. Une autre initiative est celle du Géoparc du Bani (Lahmidi et *al.*, 2020) dans la vallée du Draa (Anti-Atlas central).

En attendant, il existe heureusement quelques musées privés dans la région et, à titre d'exemple, on cite le musée Tahiri à Erfoud (Figure 26a) et le musée Tarbalt à Midelt, qui permettent de se rendre compte de cette richesse paléontologique du Maroc. Cependant, il devrait y en avoir plusieurs, si possible publics, au moins à Zagora, Alnif et dans le centre-ville d'Erfoud.

Il manque également construire plusieurs centres d'interprétation géologique essentiels : par exemple le site dédié aux stromatolithes néoproterozoïques d'Amrane-n'Tourhart (25 km au SE de Ouarzazate); le site consacré à la succession siluro-dévonien et au stratotype global (GSSP) pour la limite Eifélien-Givétien au Jbel Mech Irdane (SW Rissani); et un troisième site à Merzane (SE d'Erfoud), à côté des monticules spectaculaires de Hamar Lakhdad, appelés Kess Kess pour sa similitude morphologique avec le nom local donné au couscoussier traditionnel (El Hassani et al., 2017). Ces trois exemples sont identifiés depuis longtemps et diverses institutions travaillent activement à leur démarcation, protection et diffusion, comme l'atteste les nombreuses publications sur ces sites (voir par exemple Hartenfels et al., 2018).

