

Bulletin d'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

n°27

juin 2020

«Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»

Sa Majesté Le Roi Mohammed VI.

(Extrait du discours d'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, 18 mai 2006)

Patrimoine naturel et développement durable



Bulletin d'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

n°27

juin 2020

«Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»
Sa Majesté Le Roi Mohammed VI.
(Extrait du discours d'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, 18 mai 2006)

Périodique semestriel d'information et de communication de l'Académie

Publié par :

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Siège : Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers) - Rabat.
Tél : 0537 75 01 79 Fax : 0537 75 81 71 E-mail : acascitech@academiesciences.ma

Site internet : www.academiesciences.ma

Directeur de la publication : Omar FASSI-FEHRI

Rédacteur en Chef : Mohamed AIT KADI

Comité de rédaction:

Daoud AIT KADI (Collège de la Modélisation et de l'Information)
Omar ASSOBEI (Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer)
Mohamed BERRIANE (Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique)
Ali BOUKHARI (Collège d'Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique)
EI Mokhtar ESSASSI (Collège des Sciences Physiques et Chimiques)
Abdelaziz SEFIANI (Collège des Sciences et Techniques du Vivant)

Dépôt légal : 2007 / 0067
ISSN : 2028 - 411X

Réalisation : AGRI-BYS S.A.R.L

Impression : Imprimerie LAWNE
11, rue Dakar, 10040 - Rabat



**Sa Majesté Le Roi Mohammed VI - que Dieu Le garde -
Protecteur de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques**

Sommaire

Editorial 9

Patrimoine naturel et développement durable 11

- Allocution du Secrétaire perpétuel à la séance d'ouverture de la 15^{ème} Session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques 13
- Synthèse de la 15^{ème} Session plénière solennelle, Mohamed BERRIANE 16
- Compte-rendu du panel «Quel avenir pour l'exploitation et le développement durable du patrimoine naturel du Maroc?», Albert SASSON, Omar ASSOBI 20
- «Réflexions et actions concernant le patrimoine naturel et le développement durable», Hugo Alfonso MORÁN FERNÁNDEZ 23
- «Où, quand, pourquoi et comment est apparu l'Homme; les réponses du discours scientifique», Yves COPPENS 27
- «Différentes facettes du patrimoine géologique du Maroc», Ahmed EL HASSANI 32
- «Le géoparc de Mgoun au Maroc», Philippe TAQUET 60
- «Recherche géologique, géo-conservation et exploitation commerciale des sites fossilifères», Juan Carlos GUTIERREZ-MARCO 67
- «La dynamique eau et développement durable», Mohamed AIT KADI 92
- «La cédraie marocaine: protection et développement durable», Omar MHIRIT 104
- Résumés des conférences de la Session 125

Activités de l'Académie 147

- Projet de mise en place de l'Institut des Etudes Avancées en Mathématiques 149
- «Le Système national d'information et de modélisation», compte-rendu du séminaire organisé par le Collège Etudes stratégiques et développement économique, Khalid SEKKAT 151

Appui à la recherche scientifique et technique 153

- «Made in Morocco : Industrialisation et développement», Nouredine EL AOUI 155

Nouvelles des académiciens 160

- Pr El Mokhtar ESSASSI, resident member of Scientific College of Physics and Chemistry, is among the contributors of a book entitled «Benzimidazole : Preparation and Applications» 163
- Pr Mohamed AIT KADI co-auteur d'un article sur les «concepts de la gestion de l'eau» publié dans la prestigieuse revue Oxford Research Encyclopedia (ORE) 165

Editorial

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a consacré sa Session plénière solennelle de février 2020 au thème "Patrimoine Naturel et Développement Durable". L'importance d'inventorier, de protéger, de préserver et de valoriser le patrimoine naturel est de nos jours une obligation pour le maintien de l'équilibre des écosystèmes de notre planète Terre et donc du maintien de la vie.

Les branches de la thématique choisie sont multiples et variées et c'est pourquoi l'Académie a mis l'accent sur les trois volets importants que sont la géologie, la forêt et la problématique des ressources en eau.

Au Maroc, les relations entre la préservation du patrimoine naturel et le développement durable relèvent d'une problématique complexe, que l'on peut résumer dans ces questions :

- Comment sauvegarder ce patrimoine pour que le Maroc demeure, comme cela est souvent affirmé, «le paradis du géologue»? Le Maroc est, en effet, considéré sur le plan géologique, comme un des pays où l'histoire du globe est la mieux relatée de l'Archéen au Quaternaire (soit 4,5 milliards d'années), avec une grande diversité géologique, la présence de stratotypes, de fossiles particuliers et spectaculaires ainsi que de curiosités géologiques.
- Comment intensifier les programmes de recherche, d'éducation et de sensibilisation pour une exploitation judicieuse et une gestion rationnelle des ressources naturelles et en premier lieu l'eau, ressource vitale et indispensable pour tout le patrimoine naturel, ainsi que la faune et la flore.
- Face au risque d'une dégradation rapide des écosystèmes forestiers ou boisés, quelles mesures proposer pour leur préservation et leur exploitation durable?
- Que faire pour mettre fin à la détérioration parfois irréversible de ces richesses/ressources naturelles? Les fossiles et minéraux font souvent l'objet de pillage, de vente et d'exportation illégale? Les forêts et les espaces boisés sont menacés, et à cet effet, les mesures réglementaires sont-elles suffisantes?
- Comment promouvoir la recherche scientifique, la recherche-développement, pour faire connaître ces richesses, mais aussi pour les préserver et les exploiter durablement en étroite coordination avec les principaux intervenants? Quel est le rôle social des scientifiques dans la recherche d'un équilibre raisonné entre l'inventaire permanent des ressources naturelles et les projets de leur mise en valeur dans les projets de développement durable?
- Comment obtenir l'adhésion des populations et les impliquer dans la préservation du patrimoine naturel et son développement durable?

Dans l'ensemble, la Session plénière de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a été une occasion pour la sensibilisation des décideurs et de l'opinion publique, en vue de préserver le patrimoine naturel national. Elle a contribué à identifier des niches où le besoin de nouvelles connaissances scientifiques est patent. Elle a été aussi une occasion pour l'échange d'expériences entre pays du bassin méditerranéen, en vue de la mise en place de collaborations nationales et internationales et de programmes de recherche autour de ce patrimoine, ainsi que sa mise en valeur à travers, entre autres, la création de sites de grand intérêt géologique, biologique et écologique pour un développement socio-économique durable.

Ce numéro du Bulletin de l'Académie, dans l'attente de l'ensemble des Actes de la Session qui seront publiés avant la fin de l'année 2020, rapporte, à travers la synthèse générale des travaux de la Session et quelques conférences, les principales conclusions et recommandations visant à faire du patrimoine naturel un solide pilier du développement durable.

Direction scientifique



Patrimoine naturel et développement durable

Allocution du Secrétaire perpétuel à la séance d'ouverture de la 15^{ème} Session Plénière Solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Omar FASSI-FEHRI

Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Monsieur le Chef de Gouvernement, Monsieur le conseiller de Sa Majesté Le Roi

Messieurs les Ministres, Monsieur le Secrétaire d'Etat

Excellences,

Honorables invités,

Chères Consœurs & Chers Confrères Académiciens, Mesdames & Messieurs,

La tenue de la session plénière solennelle annuelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est toujours, pour l'ensemble de ses membres, un moment privilégié de se retrouver pour s'acquitter d'une des activités majeures

de leur Institution, celle de réunir, autour d'un thème général donné, de façon régulière tous ses membres, dans l'objectif d'apporter un éclairage renouvelé sur le progrès continu des sciences dans le monde, et de débattre sur les conditions et les voies appropriées qui permettent à celles-ci de contribuer au développement de notre pays.

Avec la Haute Bénédiction de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu le Garde-, le thème scientifique général de notre actuelle session plénière solennelle porte sur "Patrimoine naturel et développement durable". Nous voulons à cette occasion renouveler notre profonde gratitude et nos remerciements déferents à Sa Majesté Le Roi -que Dieu Le protège- pour Sa bienveillante sollicitude, Ses précieux encouragements et La Protection Tutélaire dont Il entoure notre Institution et dont s'enorgueillit notre Académie.

Chers invités,

Nous sommes également honorés de la présence parmi nous de Monsieur le Chef du Gouvernement, Pr. Saâd Eddine El Otmani, de Mr. le Conseiller de Sa Majesté Le Roi, Mr. André Azoulay, et de Messieurs les Ministres Mr. Saïd Amzazi et Mr. Driss Ouauouicha; Je les remercie vivement d'avoir accepté notre invitation et je leur souhaite la bienvenue. Nous remercions les représentants du corps diplomatique présents avec nous.

Nous sommes particulièrement honorés de recevoir Monsieur Hugo Alfonso Moran Fernandez, Secrétaire d'Etat à l'Environnement dans le Gouvernement Espagnol, et dont nous aurons le grand plaisir d'écouter dans quelques instants la conférence inaugurale sur le thème "Réflexions et actions concernant le patrimoine naturel et le développement durable".

* Cérémonie d'Ouverture de la 15^{ème} Session Plénière Solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Nous adressons nos vifs remerciements aux Présidents des Universités marocaines, aux doyens et directeurs des établissements universitaires qui nous honorent par leur présence.

Nous sommes aussi heureux de la présence parmi nous de toutes les personnalités qui ont bien voulu répondre à notre invitation, je les remercie tous pour leur présence et leur souhaite la bienvenue.

Je voudrais aussi saluer les membres du Bureau du Conseil Africain de la Recherche et de l'Innovation (ASRIC) relevant de l'Union Africaine, et qui vient de tenir hier et avant-hier à Rabat une réunion préparatoire de son congrès prévu en Novembre 2020 à Rabat; bienvenue au Pr. Ratemo Michieka, Président de l'ASRIC et Président de l'Académie des Sciences du Kenya et à ses quatre collègues vice-présidents présents avec nous.

Excellences,

Mesdames, Messieurs,

Au seuil de ce nouveau millénaire, l'économie mondiale est en train de passer d'une économie industrielle à une économie du savoir, par un processus historique qui a évolué, grâce à l'innovation et aux inventions, du machinisme (fin du 18^{ème} siècle) à la révolution numérique et biologique que nous vivons aujourd'hui. La compétition internationale de ce nouveau siècle est donc une bataille de l'intelligence et du savoir. Dans ce cadre, la recherche scientifique et l'innovation technologique prennent partout, en tout cas dans tous les pays qui ne veulent pas rester en marge de l'histoire, une dimension nationale et deviennent un facteur de puissance au même titre que l'industrie, le commerce ou même les capacités militaires; ne dit-on pas que "la science et la technologie sont la devise forte du 21^{ème} siècle".

Il est bien évident que l'heure n'est plus à une science qui se développerait à l'écart de l'économie réelle et de la société, mais plutôt à une science finalisée et interactive qui prend en compte les préoccupations économiques et sociales du pays.

Depuis l'intronisation de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu L'assiste-, la politique scientifique et technique marocaine a évolué considérablement; de plus en plus l'économie du savoir constitue le meilleur moyen de s'atteler à

un moteur de développement efficace et inclusif. La recherche scientifique est aujourd'hui inscrite pour la première fois dans la Constitution du pays, adoptée en 2011.

Le Maroc se propose de disposer d'une base scientifique et technologique solide, capable d'accompagner son développement économique et social, en mettant en place une politique scientifique, technologique et d'innovation audacieuse et visionnaire. Si grâce à la science on parvient à la connaissance qui permet de décrire, d'expliquer et de prédire les phénomènes naturels, la technique, quant à elle, est une activité de transformation et de fabrication avec pour but de produire un objet matériel ou immatériel.

Une telle vision a poussé notre pays à investir le développement de la technologie de base visant la mise à niveau et la modernisation du pays; ce sont tous les travaux et efforts faits en matière d'éducation, de santé, de routes et autoroutes, de logement, d'électrification, des ports et aéroports...; une telle vision nous impose aussi de promouvoir la recherche-développement et, sans négliger aucun domaine, mais d'abord dans les domaines où le Maroc possède des atouts naturels et où il peut se positionner dans les marchés mondiaux, et offrir un produit marocain achevé; ce sont, à titre indicatif, les phosphates, les ressources de la mer, l'agro-industrie, la biodiversité, les nouvelles technologies, les MMM (les Métiers Mondiaux du Maroc, ...).

En misant sur la connaissance et le savoir, le Maroc fait le pari de l'avenir d'autant qu'on ne peut imaginer faire progresser la croissance économique, le développement social et la protection de l'environnement sans un système éducatif performant et sans un système de recherche développé.

L'histoire nous enseigne que toutes les innovations et parfois les révolutions industrielles ont été précédées de découvertes et avancées scientifiques.

Excellences,

Mesdames, Messieurs,

Le thème scientifique général de cette session plénière solennelle est "Patrimoine naturel et développement durable". Le choix de ce thème

s'explique certes par l'importance du patrimoine naturel qui est un héritage commun précieux, qu'il faut d'abord inventorier, ensuite préserver et fortifier; il s'explique aussi, et je dirai surtout, par la richesse et la diversité du patrimoine naturel de notre pays.

Le patrimoine naturel ne doit pas rester une préoccupation des seuls scientifiques; il concerne l'ensemble de la collectivité; dans ce cadre les scientifiques ont le devoir d'informer et de sensibiliser le grand public à l'importance de la préservation du patrimoine naturel.

Mesdames, Messieurs,

Nous avons choisi de nous focaliser au cours de cette session seulement sur le patrimoine géologique, le patrimoine forestier et la problématique des ressources en eau.

Concernant le patrimoine géologique, le Maroc, dit-on, est le paradis des géologues, avec ses différentes formations géologiques, ses différents affleurements et structures géologiques. Au moment où nous allons discuter de la question de la préservation du patrimoine géologique nous ne pouvons pas ne pas avoir une pensée émue pour notre confrère, que nous avons perdu au cours de l'année écoulée Pr. Jean Michel Dercourt, éminent géologue, membre de la Commission de fondation de notre Académie et anciennement Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de France.

Concernant le patrimoine forestier, celui-ci est considéré au Maroc comme le patrimoine le plus important du point de vue économique et environnemental; notre pays recèle en effet un grand nombre d'écosystèmes forestiers d'une richesse et d'une variété indéniables.

Une autre ressource naturelle, et non des moindres, qu'il faut nécessairement préserver, sauvegarder, protéger et gérer convenablement, est la ressource hydrique.

Pour procéder à la solution de la problématique des ressources en eau, une importance primordiale doit être donnée aux apports de la science et de la technologie de l'eau.

Excellences,

Mesdames, Messieurs,

Le programme de cette session plénière aspire à apporter une contribution et un éclairage sur les solutions majeures actuellement utilisées dans le domaine de la préservation et de la valorisation du patrimoine naturel et de sa contribution dans le développement durable.

Cette session permettra aussi de débattre de nouvelles connaissances, de passer en revue quelques grandes avancées en recherche dans ces domaines et de débattre des perspectives au Maroc.

De nouveau, je saisis cette occasion pour présenter mes vifs remerciements aux éminentes personnalités scientifiques, venant du Maroc et de l'étranger (France, Espagne, Allemagne, Portugal, Tunisie, Mexique), qui ont bien voulu accepter de donner des conférences ou présenter des communications à l'occasion de cette session, permettant ainsi d'animer la discussion et le débat sur la thématique choisie, je les remercie tous très vivement.

Nous sommes particulièrement heureux de retrouver à cette occasion nos collègues associés présents avec nous et qui contribuent de manière active et riche à nos activités; merci chers collègues.

Je voudrais aussi saisir cette opportunité pour remercier chaleureusement mon ami le Professeur Abdeljalil Lahjomri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume et l'ensemble du personnel de cette Académie pour l'aide qu'ils nous apportent, comme à l'accoutumée, dans l'organisation matérielle de notre session plénière.

Je remercie également les membres des différentes instances administratives et scientifiques de notre Compagnie, le Conseil de l'Académie, la Commission des Travaux, les Collèges scientifiques ainsi que le staff administratif pour l'aide précieuse qu'ils ont apportée à l'Académie dans la préparation de cette session; souhaitons lui tout le succès qu'elle mérite et à notre Académie d'être à la hauteur de l'objectif qui lui a été fixé par son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu Le protège- "Servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale".

Je vous remercie pour votre attention.

Synthèse des travaux de la 15^{ème} Session Plénière Solennelle

Mohamed BERRIANE

Membre résident, Académie Hassan II des Sciences et Techniques



La session plénière solennelle annuelle, tenue les 25, 26 et 27 février 2020 comportait vingt-deux communications et conférences dont les auteurs appartiennent à sept pays et qui sont, outre le Maroc, la Tunisie, la France, l'Espagne, le Portugal, l'Allemagne et le Mexique. Elles ont traité de sujets divers, choisis en grande partie au Maroc, mais aussi en Espagne et tout autour du bassin méditerranéen. Une variété que l'on peut regrouper en quatre sous-thèmes.

1. Le contexte régional

L'héritage à la fois géologique et floristique, dont il a été question, appartient tout d'abord à un ensemble régional qui est le bassin méditerranéen. Les communications qui ont replacé le Maroc dans son contexte régional permettent à la fois de souligner les ressemblances des caractéristiques, voire parfois la même origine des écosystèmes, mais aussi de mettre le doigt sur des problèmes qui se posent dans toute la région.

L'ampleur de l'extension du Maroc en latitude explique sa distinction dans son environnement régional, puisque s'étendant du tropique du Cancer au détroit de Gibraltar, à la jonction de la Méditerranée et de l'Océan Atlantique, il appartient sur le plan géologique au Gondwana, avec un socle africain dans sa partie sud, et ses immensités sahariennes et une couverture appartenant à l'espace méditerranéen avec les chaînes hercyniennes et alpines se prolongeant vers l'Europe méridionale. A ce titre, le Maroc comprend une pile stratigraphique qui est l'une des plus complètes au monde (depuis les plus anciens temps archéens à l'Actuel). Cette position géographique et géologique lui confère des diversités orographiques, lithologiques, édaphiques, climatiques et bioclimatiques à l'origine de la grande richesse floristique et de la plus forte concentration endémique.

C'est ainsi qu'on apprend, par exemple, que la chênaie marocaine appartient à la chênaie méditerranéenne dont la mise en place et la différenciation s'expliquent par la paléo-histoire complexe du bassin méditerranéen, l'un des hotspots mondiaux de la biodiversité. De ce fait, cette chênaie est un véritable melting-pot de diversité, car développée dans un lieu de rencontre de génomes divers.

Mais cette appartenance à un ensemble régional ne se traduit pas par des paysages et des structures homogènes, car aux critères écologiques, il faut ajouter les effets des actions anthropiques que cet héritage subit. Et là aussi, on apprend à travers un exemple comparatif entre la péninsule tingitane dans le nord-ouest marocain et le Campo de Gibraltar dans le Sud-Ouest de la péninsule ibérique, comment, dans un même contexte naturel de part et d'autre du détroit de Gibraltar, mais dans deux contextes de niveaux de développement agro-technologique, économique et sociétal, le paysage, la végétation, sa composition et son évolution diffèrent, sauf dans le cas des types d'utilisation du sol des sociétés postindustrielles (tourisme et loisirs, conservation de la nature, etc.). Dans ces cas l'évolution peut déboucher sur des paysages similaires quel que soit le contexte culturel, avec cependant des îlots culturels assez mineurs comme les bois maraboutiques au Maroc. Ces derniers sont une véritable mémoire pour l'étude de l'évolution du couvert végétal.

Ce voisinage permet aux deux pays, le Maroc et l'Espagne, d'engager des actions communes et un partenariat pour la sauvegarde de ce patrimoine comme la réserve intercontinentale ou des projets en gestation concernant les oiseaux migrateurs qui constituent un trait d'union entre le Nord et le Sud.

Ce contexte régional du Maroc explique donc en grande partie la richesse et la diversité de ce patrimoine. Cette richesse et cette diversité font l'objet du 2^{ème} sous-thème.

2. Un patrimoine riche et varié

La plupart des communications présentées ont insisté sur la richesse remarquable de ce patrimoine et ce à travers plusieurs exemples. C'est ainsi que le Maroc est connu pour être «le paradis des géologues» grâce à la richesse et l'importance des affleurements et des gisements paléontologiques et parfois même de fossiles uniques. On apprend alors l'apparition de nouveaux concepts tel que la «géodiversité» qui combine le socle naturel que sont les sites géologiques et géomorphologiques aux variétés d'espèces animales et végétales qui leurs sont associées et qui guide le travail des chercheurs dans l'identification de ces richesses et

leur protection. On apprend aussi que la cédraie de l'Atlas, élément fondamental du paysage marocain joue à la fois un rôle environnemental, avec des fonctions, des valeurs et des services écosystémiques, mais aussi dans la vie des populations au cours des différentes époques de l'histoire du Maroc. On apprend ensuite que le Maroc bénéficie d'une forêt endémique assez singulière qui est l'arganier qui non seulement est un arbre relictuel qui existe depuis des ères géologiques passées, mais qui a été à l'origine d'une symbiose entre l'homme et la nature assez remarquable qui a débouché sur un véritable modèle de gestion des ressources, voire sur une culture qui s'est construite autour de l'arganier et ses vertus. Le tout expliquant son succès mondial au niveau commercial, mais aussi son rôle dans la stabilisation des écosystèmes de cette arganeraie.

Cette symbiose entre l'homme et la nature est poussée à son extrême dans les déserts où l'ingéniosité de l'homme a créé les agroécosystèmes anthropisés que sont les oasis, refuges d'une importante biodiversité végétale et animale, dont certaines sont endémiques. Ces agroécosystèmes assurent trois rôles essentiels : réguler le climat en l'adoucissant, faire vivre des concentrations de populations en fournissant des produits agricoles et constituer un rempart contre l'avancée du désert, le tout débouchant sur de véritables civilisations hydrauliques.

Cette richesse d'une nature que façonne en partie l'homme contribue de façon substantielle à l'économie nationale, mais aussi régional et locale. Que ce soit le secteur minier ou la production forestière et ses dérivés comme le liège, ou encore l'huile d'argan ou bien les ressources en eau dont dépendent plusieurs secteurs comme l'agriculture, le tourisme et l'industrie, ou encore la commercialisation des fossiles, ou enfin les rôles multiples du monde oasien.

Cette richesse fait l'objet d'une exploitation, mais qui parfois, sinon souvent, peut-être abusive. Et ceci m'amène au 3^{ème} sous-thème

3. Un patrimoine, certes riche, mais vulnérable, fragile et surexploité

Tout d'abord ce patrimoine n'est pas encore totalement connu et inventorié et des pans entiers restent à cartographier. La richesse géologique est encore peu connue et la couverture de la carte géologique est loin d'être complète. La géodiversité et le géopatrimoine, deux concepts qui sont revenus souvent dans les communications n'ont pas fait encore l'objet d'inventaire ni national, ni régional, sauf quelques exceptions au niveau local suite à quelques travaux de recherches académiques, mais non systématiques.

Outre cette connaissance peu satisfaisante malgré les efforts des chercheurs et des départements concernés, on déplore de fortes pressions subies par ces richesses qui font l'objet de sérieuses tensions.

Il y a d'abord un sérieux pillage des richesses géologiques et une exploitation abusive pour la vente et l'exportation illégale alimentant un commerce florissant au détriment des raretés minérales fossilifères.

Les espaces boisés subissent de fortes exploitations qui se traduisent par un déboisement avancé et une dégradation des milieux naturels.

Malgré la prise de conscience de son utilité économique et sociale, la surexploitation de l'arganier est reconnue, sa densité recule, son pouvoir protecteur contre l'érosion n'est plus assuré et les mutations socio-économiques qu'aggravent les changements climatiques accusent cette dégradation. Enfin, la réussite commerciale de la filière de l'huile d'argan au niveau mondial, s'accompagne de faibles retombées sur les populations concernées et par un désencrage de ce produit de terroir. Les chiffres fournis sont très éloquentes en ce qui concerne ce désencrage : au début de l'irruption de l'huile d'argan dans les circuits commerciaux hors terroir, 80% de l'exportation de l'huile d'argan était assurée par des coopératives et 20% par des entreprises privées, alors qu'aujourd'hui, les coopératives c'est-à-dire les populations riveraines, c'est-à-dire les populations du terroir qui sont supposées profiter au maximum de ce produit du terroir ne participent plus que à hauteur de 13% à ces exportations. Les 87% reviennent à des entreprises privées, c'est-à-dire des acteurs externes au terroir car lorsque l'essentiel de l'huile est pressée à Casablanca on n'est plus en présence d'un produit de terroir, ancré et labélisé.

La cédraie, élément fondamental des montagnes marocaines, subit, elle aussi, de fortes pressions liées à l'occurrence des sécheresses, à l'action anthropique et à la compétition spatiale. Mutilation, surexploitation, surpâturage, mise en culture, surexploitation de la nappe souterraine, la liste est longue, d'où une dégradation des écosystèmes et une fragilisation des milieux naturels.

Ceci n'est pas le fait du Maroc seul, puisque sur tout le pourtour méditerranéen, les multiples impacts humains affectant les zones littorales et les abords des grandes villes conduisent à la destruction, à la fragmentation ou à la profonde modification de la structure et des fonctions de l'écosystème des différentes formations, comme l'exemple de la chênaie. Le changement climatique qui arrive à grands pas fait peser de nouvelles menaces.

La sécurité hydrique, concept nouveau, même si elle a été toujours une priorité du développement économique du pays, subit les conséquences de la croissance démographique et économique qu'accroissent la variabilité et la raréfaction des ressources et l'accroissement des besoins en eau en quantité et en qualité.

Si ceci se répercute sur tout le territoire national, la vulnérabilité atteint un point critique dans les espaces arides et sahariens où le système oasien est en cours de dégradation suite certes aux changements climatiques, mais bien avant, suite à des mutations socio-économiques et à des changements dans les rapports sociaux.

Le constat est donc assez inquiétant, vu les chiffres assez hallucinants sur la part de la flore et de la faune du Maroc qui risque de disparaître d'ici 2050. Et sans aller jusqu'à parler du risque de l'extinction de l'espèce humaine, la situation est telle qu'on ne peut ne pas méditer une des conclusions de l'une des conférences : «l'Homme est né pour une nécessité d'adaptation au changement climatique».

Mais si l'inquiétude est là, la prise de conscience de cet état des lieux est aussi présente. Chercheurs, experts et responsables réfléchissent aux solutions pour agir sur ces tendances de dégradation et d'épuisement des ressources.

4. Quelles solutions pour la protection, la gestion et le développement du patrimoine naturel?

Recherche, inventaire, surveillance et veille

La recherche s'organise que ce soit à titre individuel et académique ou dans le cadre d'actions des pouvoirs publics. Il y a unanimité autour de la nécessité de faire des inventaires au niveau national car avant de protéger, valoriser et développer, il faut identifier, apprendre et comprendre son patrimoine. Les propositions sont nombreuses. Par exemple, inventorier, évaluer, sélectionner et mesurer le degré de vulnérabilité pour hiérarchiser les besoins en matière de géoconservation afin de passer du concept de géodiversité à celui de géopatrimoine.

L'exemple de la cédraie montre l'intérêt de la recherche. Cette forêt a fait l'objet d'un travail de recherche et d'études en équipe définissant une stratégie nationale pour la surveillance et le suivi de la santé de la forêt grâce à un ensemble d'investigations pluridisciplinaires qui ont caractérisé les causes et les symptômes expliquant le dépérissement de cette cédraie.

Dans ce volet de la recherche et de l'étude, le partenariat est fondamental et incontournable.

Plusieurs expériences ont été relatées comme les nombreux partenariats académiques qu'a noué la Direction de la géologie (Service Géologique du Maroc), relevant du Ministère de l'énergie, des mines et de l'environnement, pour la connaissance de la géologie du Maroc. Mais aussi de nombreux partenariats qui réunissent des sociétés savantes des départements ministériels, des associations de la société civile et des ONG internationales et l'UNESCO.

La protection et la gestion

Ensuite il y a la protection et la gestion proprement dites. Celles-ci passent d'abord par des lois. Le Maroc ne dispose pas encore de lois relatives à l'inventaire du géopatrimoine, mais que des textes prévoient des mécanismes de protection comme la loi relative aux mines adoptée en 2015 qui subordonne dans l'un de ses articles toute extraction, collecte et commercialisation de spécimens minéralogiques ou fossiles à l'obtention d'une autorisation. Des projets de décrets d'application sont destinés à cette réglementation. Il y a aussi la Loi cadre de 2014 portant Charte Nationale de l'Environnement et du Développement durable et qui, parmi ses objectifs, inscrit la protection et la préservation des ressources et des milieux naturels et de la biodiversité.

Mais outre le fait que ces lois ne sont pas toujours appliquées correctement, certaines législations dans quelques pays peuvent créer des problèmes au lieu de les résoudre. L'exemple relaté est celui de lois qui inscrivent les fossiles dans le cadre du patrimoine culturel, ce qui rend la loi tellement restrictive qu'elle peut bloquer le levé de la carte géologique.

La protection passe aussi par des actions où se rencontrent la prise de conscience au niveau national, d'un côté, et les grands programmes des Nations Unies à travers le travail de l'UNESCO, d'un autre côté. Le Maroc s'est inscrit très vite dans le mouvement de labellisation internationale à travers le Programme International des Géosciences et des Géoparcs lancé en 2015. Il crée ainsi le Géoparc du Mgoun, premier Géoparc d'Afrique qui a reçu le label Global Geoparks Network de l'UNESCO. Par cette action il a inscrit son Géohéritage dans le Géohéritage de la planète, sachant que la politique des géoparcs est basée sur la conservation du patrimoine géologique, la promotion de l'éducation et l'attraction de visiteurs pour la pratique d'une nouvelle forme de tourisme qui se développe bien que timidement au Maroc, ce qui favorise le développement des communautés locales et le maintien des identités naturelles et culturelles des territoires qui reçoivent ces parcs. Des réserves de biosphères se multiplient, la dernière étant celle du cèdre de l'Atlas en 2016.

Faire venir des visiteurs c'est aussi sensibiliser un large public à l'intérêt de la sauvegarde et réduire les prélèvements sauvages. Reste que ces prélèvements peuvent aboutir à une véritable industrie des fossiles comme cela a été rapporté dans le cas du Maroc dans des régions en difficultés économiques comme les nombreux villages du Tafilalet. Là cette industrie rapporterait l'équivalent de 40 millions d'euros et ferait travailler plus de 50.000 personnes qui se consacrent à la prospection et l'excavation de gisements paléontologiques avec un véritable partage du travail entre le terrain, la transformation et la préparation, les intermédiaires et les représentants qui visitent des foires internationales. On a vu passer le chiffre de 70% de la population d'Erfoud qui vivait de cette industrie grâce au développement d'un véritable savoir-faire, avec une endurance remarquable de ces artisans qui se sont autoproclamés restaurateurs de fossiles ou encore mieux producteurs de faux fossiles et qui se sont organisés en associations professionnelles.

Nous sommes là, face à des activités génératrices de revenus, avec un ancrage territorial (il n'y a pas de fuites et les fossiles ne sont pas produites ou nettoyées à Casablanca comme l'huile d'argan). Faut-il interdire tout cela? Question qui mérite un vrai débat pour trouver des solutions à la sauvegarde de ce patrimoine tout en ne privant pas les populations de ces revenus.

Le développement

Effectivement, la protection du patrimoine naturel ne relève pas seulement d'un souci de conservation, mais peut être aussi d'une contribution à l'effort de développement. L'arganeraie en est un exemple remarquable. Depuis les projets de protection et de développement de l'arganeraie en partenariat avec la GTZ, beaucoup de chemin a été accompli grâce au Plan Maroc vert à travers notamment le contrat programme arganier et ses composantes techniques, institutionnelles, politiques et organisationnelles qui essaient de modérer la pression sur le domaine forestier et d'améliorer les revenus des populations riveraines.

Les actions de développement c'est aussi le grand organisme qu'est l'Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier dont le rayon d'action couvre 40% du territoire national, soit des zones généralement en difficultés économiques. Dès sa création, elle a lancé ses trois grands axes d'intervention avec des enjeux de développement humain, de valorisation des ressources et de développement environnemental.

Les actions c'est aussi les stratégies pour résoudre les problèmes dus à la raréfaction de la ressource eau combinée à l'augmentation des besoins. Par le

passé, la politique hydraulique visait à maximiser la mobilisation des ressources en eau de surface et souterraines et assurer leur utilisation optimale dans l'agriculture, l'approvisionnement en eau potable, l'industrie et l'énergie. Aujourd'hui l'accent doit être mis sur des choix plus complexes et sophistiqués pour assurer une allocation en eau économiquement, socialement et techniquement acceptables entre les différents usagers. Pour cela, s'il faut développer des capacités institutionnelles, la recherche est plus que jamais sollicitée pour comprendre, déterminer les coûts et les avantages des différentes interventions politiques et aider à orienter les arbitrages.

5. Reste qu'il faut patrimonialiser

Le mot patrimoine dont la complexité est telle que la recherche en sciences humaines et sociale a inventé un autre mot qu'elle préfère à patrimoine. On parle aujourd'hui plutôt de patrimonialisation que de patrimoine car décider que telle chose est patrimoine et telle autre ne l'est pas relève d'un processus et non de quelque chose de statique. Ce processus fait que des choses certes héritées de nos ancêtres peuvent être reconnues comme patrimoine ou non.

Or, qui décide que tel ou tel ressources géologique ou floristiques est un patrimoine? la société dans toute sa globalité doit décider de ce qui devient patrimoine ou non. Car sinon comment expliquer que des richesses héritées de nos ancêtres et appartenant à l'humanité sont vandalisées, commercialisées, surexploitées? Dans ce cas on ne peut pas leur appliquer le mot patrimoine. Il y a donc un travail de fond à mener sur la base des résultats de la recherche et des lois et autres juridictions pour amener toute une société à s'identifier à ces richesses et à ces héritages, à se les approprier pour que de richesses et d'héritages, elles deviennent patrimoine.

Donc pour patrimonialiser, il y a tout un travail de sensibilisation et d'éducation qu'il faut mener à grande échelle. Le travail que mène la Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement est fondamental. Mais outre le fait qu'il faut un travail de longue haleine qui ne se limite pas à une campagne, il reste à focaliser sur la notion de patrimoine collectif que doit s'approprier une société et auquel elle doit s'identifier et cela doit commencer à l'école primaire et se poursuivre jusqu'à l'université. Il faut également mettre à contribution les médias et pas pour de simple actions ponctuelles, mais travailler dans la durée.

Ce n'est qu'à ce prix qu'on pourra tenir compte de la citation apocryphe attribuée à St Exupéry et à d'autres penseurs : «Nous n'héritons pas de la terre de nos ancêtres, nous l'empruntons à nos enfants».

Compte rendu du Panel :

QUEL AVENIR POUR L'EXPLOITATION ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE DU PATRIMOINE NATUREL DU MAROC?



Modérateur : Albert SASSON, Académie Hassan II des sciences et techniques

Rapporteur : Omar ASSOBEI, Académie Hassan II des sciences et techniques



Membres du panel :

Abderrahim HOUMY, Secrétaire général des Eaux et Forêts

Ahmed MANAR, Chef de Division à la Direction de la géologie (ministère de l'énergie, des mines et de l'environnement)

MOHAMED BACHRI, AGENCE NATIONALE DU DÉVELOPPEMENT DES ZONES OASIENNES ET DE L'ARGANIER (ANDZOA)

Samira BENABDELLAH, Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement

Ce rapport ne prétend pas être un compte-rendu détaillé des interventions des membres du panel, ni de la discussion qui les a suivies, mais il entend plutôt mettre en relief les principales conclusions de cette étape importante de la session plénière solennelle 2020. Cette étape est en effet orientée vers des situations précises au Maroc, des études de cas et des possibilités de mise en œuvre d'opérations de recherche-développement, impliquant plusieurs institutions de recherche ou de promotion de celle-ci comme l'Académie Hassan II des sciences et techniques. Quelques-unes de ces opérations pertinentes et réalistes sont mises en exergue dans ce texte.

1. Si le Maroc est doté d'un riche patrimoine naturel, il est aussi vulnérable puisqu'il subit de plus en plus les conséquences du changement climatique, puisque l'exploitation des ressources naturelles (aussi bien superficielles que souterraines) n'est pas très souvent durable et qu'enfin le pillage de certains éléments du patrimoine «sites géologiques exceptionnels et fossiles remarquables» échappe souvent à l'application des lois et règlements existants. Cependant, depuis plusieurs années, une charte de l'environnement et des stratégies de protection et de développement durable de ce patrimoine naturel existent et sont mises en œuvre. Au niveau national, comme dans les régions, des institutions publiques, des agences spécialisées et d'autres acteurs de la société civile s'efforcent de conserver, de protéger et de développer de façon durable ce patrimoine naturel.

2. La conservation et le développement durable des ressources naturelles, c'est-à-dire du patrimoine naturel du Maroc, doivent recourir plus encore à une prise de conscience collective et à une gouvernance fondée sur les solidarités de toutes les populations concernées. Il est impératif que le cadre d'action tienne compte de l'intérêt général et de ceux des collectivités concernées. De plus, l'état ne peut se charger

de toutes les actions, ce qui suppose donc une organisation de l'action au niveau local. Il convient aussi de favoriser l'approche pluridisciplinaire ou transdisciplinaire de ces actions.

On peut trouver au niveau des espaces boisés et, en particulier, dans le cas de l'arganeraie et de la cédraie des exemples de cette approche qui inclut les populations locales, qui tente de répondre à leurs besoins avec un souci d'équité entre tous les partenaires. Par exemple, dans le cas de l'arganeraie, il convient de faire beaucoup plus pour tenir compte des intérêts des coopératives de petits agriculteurs pauvres face à ceux des industriels qui triturent les amandes de l'arganier, font l'extraction de l'huile et la commercialisent sous diverses formes.

- Il convient de favoriser et d'accélérer les recherches sur l'extension, dans différentes zones bioclimatiques (biomes), de l'agroforesterie communautaire et, donc, plus inclusive.
- A présent que les plantations d'arganier vont occuper des surfaces importantes et qu'elles impliqueront une plus grande protection de la forêt primaire, il convient de renforcer et d'étendre toutes les recherches sur la résilience de l'arganier au changement climatique (phénologie, génétique, micropropagation, etc.). Ces recherches doivent nécessairement comporter un volet socio-économique, afin de veiller au partage équitable des probables avantages entre tous les acteurs de la filière concernés.

3. Il ne peut y avoir d'implication réussie des populations à tous les niveaux du territoire, s'il n'y a pas des activités fortes d'éducation, de sensibilisation, d'information et de formation de ces populations. Ces efforts doivent conduire à une culture du respect de la protection de

l'environnement, mais aussi de son exploitation durable. Il s'agit de gestes civiques dans la vie quotidienne (par exemple, économie frugale de l'eau, réutilisation des déchets organiques, propreté, etc.), mais aussi de l'implication de la société civile dans toutes les opérations de conservation et de protection du patrimoine naturel.

L'action de la Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement est à cet égard exemplaire. Créée en 2001 et présidée par Son Altesse Royale Lalla Hasna, elle est engagée depuis cette date dans de nombreuses actions d'information et de sensibilisation à la gestion rationnelle et durable des ressources naturelles. Changement du comportement des enfants, partenariats nationaux et internationaux, apprentissage à l'écocitoyenneté, éducation formelle et non formelle, mobilisation et mise en réseau de tous les acteurs, sont les divers objectifs de neuf programmes d'éducation de la Fondation et de son agenda 2030 approuvé par l'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture).

L'action de la Fondation s'étend à la sauvegarde de certains écosystèmes patrimoniaux, comme la Palmeraie de Marrakech, ou à certains parcs et jardins historiques; ou encore à la création de chemins pédagogiques. Les partenaires de la Fondation sont nombreux : ministère de l'éducation nationale, universités, collectivités territoriales, associations et organisations non gouvernementales, etc.

La sauvegarde et la conservation durable de la Palmeraie de Marrakech est une opération phare de la Fondation. Sur les 12.000 hectares de la Palmeraie, la Fondation s'efforce, depuis 2001, de mobiliser tous les acteurs de l'éducation formelle et non formelle pour la mise en œuvre de deux programmes phares. Celui des éco-écoles à tous les niveaux de l'enseignement, notamment préscolaire et primaire, pour produire, expérimenter des outils pédagogiques et ancrer chez les enfants et les élèves la culture de la préservation, de la conservation et de l'utilisation rationnelle des ressources naturelles. Sur les 2.000 écoles engagées dans ce processus, dont 500 labellisées «Pavillon vert», 48 se trouvent dans la Palmeraie et quatre sont labellisées. L'autre programme annuel est celui du Journal Reporters, qui comporte un prix pour récompenser des outils pédagogiques produits sur le terrain ou à la Fondation. Les enfants et les élèves reconnaissent eux-mêmes l'impact positif de ces programmes destinés à en faire des écocitoyens.

Inauguré en juin 2019, le Centre international Hassan II de formation à l'environnement a non seulement une vocation nationale, mais aussi une vocation africaine et plus largement internationale (grâce à des conventions signées avec l'UNESCO, la FAO, etc.). Il a une fonction d'éducation et de formation, mais aussi une fonction de veille, de digitalisation des outils pédagogiques, etc.

L'Académie Hassan II des sciences et techniques a exprimé sa très grande satisfaction pour l'action exemplaire de la Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement. L'action que l'Académie poursuit depuis plusieurs années pour renforcer la culture scientifique chez les jeunes dans toutes les régions du Royaume, «les Jeunes et Science au service du développement», est évidemment complémentaire de celle plus vaste de la Fondation.

L'Académie pourrait, à bref délai, évaluer son action dans ce domaine, afin de la renforcer et la rendre durable, puis de l'associer aux activités appropriées de la Fondation.

4. La Direction de la géologie (anciennement appelé Service géologique) du Ministère de l'énergie et des mines célébrera en 2021 le centenaire de sa création. Il est avant tout connu pour l'établissement de la Carte géologique du Maroc (au 1:500.000ème). Dans sa vision 2030, il prévoit de nouveaux progrès de cartographie, la production de cartes, notamment dans les quatre zones du patrimoine minier du Maroc (Tafilalt, Maroc oriental, Maroc central ou Nord du Maroc, et provinces sahariennes). En 2021, on atteindra 46% de la couverture totale de ces zones, en même temps que l'on parviendra à une digitalisation des données géologiques.

Ces efforts de cartographie géologique sont l'exemple même de l'inventaire indispensable de notre patrimoine naturel, mais aussi l'outil nécessaire au développement durable des infrastructures, des mines, des géosciences, etc. La Direction de la géologie du Ministère de l'énergie et des mines et de l'Environnement voit son avenir dicté par la vision 2030. Elle a établi une longue et fructueuse coopération avec les chercheurs des universités marocaines.

Pour renforcer cette coopération, il convient de définir quelques projets de recherche fédérateurs que le Ministère de l'éducation nationale, de la formation professionnelle, de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique pourrait promouvoir et dont l'Académie Hassan II des sciences et techniques pourrait être partenaire.

Pour ce qui est du patrimoine géologique marocain, sa richesse, sa grande valeur scientifique, culturelle et géotouristique sont d'une grande importance pour la préservation de la mémoire de la Terre. Ce patrimoine est néanmoins vulnérable et il de ce fait exposé à des détériorations irréversibles.

L'Académie Hassan II des sciences et techniques recommande qu'il est urgent de mettre en œuvre les dispositions de protection efficace, inspirées des meilleures pratiques et grâce à un dispositif législatif, qui intègre l'ensemble des dimensions scientifiques, territoriales, économiques et sociales, en vue de préserver et de valoriser ce patrimoine dans le cadre d'un développement durable.

L'Académie recommande aussi la poursuite de l'inventaire de ce patrimoine grâce à la cartographie géologique à toutes les échelles, à la classification et à la protection des sites d'intérêt géologique, au développement de bases de données (comme la lithothèque) et à la création de musées des sciences de la terre.

Dans le cas des sites fossilifères exceptionnels, non seulement il est indispensable de les protéger, mais de surveiller leur exploitation raisonnée (par exemple plus en plus fréquemment. Quatre réserves de la biosphère y ont été installées et ont pour objet de conserver la biodiversité, mais aussi de favoriser les expériences en favorisant de petits musées qui comprendraient une action de confection de fossiles à vendre au public).

Quels meilleurs exemples d'efforts vers un développement durable des ressources naturelles que ceux qui intéressent les zones oasiennes et l'arganeraie? L'Agence nationale de développement des zones oasiennes et de l'arganier (ANDZOA) est chargée de trouver les solutions aux diverses problématiques concernées: énergie, eau, sols, conservation des espèces, agriculture oasienne, exploitation de la forêt primaire de l'arganier, tourisme, etc.

L'ANDZOA a défini quatre zones, qui représentent 15% de la population totale du Maroc. Il s'agit souvent de régions subdésertiques ou désertiques, d'écosystèmes fragiles et vulnérables au changement climatique ainsi qu'à l'action anthropique. De surcroît, les phénomènes climatiques extrêmes y surviennent de de développement durable.

Ces zones bénéficient du Plan Maroc Vert et présentent certains atouts : par exemple, 40% du patrimoine minier du Maroc (hors phosphates) s'y trouvent. Outre la nécessité de désenclaver ces régions, il faut mettre à niveau les infrastructures, améliorer l'offre de soins, l'action culturelle et toutes les opérations destinées à la jeunesse. Il y a là, plus encore qu'ailleurs, la nécessité d'impliquer les populations locales dans les efforts de développement (c'est là, sans doute, un des aspects de la régionalisation avancée).

Il est vivement recommandé de renforcer les activités de recherche-développement, impliquant plusieurs partenaires publics et privés dans des programmes ou projets fédérateurs, et qui visent à trouver des solutions durables à l'ensemble de ces zones vulnérables. Ces activités doivent s'adosser à celles de l'ANDZOA, afin de rechercher l'indispensable synergie des moyens et des ressources humaines. Voici quelques domaines d'action prioritaire :

- agriculture oasienne (palmier dattier; clonage et renforcement de son extension et de son efficacité; autres ressources agricoles, filière dattière améliorée, etc.);
- domestication de l'arganier, arganiculture, chaîne de valeur;
- utilisation optimale de l'eau, recyclage des eaux usées, eaux des crues, dessalement de l'eau de mer, en relation avec l'électricité d'origine renouvelable (solaire et éolienne);
- conservation de la biodiversité: semences locales, banques de semences (FAO);
- exploitation durable des ressources minières (argent, barytine).

Reflexiones y acciones relativas al patrimonio natural y al desarrollo sostenible

Hugo Alfonso MORÁN FERNÁNDEZ

Secretario de Estado de Medio Ambiente de España



Senior Jefe del Gobierno,
Senior Consejero de Su Majestad El Rey,
Senior Ministro de Educación,
Senior ministro delegado de Universidades,
Senior Secretario Perpetuo de la Academia Hassan II de Ciencias y Tecnologías,
Ilustres Academicos,

Señoras y señores,

Es un honor recibir la invitación de la Academia Hassan II de Ciencias y Tecnologías para compartir con ustedes esta conferencia inaugural que versa sobre las reflexiones y acciones relativas al patrimonio natural y al desarrollo sostenible.

Señoras y Señores,

Compartimos vida en uno de los espacios que el panel intergubernamental de Naciones Unidas para el cambio climático identifica como altamente vulnerable, a los impactos de la crisis climática. Tanto Marruecos como España se encuentran ubicados en una zona, la cuenca mediterránea, reconocida como área de alta biodiversidad a nivel mundial. Su posición geográfica, su rica diversidad geológica, climática, orográfica y edáfica, son algunos de los factores comunes que han propiciado esta excepcional estructura biológica, con ecosistemas que albergan una gran abundancia de especies silvestres, entre las que se incluyen un elevado número de ellas endémicas, exclusivas de sus territorios, así como una notable variedad de hábitats naturales y seminaturales, entre los que podrían destacarse. por su riqueza: los forestales, los esteparios, los costeros y los marinos.

La protección y la conservación de esta extraordinaria biodiversidad resulta fundamental, tanto para abordar los objetivos y retos ambientales, como para avanzar hacia otros de índole socioeconómica, y en particular, para promover el desarrollo sostenible, ya que los ecosistemas saludables y en buen estado de

conservación, aportan importantes beneficios y servicios, los así llamados servicios ecosistémicos, a la sociedad. Las soluciones basadas en la naturaleza pueden ayudar también a abordar de manera más segura muchos de los problemas que los escenarios de cambio climático van a plantear a la humanidad en las próximas décadas, y a los que ya hoy nos enfrentamos cada vez de forma más recurrente. Así lo reconoce la agenda 2030 de Naciones Unidas que supone una nueva alianza de colaboración en favor de las personas, su prosperidad y su calidad de vida, y que parte del reconocimiento de que el desarrollo social y económico, así como el bienestar humano, dependen de la gestión sostenible de los recursos naturales de nuestro planeta; un medio ambiente sano es por tanto, la base insustituible de nuestra salud y de nuestra calidad de vida. Por eso, no debemos olvidar que la vida y el bienestar humanos dependen de la tierra y de los océanos, la biodiversidad nos proporciona servicios esenciales para nuestra prosperidad económica, para nuestra seguridad y para nuestra salud. Estos servicios de los ecosistemas incluyen el aire que respiramos y el suministro directo de bienes como alimentos, combustibles, agua dulce o medicamentos; incluyen además la regulación del clima y de la calidad del agua y otros servicios esenciales de apoyo como el ciclo de nutrientes, la polinización y la producción primaria, sin desmerecer los valores culturales y éticos que comportan una correcta interrelación de las personas con el medio que las acoge. Buen ejemplo de ello son los servicios de polinización, cuyo precio únicamente referido a la producción de alimentos se ha estimado en 500,000 millones de dólares a nivel mundial al año, 22,000 millones de euros para la agricultura europea y más de 2,400,000,000 de euros para la agricultura española, pero que son cifras que palidecen al compararlas con el valor que implica en términos de supervivencia.

Los grandes retos ambientales y sociales a los que nos enfrentamos actualmente, como sociedad global, deben abordarse necesariamente desde una perspectiva coherente, sinérgica y

de cooperación multinacional. Los objetivos de desarrollo sostenible relativos a la lucha contra la pobreza, la salud y la seguridad alimentaria, están intrínsecamente interrelacionados con los objetivos de conservación de la biodiversidad y de los ecosistemas. Así, por ejemplo, no será posible avanzar hacia los objetivos de erradicación de la pobreza y de la seguridad alimentaria, si no es mediante enfoques que tengan plenamente en cuenta la integración de los objetivos medioambientales y de conservación de la biodiversidad y los ecosistemas, puesto que éstos son, en último término, el capital natural en el que se basa el sustento y el desarrollo económico de la sociedad. De ahí que sea preciso seguir redoblando nuestros esfuerzos por garantizar la preservación y utilización sostenible de nuestros recursos, así como proteger la biodiversidad y asegurar la resiliencia de los ecosistemas de manera que continúen suministrando servicios esenciales para el desarrollo sostenible y mantengan la posibilidad de adaptación a las nuevas condiciones climáticas.

Señoras y Señores,

Si quebramos el ciclo de la naturaleza, amenazamos nuestro propio ciclo vital. Sin embargo, a pesar de esta evidente necesidad de contar con ecosistemas sanos y resilientes como base del bienestar humano, nuestro planeta se enfrenta hoy a un gran reto medioambiental, revertir la pérdida de biodiversidad, al igual que ocurre a nivel global, los países de la cuenca mediterránea venimos experimentando en las últimas décadas, una pérdida de biodiversidad y una degradación de los ecosistemas que previsiblemente va a acrecentarse como consecuencia del impacto climático. Las evaluaciones mundiales más recientes en concreto, la evaluación global sobre la biodiversidad y el estado de los servicios de los ecosistemas, elaborada por la plataforma intergubernamental de biodiversidad y servicios de los ecosistemas, confirman que en los últimos 50 años la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas se están deteriorando en todo el mundo y a un ritmo como no se ha conocido en otro momento de la historia.

Muchos científicos opinan, de hecho, que nos encontramos ante la sexta oleada de extinción biológica del planeta; uno de los cinco grandes riesgos globales que amenazan a la humanidad, tal y como el Foro de Davos alerta. Las principales causas que provocan la pérdida de biodiversidad, confirmadas en esta evaluación global, son bien conocidas. La degradación y fragmentación de

los hábitats, la sobreexplotación de los recursos naturales, la expansión de especies exóticas invasoras, la contaminación y el cambio climático. No obstante, todavía podemos, sino revertir, al menos frenar esta imparable pérdida de la biodiversidad. La evaluación muestra que si se impulsan con urgencia iniciativas coordinadas, cambio transformador, sería posible conservar, restaurar y utilizar la naturaleza de manera sostenible, y alcanzar simultáneamente otras metas sociales mundiales. Por ello, abordar este cambio transformador con garantías suficientes para lograr una verdadera integración de la biodiversidad en las políticas sectoriales, es prioritario y absolutamente inaplazable, tal y como reclaman organismos internacionales como el convenio de Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, entre otros. En este sentido, si atendemos a las causas de deterioro de nuestra naturaleza, todas ellas fruto de la actividad humana, se constata que resulta indispensable incorporar los objetivos y metas para la biodiversidad como parte esencial de todas las políticas sectoriales, en particular, de aquellas que rigen la gestión del territorio y los recursos naturales, políticas agrarias, forestales, pesqueras, de agua, energéticas, de transporte, de comercio, de turismo... esta integración debe plantearse de manera determinante en todos los ámbitos, y al más alto nivel, no sólo mediante una transformación profunda del sector público, sino también del sector privado, acercándolos a la sostenibilidad necesaria para revertir las situaciones actuales mediante acciones basadas en un ineludible compromiso con los objetivos y metas internacionales de biodiversidad.

Para abordar estos retos sociales y ambientales globales, resulta fundamental hacerlo desde acciones concertadas, con la implicación de todas las partes y sectores implicados y con acuerdos multilaterales: un nuevo contrato con el planeta. Por ello, la próxima conferencia de las partes del convenio sobre biodiversidad biológica que se celebrará del 15 al 28 de octubre de este año, y en la que se espera probar el nuevo marco global para la biodiversidad para el periodo posterior a 2020 constituye una oportunidad única para acordar globalmente objetivos necesarios para poner freno al alarmante pérdida de biodiversidad que experimenta nuestro planeta y salvaguardar el futuro de la humanidad; una ocasión que como sociedad no podemos desaprovechar para reaccionar con urgencia frente a uno de los retos más acuciantes para la humanidad y para avanzar en la consecución de los objetivos de desarrollo

sostenible. Tenemos la responsabilidad de lograr que en esta cita se apruebe un marco global ambicioso que garantice la adopción urgente de acciones decididas, firmes y ambiciosas a todos los niveles, y contando con la implicación y participación de todos los agentes de la sociedad, desde los gobiernos a los ciudadanos, asociaciones y entidades privadas de todos los sectores relevantes. Conforme nos acercamos a esta cita, se confirma que globalmente no hemos avanzado suficientemente hacia los objetivos que nos marcamos a nivel mundial en materia de biodiversidad en 2010 a través de las Metas de Aichi. Es evidente que no podemos permitirnos encontrarnos en esta misma situación de nuevo en 2030. Este compromiso está en la agenda política del gobierno de España con rango de prioridad, al punto de situarlo en el ámbito de una vicepresidencia para la transición ecológica y el reto demográfico.

Más del 25% de la superficie terrestre y del 8% de la superficie marina está ya incluido en la red natura 2000, que es el principal instrumento del que se ha dotado la Unión Europea para conservar su naturaleza, y asumimos el compromiso de contar con un 30% de espacios marinos protegidos en el horizonte 2030. España mantiene además una importante red de parques nacionales, espacios naturales de alto valor ecológico y cultural, cuya conservación merece una atención preferente, por lo que se declaran de interés general del Estado. Esta red formada por 15 parques nacionales, no sólo permite actuar de manera diferenciada para conservar la riqueza natural de cada uno de ellos, sino que además actúan como dinamizadores de las economías locales gracias al empleo generado en los municipios circundantes, a los servicios asociados y muy especialmente al turismo; cada año acuden hasta 15 millones de visitantes, a quienes les permite disfrutar no sólo de estos servicios de entornos únicos, sino conocer de primera mano los retos que implica su conservación y la necesidad de preservar su rica biodiversidad, lo cual nos coloca en la obligación de avanzar en modelos de gestión basados en el equilibrio del disfrute y el equilibrio de la conservación. Por otra parte, España en el marco de la Unesco, mantiene 52 reservas de la biosfera, territorios cuyo objetivo es armonizar la conservación de la biodiversidad biológica y cultural, y el desarrollo económico y social a través de la relación de las personas con la naturaleza.

El objetivo de la red de reservas, a nivel global, es establecer un marco de cooperación entre todas las reservas declaradas por la Unesco, para potenciar las sinergias de actuaciones individuales en la promoción de un crecimiento económico y humano sostenible desde los puntos de vista sociocultural y ambiental.

A nivel internacional, España está firmemente comprometida con la necesidad de impulsar un nuevo marco más ambicioso, y que facilite posteriormente una mejor aplicación a nivel nacional. Este marco debe establecer objetivos y metas ambiciosas y medibles que den respuesta a las principales amenazas y factores subyacentes, que causan la pérdida de biodiversidad, y a poner de relieve la importancia fundamental de la integración de la biodiversidad en todos los sectores económicos clave.