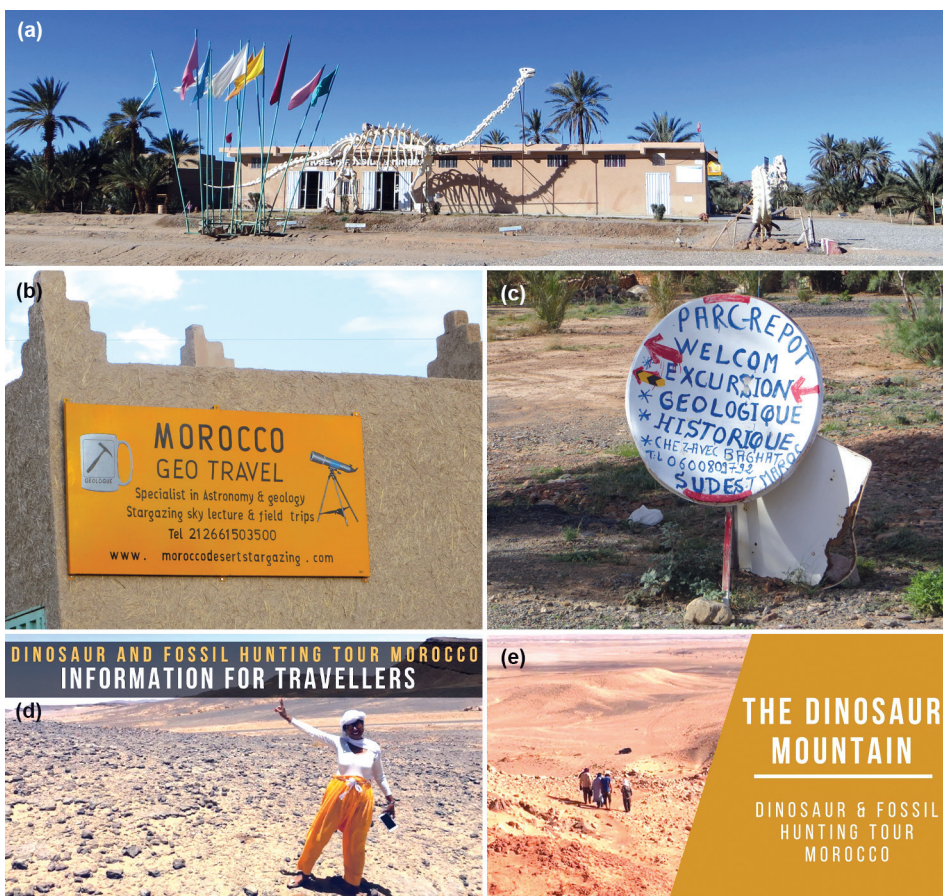


Figure 26 : (a), Extérieur du musée Tahiri (privé) avec des espaces pour la préparation et la vente des fossiles et minéraux, situé dans la palmeraie entre les villes d'Erfoud et Rissani; et reconnaissable par le squelette de sauropode modelé sur la façade principale; (b, c), deux exemples d'initiatives personnelles qui proposent des visites géologiques dans la région de Merzouga (b) et près de Timarzit (c); (d-e), exemple d'une offre géotouristique annoncée sur internet pour visiter les sites de dinosaures du Kem Kem, en combinaison avec certains gisements paléozoïques.

Cependant, le point de départ le plus important pour établir des solutions opérationnelles aux zones affectées pour le commerce des fossiles, notamment dans l'Anti-Atlas oriental, mais aussi dans le Haut et Moyen Atlas et les bassins phosphatés, est de clarifier la philosophie et le régime juridique des fossiles dans la législation marocaine actuelle et future. Ainsi, le patrimoine NATUREL géologique (qui comprend ceux de nature paléontologique) est réglementé dans de nombreux pays par une législation hétérogène et généralement erronée, telle que celle qui tend à inscrire les fossiles dans le cadre du patrimoine «culturel», conjointement avec le patrimoine archéologique, historique ou autres réalisations de l'activité humaine. Lorsque cela se produit, *tous* les fossiles sont soumis à des règles si souvent très restrictives qu'elles empêchent le développement normal de la recherche paléontologique et même géologique.

Selon la législation élaborée par chaque pays, la nature des fossiles (en tant qu'éléments naturels ou faussement «culturels») et les restrictions imposées à la conservation ou à l'utilisation des gisements, peuvent varier de l'interdiction totale pour la collecte de fossiles aux amateurs et aux particuliers, jusqu'à la libre gestion des gisements situés sur des propriétés privées; de sorte que les individus sont libres de creuser et de commercialiser avec tous les fossiles trouvés sur leurs terres. Ce dernier cas se produit aux États-Unis, où la protection des sites paléontologiques concerne des territoires appartenant à l'État mais pas à des propriétaires privés, où les particuliers peuvent vendre et exporter des trilobites et même des tyrannosaures. Les propriétaires fonciers deviennent des entreprises vouées à la prospection de ressources fossiles, comme dans le cas du Wheeler Shale (Utah) pour les trilobites du Cambrien moyen, le Penn Dixie Fossil Park (New York) pour les trilobites et d'autres fossiles de Dévonien, où les gisements de vertébrés lacustres et des plantes éocènes du Green River (Wyoming). Dans ces trois exemples, les entreprises exigent des droits d'entrée aux gisements par heure, jour ou week-end pour les adultes, les enfants et les groupes, avec la devise «keep everything you find». Dans ce cas, les «paléotouristes» peuvent garder tous les fossiles qu'ils trouvent pendant leurs visites. De plus, ces entreprises vendent des boissons, sandwiches, des T-shirts et d'autres souvenirs, des moulages et des fossiles, etc., et organisent de nombreuses activités de vulgarisation paléontologique. Dans certains pays européens comme la Grande-Bretagne et l'Allemagne, des guides paléontologiques sont même publiés et destinés aux collectionneurs/amateurs de fossiles.

Le cas d'Espagne représente un autre modèle législatif extrême qui affecte les fossiles et la paléontologie, soumis à deux lois nationales (celle du Patrimoine Historique de 1985 et celle du Patrimoine Naturel de 2007), à partir desquelles de nombreuses réglementations régionales ont été élaborées dans les différentes communautés autonomes, avec parfois des définitions et des significations contradictoires, mais avec prédominance de l'interprétation «culturelle» (Delvene et al., 2018; Vegas et al., 2019). La conséquence de ce caractère régional effectif, soumis à des conditions restrictives (souvent arbitraires), en dehors de l'esprit de la législation nationale; dérange ou empêche les chercheurs de travailler officiellement dans leur pays et pousse un nombre croissant de paléontologues espagnols à faire leur recherches à l'étranger dans le cadre de collaborations scientifiques.