Compartimos con Marruecos la necesidad de acometer sin dilación este ambicioso a la vez que imprescindible proceso de transformación que permita lograr una verdadera integración de la biodiversidad, no sólo en las políticas públicas, sino también en las actividades del sector privado. En este sentido, Marruecos ha demostrado su compromiso a nivel internacional con la conservación de la biodiversidad biológica, por ejemplo, mediante su ofrecimiento para albergar en 2021 la próxima reunión de la Plataforma intergubernamental sobre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas. Nuestros dos países están unidos desde hace siglos por lazos económicos y culturales, pero también por importantes vínculos en materia de conservación de la naturaleza. Sin ir más lejos, todos los años, miles de aves migratorias europeas y africanas surcan los cielos de ambos países en los recorridos de sur a norte o viceversa, y el estrecho de Gibraltar conecta nuestras costas, lo que ocurre a un lado del estrecho, tiene implicaciones directas e inmediatas al otro lado. Compartimos también la reserva intercontinental del Mediterráneo, que en el ámbito constituido por el sur Andalucía y el norte de Marruecos, se conforma como un importante espacio de comunicación entre el continente africano y el europeo basado en los principios de desarrollo sostenible. Contribuir a la preservación de los recursos naturales y culturales, promover un modelo de desarrollo sostenible, impulsar la colaboración institucional entre las administraciones española, andaluza y marroquí en la consecución de intereses comunes

relacionados con los intereses de esta reserva y proporcionar un instrumento de gestión que permita el desarrollo social desde la conservación del patrimonio natural y cultural.

La reserva es un lugar estratégico de intercambio natural, sociocultural de elevado potencial y atractivo turístico que reúne una gran diversidad de paisajes y recursos naturales y culturales, en muchos casos compartidos, cuya gestión y conservación requiere necesariamente una consideración transfronteriza.

Otros ámbitos de colaboración entre España y Marruecos en materia de biodiversidad son ejemplo igualmente del compromiso que ambos países mantenemos en esta materia. Sí, en el marco del plan de acción español contra el tráfico ilegal y el furtivismo internacional de especies silvestres, dos representantes de la gendarmería real de Marruecos tuvieron la oportunidad de participar en sus jornadas de protección medioambiental, en el marco de la lucha contra las electrocuciones de aves en tendidos eléctricos, gracias a la colaboración propiciada por la Unión internacional para la conservación de la naturaleza y de la UICN Málaga con Marruecos, funcionarios de la Secretaría de Estado de medioambiente han impartido clases también en seminarios y cursos formativos en Marruecos.

Confiamos en avanzar con otros posibles proyectos de colaboración entre nuestros países, como la puesta en marcha de un programa de colaboración entre España y Marruecos para el establecimiento de un programa de cría en cautividad de algunas especies terrestres amenazadas que aún se conservan en Marruecos, así como en el ámbito de la conservación de la biodiversidad marina.

Por ello, es esencial y redundante en nuestro mutuo interés que sigamos cooperando estrechamente en materia de conservación de la naturaleza, reforzando las actividades ya en curso, e impulsando nuevas acciones que nos permitan abordar conjuntamente los importantes retos a los que ambos países debemos enfrentarnos.

Señoras y Señores,

Cualquier proyecto de desarrollo que pretenda asentarse sobre el consumo ilimitado de recursos limitados está condenado al colapso. En este contexto, el papel del mundo académico es fundamental para contribuir a un mejor entendimiento de los problemas que amenazan nuestro patrimonio natural, para proporcionar foros de diálogo que ayuden a la identificación de estos problemas, pero también en la búsqueda de soluciones. Pero sobre todo y de manera especial, el mundo académico nos recuerda el valor del análisis y del conocimiento real y profundo sobre temas cruciales que requieren de acciones decididas, pero también de reflexión reposada, porque de nuestras decisiones de hoy dependerá el futuro del aire, del agua, de la tierra y de todas las formas de vida que en ella habitan y esta es la herencia que dejaremos a nuestros hijos, o dicho de otra forma, es el préstamo que nuestros hijos nos hacen, con la obligación de devolvérselo. Ciencia, política y sociedad deben compartir una misma hoja de ruta en la cual confluyen los compromisos climáticos y ambientales.

Permítanme, por tanto, concluir agradeciendo el valioso papel que la Academia desempeña en este enorme reto que la humanidad afronta.

Merci beaucoup.

Où, quand, pourquoi et comment est apparu l'Homme; les réponses du discours scientifique

Yves COPPENS

Académie Hassan II des Sciences et Techniques



**Monsieur le Secrétaire Perpétuel,
Monsieur le Chancelier,
Mesdames, messieurs, mes chers confrères
mes chères consœurs ;**

Je suis évidemment toujours heureux de me trouver dans cette superbe Académie et très fier d'en faire partie. C'est vrai que j'en ai vu d'autres dans ma vie, mais à partir d'un certain âge on est un peu de toutes les académies; c'est hélas l'âge qui fait ça, alors comme vous avez vu le titre de ma présentation est très prétentieux, puisque j'ai la prétention de vous dire où, quand, pourquoi et comment est apparu l'Homme, c'est-à-dire qu'il n'y a plus de mystère du tout. En fait, comme vous le savez bien, toutes les populations, toutes les sociétés du monde depuis les premières, se sont posées cette question de l'origine et ont trouvé ou proposé une solution qu'on appelle le mythe d'origine, ou bien ont eu des solutions révélées qu'on appelle des religions. Autrement dit, ce que je vais vous présenter, c'est évidemment le discours scientifique, donc c'est une approche de ces problèmes de l'origine de l'Homme.

Le discours scientifique

Alors, pour vous fixer d'abord un peu les idées et les chiffres, non pas à vous qui êtes de la compétence, mais au public, je rappelle simplement que dans le discours scientifique nous disons que la première perception de l'univers est datée de 14 milliards d'années. La première perception de la terre, l'information de la Terre autour d'une étoile qu'on appelle le Soleil c'est 4 milliards 600 millions d'années. L'apparition de la vie sur Terre c'est 4 milliards d'années. L'apparition des vertébrés, dont nous faisons partie, c'est un peu plus de 500 millions d'années dans l'eau. L'apparition des mammifères c'est un peu plus de 200 millions d'années dans l'air (je veux dire sur le continent), et à ce moment-là nos amis les mammifères, dont nous faisons partie, étaient ovipares et ils poussaient des œufs; et l'apparition des premiers mammifères placentaires dont nous sommes évidemment partie prenante, c'est un peu plus de 100 millions d'années. Au sein

de ces mammifères placentaires apparaissent les primates, et nous sommes des primates; les primates sont, ou peut-être, censés descendre des insectivores; c'est assez curieux mais c'est ainsi. Nos grands-parents étaient insectivores et les premiers primates apparaîtraient autour de

70 millions d'années. Il y a un petit peu de débat, mais c'est l'ordre d'idées quand même, et ces primates se sont évidemment adaptés à un milieu nouveau qui apparaît à ce moment-là, et qui est un milieu arboré; ce sont des arbres et un milieu d'arbres à fleurs; alors ça nous paraît étrange aujourd'hui de parler de la naissance des fleurs, mais il est vrai qu'avant ces années-là il n'y avait pas de plantes à fleurs. Les plantes à fleurs sont des plantes à fruits; autrement dit notre toute première adaptation de 70 millions d'années est une adaptation à l'arboriculture; on grimpe et puis à la consommation de fruits puisque les arbres à fleurs vont donner des fruits, bien sûr.

Les premiers ancêtres

Ces primates se développent, se diversifient comme tous les êtres vivants, et il faut retenir une chose importante dans mon discours, c'est qu'autour de 10 millions d'années, en Afrique tropicale, apparaissent les êtres qui sont les ancêtres communs que nous partageons avec les chimpanzés. Autrement dit, nos grands-parents, grands papas et grands mamans, sont à la fois grands papas et grands mamans des chimpanzés. On sait ça depuis longtemps sur le plan de l'anatomie, de la physiologie et même sur le plan des lithologies; mais la génétique a confirmé récemment tout à fait cela, puisque le décryptage de l'ADN de chimpanzés a montré qu'il était en effet très proche de notre propre ADN.

Dans une pensée évolutionniste, il ne fait pas de doute que nous avons des ancêtres communs avec les petits chimpanzés; mais il se trouve qu'à ce moment-là l'orbite de la Terre change (intéressant aussi pour la géologie), pourquoi? c'est une affaire d'astronomie où la position de la Terre sur son écliptique, sur son orbite change;

toujours est-il qu'il y a un coup de froid sur la Terre; et, à ce moment-là on vit un coup de chaud, mais c'était un coup de froid, et ce dernier provoque un englacement des deux pôles et plus particulièrement du pôle sud, l'Antarctique; or, un coup de froid en Antarctique provoque un coup de sec aux Tropiques. Autrement dit, les Tropiques de l'Afrique où se trouvent les grands papas et les grands mamans des chimpanzés et de nous-mêmes subissent ce changement climatique, qui entraîne une ouverture du paysage; une partie de ce paysage reste forestier dense; ce sera celui des pré-chimpanzés et des chimpanzés, et puis une partie du paysage s'ouvre (devenant de la forêt claire), et dans cette forêt claire vont naître les pré-humains, et puis plus tard les humains. Donc c'est très intéressant de voir qu'il y a une correspondance, une corrélation, qui est formidable en sciences, une corrélation entre un événement astronomique qui devient un événement géologique, et qui devient un événement biologique. Cet événement biologique nous importe puisque c'est la naissance des pré-humains, c'est la naissance de la sous famille.

La naissance des pré-humains (les hominins)

Parlons du détail, ce n'est pas joli mais des hominins, nous sommes des hominins; donc ces gens-là apparaissent dans un milieu beaucoup plus découvert et ils s'y adaptent. Or, moi ça m'a toujours surpris; ils s'y adaptent d'une façon étrange, ils se mettent debout. Avouez que c'est étonnant quand même : on se met debout, et pour moi qui aujourd'hui marche mal, j'en veux à ces pré-humains qui se sont mis debout il y a des millions d'années; et ils se sont mis debout pour s'adapter à ce milieu qui se découvre et qui est en même temps arboré (sorte de forêt claire), et en même temps découvert de grands espaces de graminées. Ces gens-là se mettent debout, et donc comme ils sont debout, ils sont bipèdes ils marchent sur leurs deux pattes postérieures, plus ou moins bien, et ils continuent à grimper. Ils marchent et grimpent, et ça va être la caractéristique de tous ces pré-humains pendant des millions d'années. Autrement dit, nos prédécesseurs immédiats, de proximité si l'on peut dire, bien qu'il s'agisse de millions d'années, étaient à la fois des marcheurs et des grimpeurs. Et on comprend bien que le redressement du corps se soit un événement : imaginez un être à quatre pattes, ou en tout cas un grimpeur seulement, qui tout d'un coup est debout; alors debout ça veut

dire quoi? ça veut dire que le crâne (donc la tête) est posé différemment sur la colonne vertébrale, ce qui d'ailleurs déverrouille la possibilité pour le cerveau de se développer. La colonne vertébrale, elle-même, prend les courbures qui sont les nôtres, c'est à dire les quatre courbures qui permettent l'équilibre de la station debout, le bassin qui va porter tous les organes, alors qu'auparavant dans les quadrupèdes ce n'était pas le cas. Ce bassin devient alors un bassin aux pressions, c'est à dire un bassin court et large, donc ça va tout changer aussi dans la parturition, d'où l'accouchement de ces pré-humains; et l'accouchement des femmes aujourd'hui qui est un accouchement un peu compliqué parce qu'il y a un conflit entre la station debout et la parturition. Les membres inférieurs vont s'allonger, pour mieux marcher, et les membres supérieurs vont se réduire, et vont servir pendant un certain temps encore à grimper. Alors si on affirme cela de manière très aussi précise, c'est parce que la paléontologie a eu la chance de découvrir dans ces zones très anciennes, au moins trois formes différentes, trois genres différents, et par la suite trois espèces différentes de ces très anciens pré-humains. Ces trois genres séparés sont :

- Sahelanthropus tchadensis trouvés au Tchad (7 millions d'années);
- Orrorin tugenensis trouvés au Kenya, (6 millions d'années);
- et Ardipithecus ramidus ou Ardipithecus kadabba (autour de 5,8 Ma).

Trois formes, et c'est donc autour de 6 millions d'années qu'on a des informations palpables. Les américains ont un très joli mot pour ça, ils disent «the hard evidence», c'est à dire qu'on peut toujours raconter des histoires mais quand on a the hard evidence (l'os), il faut bien tenir compte de l'os, ça veut dire que c'est quelqu'un qui a existé. Or, on a ces trois formes qui nous racontent comment ces gens-là étaient, pourquoi ces gens-là se sont mis debout, comment ils se sont mis debout, comment ils étaient debout, comment était toute cette anatomie dont je viens de vous parler. Et, ce qui est tout de suite extrêmement intéressant, et qu'on a trouvé déjà tout le long de l'histoire de la vie, c'est la diversité, la biodiversité; donc, dans notre famille aussi il n'y avait pas de raison que ce soit différent, on prend conscience tout de suite de cette biodiversité ; je veux dire que le Sahelanthropus doit être sur une branche de notre arbre généalogique qu'on appelle phylétique, Orrorin doit être sur une autre branche

et *Ardipithecus* aussi, c'est à dire qu'on a tout de suite une diversité de formes, et ce n'est pas assez, bien sûr, pour comprendre qu'elle est celle qui sera l'ancêtre véritable de notre humanité. En tout cas, tous font partie de ce vivier des ancêtres, et ça signifie que notre arbre phylétique, notre arbre généalogique est véritablement un arbre avec beaucoup de branches et pas du tout une ligne toute belle, toute droite qui va directement à l'Homme.

Les Australopithèques

Les pré-humains qui suivent sont ceux que l'on appelle les Australopithèques. En effet, à partir de mon histoire de coup de sec de 10 millions d'années, et entre 10 et 3 millions d'années (soit 7 millions d'années), nous avons uniquement des pré-humains : c'est la première vague dont je viens de vous parler, puis une sorte de deuxième vague qu'on appelle Australopithèques. Pourquoi on sépare les deux? parce qu'autour de 4 millions d'années, sans doute, les *Ardipithèques*, les *Sahelanthropes* et les *Orrorins* disparaissent, en tout cas on ne les trouve pas; et à partir de 4 millions d'années on trouve ces Australopithèques qui en descendent et qui sont d'autres pré-humains; c'est-à-dire des pré-humains qui aussi marchent et grimpent, mais qui sont des pré-humains qui ont un tout petit peu de volume cérébral de plus; les premiers c'était autour de 300 cm³, là on est autour de 400 cm³ et un petit peu plus, ce n'est pas brillant mais c'est déjà quelque chose; et puis ce sont aussi ces êtres qui commencent à se rapprocher de l'humanité en étant meilleurs marcheurs et en étant pour la première fois coureurs. Donc, comme ils marchent mieux, ils courent un peu et nous sommes toujours dans ce monde des pré-humains. C'est dans ce monde-là, juste une parenthèse, qu'a été décrite Lucie, dont on fait grand cas, et qui a été une découverte importante à son époque sans excès mais importante tout de même, parce que c'était le pré-humain le plus complet, le moins incomplet que l'on connaisse à l'époque (en 1974), et en outre, c'était le plus ancien que l'on connaissait à cette époque-là (3,2 Ma); aujourd'hui on est à 7 millions comme vous le savez, ou vous l'avez entendu.

De Lucie à l'Homme

C'est grâce à Lucie, grâce à ce petit squelette trouvé en Afar éthiopien, dans le Nord-Est de l'Éthiopie, que l'on a compris justement, pour la première fois, dans mon laboratoire d'ailleurs, le fait que ces

êtres-là étaient debout, marchaient et grimpaient. Cette double locomotion est apparue grâce à Lucie; alors Lucie a été bien sûr battue depuis dans l'âge, a été battue depuis dans le fait qu'on a trouvé des fossiles du même âge ou plus anciens beaucoup plus complets, mais Lucie demeure une sorte de symbole et (Lucie) est connue partout, c'est difficile de comprendre pourquoi, peut-être parce qu'on lui a donné un prénom qui est connu dans certains mondes, peut-être parce que c'est un être qui était suffisamment représenté (52 ossements sur 206); ce qui n'est pas énorme mais quand même, suffisamment représenté pour qu'on en dessine les contours. Autrement dit, on a fait apparaître au public, au monde, et aux scientifiques aussi, à quoi pouvait ressembler, une fois vivants, ces pré-humains. Donc, Lucie a pris une allure, un profil, une silhouette et Lucie est devenue vivante, et Lucie est aujourd'hui une sorte de symbole de l'origine de l'Homme. Alors 10 millions d'années et 3 millions d'années, nouveau coup de sécheresse! qu'est ce qui se passe? C'est encore de l'astronomie, la Terre va encore bouger sur son orbite pour des raisons que moi je ne connais pas; je ne suis que géologue et paléontologue, et cette Terre avec cette nouvelle situation sur son orbite va avoir un nouveau coup de froid, 10 millions je répète, 3 millions cette fois, un nouveau coup de froid, très important et qui, cette fois, va se marquer surtout sur le Nord de la planète; c'est l'Arctique qui apparaît. Donc, à 10 millions d'années, l'Antarctique; 3 millions d'années plutôt l'Arctique et un nouveau coup de froid sur la planète, ce qui veut dire un nouveau coup de sec au niveau des tropiques, notamment ceux d'Afrique. Donc, nos pré-humains vont se trouver exactement dans la situation d'autres êtres vivants de tous les êtres vivants de l'époque; il va falloir qu'ils s'adaptent à ce nouveau coup de sec et ça va être le moment où va apparaître l'Homme, l'Homme, l'humain.

Apparition de l'Homme

Le pré-humain va se faire humain en changeant trois choses essentiellement en s'adaptant de manière triple :

- premièrement un changement des voies respiratoires supérieures parce qu'on respire différemment dans un milieu sec que dans un milieu humide;
- deuxièmement un changement de la denture parce qu'il n'y a plus suffisamment de végétaux à consommer, il va se mettre à manger de la

viande, et si on mange de la viande au départ c'est par nécessité;

- et ensuite, troisièmement, un développement de la tête, qui d'un point de vue darwinien signifie que si le cerveau se développe ce n'est pas pour devenir intelligent, mais ce n'est pas pour penser tout d'un coup à l'Académie des Sciences et Techniques de Rabat, mais c'est pour trouver des solutions pour éviter la dent du prédateur, pour éviter la dent du carnivore, c'est la nature.

Vous la connaissez la nature, moi j'ai vécu plus de 20 ans sous la tente en Afrique, et j'ai vu vivre tous les animaux autour de moi et tout le monde est inquiet dans la nature. On consomme un petit peu et puis on fait attention pour voir si à l'horizon n'apparaît pas un carnivore, et tous ces êtres vivants pour survivre ont trouvé des solutions, par exemple à ce moment-là le cheval court plus vite, l'éléphant a des dents beaucoup plus importantes pour manger plus d'herbe alors qu'auparavant il mangeait surtout des feuilles, et l'Homme qui reste petit il a quoi? un développement de cerveau pour trouver des astuces, pour ne pas se faire croquer, c'est tout.

Donc voilà avec cet homme qui va avoir ensuite des usages pirates de ces éléments nouveaux :

- changement des voies respiratoires;
- descente du larynx;
- établissement de la case de résonance entre les cordes vocales et la bouche;
- pendant ce temps-là se creuse le palais;
- se réduit la partie antérieure de la mandibule;
- et apparaît le langage articulé qui va faire une de nos grandes spécificités tout de même;
- La consommation de viande va nous apporter des protéines nouvelles, différentes;
- et le développement du cerveau qui va sans doute passer un seuil tel, que le cerveau qui auparavant savait beaucoup de choses, va tout d'un coup savoir qu'il sait, comme dans un miroir ; quand on sait que l'on sait on anticipe c'est à ce moment-là qu'apparaissent les premières pierres taillées.

Alors juste un mot pour reprendre le titre de mon exposé, autrement dit ça signifie que l'Homme est apparu là où ont apparu les pré-humains et les humains en Afrique tropicale, dans cette

espèce de grand arc qui part pour le moment du Tchad et qui va à travers toute l'Afrique de l'Est jusqu'en Afrique du Sud. On a trouvé des restes au Tchad, en Éthiopie, au Kenya, en Tanzanie, au Malawi, en Afrique du Sud, donc un bel arc qui entoure la forêt équatoriale. Comme vous avez vu pour les pré-humains 10 millions d'années, pour les humains 3 millions d'années pourquoi? parce qu'il y a eu un coup de froid, parce que la Terre tourne mal (et puis qu'il y avait un coup de froid sur la Terre), c'est quand même drôle mais c'est comme ça, et comment? vous l'avez vu, en transformant bien des éléments du corps et de la physiologie et du coup de la réflexion aussi de ces gens. Autrement dit, on peut répondre sur le plan scientifique à toutes ces questions, et c'est toujours intéressant d'abord de pouvoir le faire et puis ça se confirme de plus en plus, mais ça veut dire quelque chose quand même de très rude, si on peut dire, sur le plan en tout cas de la pensée, ça veut dire que l'Homme, nous, l'humain est né on peut dire né, né (e) pour une question de nécessité d'adaptation à un changement climatique, un point c'est tout. Tout le reste ce sont des usages pirates. Alors, il y a quand même une petite nuance intéressante, surtout pour les scientifiques ici, c'est que le passage du pré-humain à l'humain est un petit peu flou que ça peut être comme ça très net, mais en fait on a trouvé, on a découvert il y a peu de temps, un peu avant l'Homme, les outils taillés incontestables. Donc, la taille de la pierre, qui normalement est attachée à la réflexion de l'Homme, semble apparaître avant l'Homme, à moins qu'on n'est pas les véritables premiers hommes. On a un site au Kenya avec des restes de plus de 3 millions d'années (3,3 Ma) d'outils taillés incontestables, ce qui pose une question. Par ailleurs, on a trouvé dans un site de trois millions quatre cent mille ans en Éthiopie, des ossements d'animaux qui ont des traces de décarnisation, ça veut dire qu'alors que l'on considérait nos pré-humains comme tous végétariens ou majoritairement végétariens, il se trouve que certains, avant l'Homme, ont déjà consommé de la viande au point de racler les os sur lesquels se trouvait cette viande, et raclaient ces os forcément avec des pierres, forcément avec des outils, alors est-ce que ces outils étaient taillés, est-ce qu'ils n'étaient pas taillés?

Je vais vous dire qu'au moment de l'émergence de l'Homme il y a encore sur le plan scientifique des points d'interrogation. Juste quelques mots sur l'Homme, qui apparaît donc autour de 3 millions

d'années, sous les tropiques et il se déploie très vite, s'étend géographiquement très vite à travers, c'est simple à comprendre, l'Afrique d'abord, et puis, l'Europe, l'Eurasie ensuite, l'Europe et l'Asie ensuite, et puis l'Amérique enfin. Or le développement à travers l'Afrique, le mouvement à travers l'Afrique atteint bien sûr l'Afrique du Nord, et un collègue algérien a trouvé récemment des pierres taillées, qui ont plus de deux millions d'années, dit-il, dans le Constantinois. Je connais bien ce monsieur, qui s'appelle Sahnouni, et c'est un monsieur très sérieux, un professionnel, et donc ses outils semblent véritablement trouvés là où il le raconte, et dans ce cas-là, la date de 2 millions d'années est très intéressante, et forcément qu'elle est généralisable sur l'ensemble de l'Afrique du Nord. Ici, pour le moment au Maroc, les plus vieux outils auraient autour d'un million d'années; donc il y a sûrement de plus anciens à découvrir; donc cet homme se déploie et il y avait aussi des choses à retenir dans ce déploiement c'est qu'il va aussi se diversifier; même chose pour la biodiversité qu'on a rencontré tout à fait au début de l'Histoire, on la retrouve ici, et comme c'est facile à comprendre, la démographie est faible, l'Homme se déploie mais par petits morceaux. Ce sont de petits groupes qui se trouvent isolés les uns des autres, et l'isolement va faire de la dérive génétique; autrement dit ces groupes, sur le plan anatomique, vont se séparer les uns des autres, et vont apparaître des espèces qu'on appelle en zoologie, ou en botanique, enfin dans toute la biologie des espèces; mais pour moi ces espèces je vais vous dire pourquoi, ne sont pas de vrais espèces comme on l'entend, comme on croit l'entendre en biologie avec des limites d'interfécondité.

Je crois que tous les humains de la Terre ont toujours été, tout le temps, inter-fécondables, pourquoi? Parce qu'il y a quelque chose dont on ne tient pas suffisamment compte, c'est la rétroaction de la culture sur la nature. L'Homme, comme je viens de vous le dire, comme il anticipe, non pas en utilisant des outils, mais en les fabriquant; et, comme il fabrique des outils, il fabrique aussi, il invente aussi la culture, et comme il a le langage articulé, tout cela va lui donner quand même des propriétés bien différentes de celles de ses prédécesseurs. Alors qu'est-ce que ça veut dire? lorsque dans la nature vous voyez un groupe girafes qui croisent un autre groupe de girafes, elles ne se regardent pas, elles s'en fichent; les girafes d'abord laissent passer les girafes de l'autre

côté, puis c'est tout. Quand vous avez deux groupes d'hommes qui se rencontrent, ou qui s'aperçoivent, vous le savez bien, d'abord il y a de la méfiance, il y a toujours de la curiosité, jamais un groupe d'hommes va passer en négligeant tout à fait le contact avec l'autre groupe, et si le contact se fait, ça veut dire que la culture agit, et comme la parole le langage articulé existent, ces gens vont échanger des idées, échanger des techniques, échanger peut-être des sites de chasse ou de pêche, ou de cueillette, ... Vous savez qu'en général on raconte ça mais on ne raconte pas la vérité, parce qu'on n'a pas envie que les voisins aillent juste sur le site que l'on a découvert. C'est pareil pour les champignons, on ne dit jamais où on a trouvé les champignons. Donc, en fait, ils vont échanger des choses, des idées, peut-être aussi des gens, des femmes et il va y avoir des alliances; et ses alliances vont entraîner tout le temps des interfécondités, chaque fois qu'il y aura des rencontres, ou presque, et ces interfécondités vont faire que les soi-disant espèces humaines, tellement différentes sur le plan anatomique, ne vont pas tout à fait être de vrais espèces, et c'est pour ça qu'on trouve aujourd'hui où la paléogénétique se développe beaucoup, beaucoup de traces de ces interfécondités; donc une grande diversité, mais en même temps diversité relative, et puis l'importance du rôle de la culture.

L'Homme moderne

Alors pour en finir avec cet Homme, parlons de l'Homme moderne qui, lui aussi est né en Afrique; et il faut savoir que le Maroc s'est illustré beaucoup ces temps-ci par la découverte notamment, par nos collègues Abdelouahed Ben-Ncer et Jean Jacques Hublin, de restes d'hommes modernes de 300 mille ans et pour le moment c'est le record; mais comme il y a des restes fossiles d'environ 300 mille ans aussi en Afrique méridionale, peut-être que ça signifie, comme d'ailleurs l'ont écrit ces auteurs, que nous ne sommes pas à l'origine de l'Homme moderne, mais nous sommes déjà dans un panafricanisme de l'Homme moderne. Il n'empêche que l'Afrique, votre Afrique est donc à l'origine des pré-humains, à l'origine des hominidés, à l'origine des homininés, à l'origine de l'Homme et à l'origine de l'Homme moderne. Merci à l'Afrique de nous avoir offert tout ça.

Merci beaucoup.

Différentes facettes du patrimoine géologique du Maroc

Ahmed EL HASSANI

Institut Scientifique - Université Mohammed V de Rabat
Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Introduction

La notion de géodiversité : selon la définition de Gray (2018), c'est l'équivalent abiotique de la biodiversité qui décrit la variété des caractéristiques et processus géologiques, géomorphologiques, pédologiques et hydrologiques.

Quelle est sa place dans la diversité naturelle?

Il s'agit d'une composante de la nature qui recouvre les minéraux, les roches, les fossiles, les reliefs et paysages, les sols et les processus actifs associant géologie et géomorphologie, dont la conservation (ou géo-conservation) implique souvent la sélection de sites représentatifs de la géodiversité d'une zone à tous les niveaux (international, national et régional). Elle profite à la société en fournissant un grand nombre de biens et de services (services des écosystèmes ou services écosystémiques abiotiques) dont dépendent le bien-être humain et la prospérité. Avec la biodiversité, la géodiversité constitue la diversité naturelle de la planète Terre.

Elle est constituée par des éléments remarquables et qui méritent donc d'être sauvegardés pour les générations futures.

Le patrimoine géologique ou «géo-patrimoine» fait référence aux éléments de la géodiversité de la planète qui sont jugés dignes de conservation et reposent donc sur un jugement subjectif. La notion de patrimoine géologique prend ses racines en Haute-Provence, lors du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique (Digne, 1991), sous l'égide de l'UNESCO et en donne la définition suivante (in De Weber, 2014) :

Le patrimoine géologique est constitué d'objets remarquables, particulièrement les sites naturels observables à différentes échelles: du paysage à l'affleurement et aux échantillons (roches, fossiles, minéraux, ...) relatifs à l'ensemble des disciplines des sciences de la Terre (paléontologie, pétrographie, tectonique, minéralogie, géomorphologie, ...).

Sa composante est un complément incontournable du patrimoine biologique et en fait naturellement un patrimoine fragile, soumis à des phénomènes d'altération et d'érosion. En ce sens, il se rapproche du patrimoine archéologique pour les problèmes de conservation. Toute dégradation de l'un d'eux (géo-patrimoine et archéologie) est définitive, contrairement au patrimoine biologique qui peut faire l'objet de programmes de restauration ou de réintroduction.

Bien avant cela, l'UNESCO a adopté en 1972 la notion de «patrimoine mondial» qui vise à la protection des objets, des sites et des paysages les plus précieux à travers le monde. Au cœur du programme se trouve la notion de «valeur universelle exceptionnelle» qui doit être démontrée pour chaque bien demandant à être reconnu comme patrimoine mondial.

Bien qu'elle ne soit pas définie explicitement dans la Convention concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel, la valeur universelle exceptionnelle est comprise comme une valeur de portée mondiale, s'étendant au-delà des frontières politiques de pays particuliers ou de sphères d'intérêt étroites de diverses disciplines universitaires (Migon, 2018).

Le patrimoine dans sa composante géologique englobe tous les objets et sites symbolisant la mémoire de la Terre. Il inclut à la fois des éléments **in situ** (géosites, roches, fossiles, mines, sols et minéraux, structures, paysages, ...) ou des éléments **ex situ** (collections de spécimens géologiques des musées, collections géologiques, bazars, archives, publications, cartes, coupes, lames minces, ...) qui ont une valeur qu'elle soit paléontologique, géomorphologique, minéralogique, pétrographique ou stratigraphique, ... (El Hassani, 2016; El Hassani et al., 2017).

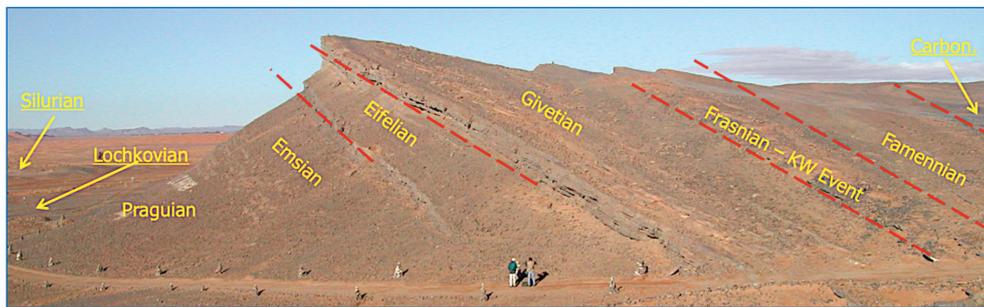


Figure 1 : Un exemple de patrimoine in-situ - Panorama ouest-est de la terminaison sud du Jbel Boutchrafine (au sud d'Erfoud- Anti Atlas), montrant la coupe complète de la période dévonienne et les bio-événements associés (le Kellwasser notamment).

Les grandes facettes de la géologie du Maroc

Le Maroc, est un pays dont l'histoire géologique est l'une des plus complète au monde, avec des expositions (coupes complètes de référence assez complètes). Le Maroc préserve une grande partie de l'Histoire de la planète Terre, qu'on peut lire depuis l'aube de la vie (3,8 Ga) jusqu'à l'Actuel, du Sud (Chaîne des Mauritanides - Adrar Soutouf) au Nord (Chaîne du Rif), en passant par les chaînes de l'Atlas, les plateaux et plaines de la Meseta marocaine.

Notre pays est tributaire de plusieurs milieux sédimentaires (continentaux, lacustres, marins, glaciaires); Plusieurs types de chaînes (collision et intracontinentale) et aussi plusieurs orogénèses:

- du Précambrien (avec la dernière – Panafricaine: qui a donné le Gondwana),
- Le calédonien (Bloc des Sehoul) – au Paléozoïque inférieur,

- Le varisque / hercynien – au Paléozoïque supérieur (qui a donné la Pangée),
- L'alpin, qui a donné deux types de chaînes: intracontinentale (les Atlas) et collision (Rif).

Les traces des cinq grandes extinctions de masse se retrouvent également au Maroc

C'est Georges-Louis Leclerc de Buffon et Georges Cuvier qui, au 18^{ème} siècle, qui ont eu l'idée que le vivant sur Terre alterne des phases d'extinction et des phases de renouvellements des faunes et des flores.

Une extinction de masse est un événement que l'on peut considérer comme relativement bref sur l'échelle des temps géologiques mais qui au niveau de son impact sur les espèces vivantes est absolument catastrophique, causant ainsi la disparition de toute une espèce ou groupe d'espèces (Figure 2).

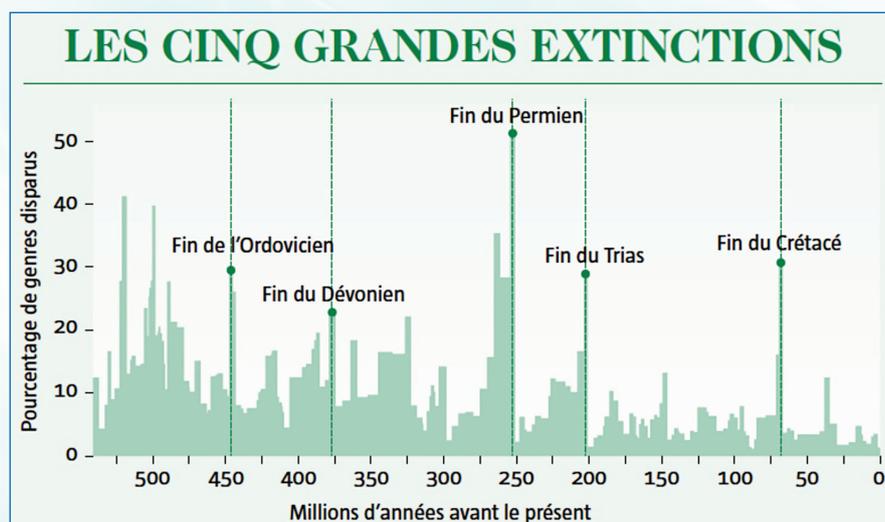


Figure 2 : Diagramme montrant les cinq principales extinctions qu'a connue la planète Terre. Ce graphique, selon Boundless Biology du 8 janvier 2016 ¹, représente les extinctions marines, car ce sont elles qui fournissent les meilleurs points de comparaison. Il s'agit des genres et non des espèces. Ainsi, l'extinction de la fin du Permien concerne un peu plus de la moitié des genres, mais 95% de toutes les espèces. Les dinosaures ont disparu à la fin du Crétacé.

1- <https://www.books.fr/le-mythe-de-la-sixieme-extinction/>

Ces extinctions ont des ampleurs variables et on distingue cinq principales, toutes enregistrées dans les sédiments marocains.

Elles ont été généralement l'occasion d'une transition d'une forme de vie (faune et/ou flore) dominante pour une autre. Il s'agit de :

- 1- Fin de l'Ordovicien (445 Ma) : c'est la seconde extinction de masse la plus importante de l'Histoire. À cette époque, 70% des espèces animales sont rayées de la carte des vivants... véritable catastrophe pour l'océan et la vie sous-marine (Sheehan, 2001).
- 2- Fin du Dévonien (385 Ma) : 75% des espèces animales disparaissent. La survie de la vie est due aux arbres qui ont continué à produire de l'oxygène, les températures ont fini par se stabiliser et les saisons réapparaissent petit à petit, permettant une nouvelle fois à la vie de se diversifier. On enregistre aussi un manque d'oxygène (Anoxie) au niveau mondial appelé «événement Kellwasser», se produit à la fin du Frasnien. Il marque la limite entre les deux étages (Frasnien / Famennien) et se marque par une hécatombe de Goniatites et Orthocères dans faciès noirs (exemple dans le Tafilalt) très reconnaissables sur le terrain.
- 3- Fin du Permien (252 Ma) : marquée par la disparition de 95% des espèces marines et de 70% des espèces terrestres. Elle a été caractérisée comme la mère de toutes les extinctions de masses par l'auteur D.H Erwin (1994). Cette crise aurait eu un lien étroit avec un phénomène général de la tectonique des plaques, le Permien étant caractérisé par la fin de l'orogénèse hercynienne qui a érigé des chaînes de montagnes provoquant la «soudure» de toutes les terres fermes en un seul supercontinent, la Pangée. Les zones continentales ont donc été soumises à une forte aridité et érosion massive, les zones côtières sont plus restreintes.
- 4- Trias – Jurassique (200 Ma) : correspond à peu près au moment où la Pangée s'est fracturée, avec d'importants épisodes volcaniques qui aurait entraîné un réchauffement climatique global. Les experts pensent que cet événement serait lié à l'ouverture de la province magmatique du centre atlantique et serait responsable de la disparition de près de 20% des espèces marines et une part importante des grands vertébrés terrestres, la diversité biologique s'en est retrouvée bien amoindrie. Cette extinction a permis l'arrivée du temps de **domination** des dinosaures et des **mammifères**.
- 5- Crétacé – Tertiaire (65 Ma) : six à huit espèces sur dix ont disparu et parmi ces disparitions on retrouve les grands Sauriens comme les

dinosaures... Les oiseaux ont survécu mais les insectes sont ceux qui ont le mieux résisté. La cinquième extinction de masse du Crétacé – Paléogène (C–T) est non seulement la plus récente des extinctions de masse du Phanérozoïque «Big Five», mais aussi la plus connue et la mieux étudiée. L'hypothèse principale de la cause de cette extinction reste un l'impact majeur d'une gigantesque météorite (Alvarez et al., 1980) et les changements environnementaux globaux rapides et sévères qui en découlent (Schulte et al., 2010). La cause admise est l'impact d'un géant astéroïde qui aurait percuté la Terre à Chicxulub dans la province du Yucatán au Mexique. Cet impact aurait charrié des matériaux à grande vitesse dans l'atmosphère en provoquant ainsi un refroidissement, éradiquant une grande partie des espèces (surtout ceux de grande taille) en quelques jours.

- 6- Vers une 6^{ème} extinction de masse? (Homme): Beaucoup de chercheurs tirent la sonnette d'alarme quant à ce qu'ils appellent «la sixième extinction de masse», appelée aussi l'extinction de masse humaine ou la 6^{ème} crise biologique. La cause de cette sixième extinction de masse est humaine, si nous continuons à ce rythme-là, des milliers d'espèces sont amenées à disparaître. À la différence des 5 extinctions massives, l'extinction de masse humaine est causée comme son nom l'indique par l'humain et non par des causes extérieures comme les précédentes extinctions (on lui attribue l'âge anthropocène).

Le Maroc est aussi un pays minier avec plusieurs types de minéralisations

L'analyse de la carte des recherches minières au Maroc (Figure 3) qui nous est fournie par l'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM), renseigne sur l'existence de trois types de recherche concernant : les métaux précieux, les minéraux de base, et les roches et minéraux industriels.

Les gisements et indices miniers se regroupent au sein de provinces (ou époques) métallogéniques. Celles-ci sont relation avec les grands événements géodynamiques qui caractérisent la géologie du Maroc. Outre les phosphates qui occupent les régions de Khouribga-Oued Zem, Benguerri et Elayoune, on y connaît plusieurs autres minéralisations dont les plus typiques, pour la période précambrienne, sont localisées dans les boutonnières de l'Anti-Atlas (Saghro, Ougnat). Il s'agit (selon de le site de l'ONHYM) des minéralisations à Au-Cu de Tiouit, du gisement argentifère d'Imiter, des minéralisations aurifères de Qalaat Mgouna, des minéralisations à Wolframite de Taourirt Tamellalt et de nombreuses minéralisations filoniennes polymétalliques comme Boumadine, Tizi Moudou, Assif Imider.

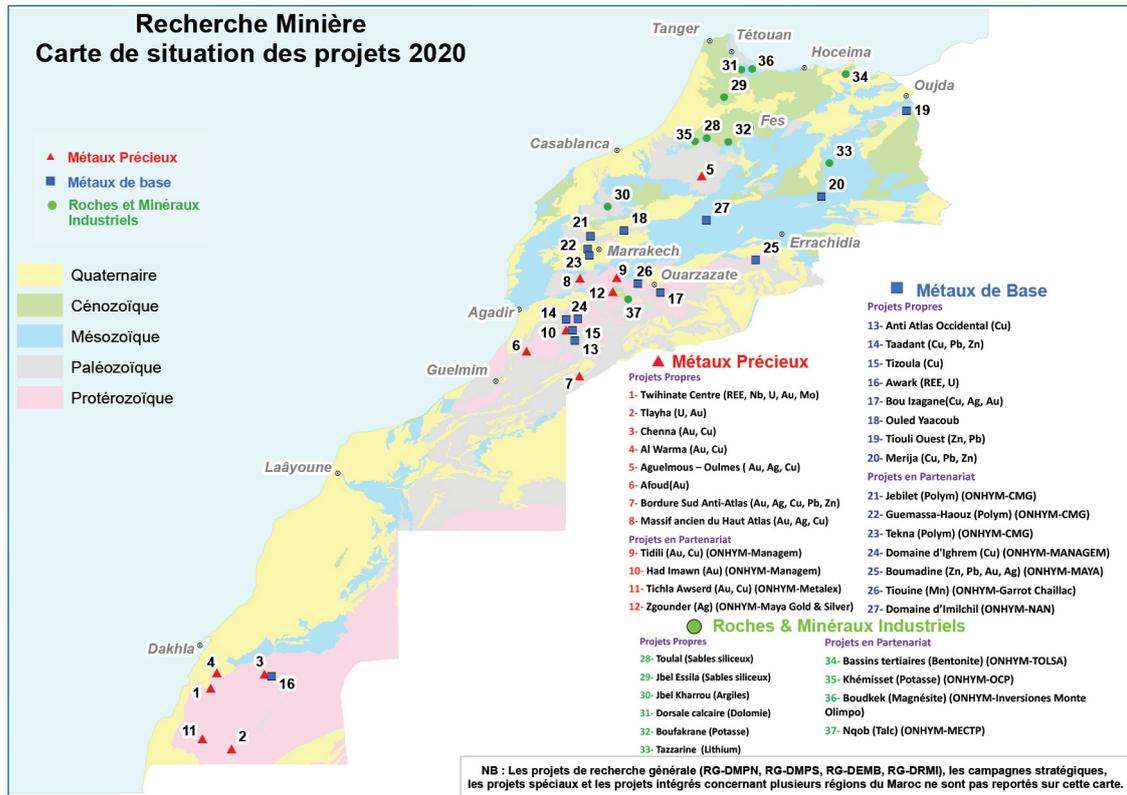


Figure 3 : Carte montrant la situation des différents projets miniers au Maroc (ONHYM, 2020)

Pour ce qui est de la région hercynienne où l'on parle plutôt d'époques métallogéniques (au lieu de provinces), qui se traduisent par des minéralisations autour des granitoïdes hercyniens. On peut donc signaler les amas sulfurés des Jebilet-Guemassa (Hajar, Draa Sfar, Kettara et Koudiat Aïcha) et les minéralisations péri-granitiques du Maroc central avec les principaux gisements suivants : L'étain d'El Karit, la fluorine d'El Hammam, celui à F-Pb-Ba-Ag de Zrahina, le Plomb de Tighza, argent de Koudia El Beida et de Koudiat Hamra, le gisement à W-Cu-Mo d'Azegour (dans le Haut Atlas) et les minéralisations de W-Sn-Cu-Au autour du massif de Tichka. Récemment, selon l'ONHYM, de nouveaux types de minéralisations hercyniennes ont été mises en évidence dans la région de Tan-Tan au Jbel Malek (Au) et dans le Bas Draa à Azouggar N'Tilili (Pb, Zn, Ag, Au).

Le Jurassique constitue aussi une importante époque métallogénique où les gisements les plus importants sont ceux de Boubker-Touissit, Beddiane, Oued Mekta et Mibladen.

Enfin les minéralisations liées au volcanisme néogène sont les concentrations de bentonite et de perlite dans le Rif oriental (région de Nador notamment).

Les domaines structuraux

On distingue du Sud au Nord quatre domaines structuraux qui sont (Figure 4) :

- 7- Le domaine Saharien (Précambrien)
- 8- Le domaine de l'Anti – Atlas (Précambrien – Hercynien)
- 9- Le domaine de la Meseta et des Atlas (Haut et Moyen) : Calédonien – Hercynien – Alpin
- 10- Le domaine du Rif (alpin)

Cette lecture correspond également à des ensembles structuraux qui sont de plus en plus jeunes en allant du Sud vers le Nord, ayant enregistré des orogénèses également des plus anciennes (précambriennes) au plus récentes (atlasique et alpine).

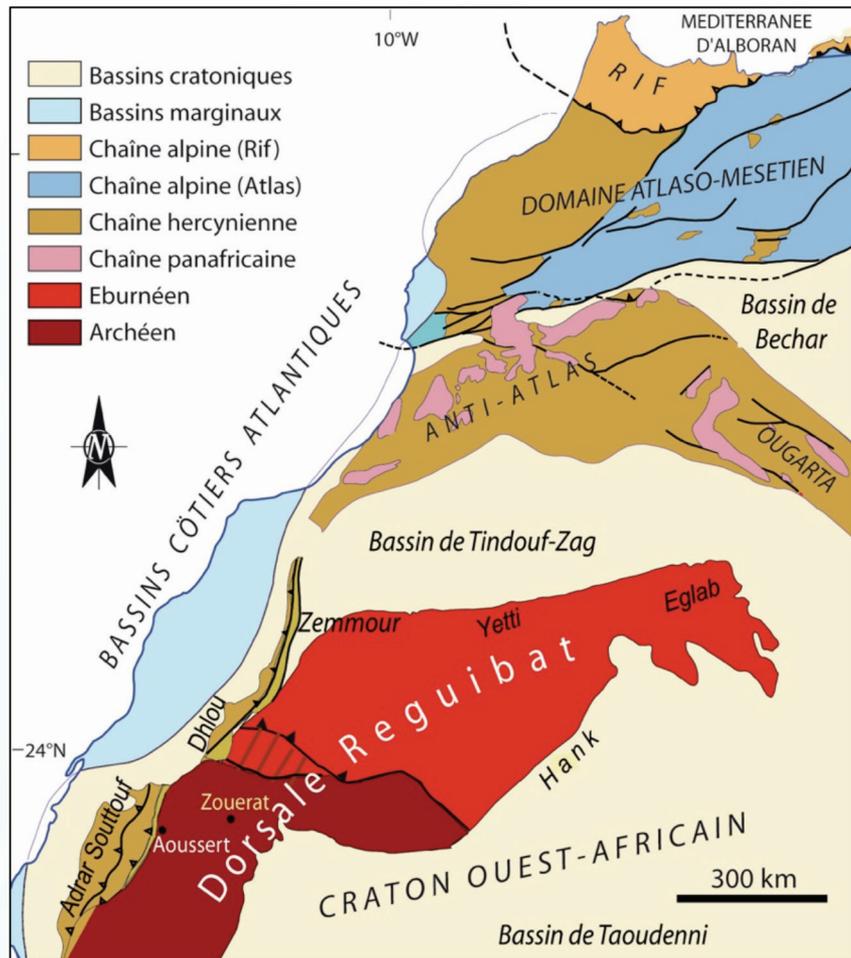


Figure 4 : Les domaines structuraux du Maroc (in Michard et al., 2008)

Le domaine Saharien

Ce domaine comprend la partie ouest de la dorsale Réguibate, la partie nord de la chaîne des Mauritanides (Adrar Soutouf) qui se prolonge vers le Nord dans la chaîne des Zemmour via le tronçon de Dahlou, et enfin le bassin néogène de Boujdour-El Ayoune (Figure 5).

Le Craton ouest-africain (WAC) est constitué de terrains archéens et éburniens. Celui-ci s'étend sur des millions de kilomètres carrés dans le désert

du Sahara, avec un socle cristallin dans le Bouclier ou dorsale Réguibat, où l'Archéen est dominé par les gneiss et les roches granitiques ; alors que l'Eburnien se compose de roches granitiques et métasédimentaires du Paléoprotérozoïque. La couverture du WAC est constituée par des sédiments peu ou pas déformés dans les bassins de Tindouf et de Taoudenni (l'âge de ces dépôts sédimentaires dans ces bassins s'étend du Néoprotérozoïque au Cénozoïque, soit environ 1 Ga, sans aucune lacune interne).

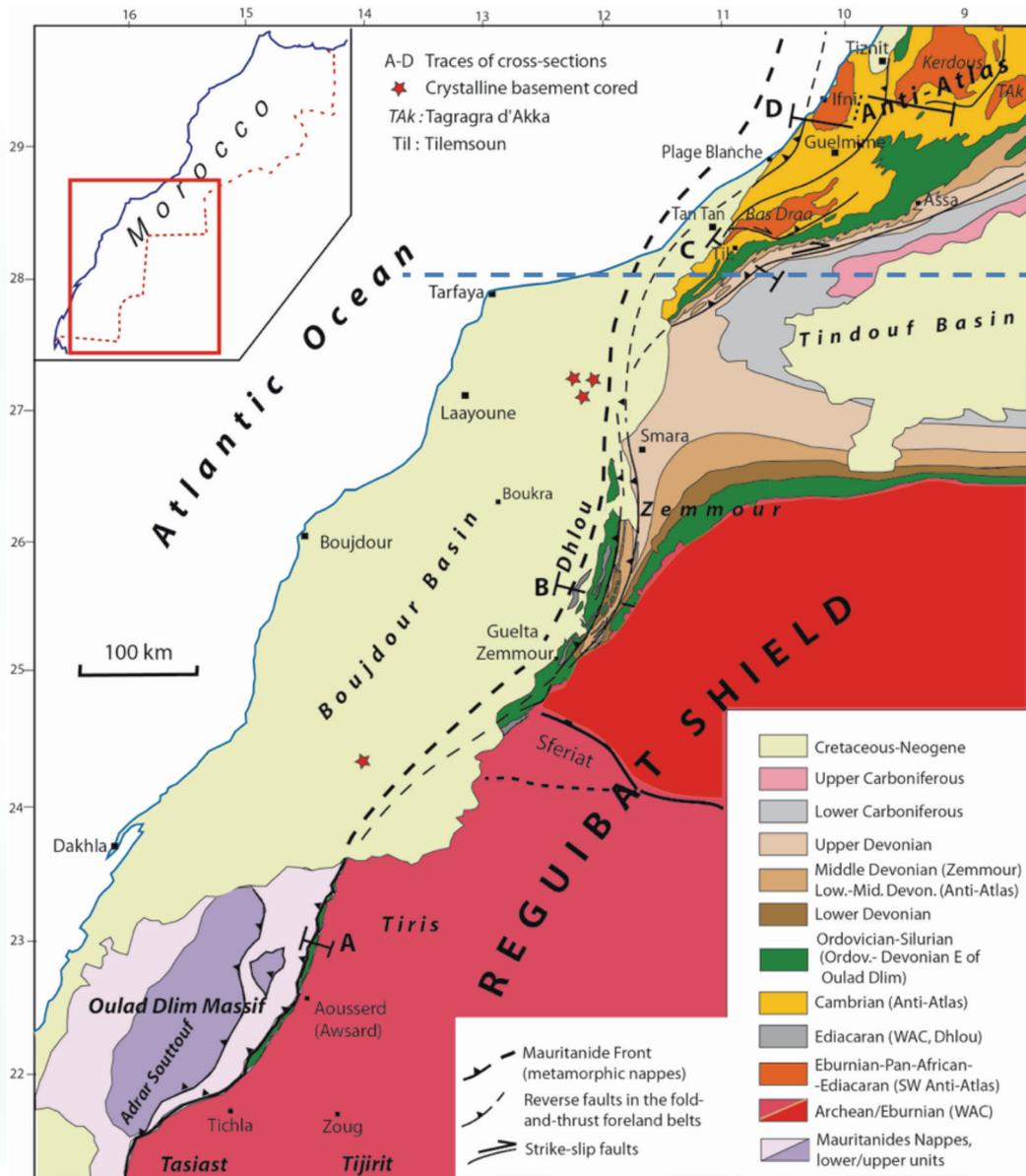


Figure 5 : Carte géologique simplifiée du domaine saharien (in Rjmati et al., 2011).

Le craton ouest-africain est entouré par la ceinture panafricaine qui s'est d'abord formée entre 760 et 660 Ma (B1), puis entre 630 et 550 Ma (B2). Il s'agit de l'orogénèse panafricaine dont les événements (s.l.) sont responsables de la construction du supercontinent Gondwana.

La structure de la région est aussi marquée par le cycle orogénique hercynien ou varisque (360-290 Ma) qui s'exprime fortement dans les nappes des Mauritanides septentrionales (Oulad Dlim/Adrar Souttouf).

L'Adrar Souttouf, avec celui du Dahlou-Zemmour, représente la partie la plus septentrionale de la chaîne des Mauritanides (Sougy, 1969), qui en plus de son caractère hercynien, et lié à la chaîne Appalaches-Mauritanides, montre dans sa partie la plus méridionale, des éclogites dont les zircons ont livré un âge panafricain (595 Ma), ce qui permet d'émettre l'hypothèse d'une chaîne polyphasée, comme les Mauritanides centrales et méridionales (Villeneuve et al., 2006).

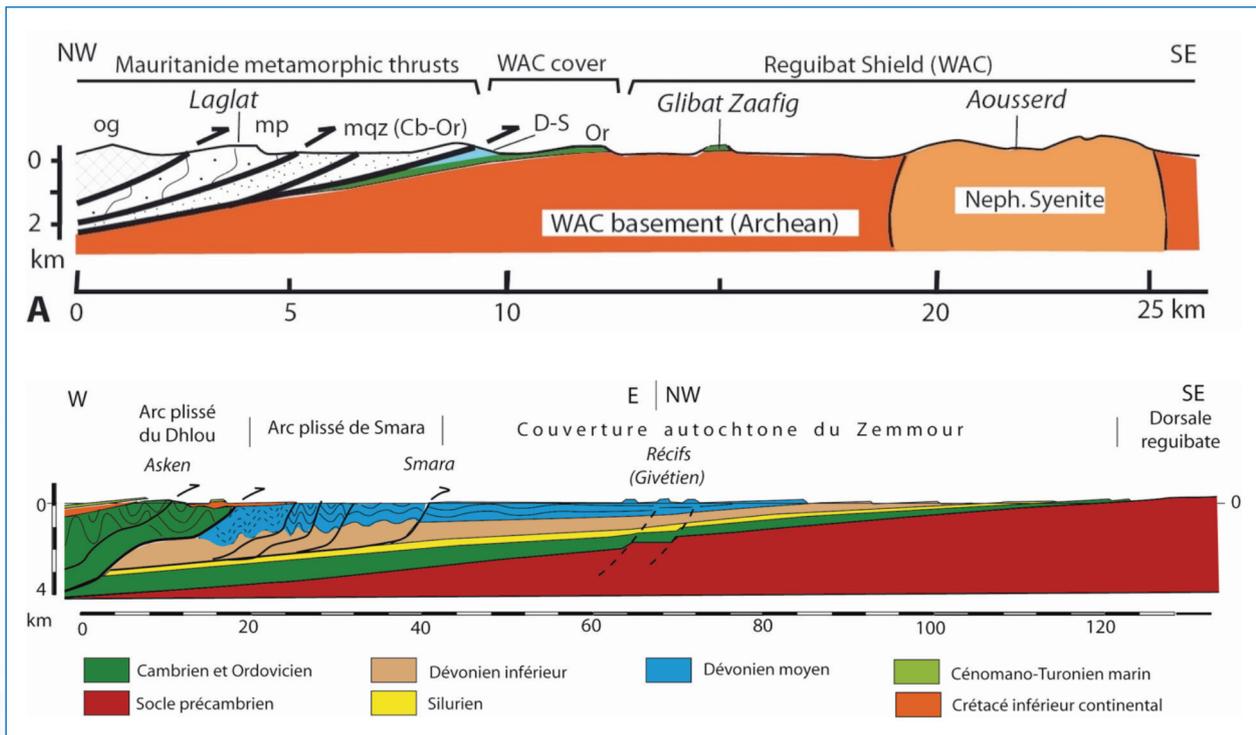


Figure 6 : Coupes montrant le type de structures géologiques dans le domaine saharien (d'après Rjimati et al., 2011)



Figure 7 : Panoramas montrant les syénites précambriennes de la région d'Aousserd



Figure 8a : Photos de la partie inférieure du complexe récifal de Sabkhat Lafayrina (Est de Smara) montrant des siltstones et des grès recouverts d'oolites (photo 1-a), le détail des oolites (1-b) et les calcaires récifaux (1-c).

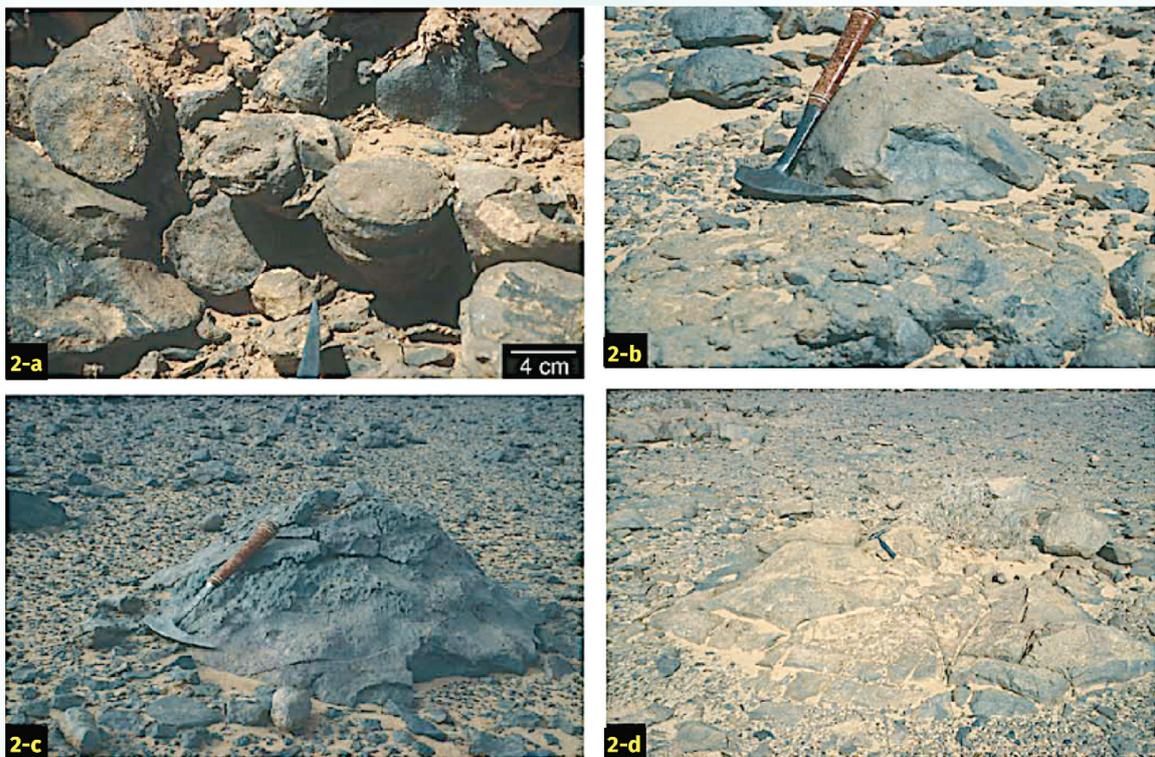


Figure 8b : Photos montrant les structures stromatolitiques : coral genus "*Mesophyllum*" (2-a); stromatoporoides en dômes (zone récifale) (2-b); stromatoporoides en dôme (detail) (2-c) et large stromatoporoides (2-d) (le Marteau comme échelle).

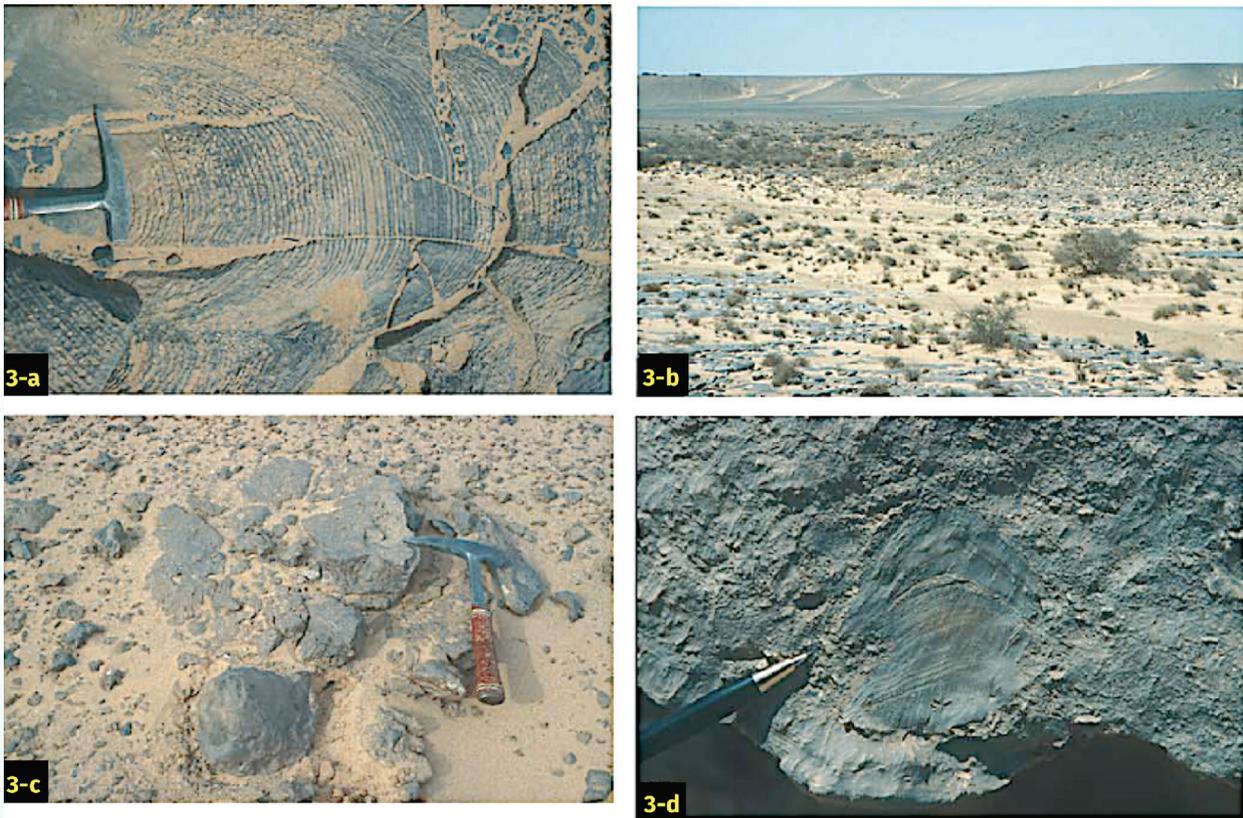


Figure 8c : Photos montrant les exemples de stromatoporoïdes (3-a, 3-c et 3-d) bien conservés avec des bandes de croissance, dans la partie supérieure de la section à Sabkhat Lafayrina aux alentours d'un des gigantesques mud-mounds (3-b) dévoniens au SE de la ville de Smara ².

Le bassin Tarfaya-Dakhla est le bassin atlantique le plus méridional du Maroc. Il s'étend sur plus de 1000 km le long de la marge ouest du Sahara. Sa stratigraphie est connue en partie grâce aux études géophysiques qui montrent que les séries du Trias supérieur au Jurassique inférieur n'existent qu'en profondeur, où elles recouvrent en discordance angulaire le socle précambrien supérieur de la dorsale Reguibat et probablement aussi le Paléozoïque des Mauritanides (Hafid et al., 2006). Les séries suivantes attestent de l'approfondissement de ce bassin d'abord continental, pour devenir de plus en plus marin pour s'estomper au Maastrichtien entraînant des dépôts relativement moins profonds. Dans cette série, le Crétacé inférieur est représenté par des dépôts mixtes, clastiques (dominants) et

carbonatés. Le Crétacé supérieur est transgressif sur les terrains sous-jacents, avec des faciès gréseux à silteux présentant des passées de dolomies gréseuses et de calcaires argileux. Ces dépôts traduisent un environnement marin lagunaire à néritique interne. Il s'approfondit progressivement entraînant le dépôt d'argile calcaire à intercalations de calcaire. Le maximum de transgression a été atteint au Cénomaniens terminal – Turonien basal et au Campanien.

Des vertébrés fossiles ont été trouvés et décrits dans ce bassin notamment par Adnet et al. (2010) ; Zouhri et al. d'abord sur le pourtour est de la Baie de Dakhla (2014) puis ensuite à Sebkhath Gueran (2018), située à l'intérieur de ce bassin.

2- Photos provenant de l'étude réalisée dans le cadre de la coopération maroco-allemande. Voir : Königshof, P., Bensaïd, M., Birenheide, R., El-Hassani, A., Jansen, U., Plodowski, G., Rjimati, E., Schindler, E., Wehrmann, A. (2004): Carbonate buildups in the Middle Devonian – examples from the western Sahara. 74. Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft, 02.-08.10.2004, Universitätsdrucke Göttingen 2004, pp : 128-130.



Figure 9a : Paysage du bord Est de la Baie de Dakhla montrant les terrains de couverture.



Figure 9b : Panorama de la partie est de la Lagune de Dakhla montrant la séquence stratigraphique de la formation Samlat (nomenclature stratigraphique et photos d'après Adnet et al. 2010). Les géologues se trouvent à l'emplacement du site fossilifère.

Le domaine de l'Anti Atlas

Ce domaine, qui prolonge la chaîne du Zemmour, est situé entre l'embouchure de l'oued Draa à l'Ouest et la région du Tafilalt à l'Est et s'étend en direction ENE-WSW (Figure 10a). Au point de vue structural, il s'agit d'un vaste bombement anticlinal que l'on peut suivre au-delà, avec une direction NW-SE, dans la chaîne de l'Ougarta en Algérie. Les terrains anciens, précambriens, affleurent dans des boutonnières de petites tailles par rapport au WAC, et jalonnent l'Anti Atlas d'Ouest en Est; les

plus importantes, en superficie, sont celles du Bas-Draa, Ifni, Kerdous, Igherm, Zenaga, Bou-Azzer, Saghro et Ougnate. Ces boutonnières enregistrent la majorité des orogènes précambriennes.

Les terrains paléozoïques couvrent les flancs de l'Anti Atlas; ils sont très peu développés sur la bordure nord, le plus souvent faillés et dominent les sillons sud-atlasiques; par contre, ils s'étalent largement sur le flanc sud en constituant la bordure nord du bassin de Tindouf.

Ce domaine est privilégié pour les études stratigraphiques et paléontologiques du Paléozoïque, du fait de la faible déformation des séries ainsi que par la très grande continuité et les parfaites conditions d’affleurement. En effet, les lits de trilobites cambriens, l’Ordovicien «Fezzouata Lagerstätte» et les couches incroyablement fossilifères du Dévonien au Carbonifère inférieur sont suivis sur des dizaines de kilomètres et font actuellement objet d’une exploitation excessive et abusive par les marchands de fossiles.

A ce titre, les lits de trilobites cambriens, l’Ordovicien «Fezzouata Lagerstätte» et les couches incroyablement fossilifères du Dévonien au Carbonifère inférieur sont les plus connus des collectionneurs de fossiles, c’est pourquoi ils font objet d’une exploitation excessive et abusive. Les ammonoïdes, les trilobites, les crinoïdes, les brachiopodes et les coraux sont localement si abondants que des lits fossiles spécifiques ont été exploités sur plusieurs kilomètres, laissant des tranchées marquantes dans le désert pouvant être facilement repérées sur les photos aériennes (exemple : Jbel Issimour – Maider – Anti Atlas oriental) (Figure 10b et 10c).

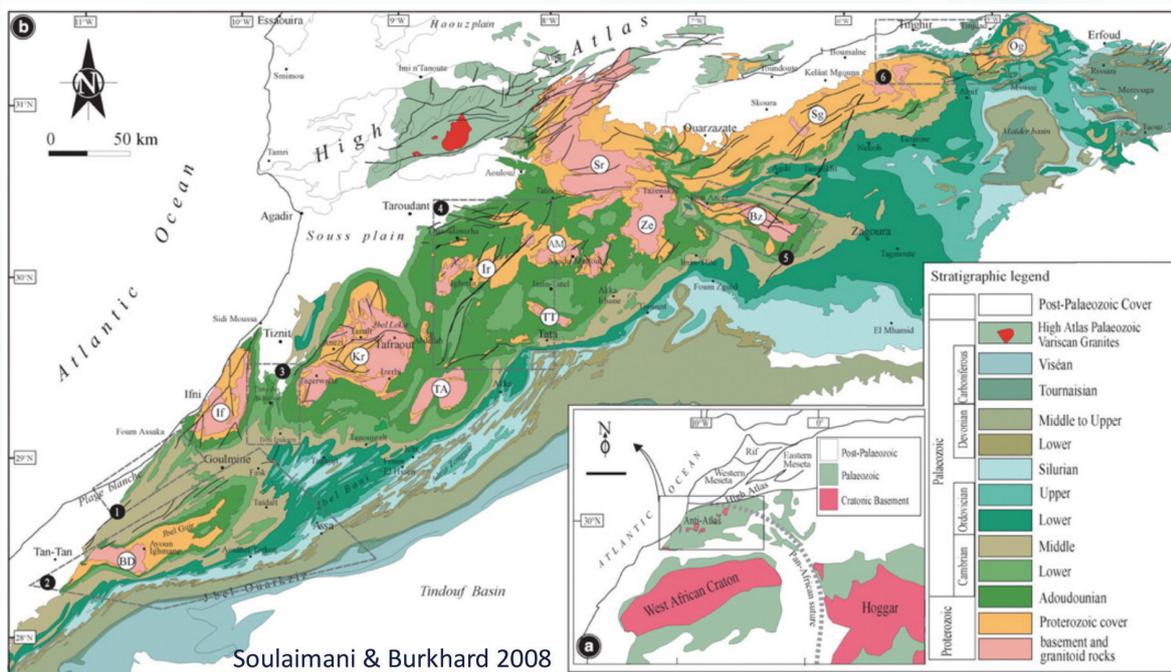


Figure 10a : Carte géologique simplifiée du domaine de l’Anti Atlas (d’après Soulaïmani et Burkhard, 2008) qui montre un ensemble de boutonnières précambriennes sur lesquelles affleurent les épaisses séries du Paléozoïque.



Figure 10b : Tranchée de recherche fossiles – Image-Sat (Apple-maps): la flèche jaune montre les traces de fouille/recherche de fossiles.



Figure 10c : Photos montrant (à gauche) une partie du Jbel Issimour (dans le Maider) à la recherche des trilobites dévoniens (la flèche jaune montre l'ampleur des fouilles); à droite les gigantesques tranchées d'exploitation des tables à Encrines (Schiphocrinites) au Nord du Jbel Boutchrafine (Erfoud) qu'on peut suivre sur plusieurs dizaines de kilomètres.

La stratigraphie dans les régions du Maider et du Tafilalt (Figures 11 et 12) est l'une des plus complète au Maroc. Elle est faiblement perturbée par des structures hercyniennes simples (plis à grand rayon de courbure et failles).

Les séries cambro-ordoviciennes sont assez épaisses et sont caractérisées à la fin de l'Ordovicien par une **position polaire qu'atteste la présence d'affleurements de conglomérats d'origine**

glaciaire. Le début du Paléozoïque est marqué par l'apparition des Trilobites (explosion de la faune du Cambrien). L'Anti Atlas se caractérise à cette époque par de très belles plaques à *Paradoxides*, les nouvelles découvertes de la faune de la Formation de Fezouata (Ordovicien inférieur) et aussi les trilobites de la Formation de Ktaoua de l'Ordovicien supérieur. Ce dernier se termine par des conglomérats d'origine glaciaires (pôle sud).

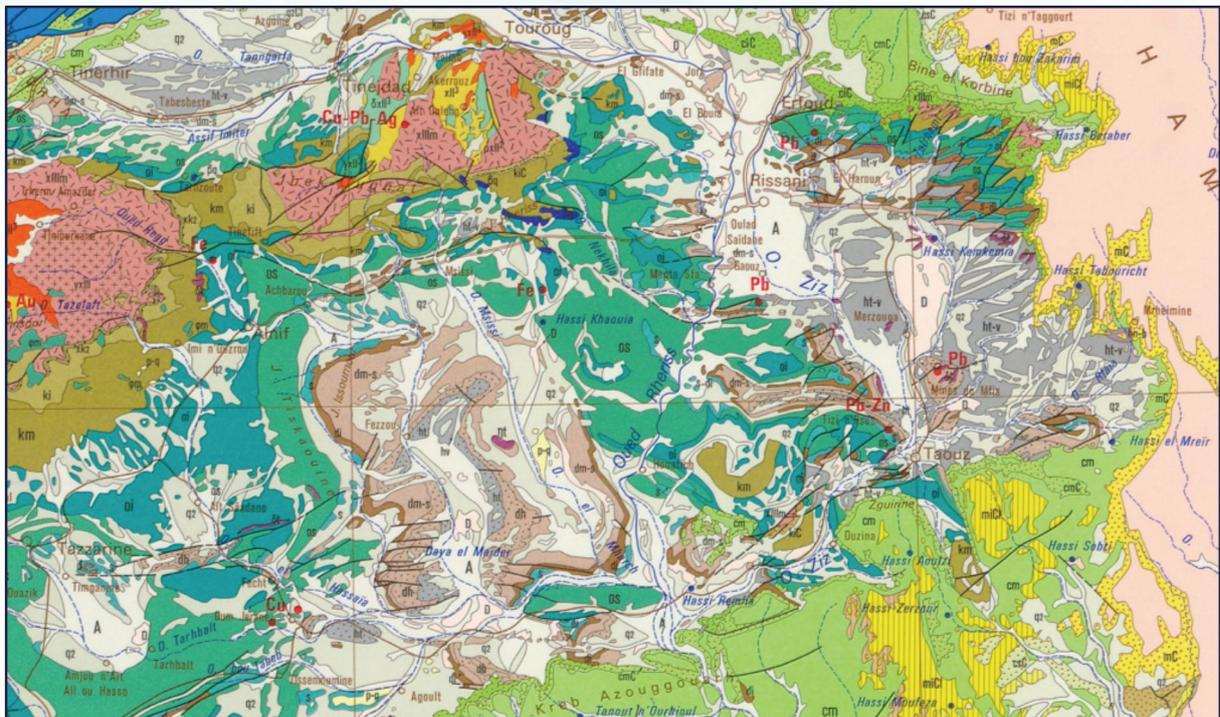


Figure 11 : Carte géologique de l'Anti Atlas oriental (Extrait du millionième du Maroc) de Maider et Tafilalt, montrant des plis cartographiques (à grand rayon de courbure) ainsi que des failles parfois décrochantes.

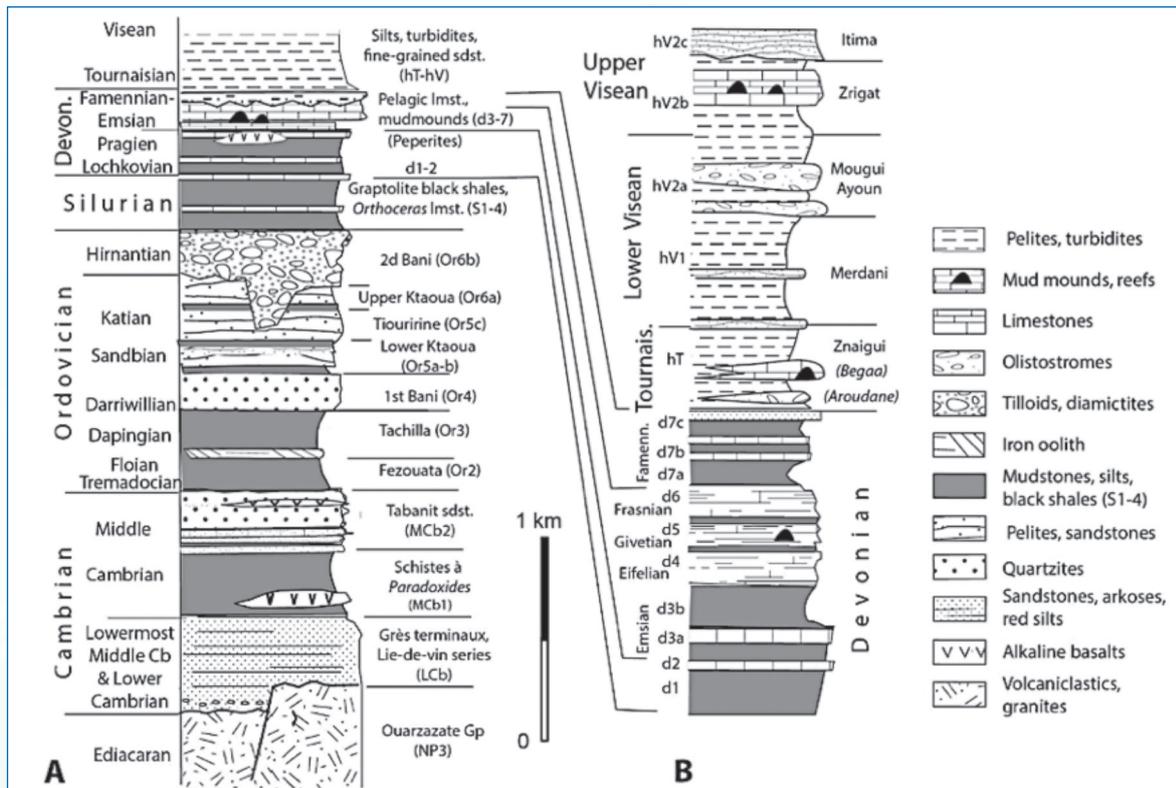


Figure 12 : Logs Stratigraphiques de la série paléozoïque du Tafilalet (Baidder et al. 2016)



Figure 13 : Panorama montrant (à droite) le synclinal perché de Jbel Kissane avec au sommet le deuxième Bani puis (à gauche) les conglomérats de l'Hirnantien d'origine glaciaire

La période silurienne est marquée par une transgression, à la suite de la fonte de la calotte glaciaire polaire, qui dépose des sédiments uniformes dans l'ensemble de la région avec des niveaux calcaires à Orthocères et à crinoïdes (*Schiphocrinites*) activement exploités par les vendeurs de fossiles.

L'Anti Atlas se caractérise aussi par une série dévonienne complète. On notera que pour ce qui est du Dévonien, on remarque une différenciation de faciès entre l'Ouest et l'Est de l'Anti Atlas: une plateforme carbonatée peu profonde à l'Est, alors que c'est un sillon relativement profond avec une épaisse série gréseuse à l'Ouest (Figures 11 et 14).

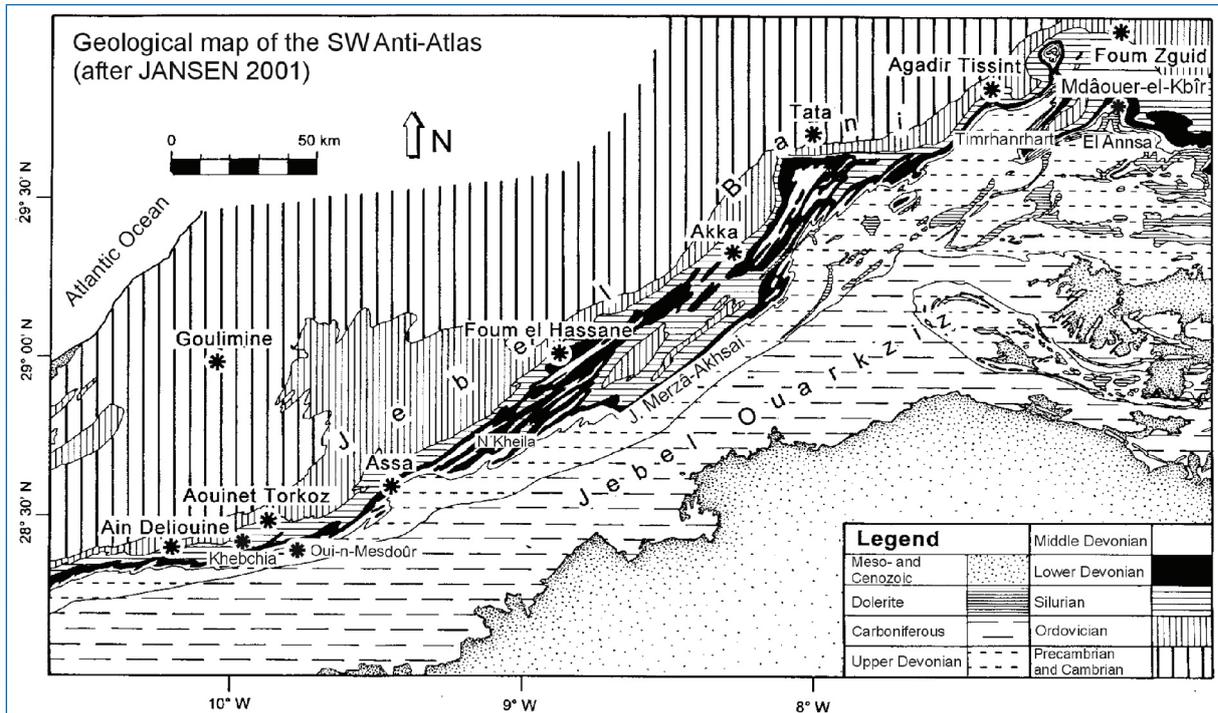


Figure 14 : Carte géologique simplifiée de la partie ouest de l'Anti Atlas (Vallée du Draa) in Jansen (2004).



Figure 15a : Photos montrant les séries continues du Dévonien du Tafilalt avec mention du seul stratotype de la région (Mech irdane pour la limite GSSP Eifélien-Givétien ; photo haut-gauche)

La région du Tafilalet se caractérise également par les spectaculaires mud-mounds (Figure 15b) affleurant à Hamar Lakhdad. Il s'agit de monticules coniques (mud-mounds) situées à environ 18 km au sud-est de la ville d'Erfoud. La série sédimentaire dévonienne à prédominance carbonatée s'est déposée sur un large plateau continental de la marge nord-est du Gondwana.

Selon Belka (1998) ces structures auraient pour origine les éruptions sous-marines du Dévonien inférieur (les pépérites), qui auraient produit ce genre de structure sous-marines en cônes, et qui ont été ensuite enterrés/recouvertes par une épaisse formation (environ 140 m) de calcaires crinoïdiques qu'on appelle la formation de Kess-Kess. Selon ce même auteur, ces monticules se sont probablement développés dans un environnement aphotique dans des conditions d'eau relativement

peu profondes et ont été complètement ensevelis par des schistes, des calcaires nodulaires et des marnes du Dévonien moyen (Belka, 1998).

L'érosion ne semble pas avoir supprimé la morphologie initiale de ces monticules, mais la disparition complète des dépôts sus-jacents a permis de mettre en évidence leur forme conique d'origine et, localement, leur stratification brute, comme en témoigne le spectaculaire Hollard-Mound. Les études structurales ont permis d'affirmer que la plupart de ces structures suivent l'orientation des failles tangentiels et radiales et indiquent plusieurs événements de reprise de la fracturation existante (Belka, 1998).

Une synthèse détaillée de l'état des connaissances et leurs mises à jour a été faite par Becker et al. (2018).

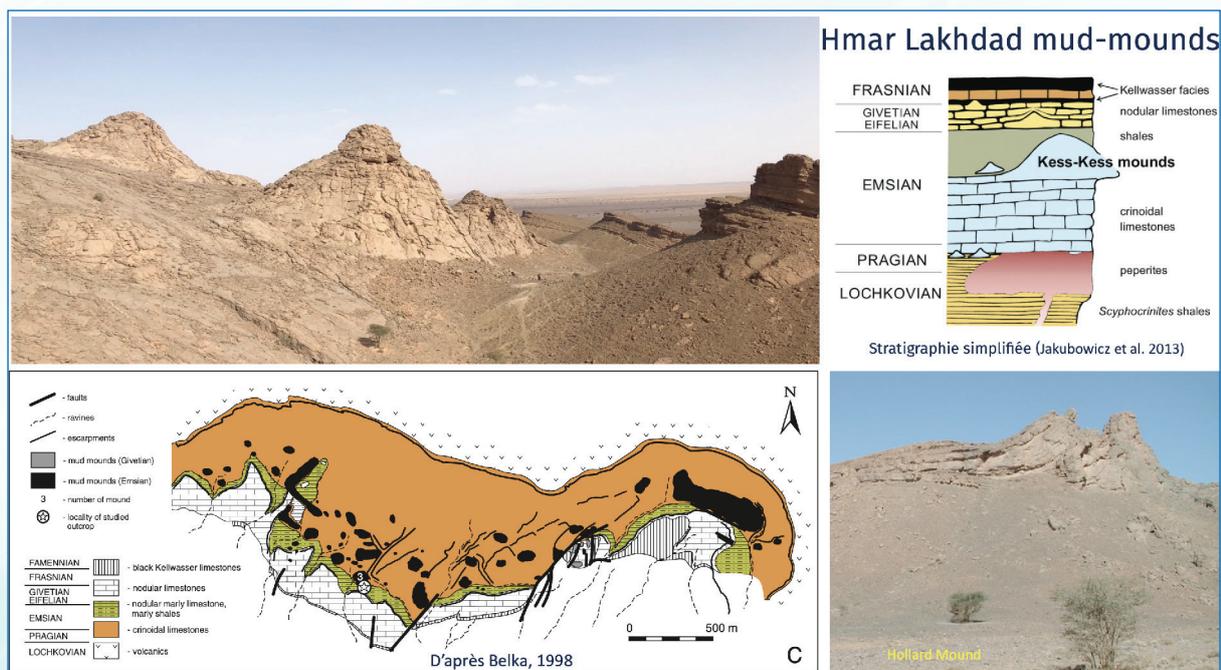


Figure 15b : Les structures sédimentaires des mud-mounds de Hamar Lakhdad : 1. Photo du cône central no. 3 (environ 35 m de haut) nivelés en calcaires inter-monticules solides et condensés de l'Emsien inférieur, recouverts par des strates riches en céphalopodes de l'Emsien supérieur et de l'Eifélien supérieur, avec des équivalents de schiste de Daleje (unité K) formant la principale pente altérée et une falaise formée par les calcaires de l'Eifélien (unité M / N) formant la plaque supérieure au-dessus des calcaires nodulaires moins saillants (unité L). 2. Une carte de la répartition spatiale des mud-mounds (appelé aussi Kess-Kess) par rapport aux failles radiales et tangentiels (Belka, 1998). 3. La succession lithostratigraphique simplifiée à Hamar Lakhdad (d'après Belka 1998, modifié par Jakubowicz et al. 2013), comprenant des roches volcaniques (pépérites), les calcaires crinoïdes du membre inférieur de la formation Kess-Kess, les monticules Kess-Kess représentent le membre Hamar Lakhdad, les schistes sus-jacents les équivalents basaux du schiste du Daleje Shale (Emsien sup). Le faciès de l'événement Kellwasser qui comprend à la fois les styliolinites du Frasnien inférieur et la succession noire du Frasnien supérieur. 4. Vue d'ensemble du monticule givétien (Hollard mound) à l'extrémité est de Hamar Lakhdad, avec une faille synsédimentaire formant une incision marquée et la transition progressive (vers l'ouest = vers la gauche) du monticule vers la pente condensée et le réglage de la plateforme pélagique.

Le domaine de l'Anti Atlas a été structuré essentiellement par les différentes orogénèses du Précambrien (notamment l'orogénèse panafricaine et qu'on retrouve dans les boutonnières) et, à

l'Hercynien, il se caractérise par des plissements modérés (déca- à kilométriques) et des failles (Figure 16).

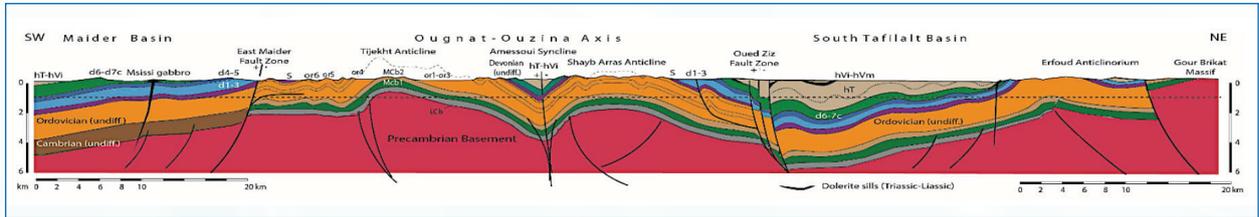


Figure 16 : Coupe NE-SW à travers le Tafilalet et Maider (Baïdder et al. 2016), montrant le style tectonique de ces régions.

Les traits structuraux de ce domaine se caractérisent essentiellement par deux choses (Figures 17 et 18) :

- une suture océanique (dite accident majeur) qui est la signature de la fermeture de l'océan du Précambrien moyen par l'orogénèse panafricaine; (Soulaïmani et al., 2018). Cette fermeture d'océan est soulignée par la présence des ophiolites (à Bou Azzer), qui sont parmi les premières ophiolites précambriennes à avoir été décrites. Elles possèdent les caractéristiques typiques des ophiolites supposées être des fragments de croûte

océanique du Protérozoïque supérieur (788 ± 9 Ma) sur la marge nord du craton ouest-africain (Leblanc, 1981) ;

- et une série paléozoïque complète et exceptionnelle (surtout dans la partie est de la chaîne : Maider et Tafilalet) dont les effets de l'orogénèse hercynienne sont minimes par rapport à ceux de la Meseta marocaine (Michard, 1976; Baïdder et al., 2019), matérialisées par des plis à grand rayon de courbure (décamétrique à kilométrique) et des failles.

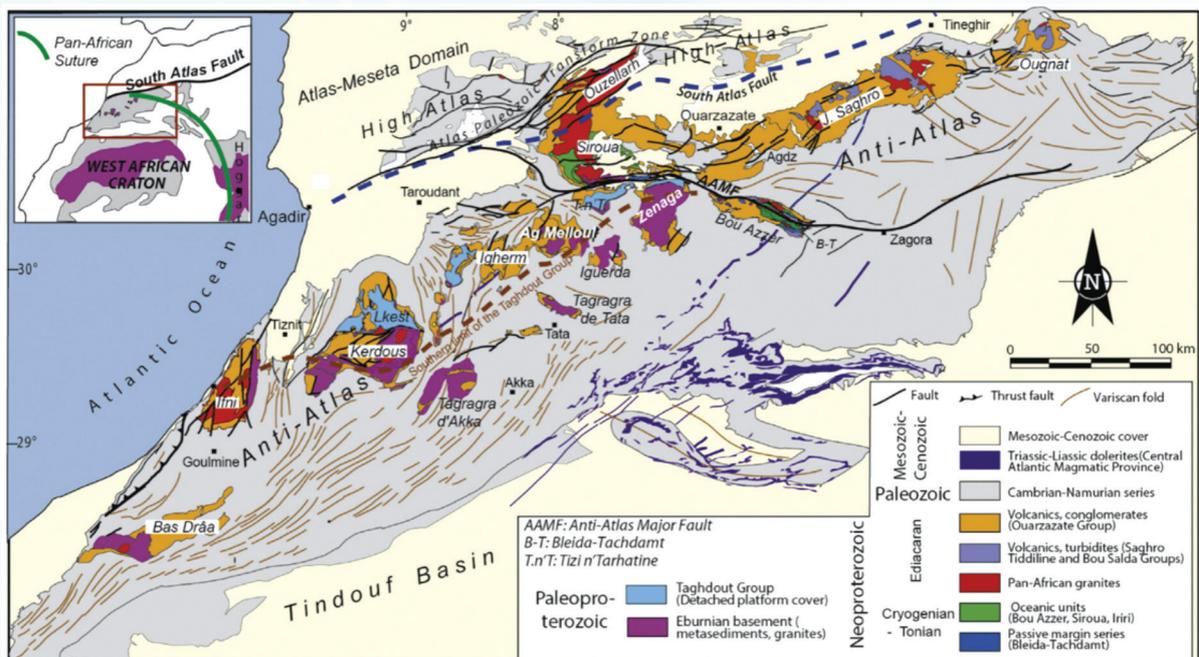


Figure 17 : Carte montrant la position de l'accident majeur, attestant de la fermeture de l'océan précambrien moyen (d'après Gasquet et al., 2008).

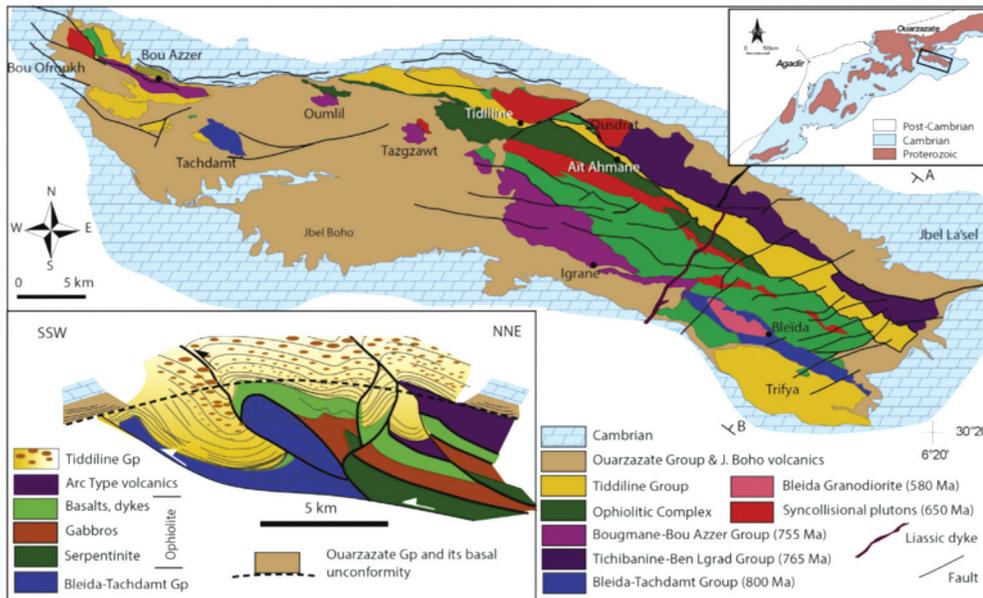


Figure 18a : Carte de la boutonnière de Bou Azzer, montrant le style tectonique de la région englobant le cortège ophiolitique – in Soulimani et al. (2018)

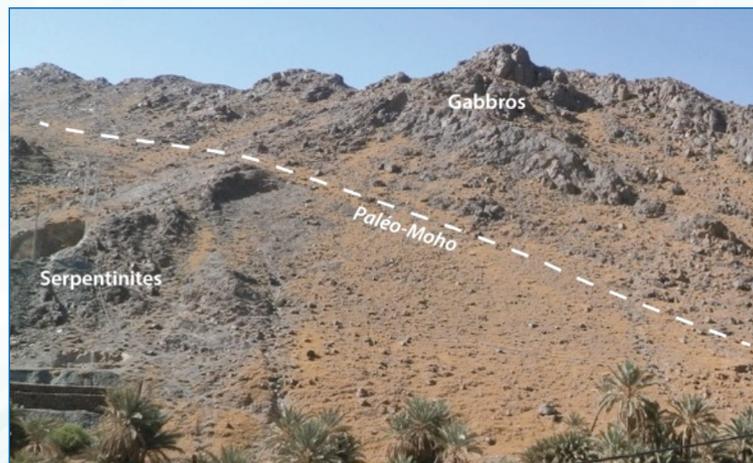


Figure 18b : Photo montrant la position (accident majeur) du paléo-Moho, séparant les gabbros des serpentinites (photo Michard).

Le domaine de la Meseta et des Atlas

Ce domaine a la caractéristique de présenter un socle paléozoïque (structuré et aplani par les orogénèses calédonienne et hercynienne : Figure 19), la Meseta marocaine; et une couverture secondaire et tertiaire (chaîne intracontinentale atlasique, plaines et plateaux : Figure 20).

La Meseta marocaine est subdivisée en Meseta occidentale et Meseta orientale (Figure 19). Elle est géographiquement située entre la chaîne alpine du Rif, au nord, et la chaîne atlasique au sud. Cependant, sur le plan structural elle s'étendrait plus vers le sud du Haut Atlas dans ce qu'on

appelle actuellement la zone sub-mésétienne qu'on suit depuis Tineghir jusqu'au nord d'Erfoud et correspondrait au tracé de la faille sud atlasique SAF (Figure 19). Les boutonnières paléozoïques du Haut Atlas témoignent également de la prolongation de la Meseta vers le sud.

Aussi bien en Meseta occidentale qu'orientale, les séries paléozoïques affleurent dans des boutonnières ou massifs, séparés cartographiquement par la couverture. Dans la Meseta occidentale on distingue du Nord au Sud : le massif du Maroc central (le plus important en terme de surface), les Rehamna et les Jebilet (Figure 21).

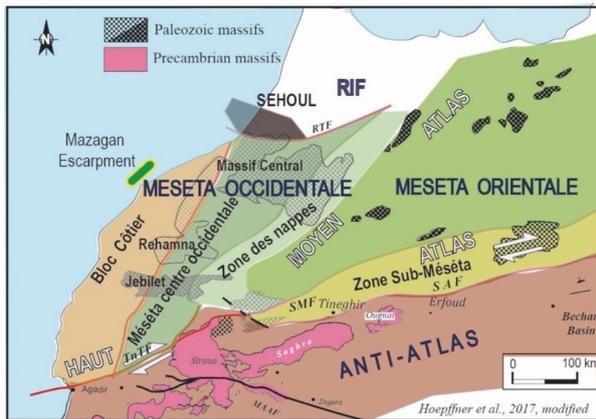


Figure 19 : Carte montrant les différentes zones de la Meseta marocaine(d'après Hoepffner et al. 2017)

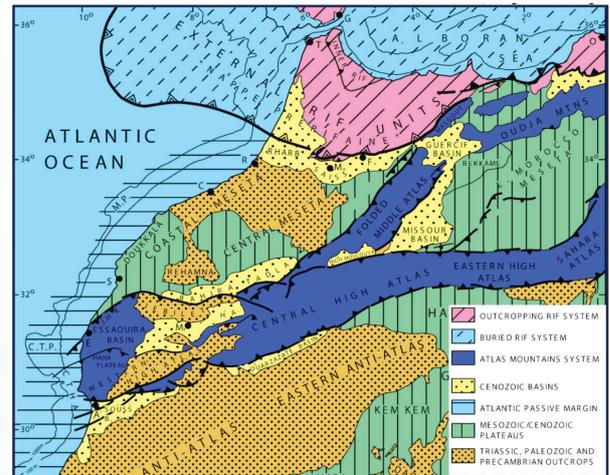
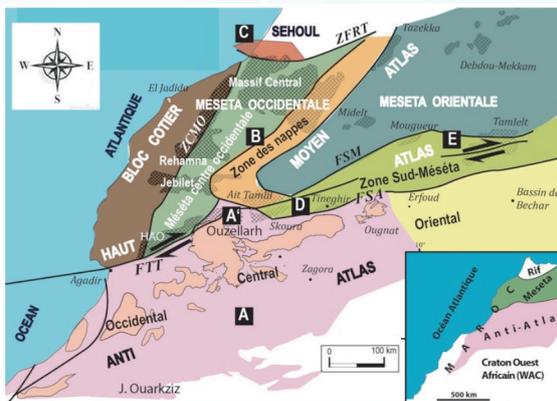


Figure 20 : Physiographie du domaine de la Meseta et de l'Atlas (Hafid et al. 2006).



Plis-fautes hercynien (Azrou)



Plateforme carbonatée Dévonien - Rehamna



Granite de Midelt - Dévonien supérieur

Figure 21 : Carte des zones constituant la Meseta marocaine, avec les calcaires récifaux des Réhamna (Mechra Ben Abbou), les plis hercyniens dans la région d'Azrou et le granite hercynien précocé de Zaida (Meseta orientale).

Les caractéristiques suivantes sont notées :

- Toutes les zones de la Meseta présentent une séquence marine (Cambrien-Carbonifère) presque complète; à l'exception du bloc des Sehoul et de l'escarpement Mazagan.
- Une variation de la déformation hercynienne et du gradient du métamorphisme de l'Ouest vers l'Est et du Nord vers le Sud.
- Un âge de cette déformation qui est de plus en plus récent en allant de l'Est (boutonnière paléozoïques de la région d'Oujda) vers le Môle côtier (côtes atlantiques)
- Quatre principaux événements structuraux : du calédonien dans le bloc des Sehoul à 450-430 Ma (El Hassani et al., 1991); des déformations éo-varisques ayant débuté dès

le Dévonien inférieur (Becker et al., 2014); dont le développement est plus important dans la Meseta orientale et une déformation intraviséenne (Hoepffner et al., 2005); et enfin une déformation majeure varisque/hercynienne d'âge carbonifère (300-290 Ma) relatée par plusieurs auteurs.

- Les intrusions granitiques ont un âge de plus en plus ancien en allant de l'Ouest vers l'Est.

Le système atlasique (ou chaîne/domaine atlasique), désigne communément l'ensemble des plaines, plateaux et chaînes montagneuses

compris entre le Rif, au Nord, et l'Anti Atlas et ses confins sahariens, au Sud (Figure 22). La chaîne des Atlas correspond à la zone la plus montagneuse du Maroc et la plus haute d'Afrique du Nord, composée de diverses unités structurales, différentes par l'âge et la structure du matériel qui les constitue : le Haut Atlas, le Moyen Atlas, le bassin de Guercif, le Maroc nord oriental et la Meseta orientale. Cette chaîne est encadrée par des linéaments majeurs, appelés accidents bordiers sud et nord atlasiques, auxquels sont subordonnées les dépressions subatlasiques.

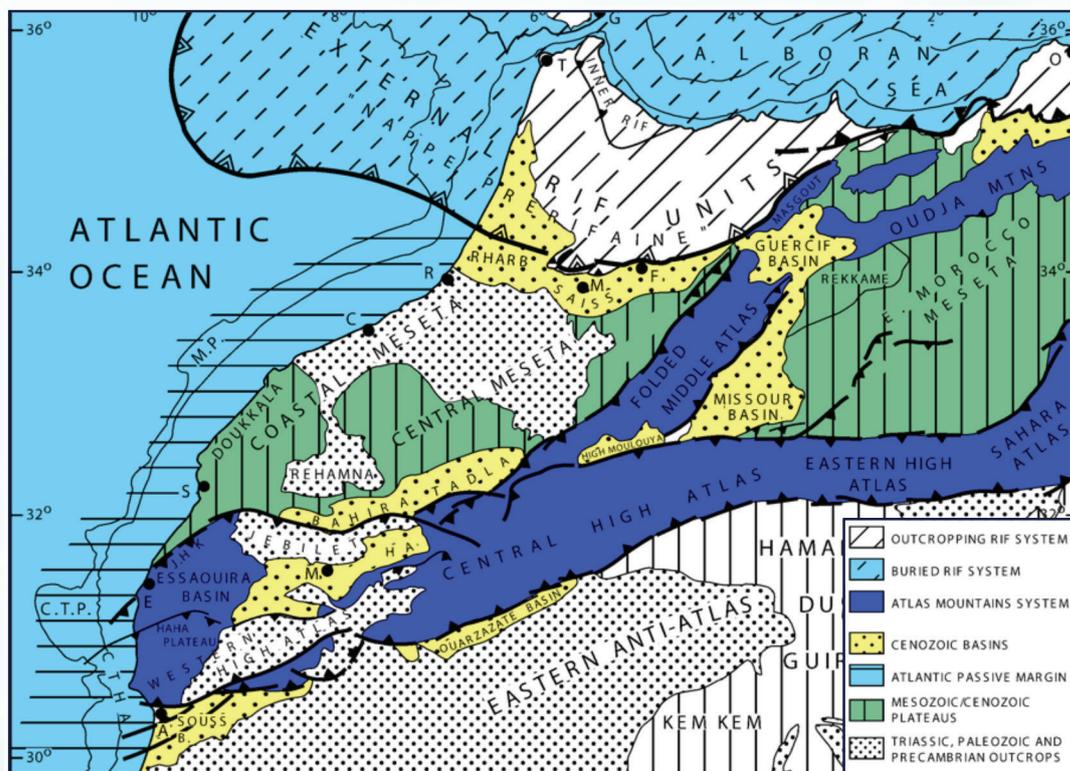


Figure 22 : Les différents composants de la chaîne atlasique (adapté de Hafid et al. 2006).

Stratigraphie du système atlasique (figs : 23 à 25)

Le **Moyen Atlas** est limité : au Nord par la plaine du Saïs et le front de la nappe rifaine, au NE par le bassin de Guercif, à l'Est et au SE par les dépressions de la Moulouya, à l'Ouest par le Maroc central. Il est composé par la juxtaposition de deux domaines structuraux : le causse et le Moyen Atlas plissé. Ces deux domaines sont séparés par le linéament majeur qui souligne le passage de l'accident nord moyen atlasique. Le **causse**, subtabulaire et composé essentiellement de carbonates néritiques du Lias inférieur et moyen, est organisé en plateaux étagés reflétant une structuration en blocs basculés; il est formé d'un tronçon septentrional et d'un tronçon

méridional que sépare l'accident de Tizi n'Tretten. Le **Moyen Atlas plissé**, orienté NE-SW et allongé sur plus de 400 km, est composé de larges dépressions synformes que délimitent des rides anticlinales aigues. Les dépressions synformes sont occupées, essentiellement, par les dépôts du Toarcien et du Dogger; quant au Crétacé et au Paléogène, ils sont cantonnés dans les dépressions situées à l'Ouest du méridien de Boulemane ; alors que le Néogène, affleure largement au NE. Les rides anticlinales formes des anticlinaux étroits : leur charnière, généralement représentée par les carbonates du Lias, est souvent affectée par une faille et injectée d'argillites triasico-liasiques et/ou intrudée par les intrusions jurassico-crétacées.

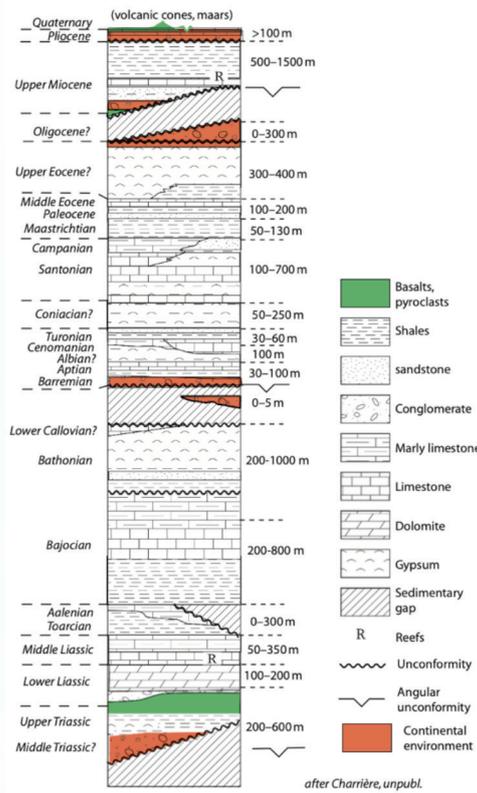


Figure 23 : Colonne stratigraphique du Moyen Atlas (d'après un document non publié d'A. Charrière, in litt., 2007) où l'on note l'occurrence de trois cycles tectono-sédimentaires majeurs durant le Méso-Cénozoïque (Michard et al., 2008).

Le **Haut Atlas** est bordé : au Nord par les plaines du Haouz et du Tadla, le Moyen Atlas, les vallées de la Moulouya; et au Sud par la plaine du Souss, le volcan du Siroua et le sillon sud-atlasique. Il peut être subdivisé en quatre domaines morphostructuraux différents : la Haut Atlas atlantique, le massif ancien,

le Haut Atlas central et le Haut Atlas oriental. Le **Haut Atlas central (HAC)** est composé, le long de la transversale Midelt-Er Rachidia, par la juxtaposition de deux domaines structuraux différents : le HAC septentrional, est encadré par Tizi n'Talghemt au Nord et Fom Zabel au Sud; et le HAC méridional que délimite l'accident sud-atlasique. Le **HAC septentrional** est organisé en vastes dépressions synformes que séparent des rides anticlinales étroites : le soubassement des synclinaux, en partie drapé par les placages plio-quaternaires, est composé de dépôts essentiellement marneux du Toarcien et du Dogger; les rides, à ossature carbonatée (Lias inférieur et moyen), sont faillées et injectées d'argilites triasico-liasiques et/ou intrudées d'intrusions jurassico-crétacées. Le **HAC méridional**, subtabulaire, est un vaste plateau formé essentiellement de carbonates néritiques du Lias et de l'Aaléno-Bajocien; la série sédimentaire de ce domaine est contaminé par les détritiques terrigènes et silico-clastiques ainsi que par les évaporites.

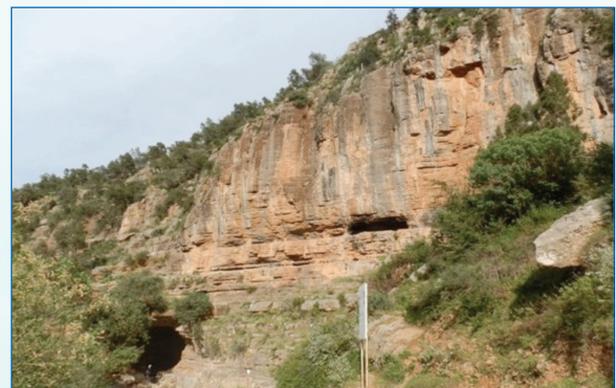


Figure 24 : Les calcaires jurassiques dans le massif des Beni Snassen (Moyen Atlas nord-oriental : Grotte du chameau – Zegzal)

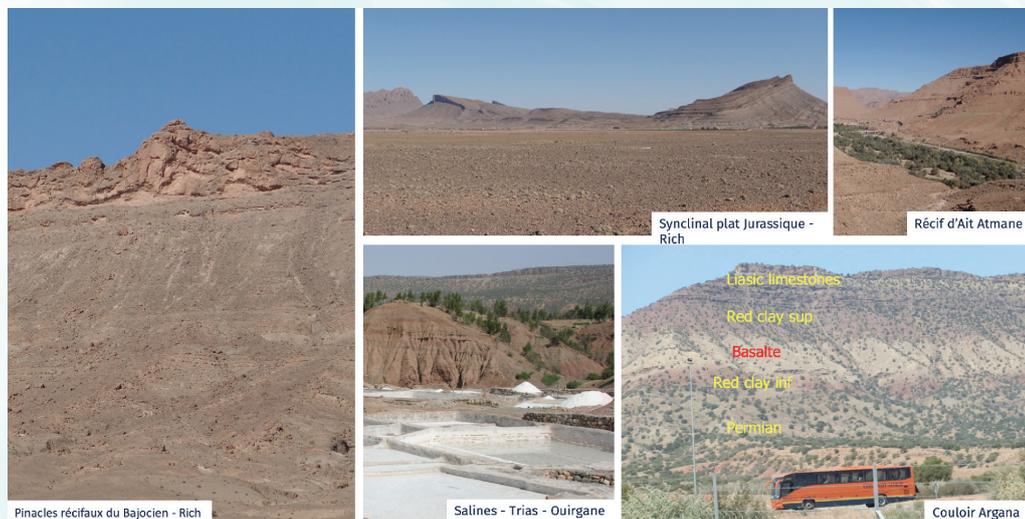


Figure 25 : Photos montrant quelques séries stratigraphiques continues, le style de déformation syn-sédimentaire et tectonique, ainsi que les lacs salifères dans le Trias de Ouirgane, Haut Atlas de Marrakech.

D'après Fedan & Elhassani (2018), L'évolution structuro-sédimentaire du domaine des chaînes atlasiques au Mésozoïque peut se résumer en trois étapes majeures. La première (**Trias supérieur – Lias inférieur**) est marquée d'abord par l'individualisation et l'évolution de bassins subsidents à dépôts détritiques rouges où s'intercalent des coulées de basalte tholéiitique, ensuite par le développement d'une plate-forme carbonatée où se différencient les bassins du Haut Atlas et du Moyen Atlas, d'obédience téthysienne. La deuxième (**Toarcien – Bajocien**) se caractérise par la dislocation de la plate-forme carbonatée liasique et l'apparition de bassins subsidents, organisés en rides et dépo-centres, à remplissage essentiellement marneux. La troisième (**Bathonien – Malm**) voit le comblement des bassins (Haut Atlas et Moyen Atlas) se terminer par des évaporites et des détritiques terrigènes, circonscrits dans des cuvettes peu subsidentes, qui témoignent de leur sénescence.

Le style tectonique est généralement celui de plis à grand rayon de courbure et des failles de

différente nature : normale, inverse, chevauchante, décrochante (fig : 26).

Les formations du Jurassique et surtout celles du Crétacé (Barrémien-Aptien) sont souvent riches en fossiles (ammonites notamment), mais font souvent l'objet d'un vandalisme et une exploitation abusive (Figure 27). Un commerce florissant dont ne bénéficie malheureusement que très peu la population locale. Ce pillage est tellement important que ces «recéleurs de trésors fossilifères» finiront, si rien n'est fait, à nuire aux recherches géologiques au Maroc et à la connaissance profonde de son patrimoine (et donc à son histoire). En effet, il s'avère que beaucoup de fossiles découverts dans certaines régions du Royaume par des amateurs, échappent aux scientifiques marocains (ou travaillant sur la géologie marocaine) car ils sont soit vendus aux étrangers, soit tout simplement exposés comme décor dans certaines habitations. Ce pillage risque à court terme de nuire et masquer une partie de la richesse géologique du Maroc.