Quelles que soient les lois futures réglementant la protection des gisements et le commerce des fossiles au Maroc, l'expérience espagnole a montré qu'il n'est ni utile ni opérationnel de confier la gestion patrimoine géologique à des institutions culturelles. Des alternatives à une interdiction totale doivent être recherchées, en privilégiant le côté recherche scientifique, devant l'impossibilité d'une surveillance et de l'application de lois éventuelles dans un territoire désertique aussi vaste. Il convient aussi de noter que tous les fossiles ou gisements ne font pas automatiquement partie du patrimoine géologique/paléontologique (Díaz-Martínez et al., 2013; Carcavilla et al., 2019; DeMiguel et al., 2020); car pour acquérir cette condition il faut faire une évaluation spécifique et positive par un expert paléontologue. Si personne n'a attribué, à juste titre, une valeur pertinente au fossile (généralement scientifique, mais aussi monétaire), il ne doit pas être considéré comme d'intérêt patrimonial.

Nous citerons à titre d'exemples, que dans l'Anti-Atlas existent d'innombrables cas de fossiles très communs sans valeur scientifique, pouvant être vendus (sans contradiction patrimoniale) à des fins muséales, d'enseignement ou de collections privées. L'un des exemples les moins chers est le trilobite ordovicien *Colpocoryphe grandis* (Figure 27), une espèce bien étudiée, qui apparaît au Maroc, en Espagne, au Portugal, en France et en République tchèque, et a pratiquement perdu son intérêt scientifique. Ce trilobite est si abondant au Maroc que des dizaines de milliers de spécimens sont vendus et exportés chaque année (Gutiérrez-Marco & García-Bellido, 2018), de sorte à ce qu'ils soient omniprésents dans les musées, les boutiques, les foires, les expositions et les collections privées du monde entier.

Suivant le modèle nord-américain, les tranchées d'exploitation de *C. grandis* pourraient être rendues accessibles aux «paléotouristes» qui, payant des frais par heure de fouille, pourraient conserver les spécimens qu'ils trouvent et se rendre compte du travail dur et mal payé qu'implique la recherche et la préparation de chaque spécimen (Figure 27). En cas d'exceptions à une éventuelle interdiction générale, cette alternative (idéale pour les groupes) éviterait l'abandon des carrières et des personnes qui y travaillent, constituant une attraction singulière sur le territoire d'un hypothétique géoparc.



Figure 27 : Exemple d'exploitation commerciale d'un gisement de trilobites de l'Ordovicien Supérieur presque mono-spécifique (*Colpocoryphe grandis*), où l'auteur avait assisté à une vente de 28 000 exemplaires à un seul client européen. Les tranchées correspondant à la couche principale (= flèches rouges) sont bien visualisées dans l'image de Google Earth en haut à gauche, et se suivent pendant des kilomètres. Des gisements «inépuisables» de ce type, déjà étudiés scientifiquement, pourraient continuer à fonctionner et à recevoir des visiteurs actifs (les «paléotouristes») dans des circuits touristiques liés au patrimoine géologique.

Une autre activité commerciale, qui suscite l'admiration et porte le nom du Maroc à travers le monde, est la recherche et la préparation de trilobites dévoniens de haute qualité (y compris les espèces épineuses) qui, à mon avis, ne devrait pas s'arrêter par des obstacles de l'administration. D'abord parce que la recherche du matériel emploie un grand nombre des fouilleurs plus humbles, dans un travail très dur que, s'il était interdit, les scientifiques ne pouvaient pas le faire et y seraient les premiers perdants. Rappelons que les spécimens sont d'abord détectés en brisant les pierres et en recherchant des sections des trilobites! puis subissent une préparation minutieuse dans une série d'ateliers avec un personnel spécialisé de grand renommée en paléontologie. Enfin, la transformation de la matière première brute en délicats bijoux «trilobitiques» de qualité muséale est l'activité qui apporte la plus grande valeur ajoutée et une reconnaissance mondiale à l'industrie des fossiles marocains.