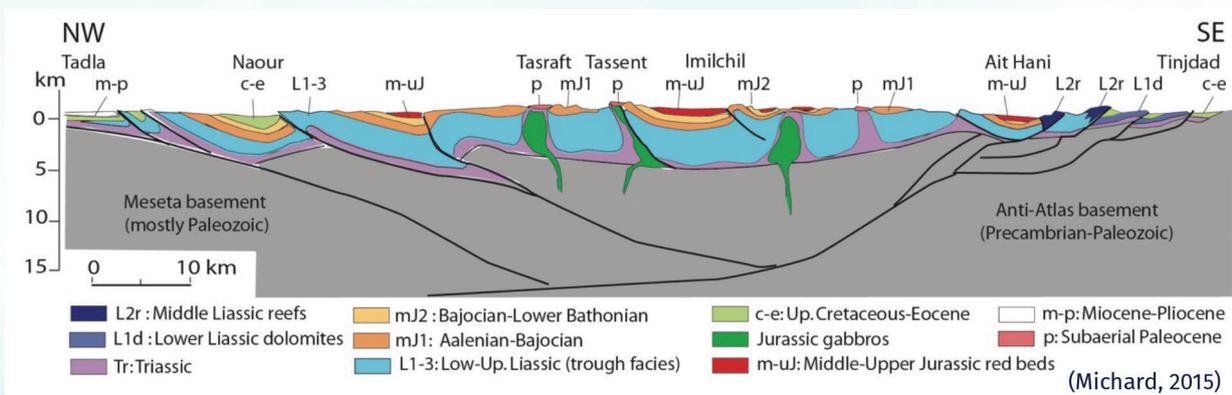


Figure 26 : Style tectonique de la transversale NW-SE du Haut Atlas (d'après Michard et al., 2015)

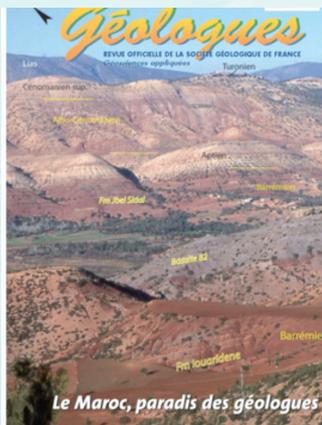




Figure 27 : Photos montrant l'énormité du pillage des ammonites dans un pays qualifié de «Paradis des géologues», avec l'exemple sur le terrain des montagnes au Nord d'Agadir dans le Haut Atlas occidental.

A ce titre, les lois qui devraient être établies par les autorités compétentes, permettront de réduire ce pillage surtout si elles mettent en place un système de surveillance qui permettra de veiller par tous les moyens à l'application des lois et devraient limiter l'accès à des sites d'intérêts géologiques, définis auparavant. Ces actions permettront une sauvegarde des sites et contribueront sans aucun doute à une exploitation rationnelle et durable.

Le domaine du Rif

C'est le domaine le plus septentrional du Maroc et aussi le plus jeune du point de vue structural, avec la particularité du prolongement des structures vers le nord par la chaîne ibérique (Espagne).

La chaîne du Rif appartient à un orogène beaucoup plus grand, c'est-à-dire l'orogène Betico-Rifo-Tellien, qui occupe une position clé dans le système orogénique qu'est la chaîne alpine méditerranéenne encore plus grande (Figure 28). La chaîne du Rif forme la partie la plus occidentale de la chaîne maghrébine, qui s'étend le long de la côte nord-africaine et continue vers l'est jusqu'à la Sicile et la Calabre dans le sud de l'Italie, se poursuivant ensuite dans les alpes françaises et suisses puis en Grèce. En revanche, le Rif forme le membre méridional de l'arc de Gibraltar, dont le membre nord correspond aux cordillères bétiques.

La chaîne alpine du Rif dont la formation résulte d'une collision est, par conséquent, composée d'un empilement de nappes de charriage que les géologues résument en trois grandes unités (Figure 29).

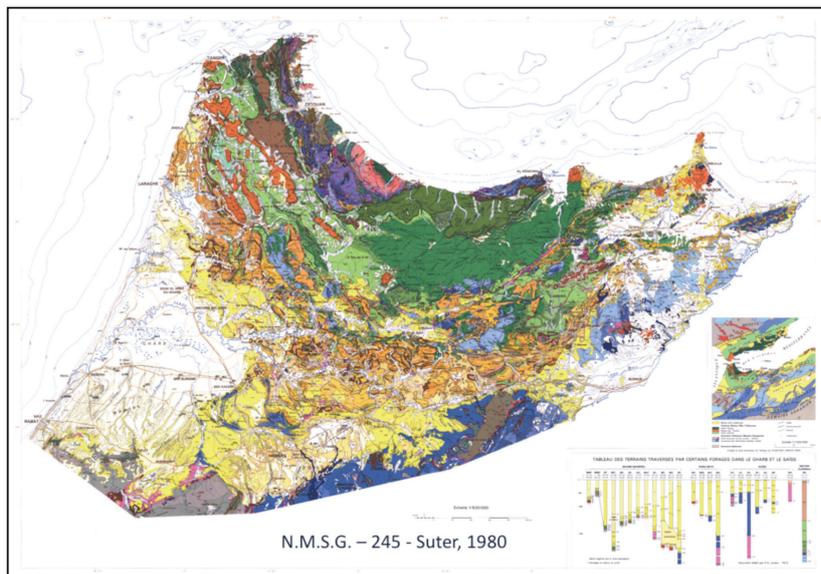


Figure 28 : Carte géologique du domaine rifain montrant une structure arquée (Suter, 1980)

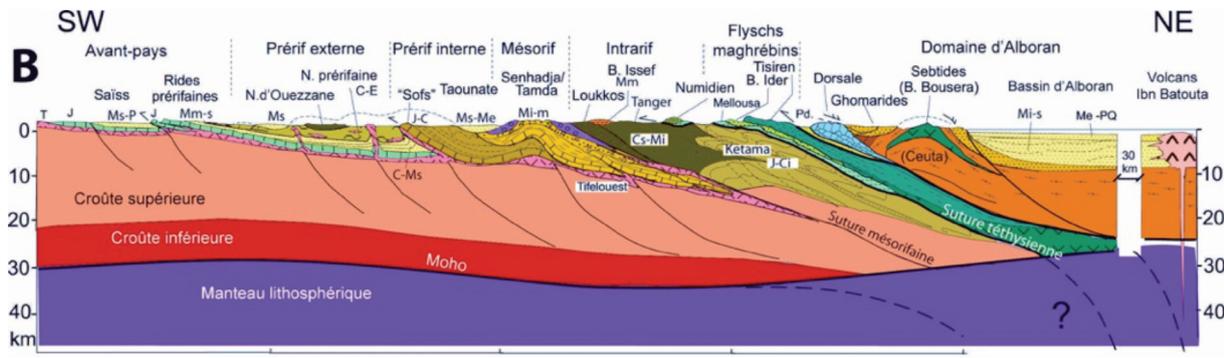


Figure 29 : Coupe crustale interprétative (Chalouan et al., 2008)

Ces trois unités structurales forment l'arc de Gibraltar, on distingue ainsi de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne du Rif et de bas en haut, (Michard et al., 2008) :

- les **zones internes** ou unité d'Alboran, sont à leur tour constituées de trois parties : les sebtides, les Ghomarides et la Dorsale calcaire. Les Sebtides sont constituées d'unités continentales déplacées vers l'ouest sur plusieurs centaines de kilomètres. Elles forment respectivement les plaques supérieure et inférieure d'un complexe de noyau métamorphique. Dans le Rif, la plaque inférieure correspond à l'unité des Sebtides, constituée principalement de roches crustales relativement profondes telles que les micaschistes, les migmatites et les granulites associées aux péridotites du manteau (péridotites de Beni Bousera).

Les Ghomarides sont constituées par des roches sédimentaires du Paléozoïque (Ordovicien, Silurien, Dévonien et Carbonifère) sous forme de schistes et calcaires.

La Dorsale calcaire, dominées par des carbonates du Trias et du Lias, représente la nappe la plus externe du Rif interne et forme des reliefs assez importants, comme c'est le cas au Nord et au Sud de la ville de Tétouan.

- les **Flysch maghrébins**, et
- les **zones externes**, affleurent de chaque branche de l'arc de Gibraltar et proviennent respectivement de deux paléomarges distinctes de l'Afrique et de la péninsule ibérique. Par conséquent, contrairement aux nappes des zones internes et des Flyschs, la zone externe du Rif ne présente aucune continuité stratigraphique / structurale à travers le détroit de Gibraltar

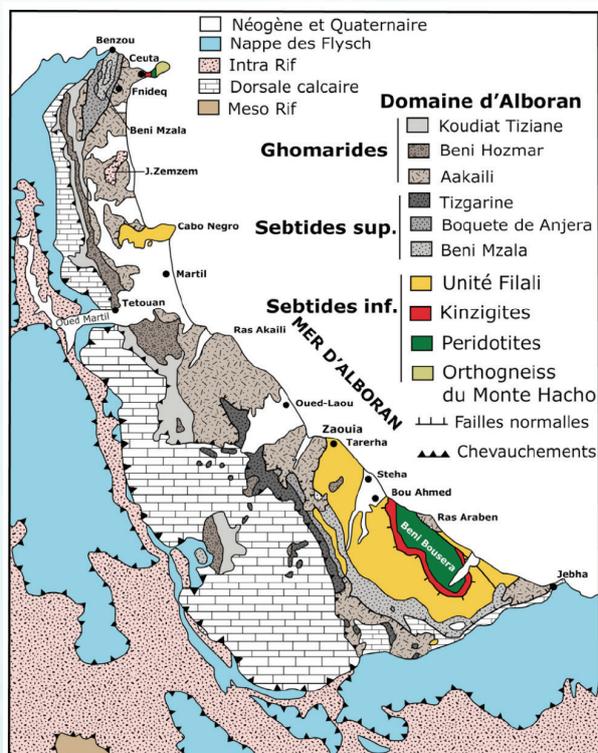


Figure 30 : Carte montrant les différentes composantes du Rif interne (in Afri, 2011).

Chaque unité se compose de complexes tectoniques constitués de nappes empilées, avec des lithologies similaires au sein d'un complexe donné, mais contrastant d'un complexe à l'autre. Il en résulte des morphologies de surface, illustrés par la coupe transversale associée (Figure 29), mettant en évidence les principales lignes structurales de la chaîne du Rif sur la base d'études approfondies et intégrées et d'une cartographie détaillée.

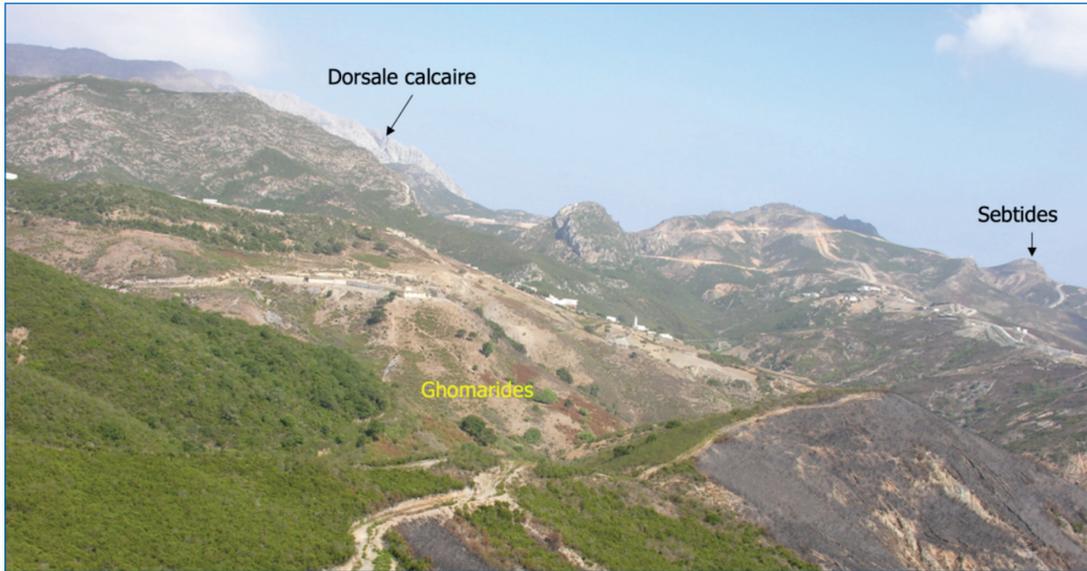


Figure 31 : Panorama montrant les 3 constituants du Rif interne (du NE au SW : les sebtides, les Ghomarides et enfin la Dorsale calcaire).

L'un des sites les plus spectaculaires du Rif sont les péridotites de Béni Bousera (ou massif de Béni Bousera) qui sont constituées par un empilement de trois ensembles à caractéristiques lithologiques contrastées (Afiri, 2011) : Sebtides (péridotites, granulites, micaschistes et gneiss de Filali, schistes de Federico), Ghomarides (sédiments détritiques) et la Dorsale calcaire (Figure 32).

Les contacts entre les unités Ghomarides et les unités Sebtides sous-jacentes et entre l'unité de Filali (micaschistes et gneiss) et les péridotites sont des failles normales à faible pendage (Chalouan et al., 1995). A Ras Aaraben, les Ghomarides sont séparées des péridotites par une faille

normale (Kornprobst, 1974). Le contact entre les péridotites et les granulites est un cisaillement ductile de haute température (Reuber t al., 1982).

Ces péridotites représentent un témoin du manteau, dont le mécanisme d'exhumation et l'insertion dans l'arc bético-rifain serait celui d'une croûte à partir du manteau subcontinental pendant la formation de la chaîne alpine (Saddiqi et al., 1988). Il s'agit, de ce fait, d'un affleurement important pour l'histoire géologique de la chaîne alpine ouest-méditerranéenne, ce qui lui vaut d'être visité par plusieurs géologues et mériterait d'être classé en tant que site géologique à sauvegarder.

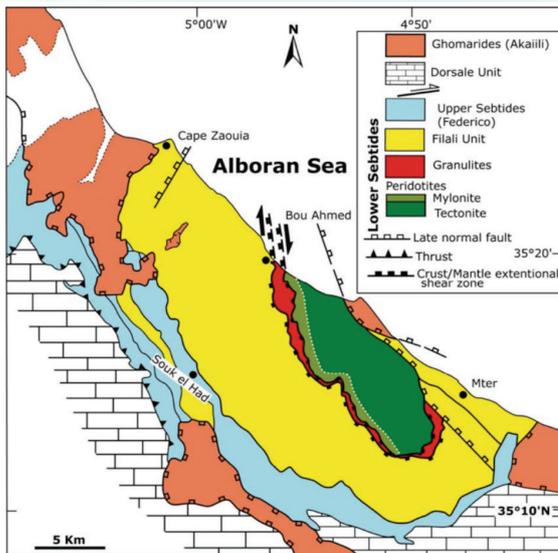


Photo des péridotites (Saddiqi)



Figure 32 : Carte géologique simplifiée du Massif de Béni Bousera (modifiée d'après Kornprobst, 1974) montrant la nature des contacts entre les différentes unités (Afiri A., 2011).

Photo des péridotites (Saddiqi)

Le patrimoine in-situ

Ce type de patrimoine comprend les **collections géologiques** (Musées, collections spécialisées, collections d'amateurs, bazars, ...). Ce genre de collections est particulièrement important pour la sauvegarde de divers types du patrimoine géologique. Les principales catégories se résument en :

- Collections scientifiques (paléontologique, minéralogique), ainsi que du matériel figuré et référencé;
- Collections de spécimens provenant de géosites (précieux et représentatifs, légalement protégés ou affectés à la conservation);
- Collections ou spécimens individuels (épuisés, ne pouvant plus être collectionnés);
- Spécimens uniques ou rares (fossiles extraordinaires, minéraux parfaits ou association d'espèces minérales...);
- Collections historiques (héritage culturel et scientifique des sciences naturelles et de l'histoire des sciences).

Les travaux de recherche géologique (notamment la cartographie) font souvent appel à ces collections pour:

- une référence contre des spécimens types (en particulier des fossiles) et comme matériau d'échantillon pour des études comparatives;
- l'éducation et la formation, où les spécimens peuvent être une ressource très rentable en complément des sorties sur le terrain ou même en remplacement de ces sorties devenues difficiles ou coûteuses;
- l'exposition et la sensibilisation éducative pour fournir une compréhension nouvelle ou plus approfondie des sciences de la Terre;
- les sociétés minières utilisent de plus en plus des collections bien documentées de gisements économiques pour aider à réduire les coûts de recherche et d'enquête.

Par conséquent, les collections des sciences de la Terre sont pertinentes pour de nombreuses questions, y compris celles entourant la biodiversité et le développement durable, qui intéressent les musées d'histoire naturelle.

Les collections spécialisées

Les collections des sciences de la Terre (des météorites aux fossiles et de l'Archéen à l'Actuel) couvrent tous les aspects mentionnés ci-dessus; ce sont des matériaux de référence, car la notion de spécimens types s'applique à la paléontologie et à la minéralogie, mais aussi à la géologie avec la définition des stratotypes. De même, tous les sites minéralogiques remarquables sont représentés dans les collections spécialisées ou dans les musées car il s'agit du seul moyen pratique de protéger ces spécimens précieux et fragiles (et servir de références pour la recherche scientifique).

Les collections géologiques permettent de préserver les découvertes passées, dans des endroits sûrs/protégés, comme référence à toute vérification ultérieure. Les échantillons qui la constituent, sorte de mine d'informations, témoignent de l'environnement de leur formation et contribuent à retrouver les paléogéographies anciennes. La notion de patrimoine favorise actuellement une meilleure utilisation des collections géologiques et encourage à les enrichir et surtout à les manipuler avec soins.

La menace pour la géologie du Maroc concerne essentiellement la commercialisation croissante de minéraux et de fossiles. **Par conséquent**, les services compétents doivent s'occuper des objets qui leur sont confiés et les mettre à la disposition du public: Deux tâches essentielles que les musées doivent effectuer, quelles que soient leur taille et leur stature dans le but de servir la recherche scientifique ainsi que la diffusion de la culture scientifique non seulement aux niveaux des écoles mais aussi auprès du public et des médias.

Les Musées sur place, sont une nouvelle tendance de la protection du patrimoine géologique.

En raison de la qualité de la roche supportant les objets géologiques, certains de ces derniers peuvent être efficacement protégés en dehors des salles de musées (expositions à ciel ouvert). Les objets affichés de cette manière sont généralement résistants aux facteurs externes (Figure 33).

Parfois, lorsque des objets géologiques remarquables sont trop vulnérables, la question se pose de les conserver in situ dans un musée de site ou de les extraire pour une conservation ex-situ dans les collections d'un musée existant ou créé à cette occasion.

La conservation des sites géologiques sensibles peut être assurée grâce à différents outils et moyens mis en œuvre. La construction / Elaboration de musées de sites est l'une des solutions pour protéger un gisement donné des différentes menaces naturelles et anthropiques, sauf que cela nécessite:

- Protection juridique : Nécessité d'appliquer les textes de lois élaborés, ou en cours ou à venir pour la sauvegarde, la valorisation et à l'utilisation rationnelle de ce patrimoine.
- Information-sensibilisation : Rôle capital de la communication auprès du public pour la préservation de ce patrimoine.
- Protection physique : Les sites les plus fragiles sont soumis aux agressions des agents atmosphériques, mais également aux actions anthropiques, que ce soit intentionnellement ou involontairement.
- Nécessité d'intervenir pour assurer une protection physique par:
 - Construction d'un musée de site; mise en place d'une couverture de protection et fermeture définitive ou provisoire du site;
 - Intervention sur l'environnement et construction de musées dans les villes principales.



Traces des dinosaures (photo Taquet)

Figure 33 : Panorama montrant les piste de Théropodes de Ait Louaridene

Il faut noter cependant que, lorsqu'un tel site (qui servirait de musée sur place) possède des caractéristiques géologiques bien identifiées pour son développement en tant que géosites, il doit d'abord être au centre de la géoconservation et aussi de l'utilisation rationnelle de ce genre de sites. Une fois que les mesures de conservation nécessaires et appropriées ont été mises en place, ces sites devraient être développés pour le géotourisme, avec une planification adéquate et une gestion appropriée de l'accès au site pour garantir que les objets géologiques du site sont utilisées de telle manière que les avantages (environnementaux, communautaires et économiques) l'emportent sur tout impact négatif.

Dans ce cas, le géotourisme aura un rôle à jouer dans la sensibilisation du public au géo-patrimoine et surtout à en préserver les composantes.

Conclusions et recommandations

Quel est le Constat pour le Maroc? On constate une prise de conscience de plus en plus accrue pour la préservation de l'environnement et pour la sauvegarde du patrimoine naturel et culturel. Il s'agit d'un concept nouveau, véritable paradigme relatif au développement durable. Cependant, on remarque que l'inventaire des ressources est incomplet et, surtout, une exploitation intensive des ressources naturelles.

Quelle relation existe-t-il entre préservation du patrimoine naturel et développement durable? Question centrale de toute une problématique complexe nécessitant de répondre à plusieurs questionnements, particulièrement :

- Un Slogan : Le Maroc paradis des géologues (par la qualité de l'archivage, la richesse et l'importance des affleurements, l'accessibilité des sites, ...) ;
- Sauvegarde : Comment sauvegarder ce patrimoine pour que le Maroc demeure le paradis des géologues?
- Détériorations : les détériorations sont irréversibles à cause du pillage, exploitation abusive, vente et exportation illégale des richesses naturelles;
- Causes possibles : Non-respect des Lois et procédures légales, en vigueur.

Comment alors mettre fin à cette détérioration, surtout que le Maroc possède une grande diversité en curiosités géologiques (roches, minéraux, fossiles, structures tectoniques, métamorphismes,...). Des affleurements extraordinaires sous forme de géo-sites et curiosités géologiques sur de grandes étendues (récifs, dépôts de mers profondes, de continents, ...). Plusieurs mines et cortèges diversifiés de minéralisations exploitées sont l'une des richesses du Maroc contribuant au développement durable. Le pays témoigne également de paléo-environnements géologiques diversifiés (variations de climats et de biotopes, diverses extinctions, ...).

Quel intérêt doit-on accorder au patrimoine géologique? Pour donner envie de le protéger, il faut d'abord le faire connaître. Nous possédons un élément important qui est la carte géologique qui illustre bien que le Maroc est très important pour la connaissance de l'histoire de la Terre dans sa globalité en raison, entre autres, de:

- La présence d'une pile stratigraphique complète (dont l'âge remonte à plus de 3 Ga et qui continue jusqu'à l'Actuel).
- De plusieurs références (coupes géologiques) dont des stratotypes,
- D'excellentes expositions de piles stratigraphiques notamment dans la partie méridionale du Maroc (Anti Atlas et Sahara) avec une richesse faunique.

Cependant, les richesses de la géologie marocaine restent de nos jours peu connues, d'où la nécessité d'inventaire, à travers des études de terrain et une cartographie complète des richesses nationales, pour la sensibilisation du public à la sauvegarde, la valorisation et à l'utilisation rationnelle de ce patrimoine. Par la suite, il est nécessaire qu'une bonne gouvernance et l'application des lois (en vigueur ou à venir) puissent permettre la protection de ce patrimoine. Cette opération fait face actuellement à un certain nombre de problèmes, notamment :

- Seule la valeur commerciale de ce patrimoine prédomine,
- Exploitation massive et abusive, conduisant inévitablement à leur disparition à court ou moyen terme,

- Commerce florissant (surtout international) au détriment des raretés minérales et fossilifères.

C'est pourquoi la protection de ce patrimoine doit être envisagée aussi bien sur site que hors site à travers :

- La création de réserves naturelles ou géoparcs,
- La valorisation des sites géologiques,
- La création d'itinéraires guidés, panneaux explicatifs, organisation de conférences grand public,
- Confection et vente de moulages (à buts éducatif et économique), montage de films documentaires,
- Création de Collections et de Musées, Les collections scientifiques incarnent un aspect historique de la planète Terre, et résultent d'un travail important de recherches in-situ, permettant également d'envisager de futures recherches dont elles constituent également la base. Ces collections sont aussi le soutien à la diffusion des connaissances, tant pour les étudiants que pour le grand public (pour les objets de musées).
- Education relative à la conservation du patrimoine environnemental (au niveau des écoles).

Références bibliographiques

- Adnet S., Cappetta H. & Tabuce R. (2010). A Middle-Late Eocene vertebrate fauna (marine fish and mammals) from southwestern Morocco; preliminary report: age and palaeobiogeographical implications *Geol. Mag.* 147(6), 2010, pp. 860-870. Cambridge University Press, 2010. doi:10.1017/S0016756810000348
- Afiri A. (2011). Etude pétro-structurale des péridotites de Béni Bousera et des roches crustales sus-jacentes (Rif Interne, Maroc): Implications géodynamiques. Thèse Univ. Cadi Ayyad Marrakech, 430 p.
- Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F. & Michel H.V. (1980). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction; *Science*, 208, pp.1095-1108.
- Baidder, L., Michard, A., Soulaïmani, A., Fekkak, A., Eddebbi, A., Rjimati, E.C., Raddi, Y., (2016). Fold interference in thick-skinned tectonics; a case study from the Paleozoic Belt of Sub-Saharan Morocco. *J. Afr. Earth Sci.* 119, 204-225.
- Becker R.T., Aboussalam Z.S., El Hassani A. & BAIDDER L. (2015). The timing of Eovariscan block faulting, reworking and re-sedimentation in the Devonian to Tournaisian of the Moroccan Hercynides. *STRATA*, 2015, série 1, vol 16, IGCP596-SDS Symposium Brussels. p. 14
- Becker T., Aboussalam S.Z., El Hassani A. & Baidder L. (2018). The world-famous Devonian mudmounds at Hamar Laghdad and overlying cephalopod-rich strata. *Field Guidebook 10th International Symposium "Cephalopods – Present and Past"*. Münster. *Forsch. Geol. Paläont.*, 110; pp. 188-213. ISBN-978-3-00-059200-3.
- Belka, Z. (1998). Early Devonian Kess-Kess mud mounds of the eastern Anti-Atlas (Morocco) and their relation to submarine hydrothermal venting. *Journal of Sedimentary Research*, 68: 368-377.
- Chalouan, A., Benmakhlouf, M., Mouhir, L., Ouazani-Touhami, A., Saji, R. and Zaghoul, M.N. (1995). Les étapes tectoniques de la structuration alpine du Rif interne (Maroc). *Comunicaciones del IV Coloquio Internacional Sobre el Enlace Fijo del Estrecho de Gibraltar*, pp. 163-192. S.E.C.E.G, Madrid, Tomo III.
- Chalouan, A., Michard, A., El Kadiri, K., Negro, F., Frizon de Lamotte, D., Soto, J.I. and Saddiqi, O. (2008). The Rif belt, in: *The Geology of Morocco*, edited by Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, Springer, Berlin, 203-302.
- De Wever P., Le Nechet Y. & Cornee A. (2006). Vade-mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national. *Mém. Hors-série Soc. Géol. Fr.* 12, 162 p.
- De Wever P., Egoroff G., Cornée A. & Lalanne A. (eds.) (2014). *Géopatrimoine en France*. *Mém. H.S. Soc. géol. Fr.*, 14, 180p.
- El Hassani A., Huon S., Whitechurch H., Hoepffner Ch. Piqué A. (1991). Une déformation d'âge ordovicien moyen dans la zone des Sehoul (Meseta marocaine septentrionale). *Regard sur les segments «calédoniens» au NW de l'Afrique*. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 312, série II, pp: 1027-1032.
- El Hassani A. (2016). Patrimoine géologique marocain et développement durable. *Bulletin Académie Hassan II des Sciences*, N°18, pp. 11-36.
- El Hassani A., Aboussalam S.Z., Becker T; El Wartiti M. & El Hassani F. (2017). Patrimoine géologique marocain et développement durable : L'exemple du Devonien du Tafilalet, Anti Atlas oriental. *Géologues SGF*, N° 194 ; ISSN 0016.7916, pp. 112-117.
- Erwin, D. The Permo-Triassic extinction. *Nature*, 367, 231–236 (1994). <https://doi.org/10.1038/367231a0>.
- Fedan B. & El Hassani A. (2018). The Jurassic of the Atlas Domain (Morocco). *Field Guidebook 10th International Symposium "Cephalopods – Present and Past"*. Münster. *Forsch. Geol. Paläont.*, 110; pp : 119-144. ISBN-978-3-00-059200-3
- Gasquet, D., Ennih, N., Liégeois, J.P., Soulaïmani, A., Michard, A., 2008. The Pan-African Belt. In: Michard, A., Saddiqi, O., Chalouan, A., Frizon de Lamotte, D. (Eds.), *Continental evolution: the geology of Morocco*. *Lect. Notes Earth Sci.* 116, 33-64.
- Gray M. (2018). Chapter 1 – Geodiversity: The Backbone of Geoheritage and Geoconservation, in *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, pp: 13-25.
- Hafid M., Tari G., Bouhadioui D., El Moussaid I., Echarfaoui H., A it Salem A., Nahim M. and

- Dakki M. (2008). Atlantic Basins in: A. Michard et al., *Continental Evolution: The Geology of Morocco*. Lecture Notes in Earth Sciences 116, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hejja, Y., Baidder, L., Ibouh, H., Bba, A.N., Soulaïmani, A., Gaouzi, A., Maacha, L., (2019). Fractures distribution and basement-cover interaction in a polytectonic domain: A case study from the Saghro Massif (Eastern Anti-Atlas, Morocco), *Journal of African Earth Sciences*, pp:
- Hoepffner Ch., Soulaïmani A. & Piqué A. (2005). The Moroccan hercynides. *Journal of African Earth Sciences* 43 (2005) 144-165.
- Hoepffner Ch., Ouanaimi H. et André Michard A. (2017). La Meseta, un terrain vagabond ou la marge fragmentée de l'Anti-Atlas? *Géologues SGF*, N° 194; ISSN: 0016.7916, pp. 19-23.
- Jakubowicz, M., Berkowski, B. & Belka, Z. (2013). Devonian rugose coral Amplexus and its relation to submarine fluid seepage. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 386: 180-193.
- Jansen U., Becker G., Plodowski G., Schindler E., Vogel O. & Weddige K. (2004). The Emsian to Eifelian near Fom Zguid (NE Dra Valley, Morocco). Devonian of the western Anti Atlas: correlations and events. *Doc. Inst. Sci, Rabat*, 19, 2004, 19-28.
- Königshof, P., Bensaid, M., Birenheide, R., El-Hassani, A., Jansen, U., Plodowski, G., Rjimati, E., Schindler, E., Wehrmann, A. (2004). Carbonate buildups in the Middle Devonian – examples from the western Sahara. 74. Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft, 02.-08.10.2004, Universitätsdrucke Göttingen 2004, pp: 128-130.
- Kornprobst, J. (1974). Contribution à l'étude pétrographique et structurale de la zone interne du Rif (Maroc septentrional); petrography and structure of the Rif inner area, northern Morocco. *Notes et Mémoires du Service Géologique, Rabat*, 251, 256 p.
- Leblanc, M. (1981). Chapter 17 The Late Proterozoic Ophiolites of Bou Azzer (Morocco): Evidence for Pan-African Plate Tectonics. *Developments in Precambrian Geology*, 435-451. doi:10.1016/s0166-2635(08)70022-7.
- Michard A. (1976). *Eléments de géologie marocaine*. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc N° 252, 408p.
- Michard A., Saddiqi O., Chalouan A. & Frizonde-Lamotte D. (2008). *Lecture Notes in Earth Sciences; Continental Evolution: The Geology of Morocco*, Springer, 424p.
- Migon P. (2018). Chapter 13 – Geohéritage and world heritage sites. in *Geohéritage : Assessment, Protection, and Management*, pp: 237-249.
- Monbaron M. & Monbaron J. (2015). La route des dinosaures, itinéraires à travers le géoparc M'Goun, Haut Atlas, Maroc. *Edition du Conseil Régional de Tadla-Azilal*, 139 p.
- Rjimati EC, Michard A, Saddiqi O (2011). Circuit 10, Anti-Atlas occidental et Provinces sahariennes. In: Michard A, Saddiqi O, Chalouan A, Rjimati EC, Mouttaqi A (eds) *Nouveaux guides géologiques et miniers du Maroc*, vol 6. *Notes Mém Serv Géol Maroc* 561: 1-95.
- Reuber, I., Michard, A., Chalouan, A., Juteau, T. and Jermoumi, B. (1982). Structure and emplacement of the Alpine-type peridotites from Beni Bousera, Rif, Morocco: A polyphase tectonic interpretation. *Tectonophysics*, 82, 231- 251.
- Saddiqi, O., Reuber, I. and Michard, A. (1988). Sur la tectonique de dénudation du manteau infracontinental dans les Béni Bousera, Rif septentrional, Maroc. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II*, 307, 657-662.
- Schulte P.D. et al., (2010). The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary; *Science*, 327, pp. 1214-1218.
- Sheehan P.M. (2001). The Late Ordovician Mass Extinction, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*; Vol. 29:331-364; <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.29.1.331>.
- Sougy, J., 1969. Grandes lignes structurales de la chaîne des Mauritanides et de son avant-pays (socle précambrien et sa couverture infracambrienne et paléozoïque), *Afrique de l'Ouest. Bulletin de la Société Géologique de France* 11, 133-149.
- Soulaïmani A., Burkhard M., (2008). The Anti-Atlas chain (Morocco): the southern margin of the Variscan belt along the edge of the West African Craton, in Ennih N., Liègeois J.P. (Eds.), *The boundaries of the West African Craton*, *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 297 (2008).
- Soulaïmani, A., Ouanaimi, H., Saddiqi, O., Baidder, L., Michard, A., 2018. The Anti-Atlas Pan-African Belt (Morocco): Overview and pending questions. *C. R. Geosci.* 350, 279-288.
- Suter, G. (1980). Carte structurale de la Chaîne rifaine au 1:500.000. *Notes et Mémoires du Service Géologique, Maroc*, 245 p.
- Villeneuve M., Bellon H., El Archi A., Sahabi M., Rehault J.P., Olivet J.L. & Aghzer A.M. (2006). Événements panafricains dans l'Adrar Souttouf (Sahara marocain) *C. R. Geoscience* 338 (2006) 359-367.
- Zouhri S., Gingerich P., Adnet S., Bourdon E., Jouve S., Khalloufi B., Amane A., Elboudali N., Rage J.C., De Lapparent De Broin F., Kaoukaya A. & Sebti S. (2018). Middle Eocene vertebrates from the sabkha of Gueran, Atlantic coastal basin, Saharan Morocco, and their peri-African correlations. *C. R. Geoscience* 350 (2018) 310-318.
- Zouhri S., Gingerich P., Elboudali N., Sebti S., Noubhani A. Rahali M. & Meslous S. (2014). New marine mammal faunas (Cetacea and Sirenia) and sea level change in the Samlat Formation, Upper Eocene, near Ad-Dakhla in southwestern Morocco. *C. R. Palevol* 13 (2014) 599-610.

Le géoparc de M'Goun au Maroc

Philippe TAQUET

*Académie Hassan II des Sciences et Techniques &
Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris (France)*



Dans le cadre de la Session plénière solennelle 2020 de l'Académie Hassan II des Sciences et des Techniques, consacrée au thème «**Patrimoine naturel et développement durable**», j'ai souhaité dédier mon exposé à la mémoire de Jean Dercourt (1935-2019), géologue, professeur émérite de l'Université Pierre et Marie Curie, secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des Sciences, qui s'est éteint le 22 mars 2019 au terme d'une vie féconde et généreuse consacrée à la science et à son enseignement.

Membre associé de l'Académie royale Hassan II des Sciences et des techniques depuis sa fondation par sa Majesté le Roi Mohammed VI, Jean Dercourt fut un participant fidèle et attentif de chacune de ses sessions plénières, tissant des liens féconds et amicaux avec tous ses confrères.

Introduction

Le Maroc, considéré comme le Paradis des géologues, a la chance de posséder un patrimoine géologique exceptionnel et riche de ses différentes composantes : minéraux, météorites, roches, fossiles, gisements paléontologiques, coupes stratigraphiques, géosites. Cette géodiversité apporte la notion de temps à la nature, à son histoire qui est celle de la succession des environnements, des paysages, des biodiversités.

Conscient de ses atouts, de la valeur et de la diversité de son patrimoine géologique, le Maroc a lancé l'appel solennel de Marrakech en 2015, pour la préservation de son Géohéritage, puis a tenu en 2017 et en 2019, sous l'égide du Ministère de l'Energie, des Mines et du développement durable, des journées nationales du patrimoine géologique, co-organisées avec l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM), en partenariat avec le Ministère de la Culture et de la Communication et divers autres organismes étatiques comme la Bibliothèque Nationale.



Figure 1 : La journée nationale du patrimoine géologique du Maroc. Rabat 2017.

L'objectif de ces initiatives a été de présenter le patrimoine géologique dans toute sa richesse et sa diversité, mais aussi dans sa fragilité, afin de renforcer la prise de conscience de la nécessité de sa préservation, de sa protection efficace, ainsi que de sa mise en valeur.

Pour illustrer les progrès dans la prise en compte du patrimoine géologique, du Géohéritage, au niveau marocain, mais également au niveau international, il est instructif et passionnant de retracer la naissance, le développement et l'aboutissement d'un projet emblématique, cette Success Story qui est celle du Géoparc du M'Goun dans l'Atlas marocain.

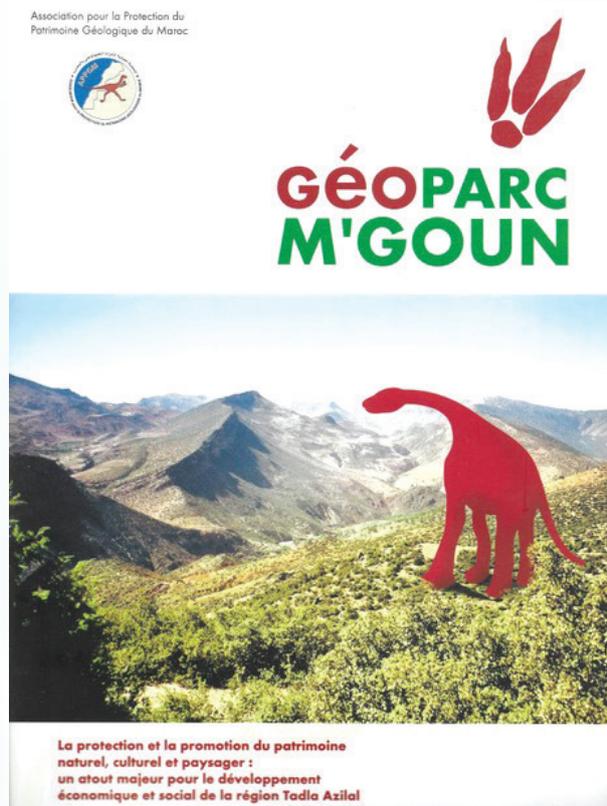


Figure 2 : Le Géoparc du M'Goun - plaque de présentation. Association pour la protection du patrimoine géologique du Maroc (APPGM).

Recherches et découvertes de Dinosaures dans l'Atlas marocain

Tout a commencé de mai à juillet 1978, lorsque Michel Monbaron, géologue suisse, affecté par le biais de la Coopération technique suisse au Ministère des Mines et de la Géologie à Rabat six années durant et chargé des travaux de cartographie géologique dans les provinces de Beni Mellal et d'Azilal situées au coeur du Haut Atlas central marocain, fit des découvertes surprenantes sur son terrain d'études.



Figure 3 : Les cascades d'Ouzoud (photo P.Taquet).

Accompagné de Ahmed Ouazzou et d'Ahmed Laaroussi, deux excellents techniciens du Service des Mines et de la Géologie, Michel Monbaron découvrait dans le bassin sédimentaire de Taguelft et dans la cuvette de Tilougguit de nombreux restes d'ossements fossilisés, humérus et vertèbres appartenant incontestablement à de gros Dinosaures herbivores de l'ordre des Sauropodes. En accord avec les autorités marocaines, Michel Monbaron m'invitait en octobre 1979 à venir le rejoindre pour examiner ses découvertes, pour apprécier leur intérêt et pour obtenir ainsi des informations supplémentaires utilisables pour ses travaux de cartographie géologique. Pour aider Michel Monbaron à résoudre le problème de l'âge des « Couches Rouges » de l'Atlas marocain, il fallait tenter de trouver des éléments osseux bien conservés et même - il était permis de rêver - un squelette assez complet afin de pouvoir étudier correctement toutes les caractéristiques de ce, ou de ces grands Sauropodes marocains.

Grâce à sa bonne connaissance du terrain, Michel Monbaron avait sélectionné dans la région de Tilougguit une localité, où, sur le sol gisaient un grand nombre d'ossement dont un énorme fémur et six vertèbres dorsales en connexion au pied d'une petite colline. Un examen attentif de la disposition des os a permis de déduire qu'il s'agissait de la partie postérieure d'un squelette, de l'arrière train d'un animal de grande taille.

Il fut donc décidé de prévoir pour l'année suivante une campagne de fouille en cet endroit en amenant tout le matériel nécessaire, plâtre et outils. Cinq mois d'un labeur acharné étalé sur deux saisons de terrain (automne 1980 et printemps 1981) furent finalement nécessaires pour extraire un par un tous les os d'un squelette quasi complet (crâne inclus) d'un énorme Sauropode et pour les extraire en les entourant de coques de plâtre. Grâce à la participation de la Gendarmerie Royale Marocaine, tous les ossements, certains de grandes dimensions (le fémur mesurait 2 mètres de longueur) et d'un poids respectable (le bassin pesait près de 500kg) furent transportés par hélicoptère jusqu'à Rabat sur un terrain voisin du Ministère des Mines et de la Géologie.



Figure 4 : Le fémur du géant de l'Atlas, *Tazoudasaurus naïmi*. Étienne Monbaron allongé pour donner l'échelle (photo M. Monbaron).

Pendant 24 mois, avec le soutien des Directeurs de la Géologie marocaine, MM. Ben Saïd et Dahmani, les techniciens purent avec précautions dégager de leur gangue de pierre tous les os fossilisés. Des moulages de toutes les pièces du squelette furent réalisés en résine et une reconstitution de l'animal a pu être installée dans le hall du Musée du Ministère des Mines et de la Géologie grâce au travail de coordination des mouleurs-préparateurs du Muséum, Jacques et Philippe Richir. L'étude détaillée des tous les éléments a permis de savoir que ce Dinosaur, nouveau pour la science, faisait partie de la famille des Brachiosauridés. Michel Monbaron, Dale Russell, collègue américain et moi-même avons publié en 1999 ses caractéristiques dans une note à L'Académie des Sciences en le nommant *Atlasaurus imelakei* (le saurien géant de l'Atlas). Le niveau géologique dans lequel il a été trouvé date du Jurassique moyen (environ 165 millions d'années). Il s'agit d'un Brachiosaure primitif, sur lequel s'observe la tendance à l'allongement du membre antérieur, ce qui est caractéristique de cette famille de Sauropodes, famille dont les représentants ont le train avant plus élevé que le train arrière à la manière des Girafes.

Cette belle découverte d'un nouveau dinosaure herbivore au Maroc est venue s'ajouter à celle des empreintes laissées sur des sédiments du même âge situées dans la cuvette des Aït Iouaridene

non loin de la ville de Demnate Des empreintes étaient connues au Maroc depuis 1934, mais en 1980, Jean Michel Dutuit accompagné d'Ahmed Ouazzou découvrait sur ce site une piste splendide d'un dinosaure Sauropode. Plusieurs traces de pas étaient parfaitement visibles, enfoncées dans ce qui était au moment du passage de l'animal un terrain boueux. Non loin de cette piste, c'est un Dinosaur carnivore qui a laissé la trace de son passage en laissant sur le sol de très belles empreintes tridactyles, sur plusieurs dizaines de mètres.

Enfin, une découverte fortuite et sensationnelle faite en 1998 dans le village de Toundoute, à l'Est de Ouarzazate, au pied des montagnes de l'Atlas, est venue enrichir la liste des Dinosaures du Maroc. Alertée par les autorités locales de la présence d'ossements dans des sédiments surplombant le hameau de Tazouda, Najat Aquesbi, envoyée par le Ministère des Mines et de la Géologie organisait avec ses collègues techniciens Mohamed Rochdi et Moha M'Ghari, avec la participation de Michel Monbaron et de l'équipe des paléontologues du Muséum de Paris plusieurs campagnes de fouilles sur ce nouveau gisement à partir de 2001. Les sédiments fossilifères sont du Lias, c'est-à-dire qu'ils datent du Jurassique inférieur (180 millions d'années). On connaît très peu l'histoire des Dinosaures de cette période car à cette époque, les mers avaient envahi les continents de sorte que les affleurements continentaux du Lias sont

extrêmement rares. Or le Maroc fait exception à la règle et des restes crâniens bien conservés associés à des éléments du squelette d'un Sauropode ont été récoltés sur ce site. Nous avons décrit ces ossements en 2004 sous le nom de *Tazoudasaurus naimi* (le saurien élancé de Tazouda). Il s'agit de l'un des Sauropodes les plus primitifs connus à ce jour et ses caractéristiques confirment la nature des changements majeurs qui se sont produits au cours du Jurassique entre *Tazoudasaurus* et *Atlasaurus*. Le même gisement a livré également quelques os d'un Dinosaur carnivore nouveau pour la science que Najat Aquesbi et Ronan Allain ont nommé en 2007 *Berberosaurus liassicus* (le saurien berbère du Lias). Ce Dinosaur est un représentant des *Abelisauridae* dont la lignée connaîtra un grand succès évolutif au cours du Crétacé. La sédimentation correspond à une coulée boueuse ayant charrié des ossements et des portions de carcasses sur de courtes distances, dans une plaine d'inondation, non loin de l'éruption d'un volcan et pendant un climat chaud et humide.

L'importance des découvertes de dinosaures au Maroc a été soulignée de manière spectaculaire lors de la célébration de l'année Maroc-France en 1999. A cette occasion, en même temps que la publication d'un magnifique ouvrage intitulé *Maroc - Mémoire de la Terre*, le moulage du squelette complet de l'*Atlasaurus* a été transporté à Paris. Il fut présenté, grâce à l'action efficace de la directrice du Service de Muséologie, Geneviève Meurgues, dans la galerie de minéralogie du Muséum national d'Histoire naturelle à Paris, et l'exposition fut inaugurée en octobre 1999 par Sa Majesté la Princesse Lalla Hassna.

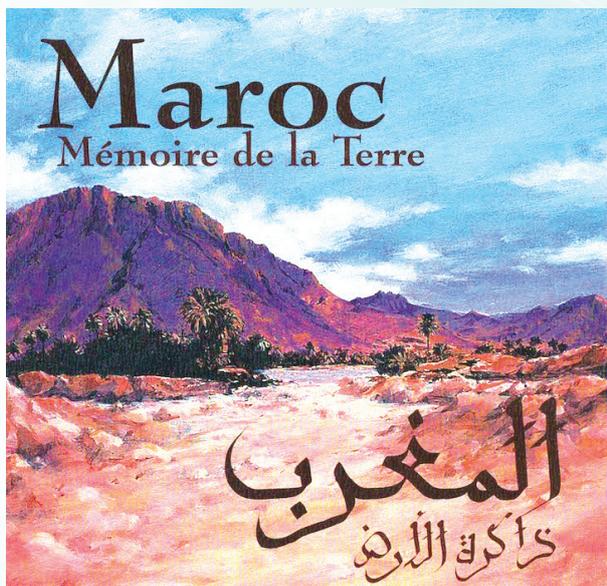


Figure 5 : Le Maroc - Mémoire de la Terre. Ouvrage réalisé en 199 à l'occasion de l'année France-Maroc.

La protection du patrimoine géologique et paléontologique marocain.

Une synthèse de toutes ces découvertes paléontologiques récentes a été réalisée par Najat Aquesbi dont les travaux ont été salués par sa décoration d'officier dans l'ordre du *Wissam Al Alaoui*. La diversité, la nouveauté et l'importance des découvertes de Dinosaures dans l'Atlas marocain ont focalisé l'attention sur l'intérêt de protéger un patrimoine géologique et paléontologique unique et exceptionnel.

En effet, ce patrimoine englobe des objets et des sites qui conservent la mémoire de la Terre: roches et minéraux, traces de vie, structures sédimentaires, indices témoignant des climats du passé, témoins de l'évolution des sols et des paysages du passé, marques des premiers habitats humains. La nécessité de la protection et de la mise en valeur de ces paysages, de ces sites, des carrières, des exploitations minières anciennes, des affleurements, des gisements, des stratotypes et des lieux ayant marqué l'histoire de la géologie du Maroc, témoignent de l'intérêt que l'on porte aujourd'hui à la géodiversité au même titre qu'à la biodiversité.



Figure 6 : Piste de Dinosaur carnivore (empreintes tridactyles). Site de Iouaridene. (photo P.Taquet)

C'est ainsi qu'a été créée en mai 2000, l'Association Pour la Protection Du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM) avec, comme principal objectif de protéger et de valoriser le patrimoine géologique du Maroc sous toutes ses formes, qu'il soit naturel, scientifique, historique ou culturel.



Figure 7 : Deux couples d'empreintes antérieure et postérieure de la patte d'Atlasaurus. (photo P. Taquet).

L'association s'est fixée plusieurs objectifs :

- Organiser une relation permanente entre les personnes physiques ou morales intéressées par le patrimoine géologique.
- Participer à la définition et à l'inventaire de ce patrimoine.
- Engager toute action concrète visant à sa promotion, sa protection, sa valorisation, sa gestion dans les domaines principaux des sciences géologiques.
- Sensibiliser et faire connaître aux riverains et aux citoyens l'importance et les merveilles du patrimoine géologique afin de mieux le respecter et le protéger .
- Élaborer des propositions de lois concernant la protection du patrimoine géologique.
- Contribuer à intégrer la protection du patrimoine dans l'aménagement du territoire.

Les membres de l'Association, son bureau et son conseil d'administration placés sous la présidence active, volontaire et fédératrice de Youssef Ennadifi, qui occupa des fonctions importantes au Ministère des Mines et de la Géologie, puis à la tête du groupe industriel Holcim, ont su réunir scientifiques, acteurs, partenaires, représentants des collectivités locales, provinciales et nationales pour bâtir un projet novateur, celui de la création d'un géoparc au Maroc, le Géoparc du M'Goun.

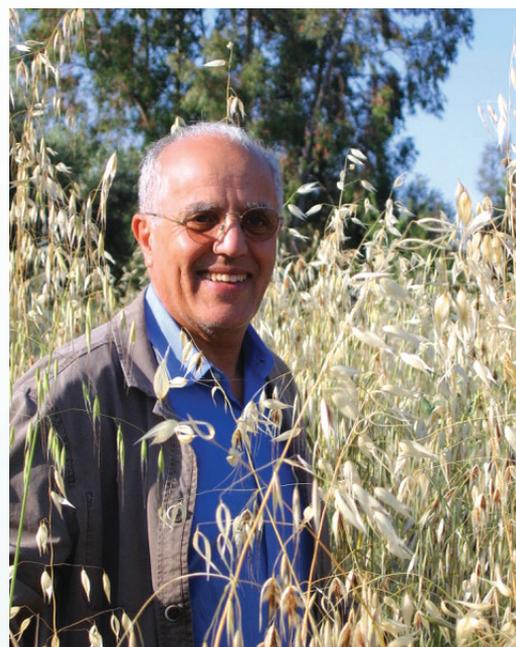


Figure 8 : Youssef Ennadifi, Président de l'APPGM (photo G. Bouludier).

C'est ainsi que l'incitation à la création d'un géoparc, situé dans la région de Béni Mellal-Khénifra a été présentée à Sa Majesté le Roi lors de sa visite à Azilal en 2008. Le dossier de création de ce parc a été soumis aux instances de l'UNESCO qui l'a accepté, labellisé, faisant ainsi du Maroc le premier pays d'Afrique à faire partie du réseau mondial des Géoparcs (Global Geopark Network). Le Géoparc du M'Goun a été labellisé solennellement le samedi 15 novembre 2014 au cours d'une cérémonie solennelle qui s'est déroulée à l'hôtel Chems de Bin El Ouidane. Le parc couvre une superficie estimée à plus de 7.600km²; il est situé au milieu de la chaîne du Haut Atlas central entre Béni Mellal au Nord et la ligne de crête de l'Ighil M'goun au Sud. Avec en son centre le lac du barrage de Bin El Ouidane, il permet aux visiteurs d'admirer, parmi de très nombreux le autres, les sites exceptionnels des Cascades d'Ouzoud, du Pont Naturel d'Imi n'Ifrri, du Rocher de Mastfrane, des greniers de la falaise d'Aoujgal.

Dans le même temps deux projets de musée ont vu le jour, le Musée du Géoparc M'Goun d'Azilal et le Musée des Dinosauriens de Tazoula, ainsi que la naissance de la Route des Dinosauriens. Conçue et réalisée par Michel et Jacqueline Monbaron, elle est présentée dans un guide superbement illustré qui donne la description d'un itinéraire en voiture et deux trekkings à travers le Géoparc, une initiation à la géologie du Haut Atlas central et une approche documentée de la région avec des informations sur la faune, la flore, l'architecture et les possibilités d'hébergement.

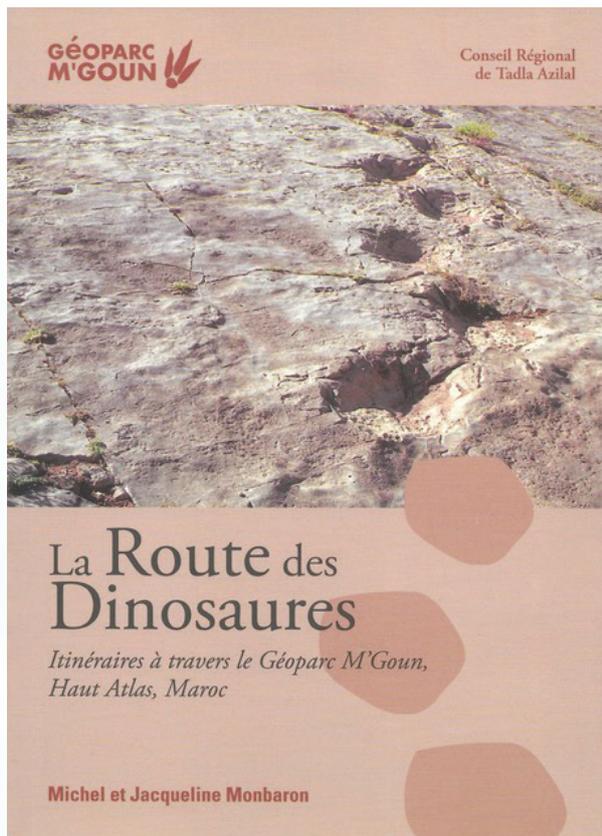


Figure 9 : La route des Dinosaures. Michel et Jacqueline Monbaron. 2015.

La restauration des traces de dinosaures du site d'Iouaridene a été effectuée en partenariat avec l'Université de la Rioja en Espagne. Une carte localisant les différents sites d'intérêt géologique, patrimonial ou touristique au niveau du Géoparc a été réalisée en partenariat avec l'Agence Nationale de la Conservation Foncière, du Cadastre et de la Cartographie. Une signalétique avec des panneaux explicatifs a été installée sur les lieux des différents géosites du parc. Le grenier d'Ibaqualliwén dans la vallée des Aït Bouguemez a été restauré en partenariat avec le Centre de restauration et de réhabilitation des zones atlasiques et subatlasiques (Cercas) et la Direction Provinciale d'Agriculture d'Azilal.

Le Musée du Géoparc du M'Goun à Azilal est destiné à devenir la vitrine du patrimoine naturel, culturel et paysager du Géoparc. Il se veut un centre de rayonnement de la recherche scientifique sur les thèmes de l'éducation, particulièrement des jeunes, pour sensibiliser le public le plus large à l'importance de ce patrimoine et également à sa fragilité. Le Musée d'Azilal est le résultat d'une collaboration entre le Ministère de l'Énergie, des

Mines et du développement durable (M.E.M.D.D.), le Conseil Régional Béni-Mellal-Khénifra (C.R.B.M.K.), l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (A.P.P.G.M.) et l'Association du Géoparc du M'Goun (A.G.M). Le Musée, d'une surface couverte de 1720m² a été conçu par les architectes Lucien Yvanes et Moulay El Hassan Abourraja. Sous l'impulsion du Professeur Mohamed Boutakiout, l'exposition permanente du musée est actuellement en voie de terminaison, avec pour pièce maîtresse le squelette d'*Atlasaurus imelakei* monté au centre d'une superbe rotonde.

Le Musée des Dinosaures à Tazouda a été décidé en 2011, à l'initiative du mécénat de deux amis français du Maroc, Armand et de Danièle de Ricqlès. Son bâtiment, d'une surface de 1400m², est situé sur un emplacement de choix, au sommet d'une petite colline surplombant le village avec une vue magnifique sur les montagnes de l'Atlas et sur la vallée. Il s'inspire du style local des kasbah traditionnelles et a été conçu par l'architecte Elmamoun Zagrouj. Il présente la particularité d'être implanté sur la couche ayant livré les ossements de Dinosaures, *Tazoudasaurus* et *Berberosaurus*, couche que l'on pourra examiner dans le sous-sol du bâtiment. Cette implantation sur le gisement des Dinosaures est d'une conception originale, qui n'a d'équivalent que le Dinosaur National Monument situé à Vernal dans l'Utah (Etats-Unis). Le musée, dépositaire officiel des fossiles récoltés à Tazouda, dispose dorénavant et déjà d'une collection complète pour ses expositions permanentes et temporaires. Le projet est piloté par l'Association Tazouda. Créée en 2008, elle a pour objectif d'assurer la protection et la valorisation scientifique du gisement et des fossiles qu'il contient et de promouvoir un tourisme scientifique durable et solidaire au bénéfice de la population locale.

Conclusion

L'UNESCO, dans sa présentation de la Convention du patrimoine mondial, définit le patrimoine comme l'héritage du passé dont nous profitons aujourd'hui et que nous transmettons aux générations à venir. Le patrimoine naturel et le patrimoine culturel sont deux sources irremplaçables de vie et d'inspiration.

Le patrimoine géologique du Maroc fait partie de l'héritage des habitants de notre planète. Son importance esthétique, scientifique, culturelle, touristique et économique dans le cadre d'un développement durable est aujourd'hui reconnue.

La visite de ces sites géologiques et paléontologiques exceptionnels du Géoparc du M'Goun est non seulement passionnante et instructive, mais elle est aussi une source d'émerveillement et de réflexion; elle permet de franchir les limites du temps, de retracer et de comprendre l'histoire de la Terre et de la Vie, de situer la place de l'homme sur notre planète.

Bibliographie

Allain (Ronan), Aquesbi (Najat), Dejax (Jean), Meyer (Christian), Monbaron (Michel), Montenat (Christian), Richir (Philippe), Rochdy (Mohammed), Russell (Dale), Taquet (Philippe). A basal sauropod dinosaur from the Early Jurassic of Morocco. *C.R.Palevol.* 2004, 3, 199-208.

Allain (Ronan), Tykoski (Ronald), Aquesbi (Najat), Jalil (Nour-Eddine), Monbaron (Michel), Russell

(Dale), Taquet (Philippe). An Abelisauroid (Dinosauria: theropoda) from the Early Jurassic of the High Atlas mountains, Morocco, and the radiation of the Ceratosaurs. *Journal of Vertebrate Paleontology.* 2007, 27, 3, 610-624.

Maroc - Mémoire de la Terre. Éditions du Muséum national d'Histoire naturelle. 1999.

Monbaron (Michel), Russell (Dale), Taquet (Philippe). *Atlasaurus imelakei* n.g., n.sp., a brachiosaurid-like sauropod from the Middle Jurassic of Morocco. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Sciences de la Terre et des planètes.* 1999, 329, 519-526.

Monbaron (Michel et Jacqueline). *La Route des Dinosauriens.* Région Tadla-Azilal ed. 2015.

Recherche géologique, géo-conservation et exploitation commerciale des sites fossilifères

Juan Carlos GUTIERREZ-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 associés 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; Diaz-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).

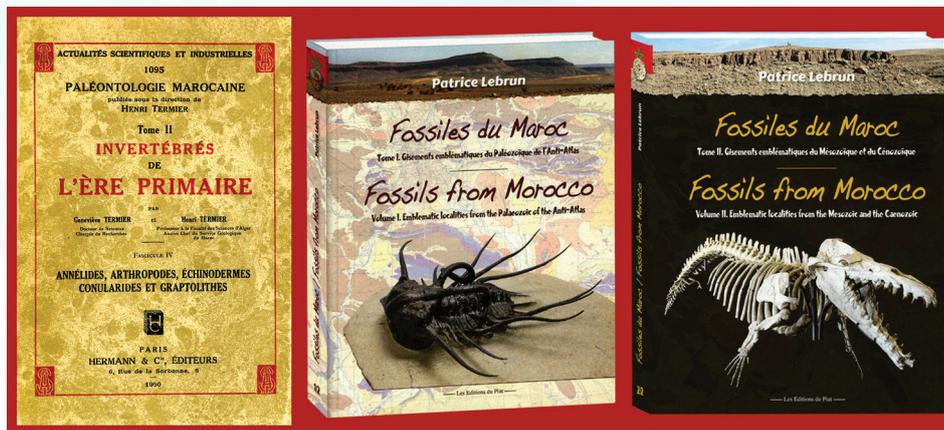


Figure 1 : À gauche, couverture d'un des volumes du tome II de la Paléontologie marocaine de Henri et Geneviève Termier (1950d). À droite, deux des livres qui rassemblent et diffusent de façon moderne le riche patrimoine paléontologique marocain (Lebrun, 2018).

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).

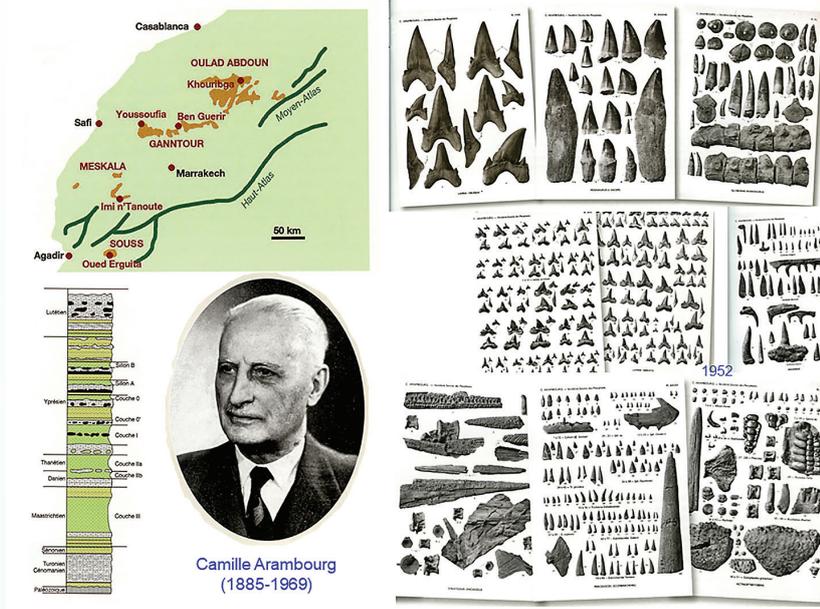


Figure 2 : À gauche, schéma de localisation des principaux bassins phosphatés au Nord d'Agadir et colonne stratigraphique des différentes couches minières (selon divers auteurs, in Lebrun, 2019). À droite, reproduction par Lebrun (2019) de neuf des 44 planches de la monumentale monographie d'Arambourg (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.

Stephen Jay Gould publia un livre qui dénonce la vente de faux fossiles, sous le titre «Les pierres truquées de Marrakech» (Figure 3).

Les choses ont changé depuis l'an 2000, avec l'apparition de publications populaires, lorsque

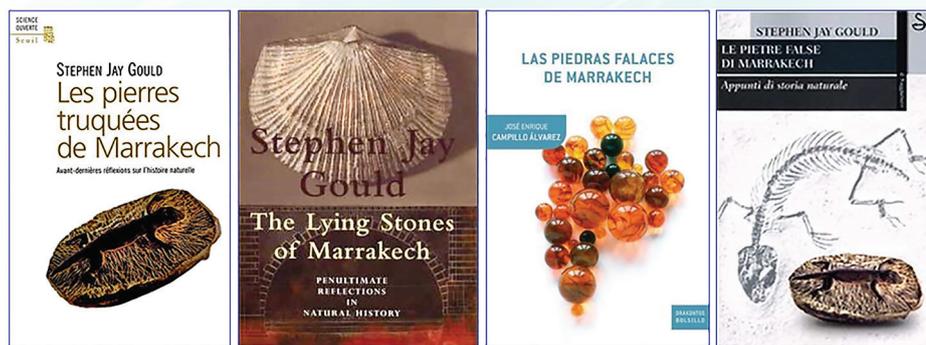


Figure 3 : Couverture du livre de Gould (2000, centre gauche) et traductions en plusieurs langues (français, espagnol, italien...).

Les fabricants de faux fossiles (des lézards, des scorpions, des trilobites, ...) ont produit des échantillons qui ont une ressemblance frappante avec les célèbres «pierres trompeuses» décrites par Johann B.A. Beringer (Würzburg, Allemagne,

au XVII^{ème} siècle), mais qui étaient en fait une blague faite par ses étudiants et un professeur rival, qui ont fabriqué des pierres avec beaucoup des animaux à corps mou, les insectes et araignées, et même la lune et les étoiles «fossilisées» (Figure 4).



Johann B.A. Beringer
Würzburg (Allemagne, s.XVII)

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. A 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.

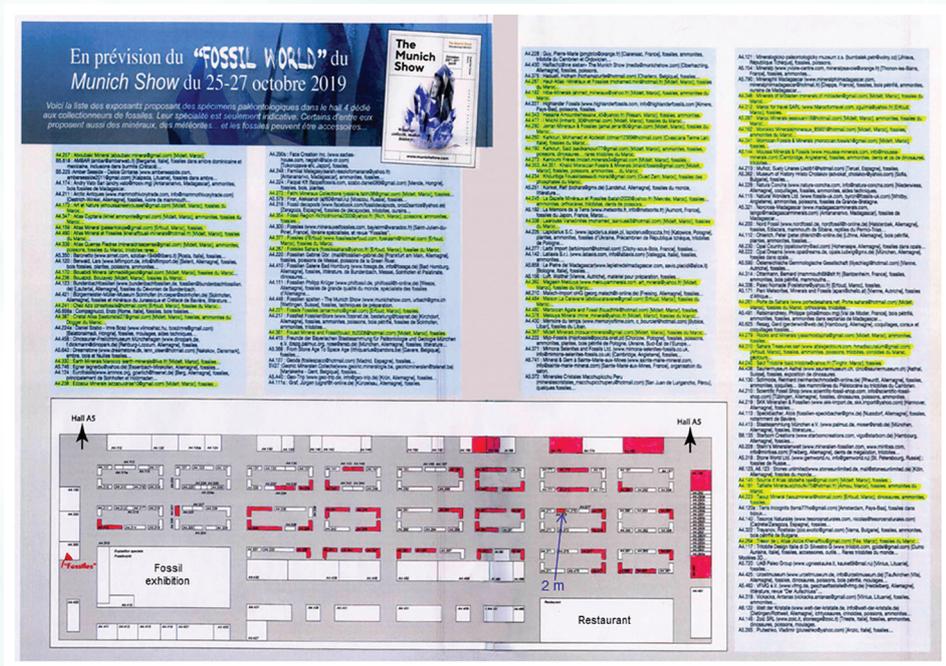


Figure 7 : Liste des exposants et plan général du pavillon dédié aux fossiles à la Foire de Munich (Allemagne) en 2019, avec en bas le plan général de la foire qui montre (en rouge) les stands des marchands marocains. Reproduit et adapté de Fossiles, n° 39 (Juillet-Août-Septembre 2019), p. 62-63.

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.

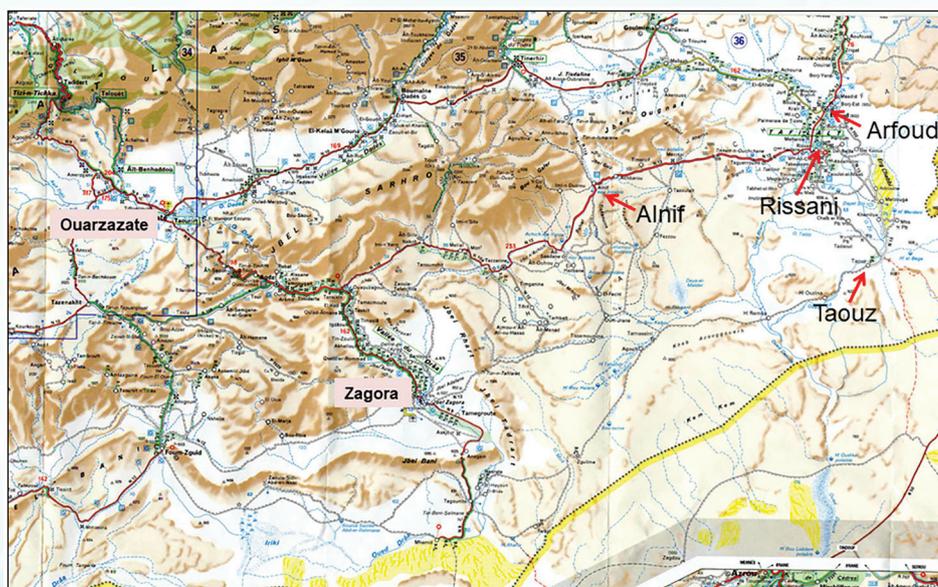


Figure 8 : Principaux centres de l'industrie des fossiles, situés dans l'Anti-Atlas oriental (flèches rouges)

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 Krögger, 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 (Figures 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'Erfoud (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 (e) 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).

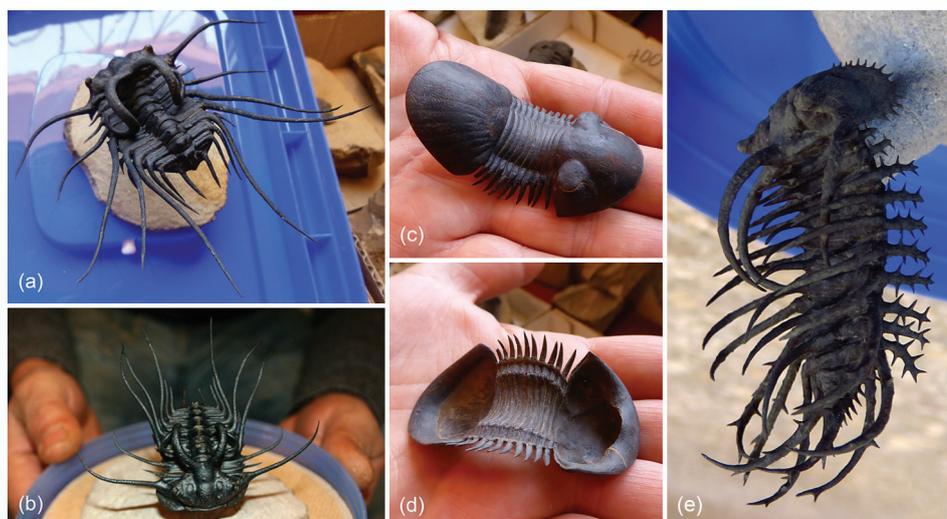


Figure 13 : Préparation exceptionnelle de certains trilobites du Dévonien de l'Anti-Atlas.

(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).

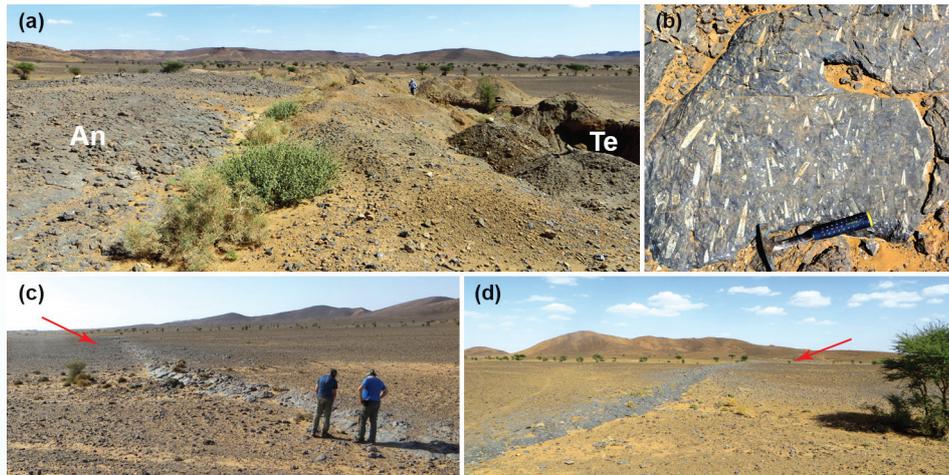


Figure 14 : Calcaire à *Temperoceras* (= «calcaires noirs à orthocères») du Ludfordien (Ludlow) au Sud-Est d'Erfoud. (a) Affleurement naturel (An) et tranchée d'exploitation de la couche (Te), suite à son pendage vers le sud (à droite sur l'image); (b), détail du calcaire à la surface, montrant l'abondance 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.

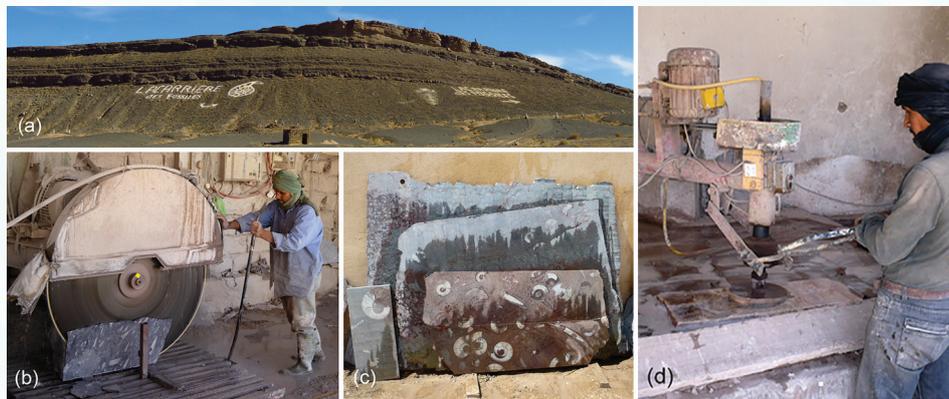


Figure 15 : Travaux d'extraction et de préparation de roches ornementales dans le Tafilalet. (a), Affleurement du Dévonien inférieur au Sud d'Erfoud avec de grandes enseignes en pierres peintes à la main indiquant la route d'accès à une carrière vendant des fossiles ; (b) scie à disque coupant un bloc de calcaire noir silurien ; (c) dalles taillées dans du calcaire dévonien avec de gros ammonoïdes (*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).

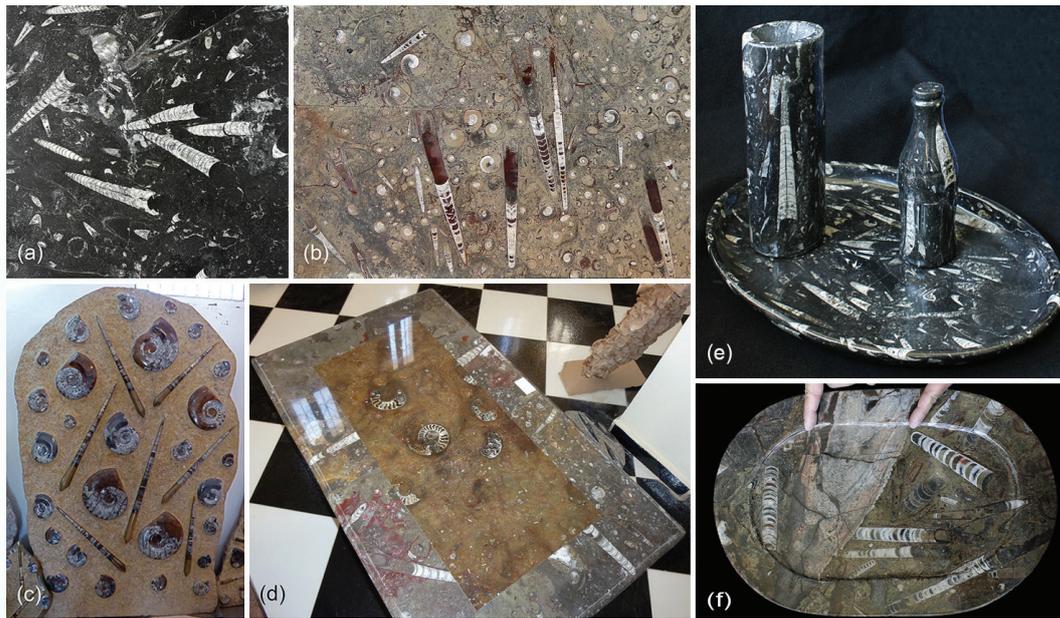


Figure 16 : Exemples de roches ornementales riches en fossiles de la région de Tafilalet :
 (a) calcaire noir silurien (« pierre de Tazarine ») présentant plusieurs fragmocones d'*Arionoceras* sp.;
 (b) calcaire du Dévonien brun à rougeâtre (« dalles d'Erfoud », non poli) avec des nautiloïdes orientés 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 Figs. 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 contrefaçons 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 du 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.

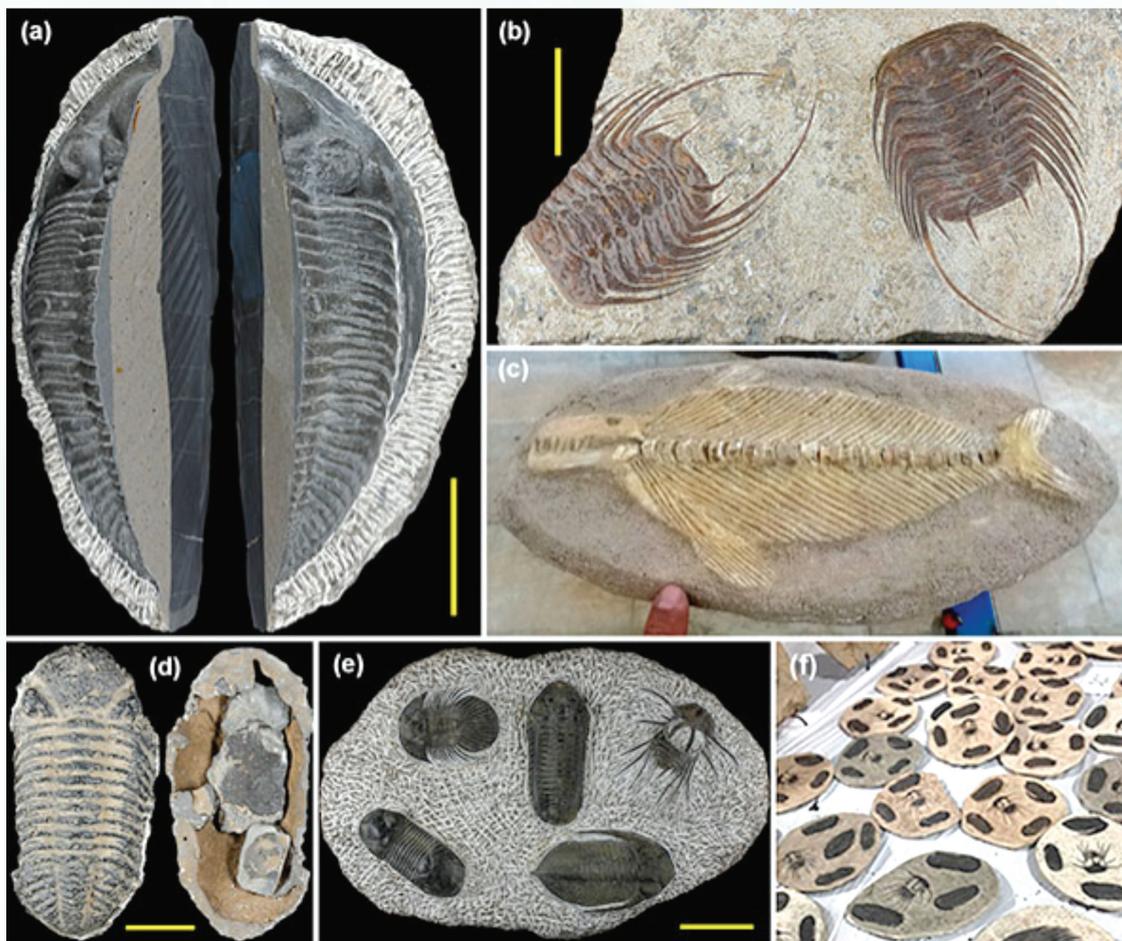


Figure 17 : Quelques exemples de contrefaçons trouvées à Erfoud. (a), Réplique époxy d'un spécimen d'Odontochile montée sur de la vraie pierre. La coupe longitudinale révèle qu'elle consiste en une fine couche de résine foncée appliquée par le haut dans un moulage négatif concave (elle est épaissie au 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 «Biote de Fezouata» (Figure 19), et qui comporte des éléments comparables au «Biote 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 marrellomorpe 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 «Biotas 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 palaeoscolecides 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).

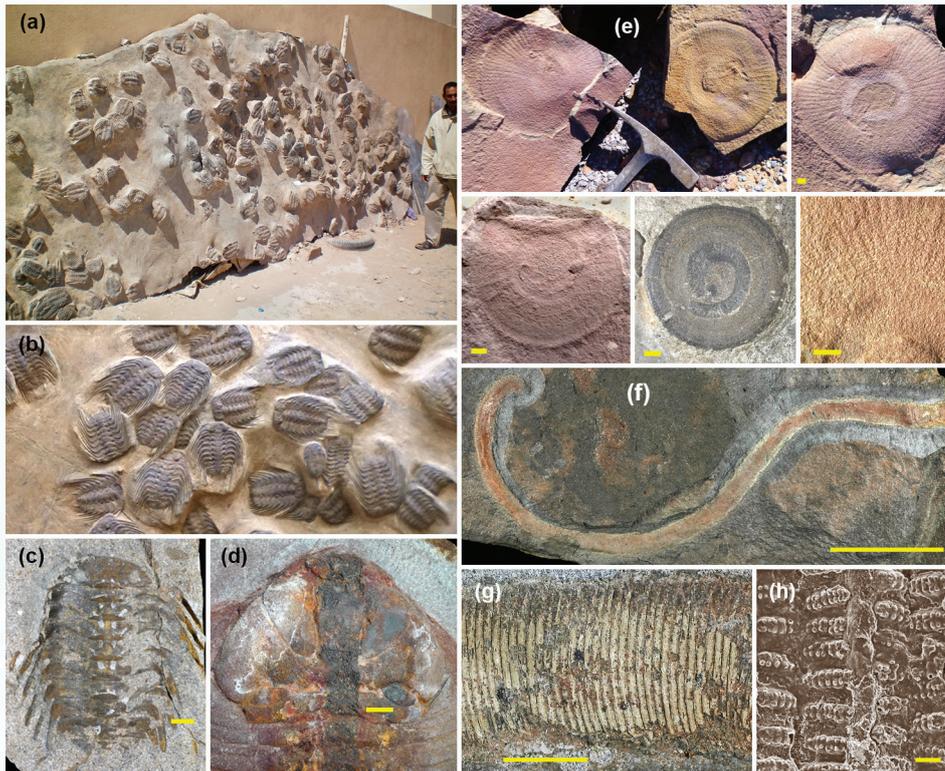


Figure 20 : Quelques fossiles du Lagerstätte de Tafilalt. (a), Niveaux de concentration de trilobites épineux (*Selenopeltis*) ; (c-d) vestiges d'anatomie interne sur le thorax de *Selenopeltis* (c) et trace du tube digestif (bande axiale sombre) au céphalon d'*Uralichas* ; (e), *Discophyllum*, un fossile 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'Erfoud ; (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 conservent 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 Cénomaniens (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 Crétacée 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 Crétacée 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 limitée 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).

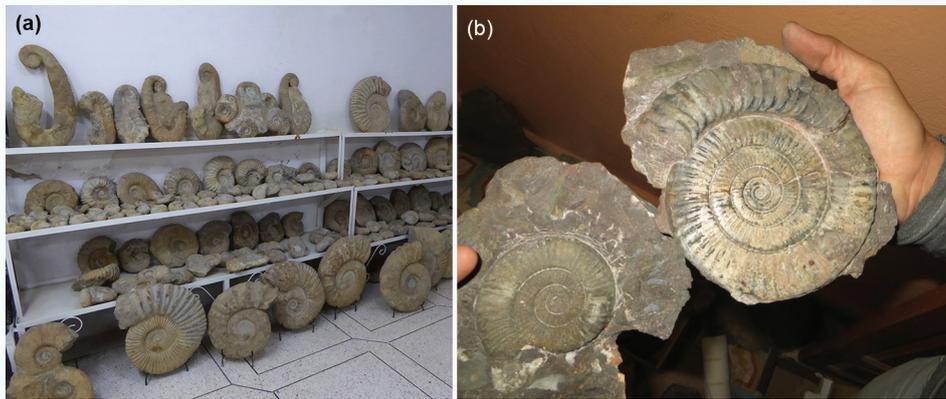


Figure 23 : Ammonites du Crétacé (a) et du Jurassique (b) du Moyen et Haut Atlas, en vente à Erfoud.

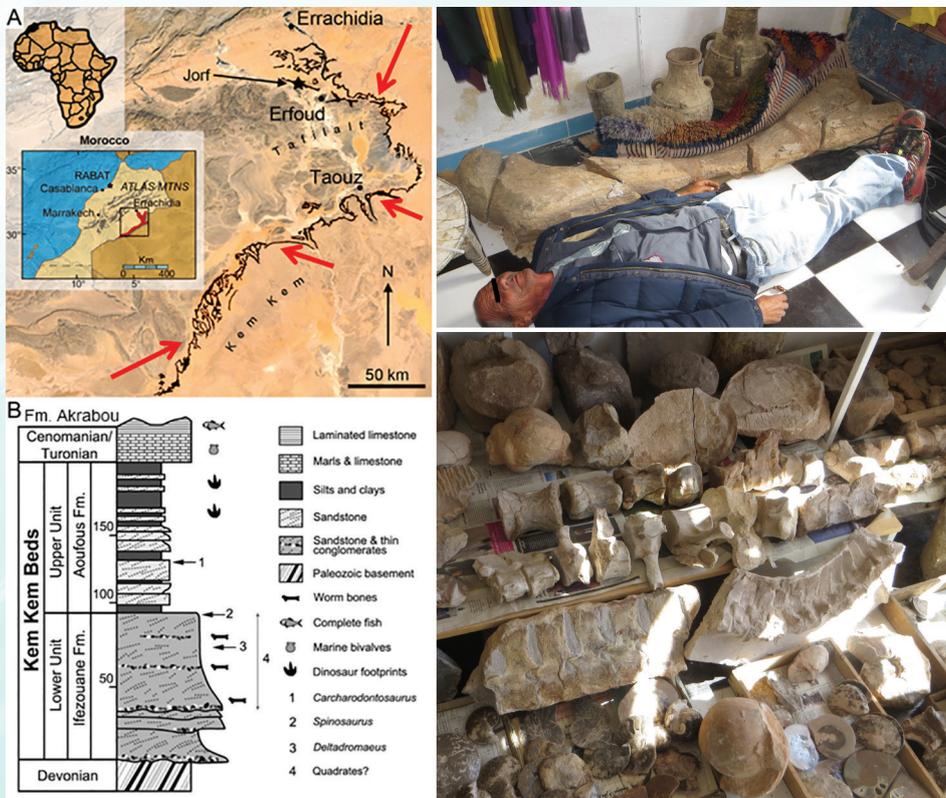


Figure 24 : Distribution géographique des affleurements, log stratigraphique et vente de dinosaures du Groupe Kem Kem. À gauche, selon Hendrickx et al. (2016). En haut à droite, un vendeur est à côté d'un fémur pour servir d'échelle. En dessous, vertèbres articulées et autres ossements.

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-Craa, 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 éthique que juridique, le problème semble impossible à résoudre.

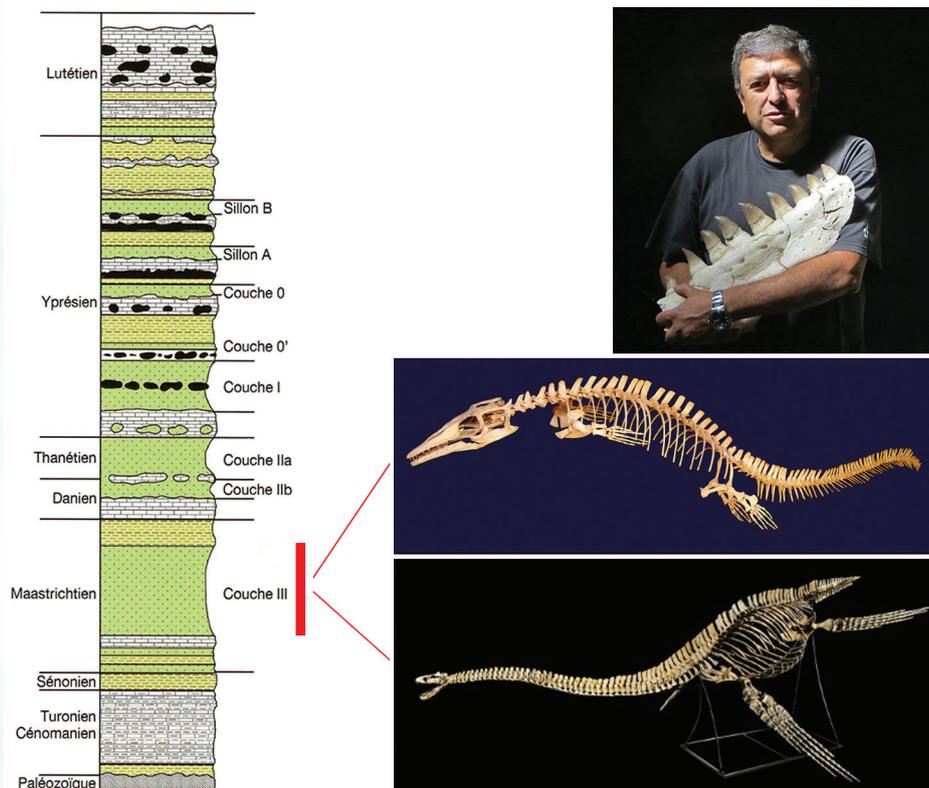


Figure 25 : Colonne stratigraphique de la succession phosphatée des Oulad Abdoun dans la zone minière du Grand Daoui (à l'Est de Khouribga), avec le découpage minier en couches et sillons phosphatés (selon différents auteurs in Lebrun, 2019). À droite et de haut en bas, trois des fossiles du Crétacé 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 paléontologiques 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'intérêt / d'interprétations géologiques essentiels: par exemple le site dédié aux stromatolithes néoproterozoïques d'Amame-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).

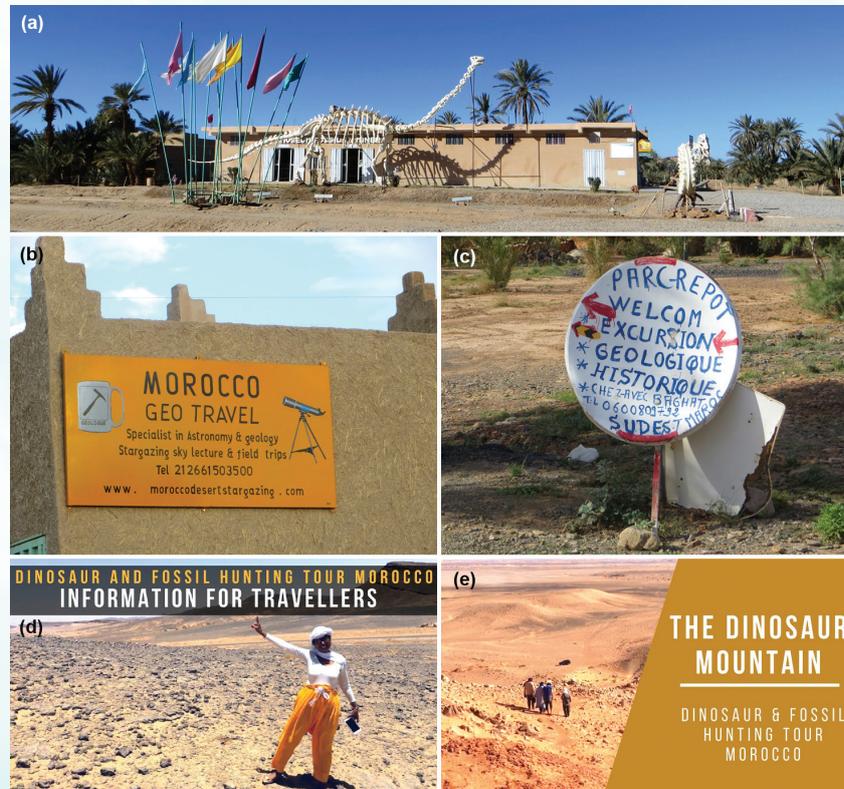


Figure 26 : (a), Extérieur du musée Tahiri (privé) avec des espaces pour la préparation et la vente des fossiles et minéraux, situé dans la palmeraie entre les villes d'Erfoud et Rissani ; et reconnaissable par le squelette de sauroptérygien modelé sur la façade principale ; (b, c), deux exemples d'initiatives personnelles qui proposent des visites géologiques dans la région de Merzouga (b) et près de Timerzit (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 n'appartenant pas à l'État mais 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; empêche/dérange 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 geohéritage sites in the Draa Valley (Morocco): a contribution to promotion of geotourism and sustainable development. *Geohéritage*, 11 : 241–255.
- Carcavilla, L., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, A., and Vegas, J. (2019): Geohéritage 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 geohéritage. 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. *Geohéritage*, 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 Geohéritage to Geoparks. Case studies from Africa and Beyond*. Springer Verlag, Cham-Heidelberg. *Geohéritage, 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 Goniclymenia 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., Amare, 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>>
- Kröger, 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., Zhouri, 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 résumée en anglais].

La dynamique eau et développement durable

Mohamed AIT KADI

Académie Hassan II des Sciences et Techniques



RESUME

Aujourd'hui, le défi de la sécurité hydrique est mondial et de plus en plus aigu. Atteindre et maintenir la sécurité hydrique, tant dans les pays développés que dans les pays en développement, risque de devenir de plus en plus complexe et prioritaire – non seulement à mesure que le changement climatique s'intensifie, mais également à mesure que les exigences de la croissance économique augmentent. Il existe une relation à double sens entre les ressources en eau et la croissance économique. D'une part, elles peuvent freiner et inverser la croissance économique en raison des effets destructeurs des inondations, des sécheresses et de la pollution; d'autre part, elles peuvent stimuler la production et la croissance économique dans des secteurs clés, notamment l'agriculture, l'énergie, l'industrie, le tourisme et les transports. La sécurité hydrique est maintenant un concept largement accepté qui englobe cette double relation entre l'eau et la croissance économique. Des analyses empiriques et théoriques démontrent l'importance des investissements dans la sécurité hydrique pour le développement et, inversement, l'importance du développement pour assurer les investissements requis pour atteindre la sécurité hydrique.

Au Maroc, la sécurité hydrique a toujours été une priorité du développement économique et social du pays. La conséquence de la croissance démographique et économique, accentuée par la variabilité et la raréfaction des ressources en eau, est l'accroissement des besoins en eau en quantité et en qualité. Au cours des cinq dernières décennies, la politique hydraulique visait à maximiser la mobilisation des ressources en eau de surface et souterraines et à assurer leur utilisation optimale dans l'agriculture irriguée, l'approvisionnement en eau potable, l'industrialisation et la production d'énergie. D'énormes investissements sont réalisés dans les barrages, les systèmes de transfert d'eau et l'équipement des zones irriguées. Dans cette communication, il est souligné que, pour faire face aux problèmes posés par la raréfaction accrue des ressources en eau et les coûts croissants de leur mobilisation, l'accent doit être mis sur les

choix plus complexes et sophistiqués assurant une allocation économiquement, socialement et techniquement acceptable entre les différents usages. Plus que jamais la recherche scientifique doit se mobiliser pour mieux comprendre des systèmes hydrologiques versatiles, déterminer les coûts et les avantages des interventions politiques spécifiques et orienter les arbitrages inévitables et difficiles inhérents au développement et à la gestion de l'eau. Les capacités institutionnelles devront être développées afin de renforcer les dispositifs institutionnels appelés à fonctionner dans des situations de plus en plus complexes.

**Monsieur Le Secrétaire Perpétuel
Monsieur Le Chancelier
Chères Conscœurs, Chers Confrères
Mesdames et Messieurs**

Je vais traiter la «dynamique eau-développement durable», thème annoncé de ma communication, en prenant appui, principalement, sur un travail de recherche que nous avons réalisé dans le cadre d'une collaboration entre le Partenariat Mondial de l'Eau (dont j'assurais à cette époque la présidence de son Comité Technique) et l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE). Ce travail a mobilisé un consortium international formé de plus d'une quinzaine d'universités et de Centres de Recherche.

Mais avant, et, en guise de jonction avec la Session précédente consacrée au Patrimoine Géologique, permettez-moi de rappeler que l'histoire «géologique» de l'eau nous enseigne qu'elle est apparue dans l'univers il y a environ douze milliards d'années. Elle a voyagé dans l'espace interstellaire des galaxies jusqu'à rencontrer, il y a environ trois milliards et demi d'années, notre planète Terre, qui, à la faveur de sa distance idoine par rapport au soleil offrait des conditions exceptionnelles de température et de densité pour que l'eau y apparaisse en ses trois états: solide, liquide et gazeux. Il lui suffit pour osciller entre ces trois états d'une marge étroite de température de 100 degré et enclencher le cycle de l'eau que nous connaissons (Figures.1&2).

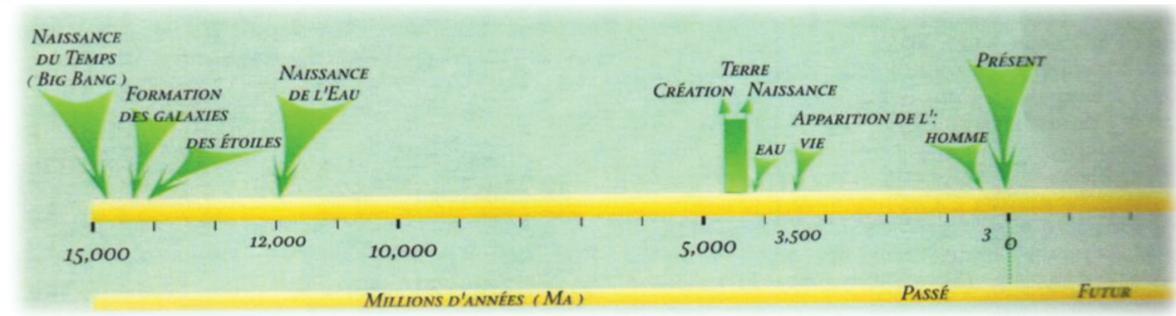


Figure 1 : Source (Ambroggi R. 1997)

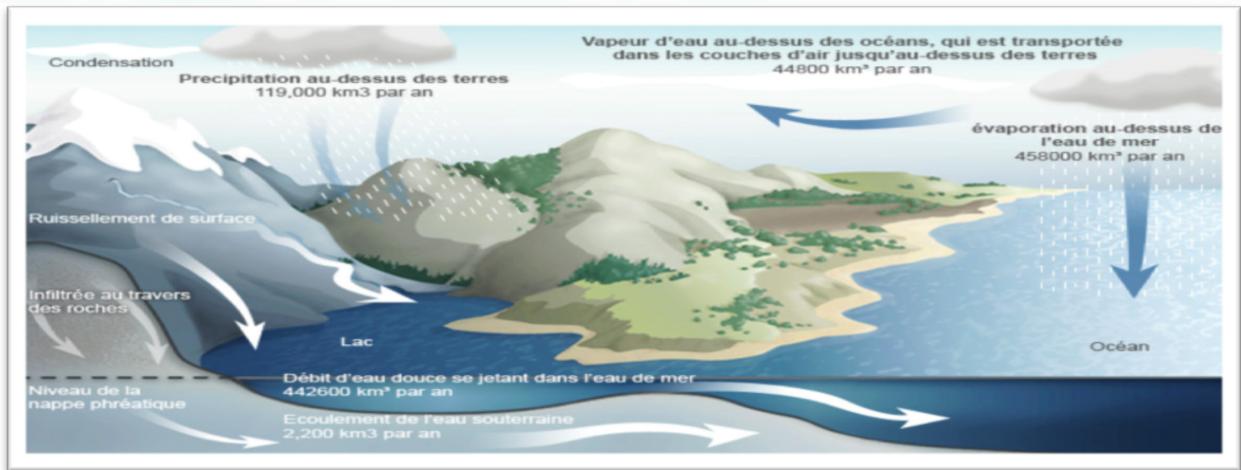


Figure 2 : Le cycle de l'eau

1. Toute l'eau n'est pas ressource

Bien que l'eau recouvre la majeure partie de notre planète (la planète bleue vue de l'espace), toute cette eau n'est pas ressource (le terme «ressource» implique l'accessibilité, la possibilité de se servir autant que de besoin) Elle est salée pour plus de 97% et bloquée sous forme de neige et de glace pour près de 2% ce qui nous laisse moins de 1% Notre tâche consiste, donc, à trouver des solutions raisonnables pour survivre à l'intérieur de ce cadre.

Or, nous risquons de nous y sentir à l'étroit. Déjà, en 2010, les régions pauvres en eau représentaient 36% de la population mondiale et 22% du PIB mondial (Figure 3). En 2050 la moitié de la population mondiale et 45% du PIB mondial se trouveront dans des régions à risque en raison du stress hydrique (Figure 4). La finitude de la ressource en eau n'est plus une question, c'est une contrainte avérée qu'il faut désormais mettre en regard des défis du développement.

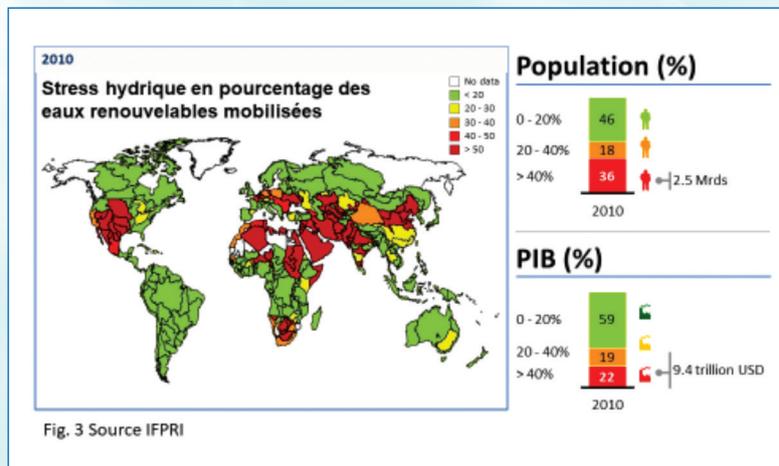


Fig. 3 Source IFPRI

Dans le scénario tendanciel en termes de productivité de l'eau et une croissance du PIB moyenne, 52% de la population et 45% du PIB seront dans des régions à risques dûs à l'eau en 2050

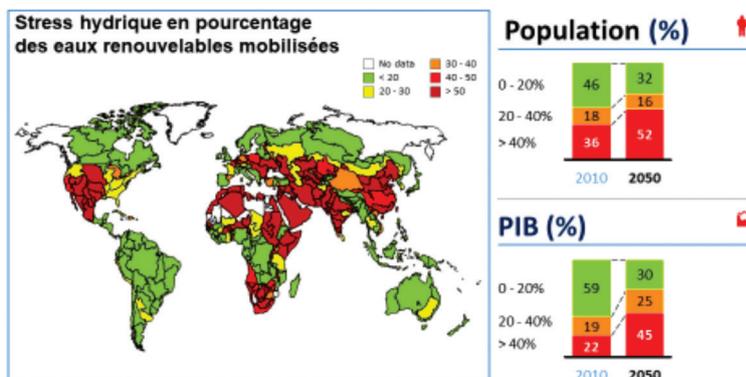


Fig. 4 SOURCE: IFPRI

L'importance de ce défi est reflétée dans les rapports successifs du Forum Economique Mondial de Davos sur les Risques Globaux dans lesquels la crise de l'eau a été classée parmi les cinq principaux risques globaux ayant le plus grand impact sur les économies. La crise de l'eau est même au carrefour des risques globaux majeurs (environnementaux, sociaux, économiques et géopolitiques).

Mais, la bonne nouvelle, est, qu'aujourd'hui, l'usage efficient, productif et moins coûteux des

ressources fait des progrès remarquables. On estime qu'une amélioration de l'efficacité et de la productivité de l'eau permettra de couvrir 60% de l'accroissement de la demande en eau à l'horizon 2050. Dans un scénario à haute productivité de l'eau (qualifié de "révolution bleue"), avec une croissance moyenne du PIB mondial, le stress hydrique pourra être substantiellement réduit avec un Milliard de personnes et 17 Trillions de US\$ en moins par rapport au scénario tendanciel (Figure 5).

Scénario à haute productivité de l'eau "révolution bleue" avec une croissance moyenne du PIB

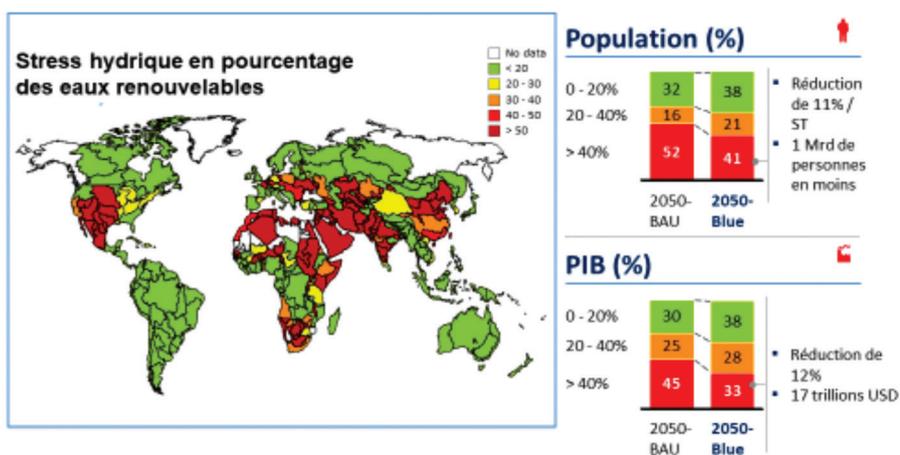


Fig. 5 (SOURCE: IFPRI)

2. Les Objectifs de Développement Durable

En 2015, lors du Sommet des Nations Unies les pays se sont retrouvés autour d'un nouveau programme universel et ambitieux de développement durable à mettre en œuvre dans le cadre de l'Agenda 2030. Il s'agit d'un plan intégré

et porteur de transformation qui doit permettre à tous les peuples de la planète d'accéder à un niveau satisfaisant de développement social et économique, d'épanouissement humain et culturel sur une terre dont les ressources seraient utilisées plus raisonnablement, les espèces et les milieux mieux préservés.

Je considère, pour ma part, que cet agenda 2030 offre un cadre normatif qui doit féconder l'action, lui donner un sens, une cohérence et une efficacité. Il doit aussi mobiliser les acteurs et stimuler la coopération à tous les niveaux. Ce cadre normatif devrait constituer une rupture devant déboucher sur un changement profond qui, sans nécessairement renier les efforts du passé, et, en capitalisant même sur leurs acquis, mette en œuvre de nouvelles approches et de nouveaux paradigmes de développement intégrant les nouvelles dimensions de la problématique du développement durable et les changements contextuels c'est-à-dire toute la gamme des problèmes quantitatifs et qualitatifs actuels et futurs, les nouveaux domaines de préoccupation, les changements de priorités ainsi que les éventuels mécanismes socio-politiques d'intervention.

Les 17 objectifs de développement durable et leurs 169 cibles témoignent de l'ampleur de la tâche. L'objectif N°6 est spécifique à l'eau. Il vise à garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et à assurer une gestion durable des ressources en eau. Du point de vue de l'eau tous ces objectifs sont intégrés et indissociables. Cette interdépendance impose des approches intégrées d'optimisation qui transcendent les approches

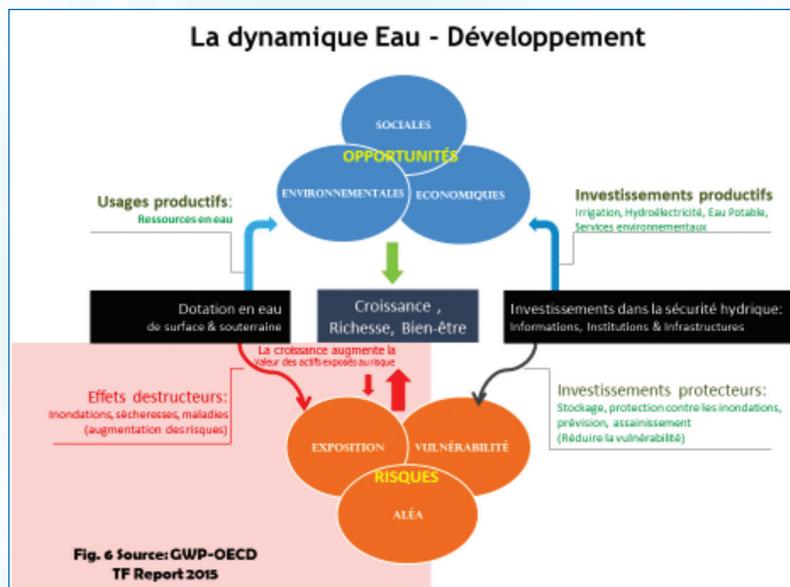
sectorielles réductrices. Il s'agit d'engager une évolution majeure de notre façon de réfléchir et d'agir et de dépasser les cloisonnements sectoriels auxquels nous nous étions accoutumés.

3. La dynamique Eau et Développement

La dynamique Eau et Développement nous l'avons conceptualisée dans le diagramme de la Figure 6. La croissance économique durable, la richesse et le bien-être humain sont au cœur de cette représentation.

La «richesse» y est considérée comme englobant tout à la fois : le capital physique (dont le stock des infrastructures hydrauliques), le capital naturel et le capital immatériel en reconnaissant que la sécurité hydrique concerne non seulement les apports d'eau à des fins de production mais aussi comme une exigence de la préservation des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques en tant qu'actifs d'une grande valeur économique, sociale, environnementale et esthétique.

Le bien-être est aussi un élément clé dans ce cadre conceptuel, notamment parce que beaucoup de valeurs associées à la sécurité hydrique (comme la sécurité des biens et des personnes, la dignité, l'équité et les loisirs) sont de nature non-monnaire.



Le point de départ de cette dynamique est le «capital eau» du pays. Celui-ci comprend la quantité d'eau disponible; l'état des écosystèmes aquatiques (leur fragilité ou non); et aussi, très important, la variabilité hydrologique. Ce «capital eau» influencera l'importance des investissements nécessaires pour atteindre un niveau donné de sécurité hydrique.

De ce fait, le capital eau crée à la fois des opportunités et des risques pour le développement et le bien-

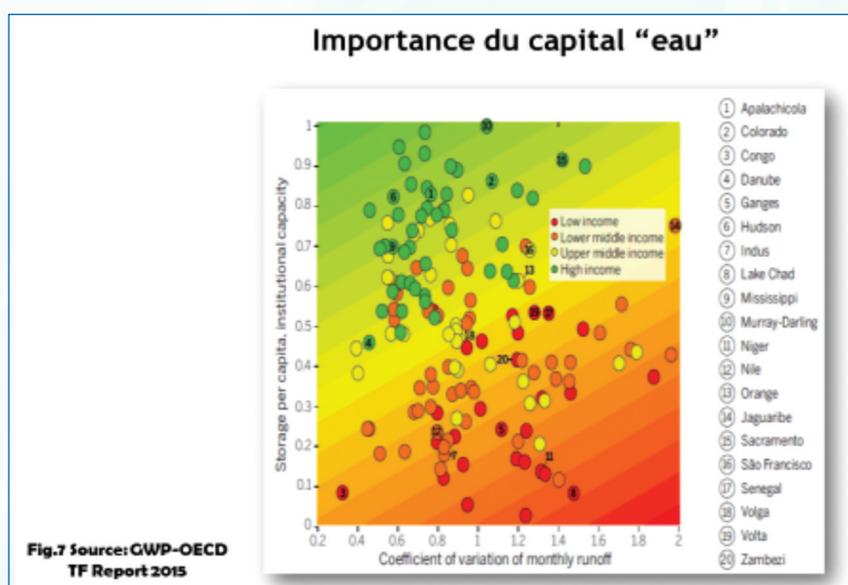
être. Lorsque l'eau est disponible, de manière fiable (faible variabilité), les opportunités économiques sont renforcées. Lorsque les ressources en eau sont limitées et fluctuantes ou de moindre qualité, ou lorsque les risques liés à l'eau (les inondations, les sécheresses ou la pollution) sont grands, ces situations représentent fatalement (et nous l'avons démontré) des entraves au développement. Il est également important de considérer les facteurs contextuels et le fait que les trajectoires pour

atteindre un certain niveau de sécurité hydrique seront influencées par des facteurs économiques, politiques, sociaux et culturels.

A mesure qu'une économie prospère, elle génère des revenus et crée des richesses qui peuvent être réinvesties dans la formation d'un stock d'actifs productifs et /ou protecteurs (C'est la trajectoire suivie par le Maroc). A contrario, les pays les plus pauvres exposés aux risques liés à l'eau peuvent avoir du mal à se remettre des pertes débilantes répétées, créant un cercle vicieux où la croissance économique est fréquemment entravée par les fléaux hydrologiques (c'est une situation qui, malheureusement, handicape le développement de certains pays de notre continent et les maintient dans la trajectoire de la pauvreté).

Il apparaît ainsi que la disponibilité des ressources en eau exerce une contrainte forte sur les orientations économiques d'un pays imposant des choix sur le long terme et des trajectoires de développement spécifiques.

L'importance du capital eau est illustrée par les situations d'une vingtaine de grands bassins fluviaux de par le monde que nous avons étudiés (Figure 7). Il apparaît que la plupart des pays développés (représentés par les points verts) ont investi dans leur sécurité hydrique (aidés en cela, il faut le reconnaître, par une hydrologie souvent favorable). L'Afrique manque cruellement d'infrastructures et de capacités institutionnelles et n'exploite, aujourd'hui, que moins de 5% de ses ressources en eau.