Grâce à ces artistes/préparateurs et à cette industrie, des nouvelles espèces de trilobites dévoniens apparaissent continuellement dans différentes couches ou dans des variations latérales de la même couche. Les conséquences d'une loi restrictive seraient donc négatives pour poursuivre le rythme actuel des découvertes scientifiques au Paléozoïque nord-africain et la connaissance des marges des anciens continents entre la désagrégation de Rodinia et la formation de la Pangée.

Remerciements

L'auteur souhaite exprimer sa profonde gratitude au Prof. Ahmed El Hassani, Membre Résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques de Rabat, pour son aide indispensable dans la rédaction et la révision finale de cet article, ainsi que pour l'attention personnelle reçue pendant la célébration du cycle des conférences de la Session plénière solennelle de l'Académie. Je tiens également à remercier M. Carlos Alonso (Université Complutense de Madrid) pour son aide dans la réalisation des illustrations. Je veux finalement mentionner le projet officiel CGL2017-87631-P, qui est celui qui finance ma collaboration avec la recherche paléontologique à l'Ordovicien du Maroc.

Références bibliographiques

- Arambourg, C. (1952) : Les vertébrés fossiles des gisements de phosphates (Maroc-Algérie-Tunisie). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 92 : 1–372.
- Beraaouz, M., Macadam, J., Bouchaou, L., Ikenne, M., Ernst, R., Tagma, T., and Masrour, M. (2019) : An inventory of geoheritage sites in the Draa Valley (Morocco): a contribution to promotion of geotourism and sustainable development. *Geoheritage*, 11 : 241–255.
- Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, A., and Vegas, J. (2019) : *Geoheritage and geodiversity*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 24 p.
- Debrenne, F. (2003) : Faux et usage de faux. *Comptes Rendus Palevol*, 2 (6-7) : 361–372.
- DeMiguel, D., Brilha, J., Meléndez, G., and Azanza, B. (2020) : Geoethics and geoheritage. In: Vasconcelos, C., Schneider-Voß, S. and Peppoloni, S. (eds.), *Teaching Geoethics. Resources for Higher Education*. Universidade do Porto Edições, Porto, 56–71.
- Delvene, G., Vegas, J., Jiménez, R., Rábano, I., and Menéndez, S. (2018) : From the field to the museum: Analysis of groups-purposes-locations in relation to Spain's moveable palaeontological heritage. *Geoheritage*, 10: 451–462
- Díaz-Martínez, E., Carcavilla, L., and García-Cortés, Á. (2013) : Fossils are geologic elements and paleontological heritage is a type of natural heritage. IGME, Cuadernos del Museo Geominero, 15 : 583–589. [en espagnol, avec résumé en anglais].
- Díaz-Martínez, E., Vegas, J., Carcavilla, L., and García-Cortés, Á. (2016) : Base conceptual, estado de la cuestión y perspectivas de la gestión y conservación del patrimonio paleontológico. IGME, Cuadernos del Museo Geominero, 20 : 159–163. [en espagnol, avec résumé en anglais].
- El Hariri, K. (ce volume) : Exemples de protection urgente du patrimoine géologique dans l'Anti-Atlas (faune de Fezouata). In: *Patrimoine naturel et développement durable*. Actes de la Session plénière solennelle Année 2020. Académie Hassan II des Sciences et Techniques du Royaume du Maroc. Hassan II Academy Press, Rabat.
- El Hariri, K., and Lefebvre, B. (2015) : The Fezouata Shale: a model for promoting Moroccan geological heritage. In: El Hariri, K. (coord.), *The International Conference The Rise of Animal Life RALI2015 – Promoting Geological Heritage: challenges and issues*. Cadi Ayyad University, Marrakesh, 49–50.