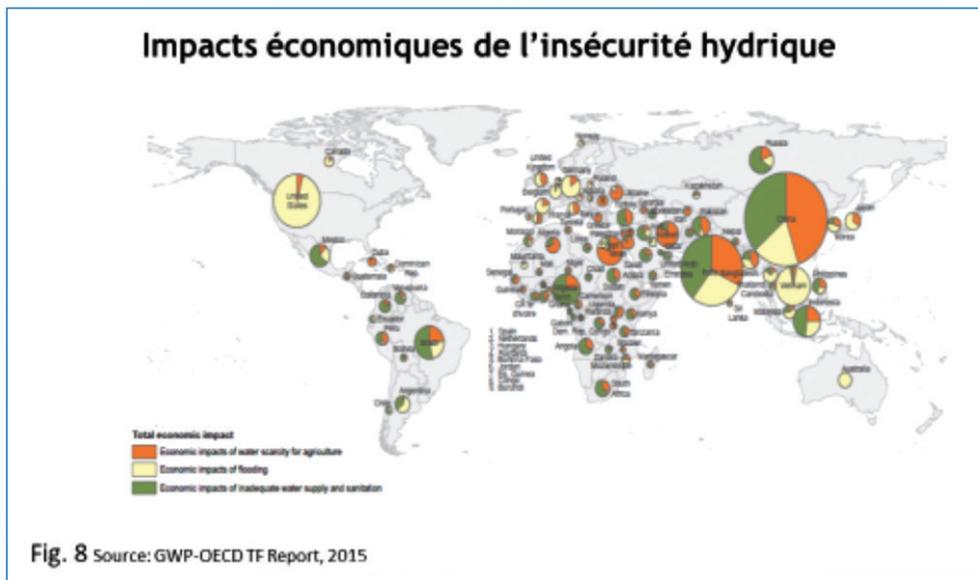


Nous avons également montré que différentes régions du monde sont sujettes à différentes formes d'insécurité hydrique (Figure 8). Plus spécifiquement :

- L'Afrique subsaharienne subit le plus grand impact des déficits chroniques dans les domaines de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement. Elle présente

également la plus grande variabilité de la production agricole, soulignant la sensibilité des économies africaines à la variabilité hydro-climatique.

- L'Afrique du Nord se distingue tant par le nombre absolu de personnes que par le pourcentage de la population, exposées au risque de pénurie d'eau.

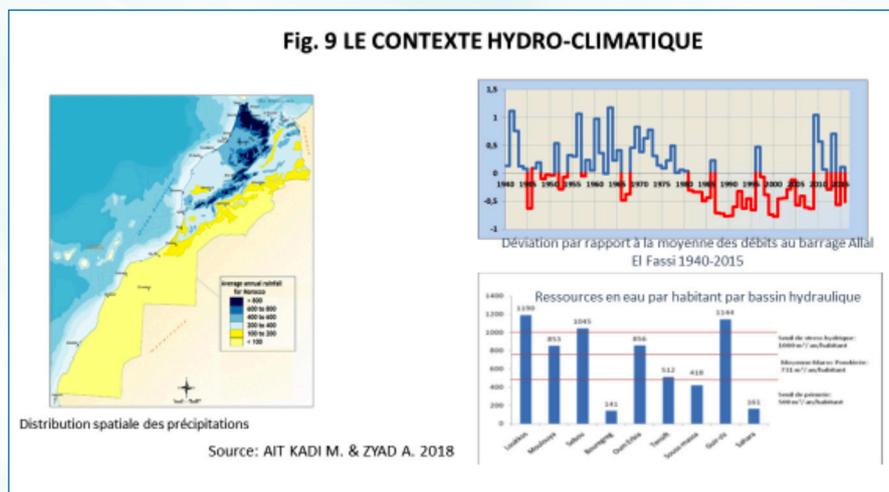


4. La complexité de l'équation de l'eau au Maroc

4.1. Les contextes géographique et hydro-climatique

Le climat du Maroc est caractérisé par une sécheresse estivale et il est à l'origine d'apports d'eau très variables (le ratio peut varier de 1 à

9 selon les saisons et les années.) La variabilité spatiale est également très élevée (le ratio d'approvisionnement en eau par habitant peut varier de 1 à 8 entre les différents bassins hydrauliques). Ces deux caractéristiques se conjuguent pour imposer d'amples efforts de maîtrise aussi bien par des aménagements régulateurs que par des ouvrages de transferts d'eau entre les bassins (Figure 9)

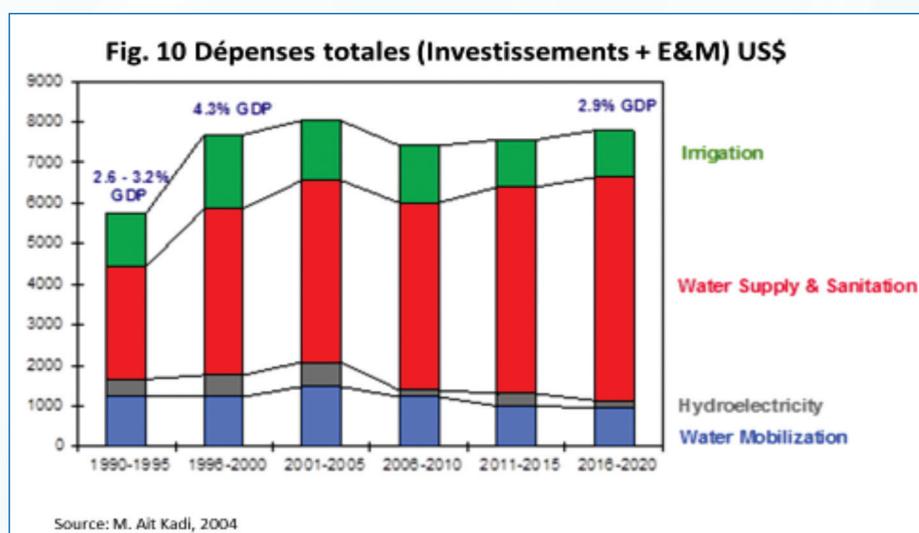


Au cours des cinq dernières décennies, l'accent est mis, sans discontinuité, sur la maximisation de la mobilisation des ressources en eau de surface et sur leur utilisation optimale dans l'agriculture irriguée, l'approvisionnement en eau potable et industrielle et la production d'énergie.

D'énormes ressources en capital ont été investies (Figure 10):

- Le nombre de grands barrages est passé de 16 en 1967 à 145 aujourd'hui, et a conduit à une multiplication par 10 de la capacité de stockage d'eau atteignant environ 18 Milliards de mètre cube. En outre, le Maroc compte 13 systèmes de transfert d'eau entre bassins. La plupart des grandes infrastructures hydrauliques sont multi-usages et intègrent dans leur conception et leur fonctionnement le nexus eau-agriculture-énergie.

- La capacité hydroélectrique installée s'élève à 1800 mégawatts. Elle représente 10% de la production nationale d'électricité au cours d'une année hydrologique typique.
- Concernant le secteur de l'eau potable, la production a été multipliée par 5 au cours des 3 dernières décennies, pour atteindre plus de 1,5 Milliards de m³. Actuellement, 100% de la population urbaine et pratiquement 96% pour cent de la population rurale (contre 14% seulement en 1994) ont accès à un approvisionnement en eau amélioré.
- Notre pays possède une superficie irriguée totale de 1,6 million d'hectares. L'ensemble du sous-secteur de l'irrigation, bien qu'il ne représente que 18% de la superficie agricole, produit 45% de la valeur ajoutée agricole et 75% des recettes des exportations agricoles.



4.2. Enjeux et contraintes

Malgré tous ses efforts et ses réalisations remarquables, notre pays est confronté à des enjeux croissants et à de nombreuses contraintes dans le secteur de l'eau. Les principales contraintes sont :

- La baisse tendancielle des ressources en eau disponibles et l'intensification des événements extrêmes
- La surexploitation des ressources en eaux souterraines

- La dégradation de la qualité de l'eau
- L'érosion des sols et envasement des barrages
- La faible efficacité dans l'utilisation de l'eau

4.2.1. La baisse tendancielle des ressources en eau disponibles et l'intensification des événements extrêmes

Le Maroc est très exposé au changement climatique. L'évolution, observée, du réchauffement s'accompagne d'une diminution des précipitations annuelles totales (Figure 11).

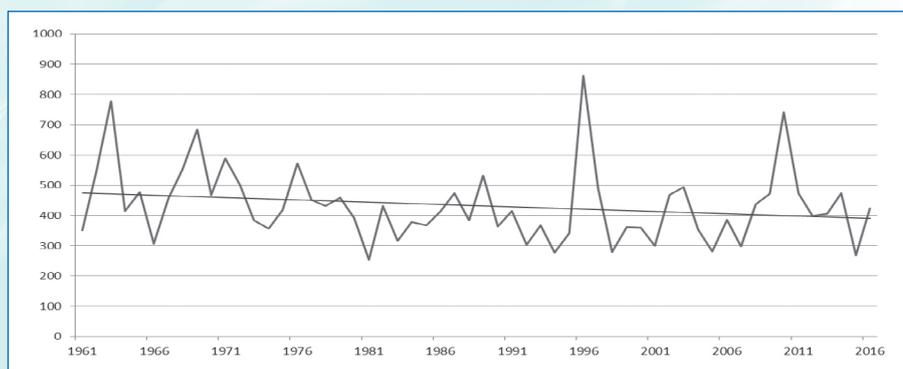


Figure 11 : Baisse tendancielle des Précipitations (Ait Kadi M & Zyad A. 2018)

Une étude que nous avons entreprise avec l'Institut Royal des Etudes Stratégiques (IRES) a révélé un changement dans les régimes hydrologiques observés au niveau du fleuve Sebou (Figure 12) avec une diminution du débit moyen, des durées d'étiages plus longues et une augmentation de la fréquence et de l'intensité des crues qui se

manifestent souvent sous forme de crues éclairs (flash floods). Ces changements compliquent la gestion des barrages et le contrôle des crues. Le Maroc est parfois soumis à des inondations importantes et violentes causant des dégâts en termes de vies humaines et d'infrastructures.

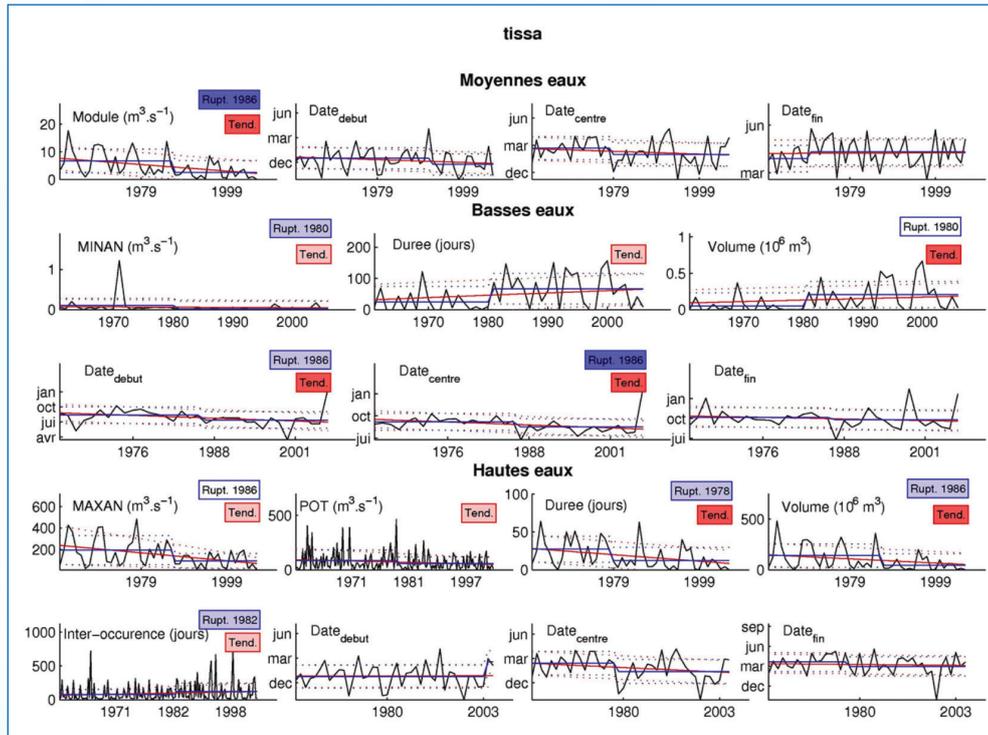


Figure12 : Variation des régimes hydrologiques du Sebou – source M. Ait Kadi, IRES.

La sécheresse est aussi un phénomène naturel récurrent du climat marocain. Une étude de dendrochronologie entreprise au début des années 80 a permis de reconstituer l'histoire de la sécheresse au cours du dernier millénaire (années 1000-1984). Le XXe siècle a été l'un des plus secs des neuf derniers siècles. Les deux dernières décennies du XXI^{ème} siècle ont connu pas moins de 6 épisodes de sécheresse plus ou moins aigus (Figure 13)

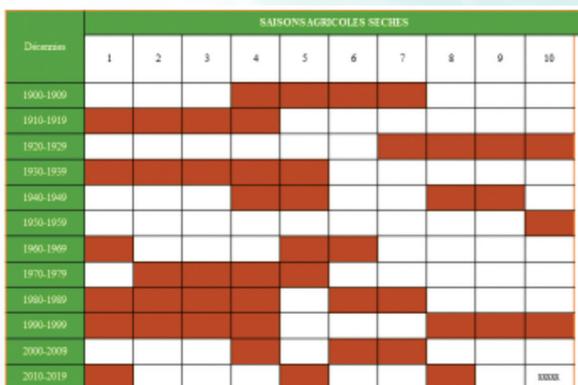


Figure 13 : Intensification des Sécheresses

4.2.2. La surexploitation des ressources en eaux souterraines

Cette ressource stratégique représente environ un tiers de la production d'eau potable du pays, ce pourcentage pouvant atteindre 90% en milieu rural. En outre, 40% de la superficie actuellement irriguée, qui cultive principalement des cultures d'exportation à grande valeur ajoutée, dépend des eaux souterraines. Les eaux souterraines jouent également le rôle de réserve stratégique pendant les années de sécheresse

L'épuisement des ressources en eaux souterraines est particulièrement préoccupant. Selon les estimations, environ 5 milliards de m³ d'eau sont extraits contre un potentiel renouvelable de 4 Milliards de m³.

Cette surexploitation s'est traduite par une baisse des niveaux piézométriques, une diminution des débits des sources voire leur assèchement, et une dégradation de la qualité des eaux souterraines dans certaines zones côtières du fait de l'intrusion saline.

4.2.3 La dégradation de la qualité de l'eau

Les ressources en eau du Maroc limitées une première fois car la nature l'a voulu ainsi le sont une deuxième fois par la pollution d'origine diverse (agriculture, industrie, effluents urbains...) La dégradation de la qualité de l'eau est accentuée par la variabilité hydrologique notamment durant les basses eaux de la saison d'été. Les infrastructures d'assainissement et d'épuration des eaux n'ont pas accompagné celles de l'eau potable et industrielle de sorte que les rejets urbains et industriels constituent aujourd'hui les principales sources de pollution des eaux de surface souterraines et côtières. Par conséquent, si le pays doit continuer sur sa trajectoire de développement économique et social les exigences de qualité de l'eau s'amplifient plus vite que celles de la quantité. Un plan national d'amélioration de la qualité de l'eau a été formulé. Ce plan prévoit (i) un diagnostic de la qualité des ressources en eau, (ii) l'analyse des sources de pollution et leurs impacts sur la qualité des ressources en eau et (iii) la préparation de plans d'abattement de la pollution et de préservation de la qualité des ressources en eau.

4.2.4. L'érosion des sols et l'envasement des barrages

L'érosion des sols affecte, avec une intensité variable, la plupart des bassins versants du pays. On estime qu'annuellement le cumul de l'érosion des sols contribue à une perte d'environ 75 millions de mètres cubes de capacités de barrages disponibles. Elle se conjugue avec l'aggravation de l'eutrophisation et la dégradation de la qualité de l'eau pour renchérir les coûts d'exploitation et de maintenance des infrastructures hydrauliques et ceux de production d'eau potable.

4.2.5. Faible efficacité dans l'utilisation de l'eau

L'économie de l'eau au Maroc est aujourd'hui caractérisée par un accroissement aigu des coûts de mobilisation de ressources en eau additionnelles et l'exacerbation de la concurrence sur l'eau entre les différents usages. Il s'ensuit que l'efficacité dans l'utilisation de l'eau et sa conservation sont devenues un impératif incontournable dans tous les secteurs.

5. Les réformes du secteur de l'eau

Face à ces enjeux le Maroc a adopté des réformes stratégiques, juridiques et institutionnelles ainsi qu'un programme d'investissement à long terme dans le secteur de l'eau:

5.1. Le cadre juridique et le cadre institutionnel

- Une loi sur l'eau (10-95) a été promulguée en 1995. Elle a été mise à jour en 2016 pour consolider la gestion intégrée, participative et décentralisée des ressources en eau. Parmi ses apports essentiels je me limiterai à en citer trois:
- La création d'agences de bassins dans des bassins hydrauliques individuels ou groupés. La loi clarifie les mandats, fonctions et responsabilités des institutions impliquées dans la gestion de l'eau. En particulier, le statut et le rôle du Conseil supérieur de l'eau et du climat ont été renforcés en tant qu'organe consultatif supérieur et forum sur les politiques et programmes nationaux relatifs à l'eau.
- La loi a prévu également l'élaboration d'un plan national de l'eau et des plans directeurs des bassins hydrauliques.
- Elle a mis en place un mécanisme de recouvrement des coûts basé sur le principe «préleveur-payeur» et «pollueur-payeur» en instituant une redevance de prélèvements et une taxe sur la pollution des eaux.

5.2. Le Programme National 2020-2027

Un nouvel élan pour le renforcement de la politique de l'eau a été déclenché à travers le lancement, récent, du programme national d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation 2020-2027. Ce programme mobilise une enveloppe d'investissements de l'ordre de 115,4 Milliards de DH. Il porte, principalement sur 3 domaines d'action:

5.2.1. L'accroissement et la diversification des offres en eau à travers :

La poursuite de la mobilisation des eaux de surface par la construction de 20 grands barrages d'une capacité de stockage supplémentaire de 5,4 Milliards de m³ portant la capacité de stockage totale à 27,3 Milliards de m³ en 2027.

Le dessalement de l'eau de mer. Il n'est plus une option, il est devenu une nécessité. Aux 4 stations actuellement opérationnelles (à Laâyoune, Boujdour, Tan-Tan et Akhfenir) viendront s'ajouter les stations en cours de réalisation à Agadir et Al Hoceima et trois autres programmées à Casablanca, Dakhla et Safi.

Il est également envisagé la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des espaces verts et des terrains de golf.

5.2.2. La préservation des ressources en eau et la protection de l'environnement naturel

Dans ce cadre une batterie de mesures sont retenues :

- L'accélération du programme d'assainissement en milieu rural et la lutte contre la pollution de l'eau,
- La préservation des eaux souterraines à travers la recharge artificielle des nappes déficitaires, l'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraines (sauvegarde de la plaine du Saïb (à partir du Barrage Mdez) et la mise en place d'un nouveau mode de gouvernance pour une gestion durable et participative de ces ressources stratégiques notamment par le biais de contrats de nappe.

5.3.3. La gestion de la demande

La gestion de la demande en eau et la valorisation de l'eau par de nouveaux outils techniques, réglementaires et financiers, sont une priorité.

Dans le domaine de l'eau potable, outre les objectifs de sécurité d'approvisionnement en eau potable, le programme vise à améliorer les performances des réseaux d'eau potable pour atteindre une efficacité moyenne au niveau national de 80% d'ici 2027.

Dans l'agriculture, il a été retenu de poursuivre le programme national d'économie d'eau d'irrigation à travers la conversion massive à l'irrigation goutte à goutte pour couvrir une superficie irriguée de plus de 900.000 ha à l'horizon 2027 et économiser ainsi plus d'un milliard de mètres cubes annuellement.

6. Conclusion : Quel rôle de la Science et quel agenda de recherche

Quel est le rôle de la science dans la transformation de notre relation à l'eau? La question évoque d'emblée la conception de nouvelles technologies et la capacité qui en découle à entreprendre les ruptures souhaitées. Mais quand il s'agit de l'eau la réponse ne saurait se résoudre à cette dimension essentielle.

Les fonctions de la science incluent également l'implication des scientifiques par leur capacité à éclairer des problématiques complexes comme celle de l'eau et à renforcer ainsi l'intelligence collective du pays et de ses évolutions. L'élaboration de nouvelles méthodes et métriques pour appréhender la question de l'eau dans sa multi-dimensionnalité est essentielle.

La science joue également un rôle majeur pour transformer les agendas politiques et intellectuels, asseoir de nouveaux paradigmes et faire des alertes nécessaires un terreau fécond pour penser les futurs possibles. Son implication dans des opérations de prospective est, à cet égard, vecteur de cohérences et de convergences des politiques. La société a aussi besoin de comprendre, de mesurer, de savoir et d'être éclairée.

Nos évaluations, nos recherches à long terme sur l'eau nous montrent en effet que nous pourrions éviter les situations extrêmes et entrer dans des processus de durabilité avec une gestion intégrée et rationnelle de nos ressources. Il s'agit de mettre en œuvre un processus qui favorise la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources connexes, et ce, en vue de maximiser, de manière équitable, le bien-être économique et social qui en résulte, sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux.

Tous ces enjeux nous forcent à donner une importance beaucoup plus grande qu'auparavant aux apports de la recherche scientifique. Nous devons disposer de plateformes de modélisation et de simulation permettant de mieux appréhender la complexité des interactions entre les mécanismes hydrologiques, les choix économiques... et les processus décisionnels entre les différents niveaux de décision et de gestion.

A ce titre, et en conformité avec la recommandation de notre Académie relative à la création de centres d'excellence ou d'Instituts d'études avancées, j'ai retenu deux grands axes de recherche qui, aujourd'hui, me semblent prioritaires dans le domaine de l'eau, offrant la possibilité de fédérer, dans un consortium national, les équipes de recherche concernées :

Axe 1 : Le développement d'une plateforme de modélisation intégrée des ressources en eau :

Pour gérer il faut quantifier. C'est fondamental. Connaître la quantité, la qualité et la variabilité spatiale et temporelle des ressources en eau est importante pour toutes les activités qui dépendent de l'eau. Les approches traditionnelles de la planification se sont beaucoup plus préoccupées des aspects quantitatifs, alors que les évaluations de la qualité et des effets des activités humaines dans le temps sont effectuées de façon indépendante. Il est de plus en plus nécessaire de considérer d'une façon intégrée ces trois dimensions avec une perspective pluridisciplinaire couplant leurs interactions. De même, comprendre les interactions, dans le temps, entre les eaux de

surface et les eaux souterraines, est important dans le contexte d'une exploitation croissante de ces deux ressources.

Le changement climatique intensifie les perturbations naturelles du cycle de l'eau. Nous avons besoin de nouvelles recherches pas uniquement pour la prévision de ses impacts sur les ressources en eau mais aussi pour analyser et expliquer les incertitudes inhérentes à ces prévisions. La conception et le dimensionnement des infrastructures hydrauliques sont basées sur des séries de relevés des précipitations et des débits qui sont relativement de durées limitées en comparaison avec les fréquences accrues des inondations et des sécheresses.

La prévision à court terme (sur quelques heures à quelques jours) est essentielle pour les alertes concernant les événements hydrologiques à haut risque comme les inondations. Ces prévisions utilisent des modèles hydrologiques qui traitent des relevés en temps réel (comme les précipitations, les niveaux d'eau dans les rivières, la piézométrie, les utilisations de l'eau...). Aujourd'hui la disponibilité de données géo-spatiales, les instruments et les approches de l'industrie (4.0) ont révolutionné la modélisation et les systèmes d'alerte précoce des inondations et des sécheresses sont de plus en plus sophistiqués.

Pour permettre à notre pays de développer ses capacités de modélisation et faire face aux défis futurs de l'eau il devient impératif d'améliorer la collecte des données spatiales et temporelles sur les ressources en eau en termes de quantité, de qualité et d'usages en mobilisant toutes les ressources du progrès scientifique et technologiques. A cette fin, je recommande d'instituer un Comité Scientifique Consultatif National qui sera chargé de définir les besoins en données, les standards et les procédures de collecte, de traitement, de gestion et de dissémination de ces données.

Axe2 : Le développement d'une Plateforme de recherche sur «l'hydro-économie»

Dans le contexte d'une raréfaction croissante des ressources en eau il devient de plus en plus nécessaire de concevoir et de mettre en œuvre des politiques publiques plus englobantes avec la capacité de clarifier et de légitimer les arbitrages difficiles qui s'imposent d'où l'importance d'une argumentation économique robuste.

Je pense que le secteur de l'eau doit faire sa révolution comme celle de l'énergie après le 1er choc pétrolier dans les années 70. L'eau doit être sérieusement intégrée dans la planification économique.

Réussir la gestion intégrée des ressources en eau exige plus qu'une convergence des politiques publiques. Nous devons nous préoccuper de leur cohérence et de la bonne articulation des politiques économiques (agriculture-énergie- tourisme, industrie, ...) avec les politiques territoriales d'aménagement du territoire, d'urbanisme ...

La gestion intégrée est par essence une question d'arbitrage et d'allocation, cela suppose des modalités renouvelées de gestion et de concertation, cela suppose aussi une valorisation économique, sociale et environnementale de l'eau...

Le nouveau modèle de développement doit, à mon avis, chercher à découpler le développement économique et l'eau à l'instar de certaines économies qui se sont restructurées pour une meilleure valorisation des ressources en eau. Hongkong et la Californie, par exemple, ont, durant les 30 dernières années, doublé la productivité de leurs économies par mètre cube d'eau utilisé.

Références

- Ait Kadi, M. «Water Challenges for Low Income Countries with High Water Stress – The need for a Holistic Response: Morocco's Example» Proceedings of the Seminar on the 20th Anniversary of Mar del Plata, SIWI, Stockholm, 1997
- Ait Kadi, M. "Les Politiques de l'Eau et la Sécurité Alimentaire au Maroc à l'aube du XXI^{ème} Siècle (Exposé Introductif) Proceedings of Academy of The Kingdom of Morocco, Automne Session 2000, 20-22 November 2000
- Ait Kadi, M. «From Water Scarcity to Water Security in the Maghreb Region: The Moroccan Case» in A. Marquina(ed), Environmental Challenges in the Mediterranean 2000 – 2050, 175-185, Kluwer Academic Publishers, 2004
- Ait Kadi, M. «Water: The Ultimate Constraint on Long Term Development in the MENA Region» Euro-Mediterranean Economic Transition Conference, Brussels, 11-12 April 2005.

- Ait-Kadi, M. "Impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire", Proceedings of the International Meeting on Adapting to Climate Change in Morocco, pp95-108, Royal Institute for Strategic Studies (IRES), Rabat, Morocco, 16 October, 2009
- Ait Kadi, M. "Exploring the role of water security in regional economic development" In: GWP Consulting Partners Meeting: Water security and regional economic development, August 2010, Stockholm, Sweden.
- Ait Kadi, M. "Water Security: A Global Concern" Opening keynote of the 3rd International Conference on the use of space technology in water management, March 2014, Rabat, Morocco.
- Ait Kadi, M. "Integrated Water Resources Management (IWRM): the international experience" Chapter 1 of the Book " Integrated Water Resources Management in the 21st Century - Revisiting the paradigm" Edited by Pedro Martinez-Santos, Maite M. Aldaya and M. Ramón Llamas, Botín Foundation, Madrid, Spain, CRC Press, 2014
- Ait Kadi, M. "Increasing Water Security through Effective Water Governance" Keynote address at the opening ceremony of the 23rd OSCE Economic and Environmental Forum – Vienna, January 2015
- Ait Kadi, M. «The dynamic of Water Security and Sustainable Growth» opening keynote of the Session on "Economically Water Insecure Countries, VIIIth World Water Forum, Gyongju, South Korea, 2015
- Ait Kadi, M. & Arriens, W.L. Increasing Water Security: A Development Imperative. GWP Perspectives Paper: February 2012, Stockholm, Sweden.
- Ait Kadi, M. et al – Book on "Water and the Future of Humanity – Revisiting Water Security", Co-author, Calouste Gulbenkian Foundation, Springer, 2014
- Ait Kadi, M., A. Shady and A. Szollosi-Nagy "WATER, THE WORLD'S COMMON HERITAGE" Proceedings of the First World Water Forum, Marrakesh, Morocco, March 1997.
- Ait Kadi, M. et Ziyad, A. «Integrated Water Resources Management in Morocco, Chapter 6, pp 143-163, "Global Water Security – Lessons learnt and Long-Term Implications" World Water Council Editor, Springer, 2018
- Ambroggi, R. «Seule l'Eau est éternelle... après Dieu». Collection Civilisation de l'Eau, Editions ONEP, Mars 1997
- CESE (Conseil Economique, Social et Environnemental). 2014. La gouvernance par la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc: Levier fondamental de développement durable. Version définitive. Auto-Saisine n°15/2014
- Sadoff, C., Hall J.W., Grey D., M. Ait Kadi et al "Securing Water, Sustaining Growth", Report of the GWP/OECD Task Force on "Water Security and Sustainable Growth", Stockholm, Sweden, 2015
- SGG, Maroc «Loi n°36-15 relative à l'eau» Bulletin Officiel N° 6506, 10 octobre, 2016
- World Bank. 1995. Water sector review. Kingdom of Morocco, June 1995
- World Bank. 1998. Projet de gestion des ressources en eau. Rapport d'évaluation, World Bank
- World Bank. 2017. Beyond Scarcity: Water Security in the Middle East and North Africa. MENA Development Report; Washington, D.C. World Bank. ©World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/27659> License: CC BY 3.0 IGO."
- Wright, A.M., Muller and M. Ait Kadi, "Water and Sustainable Development in Africa: An African Position Paper", Africa Water Task Force, IWMI, august 2002
- Ziyad, A. "River Basin Master Plans: planning and water management tools to identify hydraulic projects" AFRICA 2017: "Water Storage and Hydropower Development for Africa". Marrakech, Morocco, March 14-16, 2017

La cédraie marocaine: protection et développement durable

Omar MHIRIT

*Ancien Directeur de l'École Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé, Maroc
Professeur de Sylviculture,
Membre de l'Académie d'Agriculture de France*



Introduction

Les forêts de cèdre de l'Atlas constituent un élément fondamental du paysage marocain dont le rôle environnemental de protection est prééminent avec des fonctions biopatrimoniales et récréatives singulières à fort ancrage socioculturel. Ces forêts ont joué un rôle fondamental dans la vie des populations au cours des différentes civilisations qui se sont succédées au Maroc. Une symbiose fructueuse s'est établie entre les marocains et la cédraie principale source de bois d'œuvre du pays mais aussi par d'autres produits, biens et services (bois de construction et combustibles ligneux pour les besoins domestiques, nourriture pour le bétail, stabilité de l'environnement et paysages, protection contre l'érosion, permettant une agriculture continue dans les piedmonts, les produits forestiers non ligneux.

Cependant cet espace multifonctions et multi-usages est soumis à des formes d'exploitation multiples dont la manifestation se traduit par leur dysfonctionnement et par leur appauvrissement en biodiversité et la perte de leur vitalité. Dans ce cadre de vulnérabilité de l'écosystème cèdre, le changement climatique, peut être révélateur et/ou amplificateur de l'évolution de ces processus et des menaces pour l'écosystème et pour les populations qui en dépendent. **Plus particulièrement, l'état de santé des forêts de cèdre dans le Moyen Atlas, durant les trois dernières décennies, est très préoccupant pour l'avenir de cet écosystème.**

Le présent article, après un bref rappel de l'histoire de la répartition du cèdre de l'Atlas au Maroc, décrit les particularités édaphoclimatiques et phytogéographiques de cet écosystème mettant en relief sa richesse et sa diversité biologique remarquables et analyse l'état et la complexité du phénomène de dépérissement et de dysfonctionnement des peuplements du cèdre. Une approche holistique intégrée et interdisciplinaire est proposée pour appréhender le lien des causes et des symptômes pouvant expliquer le phénomène de dépérissement observé dans la région.

Cette approche envisage l'intégration de plusieurs facteurs ayant trait aux caractéristiques physiques du sol, aux conditions trophiques et hydriques, dendrométriques, écophysiologicals, phytosanitaires ainsi qu'aux caractéristiques sylvicoles. A cet effet, les données nécessaires sont collectées par thématique mise en jeu selon un protocole unifié d'échantillonnage aléatoire simple avec un échantillon de 54 placettes, matérialisées dans la zone d'étude choisie pour l'étude.

L'article résume, par la suite, les résultats des études thématiques pour chacune des composantes : bioclimatologie et dendrochronologie, écophysologie, sol et nutrition minérale des arbres, entomologie, inventaire dendrométrique et phytosanitaire et développe des synthèses axées sur la structuration et l'analyse multidimensionnelle de l'ensemble des données récoltées.

Ces synthèses ont permis de mieux appréhender les liens de causalité pouvant expliquer le phénomène de dépérissement et d'élaborer, en conséquence, un certain nombre d'outils nécessaires pour la mise en œuvre de stratégies d'intervention à court, moyen et long terme, en particulier : **(i)** la carte des densités et **(ii)** la carte de sensibilité du cèdre au dépérissement. Ces synthèses ont abouti à la proposition de trois programmes : un programme d'urgence de cinq ans, des guides de sylviculture et de gestion à moyen terme (durée d'application de l'aménagement des forêts étudiées) et un programme de recherche à long terme.

1. le cèdre de l'Atlas: histoire et répartition

1.1. Bref aperçu de la répartition historique du cèdre de l'Atlas

L'aire de distribution historique du cèdre de l'Atlas peut être reconstituée à partir des diagrammes palynologiques publiés dans les pays du bassin méditerranéen. Néanmoins, ces diagrammes recouvrent des périodes qui ne remontent pas au-delà du Pliocène de telle sorte que l'évolution spatio-temporelle du genre *Cedrus* pour les périodes antérieures reste difficile à appréhender.

Toutefois, des fossiles dont le nom évoque celui du genre actuel, *Cedrostrobus caneti*, *Protocedroxylon araucazioides*, *Cedruslennieri*, *Cedroxylonreticulatum*, *Cedroxylon barremianum*, *Cedrus manehuldense* et *Cedrus oblonga*, ont été trouvés dans les formations d'âge crétacé et jurassique de Belgique, du Nord de la France, du Havre et de Haute Marnes. Ces données paléobotaniques laissent supposer que les espèces de cèdres sont les descendants d'un ancêtre unique qui daterait du tertiaire.

En effet, le cèdre aurait fait son apparition au crétacé inférieur (120 millions d'années) en Europe. Durant le tertiaire ancien (entre 65 et 1 million d'années), il était probablement plus répandu qu'aujourd'hui. Du Miocène au Pléistocène (entre 25 et 1 million d'années), une espèce de cèdre en Europe connaît une histoire attestant d'une écologie recouvrant celle des trois espèces circumméditerranéennes actuelles (*Cedrus atlantica* au Maroc et en Algérie, *Cedrus libani* au Liban, Turquie et Syrie et *Cedrus brevifolia* à Chypre). Au quaternaire, le cèdre est signalé en France au Villafranchien, à la Sierra Nevada en Espagne aux Pléistocènes moyen et supérieur et représente l'élément méditerranéen de ces régions avec les espèces du genre *Juglans*, *Cistus*, *Vitis* et *Taxodium*.

Le caractère le plus frappant de l'aire du cèdre est son aspect disjoint, en considérant aussi bien la distribution du genre *Cedrus* que celle des espèces qui le composent. Les auteurs s'accordent pour affirmer que le cèdre n'existait pas depuis l'Holocène au sud de sa limite latitudinale méridionale actuelle mais, il est certain qu'au nord

de cette limite, l'aire du cèdre était plus vaste que celle qu'on lui connaît actuellement et que sa répartition, après les glaciations du quaternaire n'a pas beaucoup évolué (Reille, 1977).

Au cours des derniers cycles climatiques, le cèdre de l'Atlas s'est développé durant deux épisodes climatiquement frais et humides du dernier glaciaire, environ autour de 23.000 ans. (Ballouche et Damblon 1988; Lamb et al., 1989; Cheddadi et al., 2009). Mais il est probable que l'assèchement du climat au cours du subatlantique (10.000 ans), aggravé par l'intensification de la pression humaine au cours des époques romaine, phénicienne, vandale et arabe, soit à l'origine de la contraction de l'aire du cèdre.

1.2. Le cèdre de l'Atlas dans son aire naturelle actuelle

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.), espèce montagnarde, forme spontanément sept blocs distincts dans les montagnes de l'Afrique du Nord (figure 1), dont quatre dans les montagnes marocaines avec une superficie de l'ordre de 133000 ha (Mhirit, 1987, 1999) et trois dans les montagnes algériennes (40 000 ha). Au Maroc, les principales forêts de cèdre sont décrites ci-dessous.

La cédraie du Mont Tazekka s'étend sur une superficie de l'ordre de 800 ha; le cèdre s'y développe sur schistes primaires non calcaires. Cette forêt, très dynamique présente beaucoup d'affinités floristiques avec les cédraies du Rif.

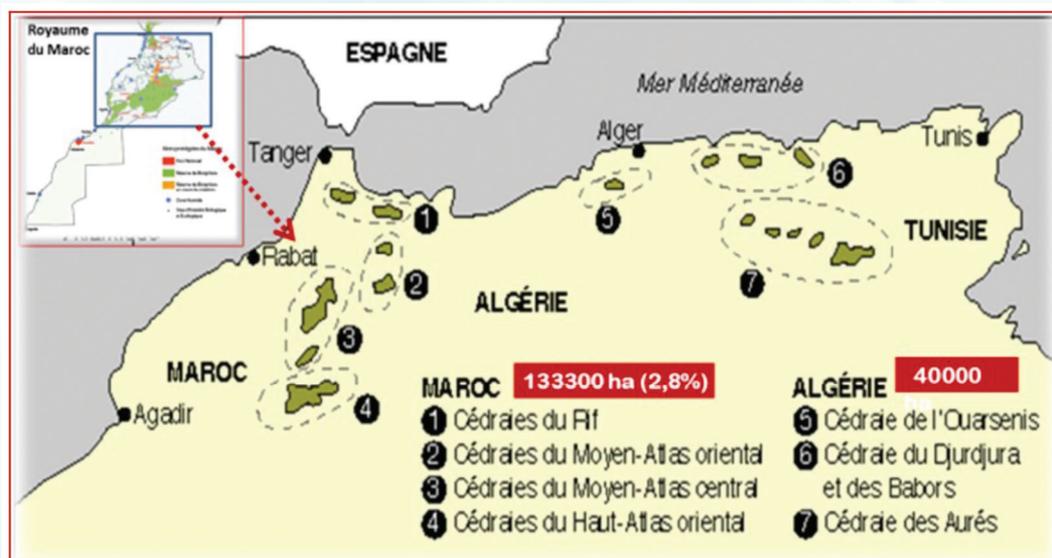


Figure 1 : Aire de répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (Mhirit, 1982)

Les cédraies du Rif couvrent une superficie actuelle de l'ordre de 11500 ha, où le cèdre se développe, à partir de 1500 m sur calcaire, en mélange avec le sapin du Maroc et sur des substrats quartzschisteux de la nappe de Kétama ou des substrats gréseux de la nappe de Tizirène.

Les cédraies du Moyen-Atlas central, d'une superficie de 76.000 ha (57% de la surface totale de la cédraie), constituent l'ensemble le plus important du cèdre de l'Atlas, sur substrat calcaire ou dolomitique du Lias et du Jurassique et sur des grès primaires. Deux groupes se distinguent par leur structure morphologique et phytoécologique: le groupe du Causse moyen atlasique tabulaire au nord et le groupe du Moyen-Atlas plissé au sud constitué par des reliefs plus individualisés (Pujos, 1966; Achhal *et al.*, 1980).

Les cédraies du Moyen-Atlas Oriental sont individualisées en petits îlots, de près de 18000ha, dans les massifs du Bou Iblane, de Taffert et de Tamtroucht au Nord et dans les massifs de Bou Naceur au sud sur substrat dolomitique ou marno-calcaire du Toarcien-Aalénien (Peyre, 1979; Ziat, 1986).

Les cédraies du Haut-Atlas Oriental occupent une surface de 27000 ha. Elles se développent sur les versants nord du Jbel Layachi et du Jbel Masker sur marno-schistes calcaires et présentent des affinités avec les cédraies du Moyen-Atlas Oriental (Quézel *et al.* 1987).

2. Originalité écologique du cèdre de l'Atlas

2.1. Particularités phytogéographiques

La forêt de cèdre apparaît de façon assez sporadique à partir de 1500 m) dans le Rif, de 1600 m dans le Moyen Atlas et de 1700 m dans le Haut Atlas oriental. La limite supérieure du cèdre peut atteindre 2400m au Jbel Tidighine dans le Rif et 2600m au Jbel Bou Iblane dans le Moyen Atlas oriental. Le cèdre est remplacé aux altitudes supérieures par le genévrier thurufère (*Juniperus thurifera*) et par de vastes tapis de xérophytes épineux caractéristiques des Atlas marocains.

Les fourchettes d'adaptation du cèdre de l'Atlas correspondent à des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 550mm à 1800mm et à des températures moyennes minimales et maximales de -13,3°C à 35,2°C. Le cèdre de l'Atlas occupe essentiellement les variantes fraîches à extrêmement froides des ambiances bioclimatiques perhumide, humide et subhumide) avec des températures moyennes minimales du mois le plus froid variant entre 9°C et -1°C.

Dans cet éventail biogéographique, le cèdre constitue sur les Atlas marocains des groupements végétaux variés dont la distinction entre cédraie atlantique et cédraie continentale répond à des réalités phytoécologiques. A ce titre, le cèdre de l'Atlas individualise un certain nombre groupements végétaux variés dans une amplitude altitudinale importante entre 1.500 m et 2.500 m (cf. Encadré 1).

Encadré 1. L'écosystème cèdre de l'Atlas : une richesse et une diversité biologique remarquables

- 20 types de milieux et de communautés végétales
- 60 familles floristiques (150 au Maroc)
- 1100 espèces végétales (22% de la flore marocaine)
- Taux d'endémisme : 25%
- 21 Sites d'intérêt biologique et écologique (SIBE), 10 zones humides d'importance internationale (Sites RAMSAR)
- 4 Parcs nationaux (Ifrane, Khénifra, Tazekka, Talassemrane et la Réserve de Biosphère du Cèdre de l'Atlas (mars, 2016) de 1.375.000 ha
- 37 espèces de mammifères : (*Singe, mouflon, sanglier, chacal, renard, Chat sauvage, écureuil, ...*)
- 209 espèces d'oiseaux
- 33 espèces reptiles et amphibiens

Ces groupements s'intègrent, d'après leurs critères floristiques et en fonction de leurs exigences écologiques, soit dans l'Ordre des *Quercetalia ilicis*, soit dans la classe des *Quercetalia pubescentis* et dans l'Ordre de *Quercetalia atlanticae* (Lecompte 1969. Barbero *et al.*, 1980;

Peyre, 1979; Mhirit, 1982, Quézel *et al.*, 1987). Ils peuvent être classés en quatre grands types de communautés végétales:

a) Les communautés végétales de la cédraie-sapinière dans le Rif occidental (*Abies*

Par contre, le cèdre trouve ses limites sur les sols dont l'aération est mauvaise: sols argileux mal structurés et compacts (notamment les marnes) ou sols à engorgement permanent ou temporaire, même peu marqué. Sa croissance est également réduite sur les sols très acides sableux ou limono-sableux sur lesquels il souffre de problèmes nutritionnels et de sécheresse édaphique

Les types de sols rencontrés dans les cédraies, selon la classification française des sols, sont du type fersiallitiques sur calcaires, rendzine magnésienne sur dolomie, andosolique sur basalte, ocre podzolique sur grès avec une richesse en matière organique et en fer marquée (Lepoutre, 1961; Mhirit, 1982).

Le comportement autoécologique du cèdre de l'Atlas a fait l'objet de nombreuses recherches, en particulier, au niveau de la région méditerranéenne, au Maroc, en Algérie, en France, en Turquie, en Italie, **sur le plan écophysologique** (Abourrouh, 1983; Aussenac et al. 1981, Aussenac et Finkestein, 1983; Zaki, 1968; Till, 1985; Zine El Abidine et Aadel, 2009; etc.), **sur le plan génétique** (Destremeau, 1974; Arbez et al., 1978; Mille, 1986; Bariteau, 1994; Panetsos et al. 1994; Derridj, 1994; Bariteau et Mhirit, 1997; etc.), **sur le plan phytosanitaire**: Mouna, 1982; Mouna, 1994; Fabre, 1994; Benhalima, 2004; etc.) et **sur le plan sylvicole** (Lepoutre 1966; Byoung Yi, 1976; Benmbarek 1985; Ziat, 1986; Mhirit et Postaire, 1983, Nedjahi, 1987; Mhirit, 1982, 1994; Toth 1994; Et-Tobi, 2006; Bakhyi et Mhirit, 2008; etc.). **Les résultats obtenus par ces auteurs, entre autres, permettent d'appréhender le comportement et les mécanismes autoécologiques nécessaires à la conservation et à la gestion durable des forêts de cèdre.**

Le cèdre de l'Atlas a été utilisé depuis longtemps dans quelques pays circumméditerranéens, d'abord comme espèce ornementale, et ensuite comme

espèce de reboisement. Les dates d'introduction de 1886 en France, 1864 en Italie, 1890 en Bulgarie sont habituellement citées. Introduit en URSS, en Crimée et dans le Caucase vers 1890, le cèdre de l'Atlas fut employé dans les reboisements. Mais, c'est en France où l'espèce a été largement utilisée depuis la fin du XIX^{ème} siècle dans les basses et moyennes montagnes méridionales, avec l'objectif de constituer des peuplements stables en régénération naturelle. Ce sont principalement les régions du Languedoc-Roussillon et de Provence-Alpes-Côte-D'azur qui l'accueillent, souvent pour reboiser des forêts sinistrées (Toth, 1994). Le cèdre est très bien adapté à l'étage du chêne pubescent (étage supraméditerranéen) et sa surface avoisine 20 000 ha.

3. Fonctions, services et vulnérabilité écosystémiques du cèdre de l'Atlas

Les fonctions biopatrimoniales et de production de cet écosystème, de sa biodiversité et sa contribution à la protection de l'environnement et au développement socioéconomique du pays ainsi que les principaux enjeux sous-jacents pour une gestion durable sont résumés dans l'encadré 2 ci-après (Mhirit, 2017).

L'écosystème cèdre de l'Atlas est exceptionnel et à intérêts multiples. Sa capacité à résister au climat et à la pression humaine a été démontrée par le passé. La diversité des produits mobilisables joue un rôle très important; le bois d'œuvre; les fourrages, le bois de feu, le bois pour les usages locaux, constituent des apports économiques substantiels. D'autres produits tels que les plantes aromatiques et médicinales représentent un potentiel de développement significatif. De même, la stabilité de l'environnement et la protection contre l'érosion permettent une agriculture continue dans les piedmonts. Enfin, le potentiel touristique de ces espaces forestiers de montagne est un gisement important de nouvelles activités économiques et d'emplois en milieu rural.

Encadré 2. Fonctions, services écosystémiques du cèdre de l'Atlas

La cédraie : source de produits ligneux et non ligneux

- **Production de bois** : (1995-2004): 81 300 m³ de bois d'œuvre (78 à 82% de la production nationale)
- **Equivalent travail**: 9 450 000 HJ/an
- **Revenu annuel moyen** (exploitation et sciage): 353,4 M DH/an
- **Consommation/foyer** de bois de feu : 10 T/an (550 H/mois/foyer)
- **Production forestières** non ligneuse : (lichen, fleurs, champignons, PAM, miel, fourrages, chasse pêche)

La cédraie : régulatrice du cycle de l'eau et garant du «château d'eau du pays»

- Le Moyen Atlas : Château d'eau de 3 grands bassins hydrauliques du Maroc (Moulouya, Oum Rabia et Sebou).
- 41% des apports pluviométriques : Moulouya : 9%, Oum Rabia : 12% et Sebou 20%.
- 59% des ressources mobilisables : Moulouya : 12%, Oum Rabia : 22% et Sebou : 25%.
- Les arbres forestiers, en réduisent le ruissellement et les pertes et en favorisant l'infiltration des précipitations, contribuent à l'augmentation des réserves en eau du sol et à la recharge des nappes

La cédraie : espace de vie des sociétés pastorales

- **Espace pastoral**: 425000 ha (9%). 116,3 MUF/an (47% du bilan fourrager)
- **Revenu d'élevage/ménage usager**: 38 à 45 % du revenu agricole total.

La faculté d'adaptation du cèdre dans des conditions difficiles, sa résistance aux incendies, la qualité de son bois, la valeur esthétique de ses peuplements, en font l'essence de base pour la reconstitution et la valorisation des forêts improductives ou dégradées dans la région méditerranéenne.

Espace multifonctions et multi-usages, les cédraies, sont soumis à des formes d'exploitation multiples à l'origine d'enjeux, écologiques, fonciers, socioéconomiques, dont la manifestation se traduit par leur dysfonctionnement et par leur appauvrissement en biodiversité (Figure 3).

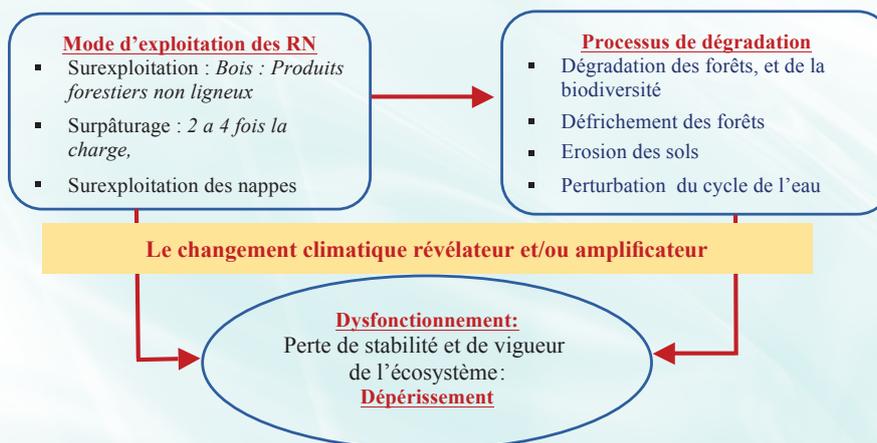


Figure 3 : Fonctions sensibles de la cédraie et processus de vulnérabilité.

Dans ce cadre de vulnérabilité de l'écosystème cèdre, liée aux processus biophysiques et anthropiques, le changement climatique, peut être révélateur et/ou amplificateur de l'évolution de ces processus et des menaces pour l'écosystème et pour les populations qui en dépendent. (Mhirit et Et-Tobi, 2009; Labhar et Lebaut, 2012). Plus particulièrement, l'état actuel de santé des forêts

de cèdre et, notamment celles du Moyen Atlas, est très préoccupant. Des milliers d'hectares de cette essence sont dépéris et d'autres en voie de dépérissement. Des mortalités importantes sont en général constatées laissant planer de nombreuses interrogations sur l'avenir de cet écosystème (Mhirit et al., 2008).

4. Les dépérissements : Préoccupation principale pour l'avenir du cèdre

4.1. Concept, état et évolution

Le dépérissement des forêts est un phénomène complexe dont les causes multiples ne sont pas aisément identifiables et hiérarchisables a priori. Leur origine est à rechercher dans l'action de plusieurs facteurs biotiques, écologiques ou anthropozoïques interagissant et se succédant d'une façon particulière, et entraînant une détérioration générale qui se termine souvent par la mort des arbres. D'une manière générale, trois niveaux de facteurs, en partie interchangeables, interviennent dans ce phénomène : **les facteurs prédisposants** (changements climatiques à long terme, pollution chronique, réduction de vigueur liée à l'âge...) contribuent à l'affaiblissement général des arbres; **les facteurs déclenchant** (sécheresse, insectes défoliateurs...) agissent de façon intense sur une période relativement courte et les **facteurs aggravants** (champignons, insectes...) accentuent la perturbation.

Le dépérissement des cédraies du Moyen Atlas est un phénomène récent, tout au moins à l'état de nos connaissances. Constaté déjà durant la grande période de sécheresse qu'a connue le Maroc (1940-1945); il est réapparu au cours de la décennie 1990-2000. La gestion de ce phénomène s'est traduite par les traitements phytosanitaires par des épandages aériens à base de produits biologiques (*Bacillus thuringiensis*) et chimiques qui sont des insecticides inhibiteurs de la croissance (*Diflubenzuron*) et se limitent à des coupes d'assainissement de bois mort. Les superficies traitées ont atteint 116 670 ha de cèdre au cours de la période de 1980 à 1990, 133 780 ha durant la période de 1991 à 2003.

Le premier bilan de santé des forêts à l'échelle nationale a été établi en l'an 2000 et relate l'ensemble des dysfonctionnements phytosanitaires des forêts. La figure 4 présente l'importance des dépérissements du cèdre dans les principaux massifs du Moyen Atlas et

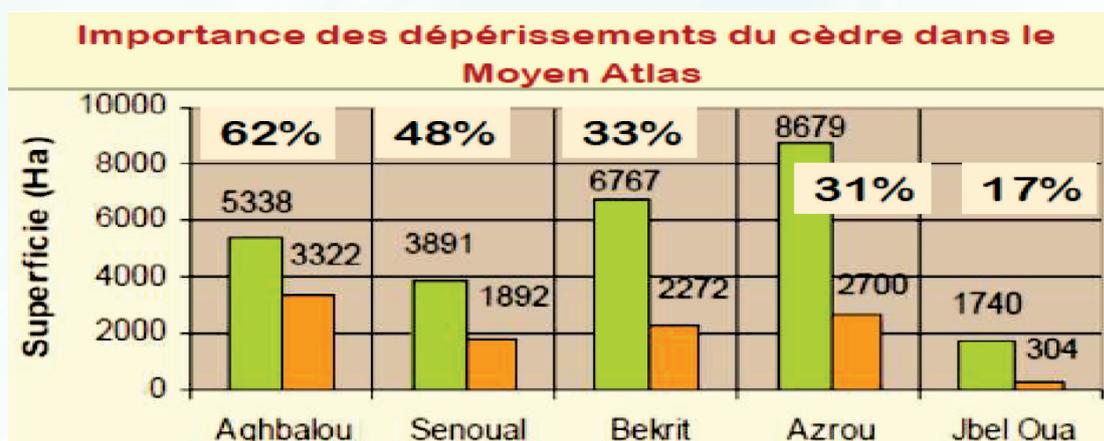


Figure 4 : Importance des dépérissements du cèdre dans le moyen Atlas (Source ET-Tobi, 2004)

montre que les dépérissements sont plus importants dans les massifs continentaux plus secs (forêt

d'Aghbalou Larbi) que dans les massifs occidentaux plus humides (Forêt d'Azrou).



Photo 1: Jeune cédraie en situation de dépérissement, Forêt d'Ait Youssi Amekla



Photo 2 (droite) : Peuplement de cèdre de l'Atlas en cours de mortalité généralisée dans la forêt d'Azrou (Moyen Atlas).

Cette situation a mis en relief l'importance du volet de la santé des forêts dans les stratégies de gestion durable des écosystèmes forestiers et conduit, dès 2003, à plusieurs actions, en particulier :

- (i) l'inventaire phytosanitaire au niveau des forêts de cèdre dans le Moyen Atlas;
- (ii) la cartographie générale des zones concernées par les dépérissements;
- (iii) l'estimation des volumes sur pieds de cèdre dépéris et morts pour un plan de gestion et d'assainissement des forêts dépérisantes;
- (iv) la mise en place d'un réseau de suivi de l'évolution de ce phénomène;
- (v) le lancement de l'élaboration d'une stratégie nationale de santé des forêts.

C'est dans ce cadre que le projet «**Etude des causes du dépérissement de la cédraie du**

Moyen Atlas» a été élaboré par le Département des Eaux et Forêts avec l'assistance de la FAO.

4.2. Méthode et matériel

Objectifs et zone d'étude

Les principaux objectifs des investigations prévues dans le cadre de ce projet, consistent à caractériser le lien des causes et des symptômes pouvant expliquer le phénomène de dépérissement observé et définir une stratégie de gestion et de protection de la cédraie sous forme d'outils de gestion à court, à moyen et à long terme.

La zone d'étude concerne deux massifs forestiers contigus d'une superficie de 21.000 ha : la forêt d'Azrou (18.000 ha) et la forêt d'Aït Youssi Amekla (3.000 ha) qui relèvent de la province d'Ifrane (cf. Figure 5). Ces massifs, constituent un échantillon représentatif de la cédraie du Moyen Atlas marocain.

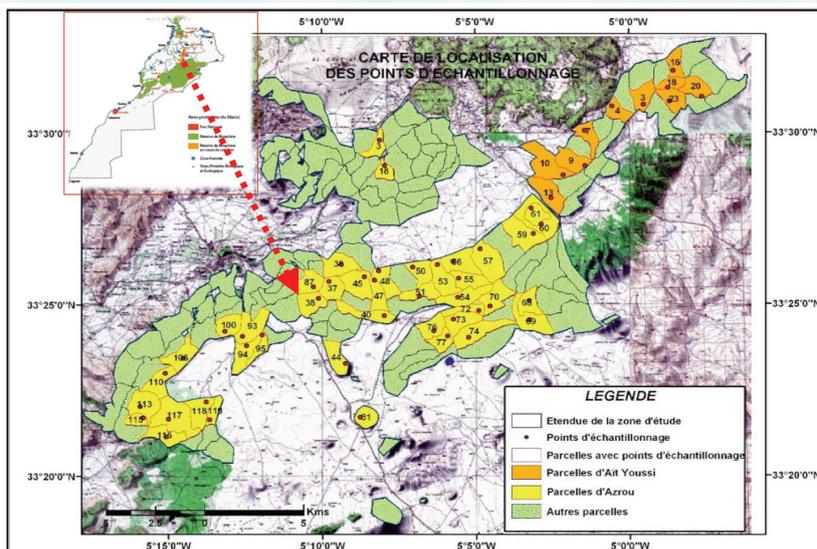


Figure 5 : Carte de situation et de localisation des placettes échantillons

Protocole expérimental : Gestion et organisation de la base des données

La complexité du phénomène de dépérissement et de dysfonctionnement des peuplements du cèdre dans le Moyen Atlas exige une approche holistique et interdisciplinaire permettant d'appréhender pour mieux comprendre la

problématique et structurer les informations pour mieux synthétiser et agir. Pour ce faire, les thématiques sont identifiées, eu égard à l'état des connaissances sur les dommages causés au cèdre et les agents causaux de ces dommages (Figure 6).

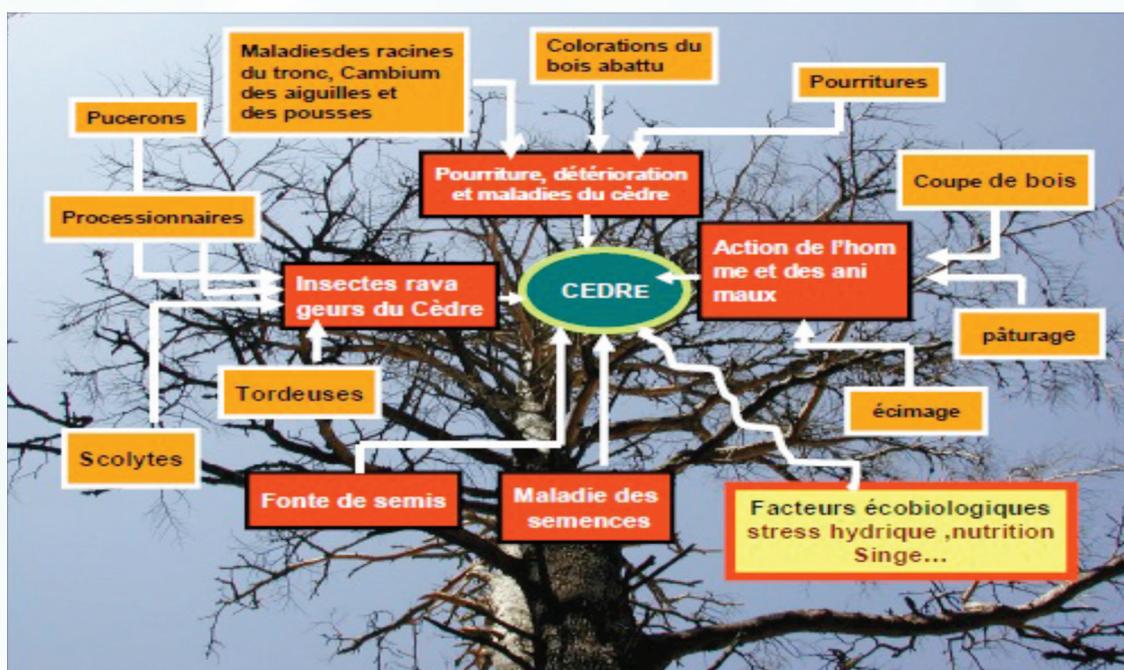


Figure 6 : Dommages causés au cèdre (Mhirit et al., 2008).

Ces thématiques concernent **la bioclimatologie, la dendrochronologie, l'écophysiologie, les sciences du sol, l'entomologie, la phytopathologie, la dendrométrie, la biométrie, le système d'information géographique et l'aménagement forestier.**

Le support expérimental, à travers lequel sont recherchées les relations explicatives entre la santé du cèdre et les divers facteurs explicatifs (effets directs ou produits d'interaction) relevant

de toutes les disciplines concernées dans l'étude, est un **protocole d'échantillonnage unifié, de type aléatoire simple probabiliste avec un échantillon de 54 placettes, d'un rayon maximal de 30 m, dont deux placettes témoins contenant des peuplements sains.** La figure 7 présente un schéma simplifié de l'organisation et de la dérivation des données pour les différentes analyses proposées.

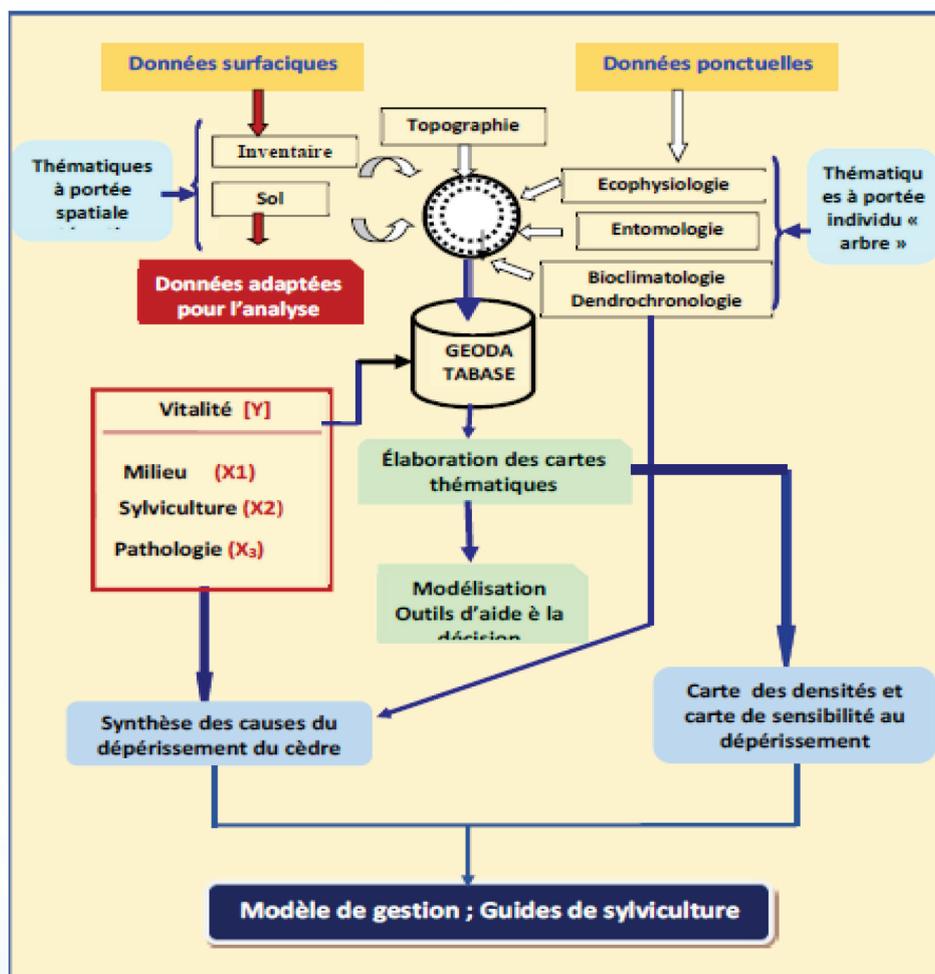


Figure 7 : Organisation et structuration des données de l'étude
Source : Mhirit et al., 2008

Les données relatives à la zone d'étude en rapport avec les dépérissements de la cèdraie, sont intégrées au Système d'Information Géographique, élaboré à cet effet, selon leur format cartographique ou alphanumérique et structurées comme suit :

- (i) **Données cartographiques de la forêt d'Azrou** : cartes des types de peuplement réalisées lors de l'aménagement des forêts; cartes des dépérissements (émanant des données des descriptions parcellaires et ceux d'inventaire; cartes des facteurs topographiques, notamment, l'altitude, l'exposition et la pente;
- (ii) **Tables attributaires** : Outre les tables des attributs des cartes, les données descriptives d'études. Ces informations sont identifiées dans le Système d'Information Géographique par les numéros des placettes d'observation;

- (iii) **Modélisation et structuration des données** afin de permettre leur traitement en respectant les éléments suivants : la génération des surfaces par classe de dépérissement; l'élaboration de la carte de sensibilité du cèdre aux dépérissements qui servira comme support cartographique pour identifier les actions d'intervention future;
- (iv) **Elaboration des cartes thématiques possibles** à partir de la base de données stationnels, écologiques et celles relatives au dépérissement.

Du fait que toutes les données collectées sont alphanumériques et sont présentées soit sous format Excel ou sous forme de tableaux Word, il a été jugé nécessaire de les transformer en une base de données Access. Les tables de cette base de données sont importées à la base de données géospatiales d'ArcGIS et liées en considérant le schéma conceptuel de la base de données.

Les données à portée spatiale systématique constituées par les données de l'inventaire et de la pédologie sont fusionnées puis réparties selon l'affinité thématique en 4 groupes, en l'occurrence :

- i. **Un groupe de variables de structure écologique** ou considérées comme telles, qui expriment les conditions de croissance;
- ii. **Un groupe de variables de structure dendrométrique**, qui sous-entendent les conditions de concurrence et de compétition (problème d'espace vital de croissance);
- iii. **Un groupe de variable de structure symptomatique** traduisant l'intensité des dégâts et dommages phytosanitaires et anthropiques affectant les arbres de cèdre;
- iv. **Un groupe de variables de structure de santé de la forêt** qui exprime la vitalité des arbres (morts, dépéris, vigoureux).

Ce dernier groupe constitue la «structure à intérêt direct» de l'étude qu'on cherche à expliquer alors que les trois premiers groupes sont considérés comme des structures à rôle explicatif pouvant renseigner ou apporter de l'explication aux différents états de santé de la forêt. Les données de ces quatre groupes sont traitées par l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) moyennant une transformation et un codage adéquat des variables.

Les données relatives aux thématiques «écophysiologie, entomologie et dendrologie-climatologie», qui concernent des mesures ou observations sur des arbres dans un nombre restreint de placettes, sont utilisées en données auxiliaires pour appuyer l'interprétation des structurations et des typologies qui vont émerger dans le cheminement de l'analyse. _

5. Résultats, acquis et conclusions

5.1 Analyses thématiques

Les analyses thématiques entreprises de façon interdisciplinaire, avec des approches scientifiques solidement établies, ont permis de décrire et d'analyser pour mieux évaluer l'impact des différents facteurs écologiques, anthropiques et sylvicoles, pris isolément, sur la santé des peuplements de cèdre de l'Atlas, mais aussi d'appréhender la complexité de leurs relations. Ces études thématiques sont réalisées pour les composantes : bioclimatologie et dendrochronologie, écophysiologie, sol et nutrition minérale des arbres, entomologie, inventaire dendrométrique et phytosanitaires et gestion antérieure des forêts. Les résultats et acquis de ces études sont résumés dans l'encadré ci-après :

Encadré 3. Facteurs discriminants /Dépérissement : contraintes d'aménagement

- **Modifications climatiques à tendance xérique** : sécheresse récurrente depuis plus 3 décennies :
 - Tendance à l'augmentation des températures : (1981-2006);
 - Baisse de Précipitations de **24%** entre les périodes (1930–1980) et (1981-2006);
 - Fréquence des années sèches de **59 à 77%**;
 - Tendance à la baisse de la neige, plus marquée depuis 1981;
- **Action déterminante du substrat et de la topographie** sur le bilan hydrique du sol;
- **Fréquence et gradation du xylophage *Phaenops marmottani*** sur les classes de dépérissement et sur les arbres morts :
 - Un ravageur primaire redoutable;
 - Attaque les arbres en pleine vitalité;
 - Participation active au phénomène.
- **Action prépondérante du type de sylviculture pratiquée** : densité, composition des peuplements, couvert;
- **Tempérament délicat du cèdre** : forte évapotranspiration, besoins en eau excessifs : (espèce opportuniste sur le plan hydrique);
- **Action anthropique très forte** : écimages, ébranchage et mutilations des arbres, parcours intense et non-respect des mises en défens.

En conclusion, les sécheresses récurrentes associées à l'absence d'une sylviculture permettant d'équilibrer la densité et la structure des peuplements forestiers aux disponibilités hydriques des sols et aux conditions écologiques des habitats sont à l'origine du dysfonctionnement des peuplements du cèdre. Ce déséquilibre a amplifié l'effet du stress hydrique sur des arbres se développant notamment aux niveaux des situations défavorables (sols superficiels sur pentes et expositions chaudes) conduisant, ainsi, au dépérissement des arbres et des peuplements. Bref, **le phénomène de dépérissement est le produit d'un cumul de stress de plusieurs facteurs sur plusieurs années.**

5.2. Analyse globales des données

La liste des variables et leur codification sont présentées dans le tableau 1. La figure 8 ci-après présente les cartes factorielles des typologies et identification des classes de santé du cèdre, des stations écologiques et peuplements forestiers et des symptômes et dommages phytosanitaires issues de l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM). Les matrices de données analysées par l'AFCM sont constituées de 54 placettes en lignes et des modalités de chacune des variables en colonnes en codage disjonctif complet.

Tableau 1. Liste des variables et leur codification

CARACTERISTIQUES	MODALITES
I. variables de santé /vitalité	
1) Taux de mortalité (%)	0 ; 0-25 ; 25-50 ; >50 (4)*
2) Taux de dépérissement (%)	0 ; 0-20 ; 20-40 ; 40-66 (4)
3) Taux de vitalité (cèdre sain) (%)	0-25 ; 25-50 ; 50-75 ; 50-75 (4)
II. Variables du milieu : station écologiques	
4) Profondeur du sol (cm)	0-30 cm ; 0-60 cm ; 0-90 cm (3)
5) Taux d'argile (%)	0-25 ; 25-50 ; >5 (3)
6) Taux de limon (%)	0-25 ; 25-50 ; >50 (3)
7) Taux de sable (%)	0-25 ; 25-50 ; 50-75 ; >75 (4)
8) Réserve Utile en eau du sol (mm)	0-50 ; 50-100 ; 100-150 ; >150 (4)
9) Taux de calcaire actif (Caco3) (%)	0 ; 0-10 ; 10-40 ; 40-60 ; >60 (5)
10) Altitude (m)	1600-1700 ; 1700-1800 ; 1800-1900 ; > 1900
11) Exposition	N ; S ; E ; W ; NENW ; SESW
12) Pente (%)	0-5 ; 5-20 ; 20-35 ; > 35 (4)
13) Position topographique	Haut versant ; Mi versant ; Bas versant ; Replat
14) Substrat géologique	Basalte ; Dolomie calcaire ; Calcaire
15) Couvert forestier (%)	0-30 ; 30-50 ; 50-75 ; > 75 (4)
16) Structure forestière	Perchis ; Jeune futaie ; Haute futaie (3)
III. Variables sylvicoles : peuplement forestier	
17) Densité totale (N/ha)	0-100 ; 100-250 ; 250-500 (4)
18) Surface terrière totale (m ² /ha)	0-20 ; 20-40 ; 40-60 (3)
19) Volume total (m ³ /ha)	0-100 ; 100-250 ; 250-500 ; 500-750 ; > 70 (5)
20) Densité de cèdre Vif (N/ha)	0-50 ; 50-150 ; 150-250 ; 250-500 (4)
21) Surface terrière de cèdre vif (m ² /ha)	5-15 ; 15-25 ; 25-50 ; > 50 (4)
22) Volume de cèdre vif (m ³ /ha)	0-50 ; 50-250 ; 250-500 ; > 500 (4)
23) Densité de cèdre Sec (N/ha)	0 ; 0-50 ; 50-150 ; > 150 (4)
24) Surface terrière de cèdre sec (m ² /ha)	0 ; 0-5 ; 5-15 ; 15-25 (4)
25) Volume de cèdre sec (m ³ /ha)	0 ; 0-50 ; 50-150 ; > 150 (4)
26) Densité de cèdre dépéris (N/ha)	0 ; 0-50 ; 50-100 ; 100-200 ; > 200 (5)
27) Volume de cèdre dépéris (m ³ /ha)	0 ; 0-50 ; 50-100 ; > 100 (4)
IV. Symptômes et dommage phytosanitaires	
28) Ebranchage	0 ; 0-2 ; 2-5 (3)
29) Blessures et mutilations	0 ; 0-5 ; > 5 (3)
30) Ecorçage du singe	0 ; 0-5 ; > 5 (3)
31) Nids de chenille	0 ; 1 ; > 1 (3)
32) Miel	0 ; 0-5 ; 5-15 ; > 15 (3)
33) Lichens	0-2 ; 2-5 ; 5-10 ; 10-20 ; > 20 (5)
34) Insectes	0 ; 0-2 ; 2-5 ; > 5 (3)
35) Balais de sorcière	0 ; 0-2 ; 2-5 ; > 5 (4)

* Nombre de modalités de chaque variable

L'exploitation des résultats de cette analyse repose sur l'examen de nombreux indicateurs statistiques: **(i) les rapports de corrélation** entre chaque variable et chaque facteur de l'AFCM pour juger de la valeur discriminante de la variable et de l'importance de chaque facteur dans la

discrimination et la typologie; **(ii) la projection des placettes sur le plan factoriel** pour en réaliser une classification en groupes ayant une grande similitude et **(iii) la projection des modalités** des différentes variables en vue de décrire les groupes issus de la classification des placettes.

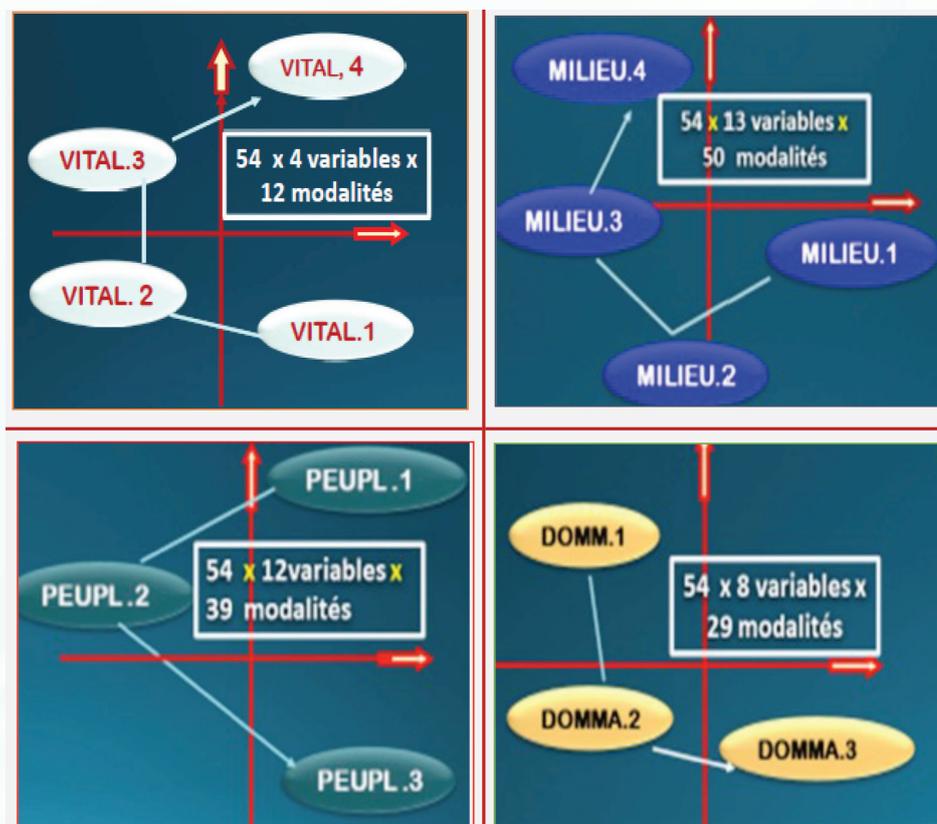


Figure 8 : Cartes factorielles des typologies des classes de santé du cèdre, des stations écologiques, des peuplements forestiers et des symptômes et dommages phytosanitaires.

L'élaboration des différentes typologies a chronologiquement permis d'identifier :

- **quatre états de vitalité** du cèdre selon l'importance relative dans le peuplement d'arbres sains; d'arbres morts et d'arbres dépérissant;
- **trois groupes de milieux** échelonnés principalement selon un gradient de profondeur de sol et de couvert qui comprend les sols squelettiques, des sols peu profonds et des sols profonds;
- **trois types de peuplement** selon le caractère démographique qui répond convenablement à l'étude du dépérissement et des mortalités (292, 381 et 708 tiges/ha);
- **trois groupes de symptômes et dommages** phytosanitaires marqués par les mêmes agents causaux mais qui diffèrent par leur gravité ou intensité.

L'AFCM a permis de mettre en évidence une série de facteurs actifs impliqués dans le phénomène de dépérissement, leur hiérarchie et leur variabilité spatiale et temporelle. **La solution consiste alors à faire progresser de façon concomitante le modèle causal et les analyses multivariées pour mieux appréhender les liens de causalité et orienter l'élaboration d'un programme d'action et de guides de sylviculture à l'usage des gestionnaires.**

5.3. Evaluation des apports explicatifs des variables écologiques sur dépérissement

Cette phase de l'étude consiste à mettre en relation les caractéristiques de santé des peuplements exprimées par la typologie sur les données (taux de mortalité, taux de dépéris et taux de sains) relevées dans les 54 placettes avec la combinaison des trois typologies élaborées des stations, des peuplements et des aspects phytosanitaires.

La démarche d'analyse adoptée se base sur la reconstitution deux tableaux de synthèse :

- le premier tableau formé des 54 placettes en lignes et d'une seule colonne où chaque placette porte le code ou le numéro de la classe de son appartenance (classe de vigueur identifiée par la typologie);
- le second tableau, formé de 54 placettes d'échantillonnage en lignes et 3 colonnes correspondant chacune à l'une des trois typologies; stations, peuplements et aspects phytosanitaires.

Chaque placette (ligne du tableau) porte ainsi un codage de trois indices correspondant chacun à son appartenance à chacune des trois typologies réalisées sur les trois thèmes.

L'Analyse factorielle des correspondances sur variables instrumentales (AFCVI), méthode d'analyse de couple de tableaux, permet de réaliser une analyse sous contrainte expérimentale où la classe de santé dans chaque placette, sera considérée comme une performance de vitalité

(structure à expliquer), réalisée dans des conditions de milieu de peuplement et d'intensité des dommages phytosanitaires considérées d'une manière simultanée (structure explicative jouant le rôle de contrainte expérimentale).

L'AFCVI, réalisée sur ce couple de tableaux permet de dresser le bilan des relations entre l'état de vitalité du cèdre et les conditions écologiques stationnels globales. La description des caractéristiques des types de biotopes pour chaque performance de vitalité du cèdre est présentée dans la figure 9 qui met en relief les causes du dépérissement de la cédraie.

L'expression de l'état de vitalité du cèdre appréhendée selon la contribution des différents états de santé (taux des arbres sains, taux des arbres dépéris et taux des arbres secs) a permis une classification en quatre performances de vitalité (depuis l'état le plus sain à celui le moins sain). Cette expression a, par la suite, été confrontée aux différentes variables et facteurs de l'ensemble des disciplines mises en jeu pour restituer les causes de perte de vitalité du cèdre.

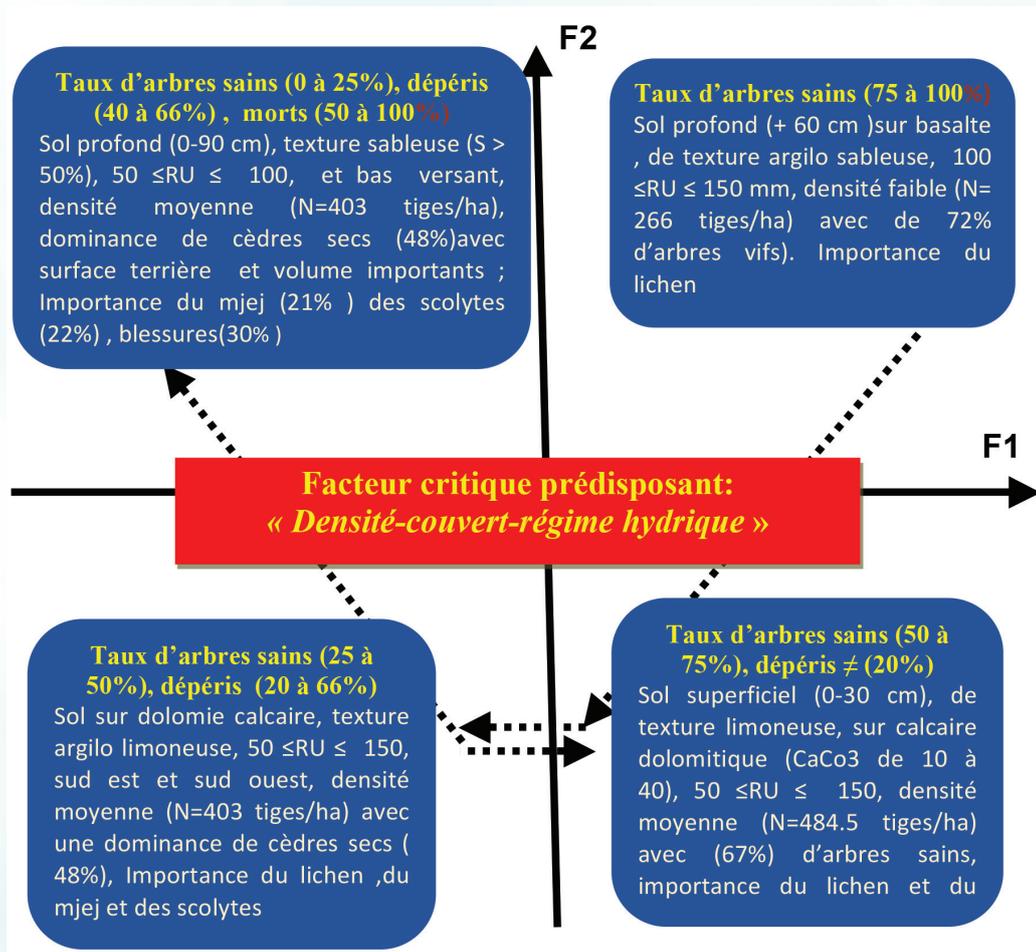


Figure 9 : Relations «Etats de santé-milieu-sylviculture»; Plan factoriel (1,2).

En conclusion, les analyses multidimensionnelles ont mis en relief différentes typologies mais aussi des gradients qui permettent de conclure que le dépérissement et la mortalité du cèdre s'aggravent à mesure que s'accroît le matériel sur pied et que parallèlement les conditions du milieu physique deviennent contraignantes. **Ainsi, le facteur critique prédisposant les peuplements aux mortalités s'exprime à travers le couple (densité des peuplements, régime hydrique du sol). Ce couple reste potentiellement déterminant dans l'apparition graduelle des dépérissements et plus tardivement des mortalités conséquentes de la «sécheresse de type édaphique», en particulier, en l'absence d'outils et de stratégie de gestion de la densité.**

5.4. Construction d'outils d'aide à la décision pour la gestion de la cédraie

Elaboration de cartes de sensibilité au dépérissement et de densités des peuplements

Les analyses précédentes ont permis de montrer que le dépérissement du cèdre dans cette zone est lié au régime hydrique et à la densité du peuplement. La spatialisation de ces paramètres constitue un support indispensable pour l'aménagement et la gestion rationnelle des cédraies. Ainsi, la figure 10 présente la carte de sensibilité élaboré à partir d'un **indice synthétique** intégrant les facteurs stationnels discriminants du régime hydrique et du stock d'eau du sol de la forme : $[IS = 5*RU + 4*SUB + 3*Sa + 2*CaCO3 + 5*Pe + 3*Ex]$ avec (**IS**) : Indice de sensibilité; (**RU**) : Réserve utile; (**SUB**) : Substrat; (**Sa**) :Teneur en sable au niveau de l'horizon 30 – 60cm; (**CaCO3**) : Teneur en calcaire total au niveau de l'horizon 30 – 60cm; (**Pe**) pente en %; (**Ex**) : Exposition dominante. La figure 11 présente la carte des densités du peuplement issue de l'inventaire dendrométrique et tenant compte des classes de densités discriminées par l'analyse typologique.

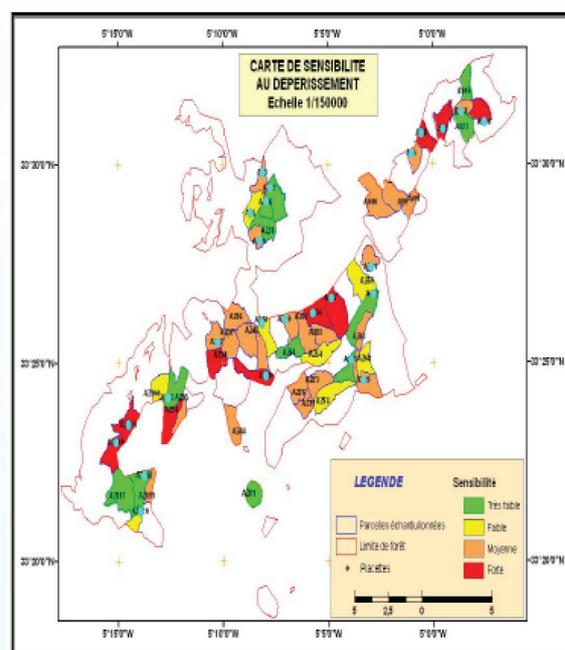


Figure10 : Carte de sensibilité au dépérissement

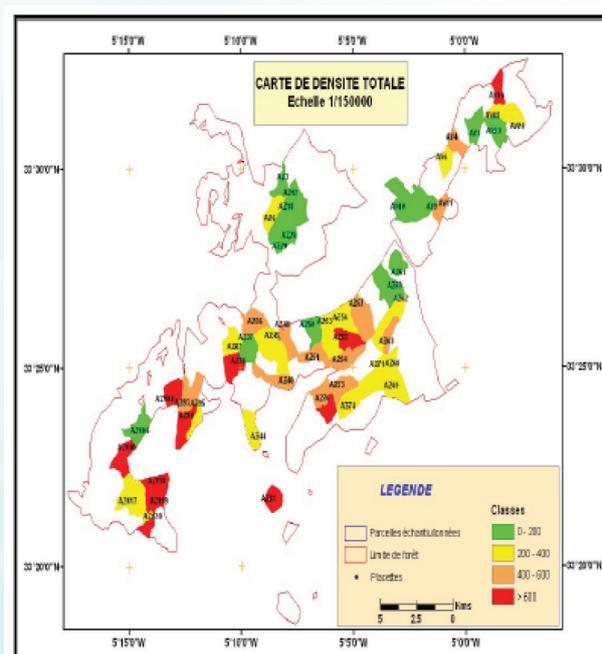


Figure 11 : Carte des densités du peuplement

Approximation d'un modèle de prédiction des mortalités du cèdre

La possibilité d'estimer aussi bien la production des arbres et des peuplements forestiers, que de prédire les dépérissements et les mortalités devient une préoccupation pertinente des gestionnaires forestiers dans la mesure où ces outils demeurent indispensables à tout processus rationnel de planification forestière.

Le modèle en question fait allusion à la prévision des mortalités dans des peuplements de cèdre où la surface terrière et le volume seraient connus. Ces derniers, tous des expressions de la densité des peuplements, seraient les variables explicatives d'une équation de prédiction des mortalités en termes de densité également. Ce type d'équation exprime la relation de dépendance de paramètres

caractérisant le phénomène de compétition intraspécifique. La relation retenue est celle entre la densité du nombre de cèdres morts et le volume unitaire total par unité de surface terrière correspondante (Figure 12).

L'équation de régression (polynôme du second degré) obtenue est la suivante :

$$DSEC = 910,719 - 151,300 (V/G.Tot) + 6,40620 * (V/G.tot^2)$$

(R² = 86,3%; Ecart -type résiduel= 26,08)

DSEC: Densité de mortalité du cèdre en nombre de tiges à l'hectare,

V/G.Tot : Rapport du volume total à la surface terrière totale en m³/m² à l'hectare.

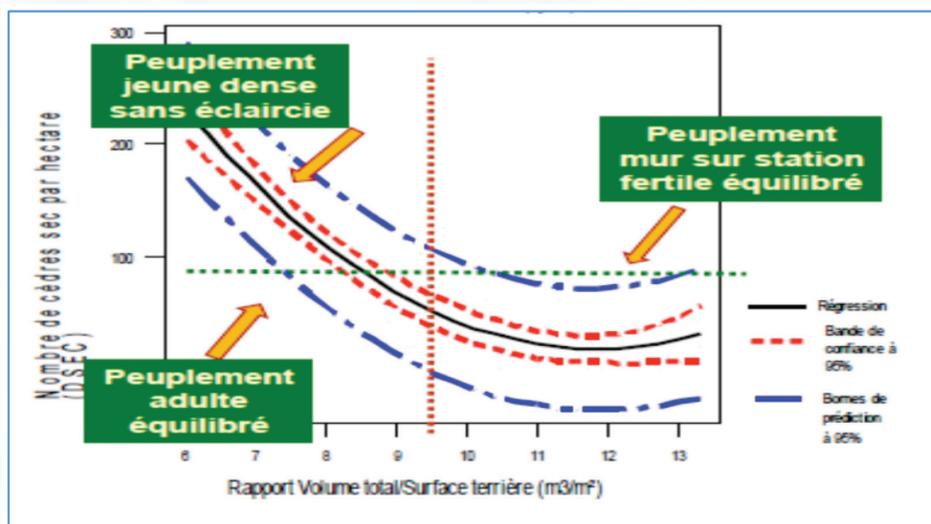


Figure 12 : Courbe de régression et intervalle de confiance

Approximation d'un modèle de prédiction des dépérissements du cèdre

La même procédure a été suivie pour l'approximation de la fonction de dépendance entre la densité de cèdres dépéris (N/ha) et la densité totale (N/ha) du peuplement initial. **L'analyse montre que le diagramme des**

corrélations exprime une relation croissante du dépérissement en fonction de l'augmentation du nombre de tiges (figure 13).

L'équation de régression qui s'ajuste le mieux aux données recueillies pour cette fonction est un polynôme cubique (3^{ème} degré) de la forme :

$$DDEP = -29,6978 + 0,761628 (N/ha.tot) - 0,0016879 (N/ha.tot)^2 + 0,0000012 (N/ha.tot)^3$$

(R² = 76,9% Ecart -type résiduel=31,4374)

DDEP : densité de cèdres dépéris (N/ha)

N/ha.tot : densité totale de cèdre (N/ha)

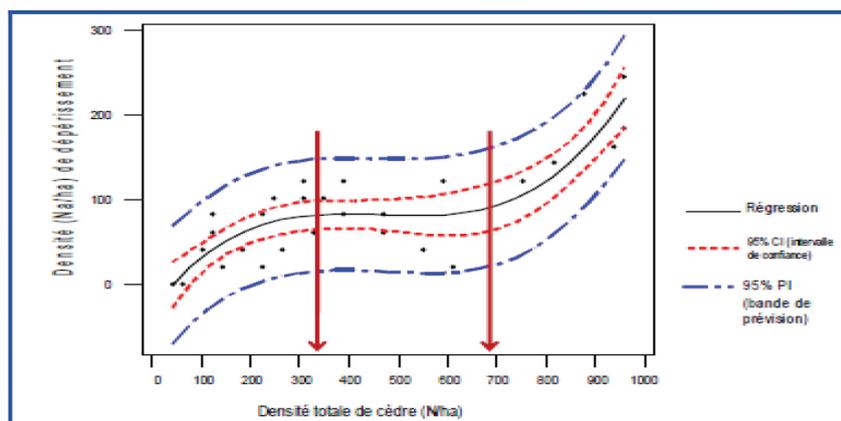


Figure 13 : Courbe de régression et intervalle de confiance

6. Programme d'action et gestion

Les propositions de directives d'aménagement et de sylviculture pour remédier au dysfonctionnement de la cédraie intègrent les résultats et les outils élaborés. Ces propositions font l'objet de trois programmes : un programme d'urgence de cinq ans, des guides de sylviculture et de gestion à moyen terme (durée d'application de l'aménagement des forêts étudiées) et un programme de recherche à long terme.

Dans le cas de la présente étude, le guide de sylviculture consiste à **proposer un modèle de gestion et de sylviculture sous la contrainte de dépérissement** qui ambitionne de redynamiser les cédraies et aider à surmonter leurs difficultés

phytosanitaires. Ces guides sont élaborés, au niveau de chaque forêt, sur la base des résultats des analyses thématiques, de l'analyse globale des relations «santé des peuplements – station – sylviculture – symptômes et dommages phytosanitaires», des propositions des aménagements en vigueur et des contraintes imposées par le Parc national d'Ifrane où sont implantées ces deux forêts.

Les guides sont structurés autour des trois parties suivantes : 1) **Caractéristiques dominantes de la forêt**; 2) **directives d'aménagement**; 3) **recommandations de sylviculture** qui concernent les interventions qui ont une action directe sur le dépérissement. Le tableau ci-après présente les guides de sylviculture élaborés pour deux massifs forestiers d'Azrou et d'Ait Youssi.

Guide de sylviculture	Forêt	Série/unité d'aménagement et de gestion	Groupe/unité d'intervention Sylvicole
GUIDE 1	Azrou	Série de protection intégrale	—
GUIDE 2	—	Série futaie régulière sur basalte	Groupe d'amélioration
GUIDE 3	—	Série futaie régulière sur calcaire	Groupes de régénération et d'amélioration
GUIDE 4	Ait Youssi	Série futaie régulière sur calcaire	Groupes de régénération et d'amélioration
GUIDE 5	—	Série futaie jardinée sur calcaire	Groupes de jardinage extensif et d'attente

Le programme d'urgence et les guides de sylviculture sont décrits en détail dans (Mhirit *et al.*, 2008).

A plus long terme un effort de recherche est nécessaire suivant deux axes principaux.

L'axe I «fonctionnement de l'écosystème cédraie» aura pour objectif d'approfondir et préciser les

relations «peuplement – sol – eau et diversité biologique» en rapport avec la tendance aux changements climatiques. Il s'agit en particulier de:

- Poursuivre les investigations dendrochronologiques et écophysiologicals dans des stations représentatives de la sensibilité en incluant le chêne vert;

- Assurer le suivi de l'humidité du sol sur le réseau des 14 placettes choisies, pour intégrer la variabilité temporelle des résultats dans la surveillance du régime hydrique et du stock d'eau des sols de cette zone;
- Évaluer l'interception des précipitations en fonction des types des peuplements en vue de quantifier les pertes d'eau par le couvert forestier et évaluer le bilan hydrologique avec précision. **L'interception, qui est liée au type et à la densité des peuplements, peut être à l'origine des pertes importantes des précipitations;**
- Étudier la biologie de *Phaenops marmottani* : indices de présence précoces, dégâts et seuils d'attaques, ennemis naturels; parasites et de sa phéromone sexuelle ce qui permettrait d'engager un programme de lutte contre le ravageur;
- Explorer la diversité phénotypique intraspécifique et individuelle en relation avec le comportement vis-à-vis la sécheresse, (géotypes résistant à la sécheresse).

L'axe 2 «sylviculture-aménagement» visera la maîtrise des outils d'aide à la décision pour une gestion durable de la cédraie sous contraintes Il s'agit en particulière de :

- Concevoir et mettre en place **un dispositif permanent** pour le suivi des peuplements et pour l'élaboration d'outils d'aide à la décision en matière d'aménagement et de gestion;
- Élaborer et mettre en œuvre des «tables de cubage, tables de production, modèles de croissance sous la contrainte «sensibilité au dépérissement»;
- Établir des normes de densités en fonction des types de peuplements sur la base des relations d'équilibre avec les conditions des stations et non seulement des caractéristiques sylvicoles des peuplements et définir **un espacement vital optimal de croissance** pour la conduite des éclaircies;
- Construire et valider des modèles de prédiction des mortalités et dépérissements comme outil d'aide à la décision de la gestion;
- Dans le cas des programmes de reboisement du cèdre de l'Atlas, conduire des essais sur les techniques de travail du sol qui permettent d'améliorer les réserves hydriques des sols et leur disponibilité en eau et sur les standards d'élevage des plants;
- Conduire des essais de reboisement prospectifs sur des milieux sur substrat calcaire et sur

stations difficiles, aux altitudes 1500 à 2000 m, utilisant des espèces forestières pionnières (Pin maritimes de montagnes, provenances de cèdre, cyprès de l'Atlas, etc.).

Conclusion

L'écosystème cèdre de l'Atlas est exceptionnel et à intérêts multiples. La diversité des produits et services écosystémiques joue un rôle très important à la fois environnemental et socioéconomique. Toutefois, l'état actuel de santé des forêts de cèdre et, notamment celles du Moyen Atlas, est très préoccupant. Des milliers d'hectares de cette essence sont dépéris et des mortalités importantes sont en général constatées laissant planer de nombreuses interrogations sur l'avenir de cet écosystème.

Cette situation a conduit, dès 2005, au lancement d'un grand programme de recherche dont principaux objectifs consistent à caractériser le lien des causes et des symptômes pouvant expliquer le phénomène de dépérissement observé et définir une stratégie de gestion et de protection de la cédraie sous forme d'outils de gestion à court, à moyen et à long terme.

La complexité du phénomène de dépérissement et de dysfonctionnement des peuplements du cèdre dans le Moyen Atlas exige une approche holistique et interdisciplinaire permettant d'appréhender pour mieux comprendre cette problématique Pour ce faire, les thématiques identifiées, eu égard à l'état des connaissances sur les dommages causés au cèdre et les agents causaux de ces dommages, concernent: **la bioclimatologie, la dendrochronologie, l'écophysiologie, les sciences du sol, l'entomologie, la phytopathologie, la dendrométrie, la biométrie, le système d'information géographique et l'aménagement forestier.**

Les analyses thématiques entreprises de façon interdisciplinaire, avec des approches scientifiques solidement établies, ont permis de décrire, d'analyser et d'évaluer l'impact des différents facteurs écologiques, anthropiques et sylvicoles, pris isolément. Ces analyses concluent que **le phénomène de dépérissement est le produit d'un cumul de stress de plusieurs facteurs sur plusieurs années.**

Les analyses multidimensionnelles (analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) puis analyse factorielle sur variable instrumentales (AFCVI)) ont mis en relief différentes typologies mais aussi des gradients qui permettent de conclure que le facteur critique prédisposant les

peuplements de cèdre aux mortalités s'exprime à travers le couple (**densité des peuplements, régime hydrique du sol**). Ce couple reste potentiellement déterminant dans l'apparition graduelle des dépérissements et plus tardivement des mortalités conséquentes de la «sécheresse de type édaphique», en particulier, en l'absence d'outils et de stratégie de gestion de la densité des peuplements.

Les propositions de directives d'aménagement et de sylviculture pour remédier au dysfonctionnement de la cédraie intègrent les résultats de ces analyses ainsi que les outils d'aide à la décision élaborés à cet effet (carte de densité des peuplements, carte de sensibilité au dépérissement, modèles de prévision des mortalités et des dépérissements). Ces propositions font l'objet de trois programmes : un programme d'urgence de cinq ans, des guides de sylviculture et de gestion à moyen terme (durée d'application de l'aménagement des forêts étudiées) et un programme de recherche à long terme.

Références bibliographiques

- Abourrouh M., 1983: Essai de mycorhization de *Cedrus atlantica* en pépinière. *Ann. Rech. Forest. Maroc*. Tome 23, p. 189-328.
- Achhal A., Akabli O., Barbero M., Benabid A., Mhirit O., Peyre C., Quezel p. & Rivas-Martinez., 1980 : A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia Mediterranea*, 5 pp. 211-249.
- Arbez, M., Ferrandes P. et Uyar N., 1978: Contribution à l'étude de la variabilité géographique des Cèdres. *Ann. Sci. forest.*, 1978, 35 (4), 265-284.
<http://www.afs-journal.org> ou <http://dx.doi.org/10.1051/forest/19780402>
- Aussenac G., Granier A. & Gross P., 1981 : Etude de la croissance en hauteur du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). Utilisation d'un appareillage de mesure automatique. *Ann. Scien. Forest.* Vol. 38 (3), pp. 301-316.
- Aussenac G. et Finkelstein D., 1983 : Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Ann. Scien. Forest.* Vol. 40 n° 1, 1983, pp. 67-77.
- Bakhyi B. et Mhirit O., 2008 : Guides de sylviculture. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national*. HCEFLCD, Rabat, Maroc
- Ballouche A. et Damblon F. 1988 : Nouvelles données palynologiques sur la végétation holocène du Maroc. In : Tissot C. Palynologie, écologie, paléoécologie: *actes du X^{ème} symposium de l'association des palynologues de langue française. Travaux de la section scientifique et technique de l'Institut français de Pondichéry*, 25. 83-90.
- Barbero M., Quezel P. & Rivas Martinez, 1980: Contribution à l'étude des groupements forestiers et pré-forestiers du Maroc. *Phytocoenologia* 9 (3) : pp. 311-412.
- Bariteau M., 1994: L'amélioration génétique des Cèdres en France. *Ann. Rech. Forest. Maroc. Tome 27*.
- Bariteau M., et M'hirit O. 1997 : La conservation des ressources génétiques du cèdre de l'Atlas. In: Amélioration, conservation et utilisation des ressources génétiques forestières marocaines (p. 155-167). *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*.
- Benhalima (S.), 2004 : Les insectes xylophages et leur rôle dans le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Endl. Carrière) dans le Haut et Moyen Atlas (Maroc). *Thèse d'Etat Es Sciences naturelles en biologie. Université Mohammed V - Agdal, Faculté des Sciences* : 1- 107.
- Benmbarek M., (1985): Productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) et construction des tables de production des cédraies du Rif. *Mémoire de 3^{ème} cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc*, pp. 124.
- Byoung Yi G., 1976: Croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti.) en relation avec quelques variables du milieu en Langdoc-Roussillon (France). *Thèse Doc. Ing. Univ. Sci. Tech. Du Langdoc-Roussillon; Montpellier; p. 193*.
- Cheddadi R., Lamb H.F., Guiot J., et van der Kaars S., 1998: Holocene climatic change in Morocco: a quantitative reconstruction from pollen data. *Climate dynamics*; 14, 883-890.
- Chouraichi A., 2008 : Caractérisation du sol, nutrition du cèdre et suivi de l'humidité. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national*.
- Cheddadi R., et al., 2009: Putative glacial refugia of *Cedrus atlantica* deduced from Quaternary pollen records and modern genetic diversity. *Journal of Biogeography* (J. Biogeogr.); Special Issue (2009); p. 1-11.

- Courbet F. et al., 2012: Le cèdre en France face au changement climatique, bilan et recommandations. RMT AFORCE. 32 p. <http://prodinra.inra.fr/record/179283>
- Derridj A., 1994 : Exploration de la variabilité intra-spécifique de *Cedrus atlantica* Manetti en Algérie par l'étude des cônes . *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1, 1 - XXXVI & 1-361, 1994.
- Destremeau D.X., 1974: Précisions sur les aires naturelles des principaux conifères marocains en vue de l'individualisation de provenances. *Ann. Rech. Fores. Maroc*, Tome 14, pages 77-91.
- Et-tobi M. 2006 : Approche multidimensionnelle des relations "Etat sanitaire - Station - Sylviculture" pour l'Etude du dépérissement des cédraies au moyen Atlas en vue d'élaborer un modèle sylvicole de prévention phytosanitaire. *Thèse présentée à l'institut agronomique et vétérinaire Hassan 2*. 174p + Annexes. Rabat, Maroc
- Et-tobi M., 2008 : Inventaire dendrométrique et phytosanitaire du cèdre de l'Atlas. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/o28/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national*.
- Fabre J.P., 1994 : Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaires de l'aire naturelle des Cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1, 1 - XXXVI & 1-361.
- Labhar M. et Lebaut S., 2012 : Les cédraies du Moyen Atlas central (Maroc): structure et dynamique actuelle. *Revue AFN Maroc N°6-8 Juin 2012*.
- Lamb H.F., et al., 1989: An 18000 years record of vegetation, Lake-level and climatic change from Tiguelmamine, Middle Atlas, Morocco. *Journal of Biogeogr*, 16: 65-74.
- Lepoutre B., 1961: Recherches sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. *Ann. Rech. For. au Maroc*, 6. pp. 1-183.
- Lepoutre B., 1966 : Ecologie de la régénération naturelle du cèdre dans le Moyen Atlas marocain. *Ann. Rech. For. au Maroc*
- Lecompte M., 1969: La végétation du Moyen-Atlas Central, Trav. Inst. Sci. Chérifien, Fac. Sci. *Bot. et Biol. Végé.* 31, 16, 1 carte et notice.
- Mille R., 1986: Contribution à l'étude de la variabilité géographique du cèdre. *Mémoire ENITEF, Nogent-sur-Vernisson; 60p.*
- Mhirit O., 1982: Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. *Ann. Rech. Forest. Maroc*. Tome 22. p. 502.
- Mhirit O. et Postaire JG., 1983: Analyse de la forme des tiges pour la construction des tarifs de cubage. Application au cèdre du Maroc (*Cedrus atlantica* Manetti). *Ann. Scien. Forest.* 1983 (2) 59-77.
- Mhirit, O., 1987: Etat actuel des connaissances sur le cèdre, éléments pour un programme de recherche. *Comité CPA/CEF/CFPO des questions forestières méditerranéennes. Silva mediterranea - FAO, Rome ; 38p.*
- Mhirit O., 1994 : Croissance et productivité du cèdre de l'Atlas: Approche multidimensionnelle de l'étude des liaisons stations - productions. *Ann. Rech. For. Maroc*, N°27 spécial, vol. 1, I-XXXVI & 1-361. pp: 296-312.
- Mhirit O., 1999: Le cèdre de l'Atlas à travers le réseau *Silva mediterranea* «Cèdre». Bilan et perspectives. *Forêt méditerranéenne*, t. XX n° 3, novembre 1999.
- Mhirit O., 2006: Les écosystèmes forestiers marocains: situation, enjeux et perspectives pour 2025. Contributie au «Rapport sur le Développement Humain au Maroc». Rabat, Maroc; www.rdh50.ma.
- Mhirit O., 2017 : Eléments de Stratégie de valorisation des ressources génétiques forestières et des Connaissances traditionnelles dans le cadre du Protocole de Nagoya : 1. Rapport de base 2. Vision, axes stratégiques et programmes d'action. *Programme «Gouvernance Environnementale et Climatique» (ProGEC). Biodiversité-valorisation des Ressources génétiques au Maroc. Secrétariat d'Etat à l'Environnement; Rabat, 28 mai 2017; 93p. +39p.*
- Mhirit O. et al., 2008: Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). Rapport de synthèse. *Convention FAO/UTF/MOR/o28/MOR. Appui à la mise en œuvre du Programme Forestier National*. 151p.
- Mhirit O. et Et-Tobi M., 2009 : Les écosystèmes forestiers face au changement climatique. Situation et perspectives d'adaptation au Maroc. *Institut Royal des Etudes Stratégiques (IRES), Rabat (Maroc)*. 209 p.
- Mouna M., 1982 : Recherches écologiques sur le peuplement frondicole des insectes du cèdre (*Cedrus atlantica* Man.) dans le Moyen Atlas marocain. Thèse Doct. de Spécialité, Fac. des Sciences St. Jérôme Marseille: 1-121.

- Mouna M., 1994: Etat des connaissances sur l'entomofaune du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1,1 - XXXVI & 1 - 361 1994
- Nedjahi A., 1987: La croissance et la productivité du cèdre de l'Atlas à Chréa. *Ann. de la Rech. Forest. en Algérie*, vol.II, n °2, pp. 23-59.
- Panetsos K.P., Christou A. and Scaltsoyiannes A., 1994: Les variations d'allosymes dans les espèces du cèdre. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1,1 - XXXVI & 1 - 361 1994
- Peyre C., 1979: Recherches sur l'étagement de la végétation dans le massif du Bou Iblane (Moyen-Atlas oriental Maroc). *Thèse Univ. Droit. Econ. Sciences. Aix-Marseille*, pp. 1-149.
- Pujos A., 1966 : Les milieux de la cédraie marocaine. *Ann. Rech. For. Maroc*, 8, Annexe, (cartes et graph.). pp. 1-383.
- Reille M., 1977: Contribution pollenanalytique à l'histoire holocène de la végétation des montagnes du Rif (Maroc septentrional). *La recherche Française sur le Quaternaire, Suppl. Bull. A.F.E.Q.*, 50 : 53-76.
- Quezel P., Barbero M. et Benabid A., 1987: Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Haut-Atlas oriental (Maroc). *Ecologia mediterranea. Tome XIII, Fasc.1/2*, pp. 107- 117.
- Till. C. 1985: Recherches dendrochronologiques sur le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) au Maroc. Thèse de doctorat, Faculté des sciences, Université de Louvain; Belgique.
- Toth J. 1994: Le Cèdre de l'Atlas en France: Croissance et production dans les dispositifs anciens. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1, 1 - XXXVI.
- Zaki A., 1968: Première étude sur les phénomènes de dormance de la graine de cèdre et sur l'influence des différents facteurs à l'égard de sa germination. *Ann. Rech. Forest. Maroc. Rapport 1968*, p. 245-298.
- Ziat M., 1986: Ecologie, productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Bou Iblane Moyen-Atlas oriental. *Thèse 3^{ème} cycle, Inst. Agron. et Véter. Hassan II*, Rabat, Maroc, p. 132.
- Zine El Abidine A. et Aadel I., 2009 : Analyse écophysiole du dépérissement du cèdre dans le Moyen Atlas. Les 3^{ème} Assises de la Recherche Forestière. «L'écosystème cédraie» *Ann. Rech. Forest (Num. spécial)*. Maroc.

Résumés des Conférences

Différentes facettes du patrimoine géologique du Maroc

Ahmed EL HASSANI

Institut Scientifique - Université Mohammed V de Rabat
Académie Hassan II des Sciences et Techniques
ahmed.elhassani@um5.ac.ma et
a.elhassani@academiesciences.ma

Le patrimoine dans sa composante géologique englobe tous les objets et sites symbolisant la mémoire de la Terre, d'abord in situ (logs stratigraphiques, roches, fossiles, mines, sols et minéraux, structures, paysages,...), puis en ex situ (musées, collections géologiques, magasins-bazars, archives, publications, cartes, coupes, lames minces,...).

Quel est le Constat pour le Maroc ? On constate une prise de conscience de plus en plus accrue pour la préservation de l'environnement et pour la sauvegarde du patrimoine naturel et culturel. Il s'agit d'un concept nouveau, véritable paradigme relatif au développement durable. Cependant, on remarque que l'inventaire des ressources est incomplet et, surtout, une exploitation intensive des ressources naturelles.

Quelle est donc la problématique? il s'agira de définir quelle relation existe-t-il entre préservation du patrimoine naturel et développement durable? C'est une question centrale de toute une problématique complexe nécessitant de répondre à plusieurs questionnements, particulièrement :

- Slogan : Le Maroc paradis des géologues (par la qualité de l'archivage, la richesse et l'importance des affleurements, l'accessibilité des sites, ...),
- Sauvegarde : Comment sauvegarder ce patrimoine pour que le Maroc demeure le paradis des géologues ?
- Causes possibles : Non-respect des Lois et procédures légales, en vigueur,
- Surtout que les détériorations sont irréversibles à cause du pillage, exploitation abusive, vente et exportation illégale des richesses naturelles.

Comment alors mettre fin à cette détérioration, surtout que le Maroc possède une grande diversité en curiosités géologiques (roches, minéraux, fossiles, structures tectoniques, métamorphismes,...). Des affleurements extraordinaires sous forme de géo-

sites et curiosités géologiques sur de grandes étendues (récifs, dépôts de mers profondes, de continents, ...). Plusieurs mines et cortèges diversifiés de minéralisations exploitées sont l'une des richesses du Maroc contribuant au développement durable. Le pays témoigne également de paléo-environnements géologiques diversifiés (variations de climats et de biotopes, diverses extinctions, ...).

Quel intérêt doit-on accorder au patrimoine géologique? Pour donner envie de le protéger, il faut d'abord le faire connaître. Nous possédons un élément important qui est la carte géologique qui illustre bien que le Maroc est très important pour la connaissance de l'histoire de la Terre dans sa globalité en raison, entre autres, de:

- La présence d'une pile stratigraphique complète (dont l'âge remonte à plus de 3 Ga et qui continue jusqu'à l'Actuel),
- De plusieurs références (coupes géologiques) dont des stratotypes,
- D'excellentes expositions de piles stratigraphiques notamment dans la partie méridionale du Maroc (Anti Atlas et Sahara) avec une richesse faunique.