- El Hassani, A., Aboussalam, S., Becker, T., El Wartiti, M., and El Hassani, F. (2017) : Patrimoine géologique marocain et développement durable: l'exemple du Dévonien du Tafilalt, Anti-Atlas oriental. *Géologues*, 194 : 112–117.
- Errami, E., Brocx, M., Semeniuk, V., and Ennih, H. (2015) : Geosites, Sites of Special Scientific Interest, and potential Geoparks in the Anti-Atlas (Morocco). In: Errami, E., Brocx, M., and Semeniuk, V. (eds.), *From Geoheritage to Geoparks. Case studies from Africa and Beyond*. Springer Verlag, Cham-Heidelberg. Geoheritage, Geoparks and Geotourism. Conservation and Management series, 57–79.
- Gould, S.J. (2000) : *The Lying Stones of Marrakech*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 384 p.
- Gutiérrez-Marco, J.C., and García-Bellido, D.C. (2018): The international fossil trade from the Paleozoic of the Anti-Atlas, Morocco. In: Hunter, A.W., Álvaro, J.J., Lefebvre, B., van Roy, P., and Zamora, S. (eds.), *The Great Ordovician Biodiversification Event: Insights from the Tafilalt Biota, Morocco*. The Geological Society, London, Special Publications, 485. doi: 10.1144/SP485.1 [en-ligne dès 23 Octobre 2018].
- Hartenfels, S., and Becker, T.R. (2018). Age and correlation of the transgressive *Gonioclymenia* Limestone (Famennian, Tafilalt, eastern Anti-Atlas, Morocco). *Geological Magazine*, 155(3) : 586–629.
- Hartenfels, S., Becker, T.R., El Hassani, A., and Lüddecke, F., Eds. (2018) : Field-Guidebook 10th International Symposium “Cephalopods – Present and Past”. *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, 110 : 1–311.
- Hendrickx, C., Mateus, O., and Buffetaut, E. (2016) : Morphofunctional analysis of the quadrate of Spinosauridae (dinosauria: Theropoda) and the presence of *Spinosaurus* and a second spinosaurine taxon in the Cenomanian of North Africa. *PloS ONE*, 11(1) : e0144695, 49 p.
- Ibrahim, N., Sereno, P.C., Varricchio, D.J., Martill, D.M., Dutheil, D.B., Unwin, D.M., Baidder, L., Larsson, H.C.E., Zouhri, S., and Kaoukaya, A. (2020a) : Geology and paleontology of the Upper Cretaceous Kem Kem Group of eastern Morocco. *ZooKeys*, 928 : 1–216.
- Ibrahim, N., Maganuco, S., Dal Sasso, C., Fabbri, M., Auritore, M., Bindellini, G., Martill, D.M., Zhouri, S., Mattalleri, D.A., Unwin, D.M., Wiemann, J., Bonadonna, D., Amane, A., Jakubczak, J., Joger, U., Lauder, G.V., and Pierce, S.E. (2020b) : Tail-propelled aquatic locomotion in a theropod dinosaur. *Nature*, 58 : 67–70.
- IUCN (2012) : *Valuing and conserving geoheritage within the IUCN Programme 2013-2016* (WCC-2012-Res-048-EN). Resolutions and Recommendations, World Conservation Congress, Jeju, Republic of Korea. IUCN, Gland. <<https://portals.iucn.org/library/node/44015>>
- IUCN (2016) : *Conservation of moveable geological heritage* (WCC-2016-Res-083-EN). Resolutions and Recommendations, World Conservation Congress, Hawaii, United States of America. IUCN, Gland. <<https://portals.iucn.org/library/node/46500>>

- Krögger, B. (2008) : Nautiloids before and during the origin of ammonoids in a Siluro-Devonian section in the Tafilalt, Anti-Atlas, Morocco. *Special Papers in Palaeontology*, 79 : 1–112.
- Lahmidi, S., Lagnaoui, A., Bahaj, T., and El Adnani, A. (2020) : First inventory and assessment of the Geoheritage of Zagora province from the project Bani Geopark (South-Eastern Morocco). *Proceedings of the Geologists Association*, <<https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2020.05.002>>
- Lagnaoui, A., Bougariane, B., Abioui, M., and Enniouar, A. (2015) : Paleontological heritage of Zagora region (southeastern Morocco) : a tool for local sustainable development. In: El Hariri, K. (coord.), *The International Conference The Rise of Animal Life RALI2015 – Promoting Geological Heritage: challenges and issues*. Cadi Ayyad University, Marrakesh : 65.
- Lebrun, P. (2018) : *Fossiles du Maroc. Tome I. Gisements emblématiques du Paléozoïque de l'Anti-Atlas* (textes bilingues français-anglais). Les Éditions du Piat, Saint-Julien-du-Pinet, 298 pp. [L'apparition du Tome II est prévue pour juillet 2020].
- Lebrun, P. (2019) : Les phosphates du Maroc. (1): un haut-lieu des fossiles des vertébrés du Maastrichtien-Eocène. (2) : des faunes d'invertébrés dominées par des bivalves et les gastéropodes. (3): des faunes très diversifiées de sélaciens et d'autres poissons. *Fossiles*, 40 : 5–16, 17–37, 39–50.
- Lefebvre, B., coord. (2020) : Le Cambro-Ordovicien de l'Anti-Atlas marocain. *Géochronique*, 153 : 10–51 + I–IV.
- Lefebvre, B., Lerosey-Aubril, R., Servais, T., and Van Roy, P. (2016) : The Fezouata Biota : An exceptional window on the Cambro-Ordovician faunal transition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 460 : 1–6.
- Martill, D.M., Ibrahim, N., Brito, P.M., Baider, L., Zhou, S., Loveridge, R., Naish, D., and Hing, R. (2011) : A new Plattenkalk Konservat Lagerstätte in the Upper Cretaceous of Gara Sbaa, south-eastern Morocco. *Cretaceous Research*, 32 : 433–446.
- ProGEO (2011) : Conserving our shared geoheritage—a protocol on geoconservation principles, sustainable site use, management, fieldwork, fossil and mineral collecting. 10 pp. <<https://www.sigeaweb.it/geoheritage/documents/progeo-protocol-definitions-20110915.pdf>>
- Sicree, A. A. (2009) : Morocco's trilobite economy. *Saudi Aramco World*, 60 : 34–39.
- Termier, G., and Termier, H. (1947) : Paléontologie Marocaine. Tome I, Généralités sur les invertébrés fossiles. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 69 : 1–391.
- Termier, G., and Termier, H. (1950a) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule I, Foraminifères, Spongiaires et Coelentérés. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 73 : 1–220.
- Termier, G., and Termier, H. (1950b) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule II, Bryozoaires et Brachiopodes. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 77 : 1–253.

- Termier, G., and Termier, H. (1950c) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule III, Mollusques. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 78 : 1–246.
- Termier, G. & Termier, H. (1950d) : Paléontologie Marocaine. Tome II, Invertébrés de l'Ère Primaire. Fascicule IV, Annélides, Arthropodes, Échinodermes, Conularides et Graptolithes. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, 79, 1–279.
- Vegas, J., Delvene, G., Menéndez, S., Cabrera, A., García-Cortés, A., Díaz-Martínez, E., Carcavilla, L., and Rábano, I. (2019) : Methodology and state-of-the-art of the palaeontological heritage included in the Spanish Inventory of Sites of Geological Interest. *Spanish Journal of Palaeontology*, 34(1) : 17–34. [en espagnol, avec résumé en anglais].