Cependant, les richesses de la géologie marocaine restent de nos jours peu connues, d'où la nécessité d'inventaire, à travers des études de terrain, pour la sensibilisation du public à la sauvegarde, la valorisation et à l'utilisation rationnelle de ce patrimoine. Par la suite, une bonne gouvernance et l'application des lois (en vigueur ou à venir) permettront la protection de ce patrimoine est nécessaire. Cette opération fait face actuellement à un certain nombre de problèmes, notamment :

- Seule la valeur commerciale de ce patrimoine prédomine,
- Exploitation massive et abusive, conduisant inévitablement à leur disparition à court ou moyen terme,
- Commerce florissant (surtout international) au détriment des raretés minérales et fossilifères.

C'est pourquoi la protection de ce patrimoine doit être envisagée aussi bien sur site que hors site à travers :

- La création de réserves naturelles ou géoparcs,
- La valorisation des sites géologiques,

- La création d'itinéraires guidés, panneaux explicatifs, organisation de conférences grand public,
- Confection et vente de moulages (à buts éducatif et économique), montage de films documentaires,
- Création de Collections et de Musées,
- Education relative à la conservation du patrimoine environnemental (au niveau des écoles).

Quelles sont les mesures urgentes et les actions à entreprendre? A ce titre, il est recommandé de faire un inventaire national en mettant l'accent sur les moyens d'exploitation durable des ressources géologiques ; de veiller à l'application des mesures élaborées par le Ministère de l'Énergie et des Mines et du développement durable (MEM) pour la conservation des ressources.

Cela nécessite, entre autre, l'établissement de partenariats à travers des projets intégrées impliquant les universités, le MEM (Direction de la Géologie), les Autorités et collectivités locales, Société civile,... et chercher aussi une Labellisation internationale (UNESCO, UICN,...). Ce qui permettra la description de ce patrimoine à travers la cartographie, le SIG, l'inventaire,... Les colloques, les séminaires thématiques, l'élaboration d'une documentation scientifique, la rencontre des élus et de la population locale ainsi que la médiatisation sont autant de moyens contribuant à faire connaître la richesse du patrimoine géologique marocain.

Ces actions auront certainement des impacts et des retombées (scientifiques et socio-économiques) et contribueront à l'avancement des connaissances sur le patrimoine géologique marocain, qui doit être conservé en tant que valeur scientifique internationale. La coopération nationale et internationale facilitera l'accès aux données patrimoniales via la création de Bases de données et de site web (lithothèque,...).

L'Administration marocaine, quant à elle, devrait encourager l'exploitation durable des ressources géologiques à caractère patrimonial (nouvelles formes de mise en exploitation des valeurs éducatives, touristiques,...) ainsi que la participation au développement durable (par la création d'activités et d'emplois rémunérés autour des géosites).

Modalités d'inventaire du patrimoine géologique et sa protection

Ezzoura ERRAMI

Equipe de Géodynamique, Géoéducation et Patrimoine Géologique (EGGPG), Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Chouaïb Doukkali, El Jadida, Maroc

errami.e@ucd.ac.ma, erramiezzoura@yahoo.fr

La géodiversité, un concept relativement nouveau, qui a connu son essor au début des années 1990, est un élément de la diversité naturelle qui inclue les éléments géologiques (roches, minéraux, minerais...), géomorphologiques (formes de relief, paysage...) et la paléobiodiversité (fossiles), témoins de l'évolution de notre planète depuis sa création il y'a 4.6 milliards d'années jusqu'à l'actuel. Les sols, support de la vie sur Terre, sont des produits dérivés des éléments géologiques sous l'action atmosphérique, et constituent le lien entre la lithosphère (partie abiotique) et la biosphère (partie biotique). Autrement dit, beaucoup de sites géologiques (géosites) et/ou géomorphologiques (géomorphosites), constituent le socle naturel de plusieurs variétés d'espèces animales et végétales parfois menacées ou en voie de disparition.

Plus encore que la biodiversité, la géodiversité n'est pas renouvelable à l'échelle de la vie humaine. Alors que certains écosystèmes nécessitent des centaines d'années pour se réinstaller, une roche aurait besoin de millions d'années pour se former et dans la plupart des cas, elle est non renouvelable. La géodiversité constitue donc une archive qui permet d'apprendre du passé pour comprendre les événements actuels et prédire le futur de notre planète. Ce constat a suscité une profonde réflexion sur la sélection de la géodiversité qui mérite d'être conservée. Ce processus permet la patrimonialisation de la géodiversité qui devient un patrimoine digne de conservation et de valorisation. Le passage de la géodiversité au géopatrimoine commence par un inventaire et une évaluation des valeurs scientifiques et/ou additionnelles qui aboutissent à une sélection. Ainsi, la géodiversité qui est rare et/ou qui recèle d'une valeur scientifique, éducative, esthétique et culturelle est considérée comme géopatrimoine. Par conséquent, plusieurs méthodes ont été développées à l'échelle internationale pour inventorier et évaluer la géodiversité. L'élaboration d'un inventaire du

patrimoine géologique nécessite d'abord, une volonté politique et un arsenal juridique adéquat qui incite l'Etat à faire l'inventaire et qui définit les organismes exécutifs et financiers pour sa réalisation. Ensuite, une méthode d'inventaire national est élaboré et validé et des groupes des collaborateurs-experts sont constitués pour inventorier, faire la sélection préliminaire, étudier, décrire et délimiter les sites d'intérêts géologiques. Ensuite, une sélection définitive des sites est faite suite à une évaluation de leurs valeurs scientifiques et additionnelles (écologiques, esthétiques, culturelles, éducatives, touristiques, économiques...). L'évaluation de leur vulnérabilité permet d'hierarchiser les besoins en matière de géoconservation. Une fois ce travail réalisé et les résultats validés, toutes ces informations sont rassemblées en fiches qui alimentent une base de données dynamique. Cette dernière constitue un outil efficace d'aide à la prise de décision.

La conservation du géopatrimoine, ou la géoconservation, peut être définie comme des actions prises pour conserver, améliorer et valoriser les caractéristiques géologiques et géomorphologiques des sites (géoconservation in-situ) et des spécimens (géoconservation ex-situ). La géoconservation peut être faite de plusieurs manières : (1) par voie réglementaire (Lois, Arrêtés de protection...), (2) par acquisition foncière par les collectivités locales, ce qui constitue le moyen le plus simple pour protéger les sites vulnérables et menacés, (3) par classement et inscription des géosites et géomorphosites qui constituent un outil de protection du patrimoine naturel et de développement de la connaissance de ce géopatrimoine. La protection physique complète les autres mesures pour assurer la pérennité des sites vulnérables. En absence d'un arsenal juridique adéquat, l'implication des communautés locales, des décideurs, des gestionnaires ainsi que des visiteurs est un outil efficace de conservation. Pour cela, ils doivent être, informés sur leur géopatrimoine et sur son état et son importance, sensibilisés, éduqués et formés, ce qui leur permettra de se l'approprier.

La nature est un tout, les enjeux de conservation d'un territoire doivent donc porter aussi bien sur le vivant que sur le non vivant, car la destruction de l'un entraîne automatiquement la disparition de l'autre. De ce fait, une stratégie de conservation intégrée permettrait en plus de la protection de toutes les composantes de la nature, leur valorisation en vue d'un développement humain et socio-économique local durable et la création d'un nouveau label, le géoparc. Ce dernier est

défini comme un territoire bien délimité doté d'un géopatrimoine témoin de l'histoire de la Terre et de la vie ancienne et de l'évolution des paysages. D'une taille suffisante, ce territoire doit être muni d'une stratégie adéquate pour contribuer au développement humain et socio-économique local à travers la promotion d'une nouvelle niche touristique, le géotourisme. En vue de leur importance pour les objectifs de développement durable fixés par la Nations Unies et à atteindre d'ici 2030, l'UNESCO a adopté en 2015, les géoparcs en tant que programme.

Le Maroc, pays doté d'une géodiversité remarquable, qui s'étend sur plus de trois milliards d'années, accorde une place privilégiée au tourisme de la nature dans sa politique de développement touristique. Dans un contexte de changement climatique où la flore et la faune sont fortement menacées, il est donc devenu impératif d'intégrer le géotourisme en particulier dans les régions naturellement riches et socio-économiquement pauvres. En revanche, le Maroc ne possède aucun inventaire de son géopatrimoine ni national ni régional, à l'exception de quelques inventaires locaux réalisés dans le cadre d'un nombre limité de travaux de recherche. Le Maroc ne dispose pas non plus de lois relatives à l'inventaire du géopatrimoine. Toutefois, la loi n°33-13, relative aux mines, adoptée en 2015, stipule dans son article 116 que l'extraction, la collecte et la commercialisation des spécimens minéralogiques et fossiles et des météorites sont subordonnés à l'octroi d'une autorisation délivrée par l'administration, selon les modalités fixées par voie réglementaire. En 2019, le projet de décret N°2-19-968 portant application de l'article 116 réglemente et organise les activités relatives à l'extraction, la collecte et la commercialisation des spécimens minéralogiques, des fossiles et des météorites. Il est à noter que mis à part le géoparc de Mgoun, premier géoparc à l'échelle de l'Afrique labellisé Géoparc mondial UNESCO, aucun autre géosite ou géomorphosite n'est officiellement classé au Maroc.

Cette contribution vise à promouvoir la géodiversité en tant que support de la biodiversité et la nécessité de sa valorisation et de sa conservation. Elle a pour objectifs aussi de conscientiser les communautés locales et les décideurs locaux sur l'importance du géopatrimoine en tant que composante du patrimoine naturel qui pourrait, s'il est adopté dans une stratégie intégrée, participer d'une manière effective dans le développement humain et socio-économique local durable.

Exemples de protection urgente du patrimoine géologique dans l'Anti-Atlas (faune de Fezouata)

Khadija EL HARIRI

Université Cadi Ayyad Marrakech
k.elhariri@uca.ac.ma

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).

Mais, tout d'abord, que signifie le patrimoine géologique?

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».

Le patrimoine paléontologique 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.

Le Lagerstätte des Fezouata, unique au monde, a permis d'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'il 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 (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. Emission de timbres postaux à l'effigie des : Stromatolites d'Aït Saoun; Arthropode Marella -Furca sp. (Marrellomorpha); Anomalocaride Aegirocassis benmoulai; Météorite de Tissint.
3. Exposition au Centre Culturel Golf Atlas Marrakech à l'occasion de la célébration de la journée internationale de la Terre.
4. Exposition lors du Workshop IGCP 653 organisé par l'Université Cadi Ayyad en 2018.
5. Des projets de recherche internationaux: Projet de l'Académie des Sciences et Techniques Hassan II; Projet ANR(RALI); CNRST-CNRS...
6. Des procédures engagées pour l'inscription du Lagerstätte des Fezouata dans le patrimoine national puis de l'UNESCO.
7. Travaux de recherche (04 thèses qui seront soutenues d'ici décembre 2019)
8. Une base de données de toute la collection de Marrakech et une modélisation 3D des spécimens de ladite collection.

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.

Recherche géologique, géoconservation et exploitation commerciale des sites fossilifères

Juan Carlos GUTIERREZ-MARCO

*Instituto de Geociencias, Centro Superior de Investigaciones Científicas, CSIC Universidad Complutense, Madrid (Espagne)
jcgrapto@geo.ucm.es*

Depuis les temps de W. Smith et de C. Lyell, les fossiles conservés dans des 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, qui fait partie du patrimoine naturel et qui peut être inventorié et protégé en vue de sa préservation future.

Cependant, la réalité est que le patrimoine naturel géologique de nature paléontologique est réglementé dans de nombreux pays par une législation hétérogène et généralement erronée, telle que celle qui tend à inscrire des 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. Le Chili est un bon exemple du deuxième cas, dont le Service

Géologique national a récemment dû suspendre l'exécution de la Carte géologique en raison de l'absence de permis lui permettant d'étudier de manière stratigraphique et cartographique des zones sédimentaires aux niveaux local et régional (celles de plus de 400 m²), pour la seule raison d'être potentiellement fossilifères. Au contraire, la réalisation de carrières ou de forages dans les mêmes matériaux pourrait être envisagée, mais seulement après l'approbation d'une procédure bureaucratique complexe par le Conseil des Monuments Nationaux de ce pays, composé principalement d'experts en sciences humaines.

En règle générale, la formule la plus rationnelle pour établir le caractère patrimonial d'un fossile ou d'un gisement spécifique doit être conditionnée principalement par son évaluation scientifique et professionnelle, qui est indépendante de l'élément ou du lieu en question. En ce sens, il est clair que la fossilisation en soi n'imprime pas de valeur patrimoniale à tous les vestiges ou signaux des organismes du passé car, d'être comme ça, de nombreuses formations fossilifères utilisées comme carrières de roches ornementales et de construction devraient cesser leur activité. Il en va de même pour les ressources énergétiques clés telles que les charbons et les pétroles résultant de l'activité biologique.

Et aussi, considérant que la réalisation de grands travaux d'infrastructure tels que tunnels, autoroutes, réservoirs, etc., a normalement un impact important sur certaines roches fossilifères.

Selon la législation élaborée par chaque pays, la nature des fossiles (en tant qu'éléments naturels ou 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 libre gestion des gisements situés sur des propriétés privées, de sorte que les individus sont libres de creuser et de commercer 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 propriétés privées, 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 schiste Wheeler (trilobites du Cambrien) d'Utah, ou à la mise au point de méthodes de collaboration imaginatives avec l'université, cas du gisement de vertébrés lacustres et des plantes éocènes du Green River, Wyoming.

En Espagne, nous avons 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. La conséquence de ce caractère régionaliste effectif, pratiquement contrôlé par les archéologues, est que même les paléontologues professionnels sont parfois soumis à de telles conditions restrictives (souvent arbitraires), en dehors de l'esprit de la législation nationale, ce qui nous rend difficile de travailler officiellement dans notre pays.

Le cas du Maroc est différent, car parallèlement à la recherche géologique et paléontologique officielle, à laquelle collaborent des scientifiques d'autres pays, une économie basée sur les fossiles a été développée, bénéficiant à de larges couches de la population locale, situées dans des régions désertiques et déprimées de la nation. Ainsi, cette industrie des fossiles au Maroc rapporte annuellement environ 40 millions d'euros et fournit du travail à plus de 50.000 marocains qui se consacrent à la prospection et à l'excavation de gisements paléontologiques dans des conditions généralement très précaires, ainsi qu'à la reconstruction ou à la préparation des matériaux obtenus jusqu'à ce qu'ils soient laissés dans des conditions appropriées pour la vente. Sont également inclus les travailleurs dédiés à la transformation des roches ornementales fossilifères et les gros et moyens vendeurs qui assistent aux foires internationales les plus importantes sur la matière (Tucson, Denver, Munich, Ste-Marie-aux-Mines, etc.).

La présente conférence tente aussi de montrer les éléments remarquables de cette entreprise, qui inclut les 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, aux ateliers de travail sur les roches ornementales riches en fossiles, et aux 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.

D'un point de vue scientifique, 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 connaissance de la faune du Paléozoïque et du Mésozoïque en Afrique. Cela se matérialise par la découverte de plusieurs sites de conservation exceptionnelle (Fossil-Lagerstätten) de projection scientifique mondiale (Fezouata, Tafilalt, Kem-Kem, etc.), ainsi que par des centaines de nouveaux genres

et espèces, dont certains présentent un grand intérêt pour l'évolution ou la biogéographie. En ce qui concerne l'exploitation commerciale des gisements, leur durabilité est régulée par le facteur de marché, qui nécessite un renouvellement permanent des produits, ainsi que par l'épuisement et l'abandon de nombreuses couches fossilifères, toujours susceptibles de continuer à fournir des données scientifiques après l'activité commerciale a cessé. Dans divers villages des régions du Tafilalt et Maider (Alnif notamment), des entreprises locales proposent déjà des voyages organisés pour visiter des sites géologiques et paléontologiques. Ces initiatives, associées au développement de musées locaux complémentaires du secteur du tourisme dans les dunes et du tourisme d'aventure, constituent un élément incontestable de l'avenir de la région et de ses habitants.

Geoparks and geological heritage as promoters of sustainable development

José BRILHA

*Universidade do Minho, Escola de Ciências,
Departamento de Ciências da Terra, Braga (Portugal)
jose.brilha@gmail.com*

Geoparks are territories with a strategy of sustainable development based on the conservation of geoheritage and its use in educational and geotourism activities, together with other natural and cultural resources of the territory.

By definition, heritage is that which is inherited from past generations, maintained in the present, and bestowed to future generations. In this context, geological heritage (or geoheritage) is the collection of geological features that are worthy of preservation now and for the future. This includes the set of geological features that best represent the history of planet Earth and have been the foundation of life-support systems that are essential to humankind and biodiversity. Geological heritage includes all types of non-living natural features, namely minerals, rocks, soils, fossils, landforms and landscapes, together with the diverse suite of natural processes that produce them.

There are distinct values of geoheritage (scientific, educational, scenic, cultural, etc.) and of different significance (international, national, and local). Whatever the perspective, geoheritage is a non-renewable natural resource that should be properly managed by the different countries in order to support sustainable scientific, educational, and touristic uses through conservation strategies and activities.

Despite a general appearance by geological features of robustness and longevity, there are several types of threats that may cause decay or even total destruction of geoheritage. Whilst natural factors, such as weathering and erosion, may over the long-term act to degrade or destroy important geological features, such natural processes can also be responsible for the development of new rock exposures and even the creation of new landforms. By contrast, anthropogenic threats are a much more serious and may irreversibly affect geoheritage. Total or partial destruction of geological sites may happen due to: (i) urban expansion and the construction of attendant infrastructure, (ii) natural resource exploitation, (iii) the absence of protective legislation, (iv) ineffective implementation of protective policy by public agencies responsible for land-use planning and nature conservation, (v) the vandalism, illegal collecting, and smuggling of geological specimens, (v) mass tourism, and (vi) general social unawareness of the value of geoheritage. All these threats presently contribute to the loss of geoheritage, which is the most obvious justification for the importance of geoconservation. Therefore, each country should include clear measures to protect and manage its geoheritage. Effective legislation and public agencies with trained staff on geoconservation are absolutely vital to conserve this heritage for future generations.

The International Geoscience and Geoparks Programme was established by UNESCO in 2015. UNESCO Global Geoparks (UGGp) are “the mechanism of international cooperation by which areas of geological heritage of international value, through a bottom-up approach to conserving that heritage, support each other to engage with local communities to promote awareness of that heritage and adopt a sustainable approach to the development of the area”. The origin of the geopark concept was born in Europe and the first international initiative regarding this innovative approach was made in 2000 with the establishment of the European Geoparks Network joining together four geoparks in four countries. As today, there are 161 UGGp in 44 countries around the world, which represents a remarkable acceptance of the geopark idea. All geoparks are based on the conservation of geological heritage, promotion of education and attraction of visitors fostering the development of local communities and maintenance of the natural and cultural identity of these territories.

The geopark concept is still under represented in Morocco. The top-class geoheritage, the rich cultural heritage, and the need to develop innovative actions to support the sustainable development of Morocco make geoparks a good option that should be supported by public administrations.

Le Géoparc de Mgoun au Maroc

Philippe TAQUET

*Académie Hassan II des Sciences et Techniques &
Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris (France)
philippe.taquet@orange.fr*

L'UNESCO, dans sa présentation de la Convention du patrimoine mondial, définit le patrimoine comme l'héritage du passé dont nous profitons aujourd'hui et que nous transmettons aux générations à venir. Le patrimoine naturel et le patrimoine culturel sont deux sources irremplaçables de vie et d'inspiration.

Le Maroc, considéré comme le Paradis des géologues a la chance de posséder un patrimoine géologique exceptionnel et riche de ses différentes composantes : minéraux, météorites, roches, fossiles, gisements paléontologiques, coupes stratigraphiques, géosites. Cette géodiversité apporte la notion de temps à la nature, à son histoire qui est celle de la succession des environnements, des paysages, des biodiversités.

Conscient de ses atouts, de la richesse et de la diversité de son patrimoine géologique, le Maroc a lancé l'appel solennel de Marrakech en 2015, pour la préservation de son Géoheritage, puis a tenu en 2017, sous l'égide du Ministère de l'Energie, des Mines et du développement durable, une journée nationale du patrimoine géologique, co-organisée avec l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM), en partenariat avec le Ministère de la Culture et de la Communication et avec la Bibliothèque Nationale.

L'objectif de ces initiatives a été de présenter le patrimoine géologique dans toute sa richesse et sa diversité, mais aussi dans sa fragilité, afin de renforcer la prise de conscience de la nécessité de sa préservation, de sa protection efficace, ainsi que de sa mise en valeur.

Pour illustrer les progrès dans la prise en compte du patrimoine géologique, du Géoheritage, au niveau marocain, mais également au niveau international, une série d'exemples significatifs seront présentés. La protection et la mise en valeur de paysages, de sites, de carrières, d'exploitations minières, d'affleurements, de gisements, de stratotypes et de lieux ayant marqué l'histoire de la géologie, montre notamment l'intérêt que l'on porte aujourd'hui à la géodiversité au même titre qu'à la biodiversité. Le Géoparc du M'Goun, le premier Géoparc d'Afrique à avoir reçu en 2014 de l'UNESCO, le label Global Geoparks Network, illustre bien l'importance accordée par le Maroc à son patrimoine géologique.

Le patrimoine géologique du Maroc fait partie de l'héritage des habitants de notre planète. Son importance esthétique, scientifique, culturelle, touristique et économique dans le cadre d'un développement durable est aujourd'hui reconnue.

La visite d'un site géologique ou paléontologique est non seulement passionnante et instructive, mais elle est aussi une source d'émerveillement et de réflexion; elle permet de franchir les limites du temps, de retracer et de comprendre l'histoire de la Terre et de la Vie, de cerner la place de l'homme sur notre planète.

Le secteur minier et développement durable

Abdallah MOUTTAQI

*Office National des Hydrocarbures et des Mines, Rabat
MOUTTAQI@onhym.com*

Contributeur majeur de l'économie nationale, le secteur minier marocain présente aussi d'importantes retombées sur le plan local. Cependant et comme partout dans le monde, ce secteur est confronté au défi de la durabilité; il doit en effet gérer ses externalités en maximisant les retombées économiques et sociales, en optimisant l'utilisation des ressources naturelles et en minimisant les impacts environnementaux. Pour faire face à ces défis, le secteur minier marocain a intégré le concept de la responsabilité sociale des entreprises (RSE) en le considérant comme un outil sur la voie de la durabilité. Les compagnies minières œuvrent conformément à la réglementation nationale et aux engagements internationaux du Maroc ainsi qu'aux standards nationaux et internationaux dans ce domaine. Les champs couverts par cette responsabilité concernent le respect des droits de l'homme, la gestion des déchets ainsi que celle des ressources hydriques et énergétiques, avec le recours dans de nombreux cas, aux eaux non conventionnelles et aux énergies renouvelables. Les opérateurs accordent également une importance capitale au développement communautaire en mettant en place les mécanismes adéquats pour une relation durable avec les riverains. De nombreux exemples de projets de soutien aux infrastructures et services de base et de création de revenus sont lancés au profit des populations locales.

La Fédération de l'industrie minérale soutient également cette démarche responsable en fédérant les opérateurs autour de projets intégrateurs. C'est le cas, d'une part, de l'adoption du Manifeste et

Charte Climat & Energie de la FDIM à l'occasion de la Cop22, et d'autre part, du projet de Directive de développement durable du secteur minier au Maroc (3D2M), qui se trouve à un stade avancé pour son adoption. S'appuyant sur des principes directeurs et des modules d'évaluation des enjeux ESG pertinents pour l'Industrie Minérale au Maroc, la 3D2M est un cadre de référence national de la communauté des industriels dans l'extraction pour la prise en compte, d'une manière progressive, du concept de la durabilité. Les quatre principes retenus par les opérateurs sont les performances environnementales, l'optimisation des impacts socio-économiques, la transparence et responsabilité, ainsi que la participation communautaire.

La dynamique eau et développement durable

Mohamed AIT KADI

*Académie Hassan II des Sciences et Techniques
aitkadi.med@gmail.com*

Aujourd'hui, le défi de la sécurité hydrique est mondial et de plus en plus aigu. Atteindre et maintenir la sécurité hydrique, tant dans les pays développés que dans les pays en développement, risque de devenir de plus en plus complexe et prioritaire - non seulement à mesure que le changement climatique s'intensifie, mais également à mesure que les exigences de la croissance économique augmentent. Il existe une relation à double sens entre les ressources en eau et la croissance économique. D'une part, elles peuvent freiner et inverser la croissance économique en raison des effets destructeurs des inondations, des sécheresses et de la pollution ; d'autre part, elles peuvent stimuler la production et la croissance économique dans des secteurs clés, notamment l'agriculture, l'énergie, l'industrie, le tourisme et les transports. La sécurité hydrique est maintenant un concept largement accepté qui englobe cette double relation entre l'eau et la croissance économique. Des analyses empiriques et théoriques démontrent l'importance des investissements dans la sécurité hydrique pour le développement et, inversement, l'importance du développement pour assurer les investissements requis pour atteindre la sécurité hydrique.

Au Maroc, la sécurité hydrique a toujours été une priorité du développement économique et social du pays. La conséquence de la croissance démographique et économique, accentuée par la

variabilité et la raréfaction des ressources en eau, est l'accroissement des besoins en eau en quantité et en qualité. Au cours des cinq dernières décennies, la politique hydraulique visait à maximiser la mobilisation des ressources en eau de surface et souterraines et à assurer leur utilisation optimale dans l'agriculture irriguée, l'approvisionnement en eau potable, l'industrialisation et la production d'énergie. D'énormes investissements sont réalisés dans les barrages, les systèmes de transfert d'eau et l'équipement des zones irriguées. Dans cette communication, il est souligné que, pour faire face aux problèmes posés par la raréfaction accrue des ressources en eau et les coûts croissants de leur mobilisation, l'accent doit être mis sur les choix plus complexes et sophistiqués assurant une allocation économiquement, socialement et techniquement acceptable entre les différents usages. Plus que jamais la recherche scientifique doit se mobiliser pour mieux comprendre des systèmes hydrologiques versatiles, déterminer les coûts et les avantages des interventions politiques spécifiques et orienter les arbitrages inévitables et difficiles inhérents au développement et à la gestion de l'eau. Les capacités institutionnelles devront être développées afin de renforcer les dispositifs institutionnels appelés à fonctionner dans des situations de plus en plus complexes.

La gestion des écosystèmes forestiers méditerranéens : entre défis de conservation et nécessité de valorisation

Abdelhamid KHALDI

*Institut National de Recherches en Génie Rural,
Eaux et Forêts de Tunisie
et Président de l'Association Internationale
des Forêts Méditerranéennes*

khalditn@yahoo.fr

Aujourd'hui, le défi de la sécurité hydrique est mondial et de plus en plus aigu. Atteindre et maintenir la sécurité hydrique, tant dans les pays développés que dans les pays en développement, risque de devenir de plus en plus complexe et prioritaire - non seulement à mesure que le changement climatique s'intensifie, mais également à mesure que les exigences de la croissance économique augmentent. Il existe une relation à double sens entre les ressources en eau et la croissance économique. D'une part, elles peuvent freiner et inverser la croissance économique en raison des effets destructeurs des inondations, des sécheresses et de la pollution; d'autre part, elles peuvent stimuler la production et

la croissance économique dans des secteurs clés, notamment l'agriculture, l'énergie, l'industrie, le tourisme et les transports. La sécurité hydrique est maintenant un concept largement accepté qui englobe cette double relation entre l'eau et la croissance économique. Des analyses empiriques et théoriques démontrent l'importance des

Biogéographie des espaces boisés du Maroc

Mohamed BENZYANE

*Ancien Directeur du Centre de Recherches Forestières,
Rabat*

benziane.m@gmail.com

La diversité des ambiances qui va des pentes enneigées, garnies de sols profonds et dominées par des forêts généreuses de sapins, de cèdre et autres chênes à feuilles caduques, aux terrains assoiffés, laborieusement protégés par les arganiers ou les acacias, ne saurait expliquer par les seuls facteurs climatiques et édaphiques tels qu'ils s'organisent actuellement. L'histoire de la terre et des hommes a joué un rôle essentiel dans la mise en place des espèces. La surrection des montagnes et leur orientation, le déploiement des littoraux, l'aménagement de passerelles vers l'Eurasie et l'Afrique, l'accumulation des héritages ont engendré la facture finale des paysages naturels et élaboré la richesse insoupçonnée des écosystèmes forestiers marocains.

Il convient aussi, de souligner que la position géographique du Maroc entre l'océan Atlantique à l'Ouest (2800 km) et la mer Méditerranée au Nord (400 km), lui confère des diversités orographiques, lithologique, édaphique, climatique et bioclimatique originales, qui sont à l'origine de la grande richesse floristique, faunistique et biocénotique. C'est ainsi que le Maroc peut justifier de figurer avec la Turquie ou l'Espagne à la tête des pays dépositaire de la plus grande richesse floristique en espèces méditerranéenne. C'est également qu'il compte parmi les régions ayant la plus forte concentration endémique de tout le bassin méditerranéen.

Ces formations forestières, qui occupent un éventail très large de bioclimats méditerranéens et de leurs variantes, des bioclimats sahariens au bioclimat Perhumide et de haute montagne, couvrent une surface de près de 5 Millions de ha. Elles sont constitués de 66% d'essences feuillues (chêne vert, chêne liège, arganier, acacias sahariens), de 18% d'essences résineuses (cèdre

de l'Atlas, thuya, pin d'Alep et pin maritime, genévriers, cyprès de l'Atlas et sapin du Maroc), de 9% de plantations artificielles, et 7% est occupé par des formations basses, plus ou moins ouvertes, de type matorral et essences secondaires résultant souvent de la dégradation des forêts.

Cette richesse, héritée du passé, sujette à des formes d'exploitation multiples à l'origine d'intérêts conflictuels et d'enjeux, écologiques, fonciers, et socioéconomique, dont la manifestation se traduit par le déboisement, la dégradation des milieux naturels (dédensification et déstructuration des forêts, érosion, désertification), doit être préservée et valorisée au bénéfice du développement durable et soutenu, et des générations à venir. D'autant plus que cette richesse constitue la meilleure assurance de stabilité et de pérennisation des ressources naturelles vis-à-vis des aléas de changements globaux. Une nature variée offre une plus grande résilience, une grande faculté d'adaptation aux agressions et un maximum de potentialités vis-à-vis des besoins futurs du pays.

La cédraie marocaine Etat actuel, enjeux et nouveaux outils pour une gestion durable

Omar MHIRIT

*Ancien Directeur de l'École Nationale Forestière
d'Ingénieurs de Salé, Maroc
mhiritomar@gmail.com*

Les forêts de cèdre de l'Atlas constituent un élément fondamental du paysage marocain dont le rôle environnemental de protection est prééminent avec des fonctions biopatrimoniales et récréatives singulières à fort ancrage socioculturel. Ces forêts ont joué un rôle fondamental dans la vie des populations, au cours des différentes civilisations qui se sont succédées au Maroc, à travers leur produits, biens et services très diversifiés (bois de construction et combustibles ligneux pour les besoins domestiques, nourriture pour le bétail, stabilité de l'environnement et paysages, protection contre l'érosion, .., permettant une agriculture continue dans les piedmonts, plantes aromatiques et médicinales, champignon , lichens, gibier , etc.).

Cet article esquisse une présentation écobioécologique du cèdre de l'Atlas et met en évidence l'importance de cette espèce au Maroc et dans la région méditerranéenne, sa répartition géographique, bioclimatique, phytoédaphique et autoécologique. Il décrit les fonctions, les valeurs

et les services écosystémiques de cet écosystème mais aussi les principaux enjeux sous-jacents pour une gestion durable. Espace multifonctions et multi-usages, les cédraies, sont soumis à des formes d'exploitation multiples à l'origine d'intérêts conflictuels et d'enjeux, écologiques, fonciers, socioéconomiques, dont la manifestation se traduit par leur dysfonctionnement et par leur appauvrissement en ressources génétiques.

Le profil environnemental de cèdre, construit selon le modèle DPSIR, met en relief les forces motrices de changement qui représentent les principaux facteurs biophysiques et socioéconomiques susceptibles de constituer les sources potentielles génératrices de pressions directes et d'effets sur les écosystèmes et leurs ressources. Ces forces sont en rapport avec : les conditions édaphoclimatiques (occurrence des sécheresses); l'action anthropique: expansion démographique en milieu forestier et périforestier, pauvreté et précarité des populations, charge pastorale, durée de séjour des animaux en forêt et la compétition spatiale : sujétions et sollicitations imposées aux espaces forestiers (statuts fonciers peu sécurisant, droit d'usage, urbanisation, infrastructures de base).

Ces forces induisent des pressions à travers les modes d'utilisation de l'espace qui se traduisent, en particulier par : la mutilation et surexploitation des produits ligneux et non ligneux, (2 à 3 fois la possibilité de la forêt); le surpâturage : (2 à 4 fois la charge des écosystèmes), la mise en culture des zones de parcours, la surexploitation des nappes souterraines. Les états du milieu résultant se traduisent par : la dégradation des écosystèmes, la perturbation et fragilisation des milieux naturels, l'érosion de la flore et de la faune et l'absence de régénération des peuplements, le défrichement des terres forestières, en particulier, dans le Rif, le dépérissement des arbres et des peuplements avec l'apparition de nouveaux ravageurs dans le Rif (*Ips xylophage*) ou l'évolution du degré de leur agressivité (*Phaenops marmottani*) dans le Moyen Atlas; et donnent lieu à des impacts socioéconomiques et environnementaux importants qui influent largement sur le fonctionnement et les capacités d'adaptation et de production du cèdre.

Toutefois le dépérissement du cèdre demeure la préoccupation principale des pouvoirs publics. Depuis le début du siècle, les peuplements de cèdre subissent un phénomène important de dépérissement, à l'instar des autres forêts de la planète, dont l'ampleur et la gravité ont suscité la réaction des pouvoirs publics. Dans ce cadre le département des forêts a élaboré, dès 2005, une stratégie nationale pour la surveillance et le suivi de la santé des forêts, avec pour zone pilote la cédraie du Moyen Atlas, et mis en place un groupe d'études et de recherche, dirigé par l'auteur. Plus tard, la cédraie du Moyen Atlas fut classée par l'UNESCO (Lima, mars 2016) comme l'un des nouveaux sites du Réseau mondial des réserves de biosphère pour mieux assurer sa préservation.

L'article décrit les investigations pluridisciplinaires réalisées dans le cadre de ce groupe dont la mission consiste à caractériser le lien des causes et des symptômes pouvant expliquer le phénomène de dépérissement et définir une stratégie de gestion et de protection de la cédraie sous forme d'outils de gestion à court, à moyen et à long terme. Les analyses et synthèses effectuées montrent que ce phénomène est le résultat d'un cumul de stress de plusieurs facteurs sur plusieurs années. Toutefois, le facteur discriminant qui prédispose les peuplements aux dépérissements, s'exprime à travers le couple «régime hydrique du sol-densité des peuplements». Ce couple reste potentiellement déterminant dans l'apparition graduelle des dépérissements et plus tardivement des mortalités conséquentes de la «sécheresse de type édaphique», en particulier, en l'absence d'outils et de stratégie de gestion de la densité.

Ces résultats sont déclinés ensuite en plans opérationnels et en guides d'orientation pour les gestionnaires de ces espaces forestiers (guides de sylviculture), qu'il s'agisse de plans d'aménagement ou d'exploitation, des opérations sylvicoles, du choix de mode d'opération en matière de régénération ou de reboisement. Bref, il s'agit de proposer un modèle de gestion et de sylviculture sous la contrainte de dépérissement qui ambitionne de redynamiser les cédraies et aider à surmonter leurs difficultés phytosanitaires.

Les chênaies en Méditerranée et au Maroc : biogéographie, écologie, protection et développement durable

Frédéric MEDAIL

Institut Méditerranéen de Biodiversité
et d'Écologie marine et continentale,
Université d'Aix-Marseille (France)
frederic.medail@imbe.fr

Avec environ 425 espèces surtout distribuées dans le Paléarctique, les chênes (genre *Quercus*) forment le genre le plus vaste de la famille des Fagacées. D'un point de vue biogéographique, les chênaies méditerranéennes actuelles correspondent à des ensembles hétérogènes dont la mise en place et la différenciation s'expliquent par la paléo-histoire complexe du bassin méditerranéen, l'un des points-chauds mondiaux (*hotspot*) de biodiversité. Cette longue histoire et les différentes vicissitudes paléogéographiques subies par ces espèces soulignent l'importance des données biogéographiques et évolutives car elles permettent de mieux comprendre les structures et fonctions des écosystèmes forestiers et de leurs espèces.

Le rôle des zones refuges, c'est-à-dire des territoires épargnés par les glaces lors du Pléistocène et où les végétaux ont pu persister, notamment lors du dernier maximum glaciaire (20 000 ans BP), est aussi déterminant afin d'expliquer l'originalité des forêts méditerranéennes. En effet, ces refuges glaciaires constituent des entités particulières sur le plan de la richesse et de la composition végétales, mais aussi pour la présence de populations ayant une originalité génétique importante.

Les chênes méditerranéens se caractérisent souvent par une forte diversité et instabilité génétiques. Cette diversité génétique élevée s'explique par des contacts entre populations d'origine différente, mais aussi des fragmentations dans le temps et dans l'espace d'aires de répartition. Dans le cas des chênes caducs, les études phylogéographiques ont mis en évidence plusieurs zones hybrides majeures, véritables *melting-pot* de diversité car lieux de rencontre de génomes de diverses origines. Les isolements anciens entre populations ont par ailleurs conduit à une non-sélection des barrières reproductives. Ceci explique les grandes facilités qu'offrent beaucoup de chênes méditerranéens aux processus d'hybridation quand ils entrent en contact, par voie naturelle ou anthropique (reboisements). Le concept morphologique et typologique d'espèce est donc souvent délicat à appliquer et on débouche alors sur des incertitudes

taxinomiques. Des études génétiques ont mis en évidence des phénomènes d'hybridation ou d'introgession entre *Quercus suber* et *Q. ilex*, en Espagne et au Maroc.

Sur le pourtour méditerranéen, les structures forestières dominées par les chênes correspondent, en fonction des critères écologiques et des actions anthropiques qu'elles subissent, à trois ensembles dynamiques de signification très différentes et qui ne trouvent que partiellement leurs équivalents dans les forêts non méditerranéennes : les groupements forestiers, les groupements pré-forestiers et les groupements pré-steppiques. Il est ainsi légitime de préciser les diverses spécificités des chênaies méditerranéennes. Ces hétérogénéités, apparaissent aussi bien au niveau des facteurs physiques (hétérogénéités géographique, géologique, géomorphologique, climatique ou bioclimatique), que floristique (hétérogénéités biogéographique, physionomique, dynamique, de richesse et composition floristiques).

Les chênaies sclérophylles, sont très répandues et caractéristiques de l'étage méso-méditerranéen, mais aussi localement des étages thermo- et supra- méditerranéens, en bioclimats humide, subhumide et parfois semi-aride. Elles sont constituées en Méditerranée occidentale par le chêne vert (*Quercus ilex sensu lato*), le chêne liège (*Quercus suber*) uniquement sur substrats non calcaires, voire le chêne kermès (*Quercus coccifera*), et en Méditerranée orientale surtout par *Quercus cocci fera* subsp. *calliprinos*, et *Quercus alnifolia* à Chypre sur roches ultra-basiques, alors que *Quercus aucheri* est cantonné dans le sud-ouest anatolien et au Dodécane.

Les chênaies caducifoliées se localisent surtout en bioclimats perhumide, humide ou subhumide et à l'étage supra-méditerranéen, sans en être toutefois spécifiques. Celles strictement méditerranéennes sont à peu près exclusivement constituées par le chêne faginé (*Quercus faginea* incl. *Q. canariensis sensu lato*) en Afrique du Nord et dans la péninsule ibérique, *Quercus afares* dans le nord-est du Maghreb, *Quercus infectoria sensu lato* mais aussi *Quercus aegilops*, *Q. macrolepis*, *Q. ithaburensis* en Méditerranée orientale. Les chênaies caducifoliées sub-méditerranéennes, localisées de l'Espagne à l'Anatolie septentrionale, comportent des essences à aire de répartition plus vaste en région européenne (*Quercus pubescens*, *Q. cerris*, *Q. frainetto*, *Q. trojana*, *Q. sessiliflora*). Elles jouent un rôle important dans les zones à forte précipitations, surtout à l'étage supra-méditerranéen, plus rarement aux étages thermo- et méso-méditerranéens.

Les paysages forestiers méditerranéens actuels sont aussi l'héritage de milliers d'années d'influences anthropiques diverses. Depuis la Haute Antiquité, les chênaies méditerranéennes ont fourni à l'homme un capital appréciable en bois, mais elles ont aussi facilité l'utilisation fourragère en sous-bois par les troupeaux d'ovins et de caprins, en particulier dans le cas des *dehesas* ibériques.

Sur le revers nord de la Méditerranée, on assiste le plus souvent à une quasi-disparition du pâturage et du prélèvement de bois de chauffe, conséquence d'un exode rural intense. Après plus d'un demi-siècle de non-usage, les chênaies sclérophylles évoluent avec l'élimination des végétaux franchement pré-forestiers, et la réinstallation massive des chênes caducs et des essences caducifoliées associées (*Acer*, *Sorbus*, *Ostrya*, *Tilia*...).

Sur le revers sud de la Méditerranée, s'est produite une régression dramatique et souvent irréversible du couvert végétal, liée au surpâturage quasi-permanent et à la pression de récolte pour le bois de chauffe. Ces impacts ont stoppé les régénérations des arbres, et ont transformé beaucoup de chênaies en un piqueté d'arbres ébranchés. Aux herbacées caractéristiques du cortège sylvatique, a succédé une forêt-parc dont le sous-bois est constitué par un tapis plus ou moins dense d'espèces peu consommées par le bétail. Si le pâturage s'intensifie encore, ce sont les plantes toxiques ou épineuses qui occupent la majorité des espaces boisés. Ces forêts-parcs sont présentes en Afrique du Nord et au Proche-Orient sous presque toutes les essences forestières. La forêt de la Mamora (Maroc) en constitue un exemple bien connu, même si des programmes de conservation voire de restauration ont été mis en place.

Sur tout le pourtour méditerranéen, les multiples impacts humains affectant les zones littorales et les abords des grandes villes conduisent à la destruction, à la fragmentation ou à la profonde modification de la structure et des fonctions écosystémiques jouées par les chênaies thermophiles. En outre, le changement climatique fait peser de nouvelles menaces à ces structures forestières de plus en plus isolées par des matrices paysagères artificialisées.

Dès lors, quelles modalités de développement durable peut-on envisager pour préserver au mieux ces diverses chênaies, ces structures forestières clés des paysages méditerranéens et de leur biodiversité unique ? Dans certains cas, la mise en place de mesures de protection stricte doit être un

objectif prioritaire car cela faciliterait la maturation sylvigénétique vers de nécessaires «forêts primaires» aujourd'hui disparues de Méditerranée, tandis que dans d'autres cas les concertations avec les populations locales permettraient une meilleure préservation de la biodiversité et un usage bien plus durable des multiples ressources naturelles qu'offrent ces forêts.

Vegetation and land use under different human impact a comparison of Northern Morocco and Southern Spain

Ulrich DEIL

University of Freiburg, Faculty of Biology,
Department of Geobotany,
Schaenzlestrasse 1, D-79104 Freiburg, Germany
ulrich.deil@biologie.uni-freiburg.de

Starting hypotheses: The presentation starts 1) with a general model of the relationships between agro-technological level, economic situation of a society, productivity and carrying capacity for human beings and 2) with the hypothesis, that biodiversity has its maximum under medium disturbance intensity. Then the parameters vegetation, plant species diversity and land use patterns on both sides of the Straits of Gibraltar are compared.

Study areas: The Tangier Peninsula in NW Morocco and the Campo de Gibraltar in SW Spain offer almost identical physical conditions (bedrock, soil, and climate). A land connection between Africa and Europe until mid-Tertiary resulted in a common flora and in identical potential natural vegetation before human interventions. The Peninsulas offer the unique possibility to study the effects of different human impact on the plant cover, because they are inhabited by societies of unequal economic level and therefore managed differently.

Methods: The vegetation was analysed at the habitat level by sampling of floristic data on more than 1000 plots. Vegetation types are defined on the basis of repetitive species composition. The vegetation mosaic in the landscape dimension was recorded in 75 sample plots of 1 square km and by an analysis of Catenae along altitudinal and edaphic gradients. Land use trends in the last decades were analysed by an interpretation of historical and actual air photographs.

Results: The tendencies in maquis and forest are diverging in both areas: In Andalusia, arable land on slopes and unproductive pastures are

abandoned and spontaneously recolonized by shrub vegetation or reforested with *Pinus* or *Eucalyptus*. Pasture intensity and wood exploitation in forests is decreasing, stem density, timber stock and fire risk are increasing in Spanish cork oak forests. In Morocco, there is an on-going reduction of the forested area by illegal clearing, an inner exploitation and degradation of the remaining forests, and an over-aging of the tree stratum by overgrazing.

Weed vegetation in arable land varies strongly according to the agro-technological level. Self-sustaining agriculture, still existing in remote and less productive sites in the Prerif Mountains, with its traditional ploughing methods, the shifting cultivation and the intercalation of short-term follow land periods, creates weed communities with high plant species diversity in Morocco. Agro-industrial management (application of herbicides and artificial nutrients, deep mechanical ploughing, irrigation), as it prevails in Spain, halves species number per field. The anthropogenic transformation of the weed vegetation has a similar tendency in both countries, with a time lag of some decades in Morocco.

In the landscape dimension, every technological and economic level creates a specific vegetation mosaic. Characteristic vegetation types exist for Northern Africa respectively Southern Europe. Culturally indifferent vegetation units are roadside verges and other ruderal communities. Vegetation patterns created by ethnic and cultural traditions are of minor importance, but do exist. Examples are sacred groves in Morocco and *cañadas* in Spain. The plant cover is part of the heritage, which makes cultural landscapes unique.

Conclusions: «Modernisation» of vegetation landscapes results in a more trivial plant canopy and in mono-functional land units, following the segregation model of land use. General trends in marginalized mountainous areas are the abandonment of shifting cultivation and of rainfed agriculture. At a finer regional scale, land use trends can be divergent even within both countries, triggered by socio-economic factors such as ownership, infrastructure, accessibility, and productivity. Land use types of post-industrial societies (tourism and recreation, nature conservation, wind park installations) lead to re-evaluations of land polygons and can be similar in Morocco and Spain. The evaluation of the sustainability of the land use should apply several independent parameters such as : 1) external energy input, 2) regeneration of forests, 3) soil erosion, 4) water retention, 5) food supply for the local population.

L'arganeraie, une forêt endémique singulière (protection, développement, plantations)

Abderrahmane AITLHAJ

Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA)
aitlhaj.abderrahmane@gmail.com

L'Arganeraie, qui s'étend sur une superficie de 830 000 hectares environ, occupe une place importante, compte tenu de ses rôles multiples, interdépendants et déterminants pour le développement socio-économique dans le sud-ouest du Maroc. D'une part : **(i)** c'est un patrimoine naturel unique, situé principalement dans une zone vulnérable où il joue un rôle clé dans l'équilibre écologique du pays en particulier comme rempart contre la désertification. **(ii)** C'est le Berceau d'une biodiversité riche et d'un endémisme remarquable des espèces qui la compose en particulier l'arganier (*argania spinosa* L.). D'autre part, elle recèle un savoir-faire ancestral, en matière de gestion des ressources naturelles en particulier liées aux techniques de l'exploitation des ressources, de la conservation des sols, de la collecte et de la valorisation de l'eau, qui a largement contribué à sa durabilité. Malgré la fragilité de cet écosystème il continue à produire plusieurs services écosystémiques en mesurant de contribuer au développement durable au niveau local et national. Le potentiel et la singularité de la biodiversité de L'arganeraie ont été mis en valeur après sa reconnaissance comme Réserve de Biosphère en 1998.

L'arganier, essence relique et paradoxale est l'espèce endémique pivot de l'écosystème arganeraie. C'est un arbre, polymorphe qui survit sur des sols secs et pauvres, qui est à la fois : forestier, fruitier et pastoral. Il joue un rôle dans la stabilité des sols, le contrôle de l'érosion, la gestion hydraulique, procure aussi un abri pour une faune et une flore assez diversifiées. Hormis ces rôles environnementaux, l'arganier en tant que filière, procure des bénéfices pour la population principalement rurale, qui en vit. En effet, les usages diversifiés des produits et co-produits de l'espèce et de son cortège floristique -alimentaire, cosmétique, médicinale...- offrent des opportunités et des avantages économiques significatifs au profit de différents acteurs.

L'Homme dans l'arganeraie, pour assurer le développement communautaire escompté, a eu recours à des aménagements diversifiés et à beaucoup de concertation à travers une

organisation à base communautaire bien gérée. A cet égard, on se rend facilement compte, en parcourant les paysages diversifiés de l'arganeraie que l'essentiel des aménagements sont mis en place pour gérer les ressources et en particulier pour administrer la production et maîtriser la gestion de l'eau. Deux éléments se démarquent pour illustrer l'ingéniosité de ces populations et servir de cas d'école : **i-** Les terrasses agricoles: nécessaires pour la pratique de l'agriculture en pente par l'adoption de systèmes d'exploitation intégrés et durables (agro-forestier ou agro-sylvopastoral). **ii-** L'Agdal: une pratique qui incarne un niveau d'intégration remarquable des dimensions technique, institutionnelle et environnementale de la gestion des ressources naturelle.

L'interaction entre cette «forêt rurale» et ses habitants a généré un développement local quasi symbiotique assurée par une «société rurale» équilibrée qui a duré des siècles. Cependant, des signes de dégradation sont relevés qui risquent de rompre cet équilibre. Bien que l'enjeu de la dégradation de cet espace ne soit pas aussi récent, l'ampleur est alarmante à cause d'une surexploitation reconnue. Le couvert végétal de plus en plus épars accélère la vulnérabilité des terres à l'érosion. Ce phénomène est aggravé par les mutations social et économique, par les changements climatiques et l'abandon des pratiques "d'agroforesterie" adaptées en terrasse. Les ressources naturelles, en premier lieu l'eau, subissent les conséquences désastreuses de cette situation.

A la lumière du «Market boom» international du marché de l'huile d'argane, l'enjeu est de concevoir des modes alternatifs de gestion et des mesures pour renforcer une valorisation efficiente de ce capital naturel pour appuyer la résilience et favoriser l'adaptation de l'écosystème et des communautés aux changements en cours. Plusieurs initiatives sont mises en œuvre pour préserver et valoriser cet espace au profit des populations. Dans la perspective d'un développement durable qui valorise le capital naturel, les efforts déjà déployés pour la réhabilitation de l'arganeraie et la promotion de l'économie autour de l'arganier ont été renforcées dans le Cadre du plan Maroc Vert, qui initie un changement de paradigme par le «Contrat programme arganier». Ce contrat, entre le gouvernement et les professionnels, à travers ses composantes, renforce l'agencement des dimensions environnementale, sociale et économique de l'Arganeraie par la mise en œuvre des actions techniques, institutionnelles, politiques et organisationnelles. En effet, ce programme promeut l'émergence de la dimension agricole/fruitière via l'Arganiculture, sur 10 000 ha, pour contribuer à modérer la pression exercée sur la forêt naturelle

en complémentarité avec la plantation de l'arganier et les interventions de réhabilitation du domaine forestier sur 200.000 ha. Ces actions, contribuent aussi à améliorer les revenus des populations bénéficiaires, la conservation des sols, la valorisation des eaux pluviales et l'atténuation des effets des changements climatiques grâce à la séquestration du carbone. Les acteurs de la filière s'organisent aussi dans le cadre d'une interprofession qui intègre tous les maillons de la chaîne de valeur.

Malgré les défis présents, l'arganeraie demeure un laboratoire qui offre un savoir important et des opportunités d'apprentissage sur la gestion du capital naturel en vue d'un développement durable. Ce développement était local, le défi présent à relever est «la mise à l'échelle des expériences du niveau locale au niveau national». La forêt singulière de l'arganier est une composante clé du capital naturel national ou plusieurs acteurs engagés s'attèlent pour réinventer le futur de cet espace et de son développement durable.

Réalités et avenir des écosystèmes oasiens et présahariens

Ahmed BOUAZIZ

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat
hmadbouaziz@gmail.com

Les oasis désignent, en géographie, des zones de végétation isolée dans un désert. Elles sont créées et entretenues par l'Homme. On parle aussi d'agroécosystèmes anthropisés et gérés par l'homme. Le mot oasis est aussi assez souvent utilisé pour désigner des palmeraies bien qu'il existe des oasis froides qui ne comportent pas de palmier dattier. L'agroforesterie est un mode d'exploitation des terres agricoles associant arbres, cultures et élevage. Dans le monde, les zones arides abritent près de deux milliards d'habitants. Les plus peuplées se situent dans les régions du Moyen-Orient, du Maghreb et du Sahel. Les agro écosystèmes oasiens marocains couvrent une superficie totale de 115.600 km² (soit 15% de la surface du pays) et abritent plus de 1,7 million de personnes (5% de la population). Elles sont un refuge pour une importante biodiversité végétale et animale, dont certaines espèces sont endémiques.

Avec leurs environnement extra oasien pastoral ou forestier, qui doit faire l'objet d'aménagements hydrauliques et pastoraux, elles assurent plusieurs rôles : i) régulation du climat subdésertique pour l'adoucir par le système à deux ou trois étages de végétation, ii) fourniture de produits agricoles très appréciés (dattes, huile, safran,

rose à parfum, henné, cumin, miel, viandes, etc),
 iii) constitution de la dernière ligne de défense contre la progression du désert du grand Sahara. Sur le plan des systèmes agraires, on distingue d'une part les oasis traditionnelles, qui abritent une population nombreuse dans les ksours qui constituent un habitat adapté, d'autre part des systèmes de nomadisme en déperdition sur les parcours dégradés et peu productifs. En plus, il y a eu introduction de systèmes soit disant «modernes» de vergers mono spécifiques de palmiers dattiers irrigués au goutte à goutte (GaG), dont la durabilité n'est pas assurée à cause du risque d'épuisement de la ressource hydrique. Plusieurs phénomènes de dégradation biophysiques se sont mis en place dont l'ensablement des champs cultivés, des habitats et des infrastructures, diminution et irrégularité de la pluviométrie, augmentation de la température. On peut donc dire que les oasis traditionnelles sont des écosystèmes, socio-agro-écologiques en dégradation et qui fournissent des services économiques, écologiques, sociaux et culturels dans les zones arides. Sur le plan social et économique, on constate aussi qu'il y a eu des phénomènes de changements des rapports sociaux avec la disparition des «khemmassa», une sorte de désintégration sociale et une perte de solidarité et des valeurs sociétales avec la monétarisation et l'introduction de l'économie de marché. Ceci se manifeste par le développement de l'individualisme et la détérioration de l'habitat des Ksours, un patrimoine en ruine. A l'extérieur des oasis, le déclin du nomadisme et des activités pastorales sont en train d'être remplacés par des vergers de palmier dattier ou de cactus exploités par des investisseurs privés sur des terres auparavant collectives.

Conscient de ces transformations socio-spatiales, le Maroc a fait de la protection et du développement des oasis une des priorités de ses politiques publiques aussi bien au niveau institutionnel qu'au niveau de la société civile : i) plan Maroc Vert (PMV), ii) création de l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA), iii) initiative oasis durable (IOD, COP22 à Marrakech, iv) programmes intégrés (Ex. FIDA) et projets sectoriels, v) Réserve de la biosphère des oasis du Sud du Maroc, UNESCO, vi) système ingénieux du patrimoine agricole mondial (SIPAM, FAO), vii) diverses manifestations et interventions de la société civile, viii) coopération avec les organisations internationales (UNESCO, FAO, PNUD, UICN et les bailleurs de fonds (FA, GCF, FIDA, FEM, FFEM, Banque Mondiale ...)). L'initiative Oasis Durable de l'ANDZOA est basée sur trois piliers : i) la reconnaissance du caractère de vulnérabilité des oasis, ii) la préservation des patrimoines oasiens et

iii) actions de développement durable. Pour assurer une durabilité et une résilience dans l'avenir à ces agroécosystèmes oasiens et présahariens, il faudra pouvoir compter sur des Hommes (hommes et femmes) bien formés avec une maîtrise du savoir-faire local et qui sont ouverts sur les connaissances et les technologies modernes. La maîtrise de la gestion de l'eau est vitale et beaucoup d'efforts ont été consentis dans ce sens, mais il y a toujours un risque d'épuisement des nappes souterraines. Un effort particulier doit être fait sur le financement et la mise en place de barrages écrêteurs de crue pour la recharge des nappes souterraine.

La gestion des sols et des parcours doit aussi bénéficier d'incitations au même titre que le secteur de l'irrigation (subvention du GaG). Sur le plan économique et social, il faudra insuffer, à ces territoires, une nouvelle dynamique qui se base sur le renforcement des capacités des femmes rurales et des jeunes par la formation et l'accompagnement. C'est le cas du projet pilote startup oasis, objet du partenariat entre l'ANDZOA et l'IAV Hassan II. Ces territoires disposent aussi de grandes potentialités en terme d'énergie solaire, mais il subsiste au Maroc des difficultés juridiques et une absence de loi pour les investisseurs individuels ou en groupe (Coopératives, sociétés privées,...) de production et de vente de l'électricité solaire. L'autre défi à relever est celui d'une meilleure coordination des programmes sectoriels, notamment les secteurs sociaux et productifs. Pour l'agriculture, il faudra soutenir le développement des filières agricoles rentables, équitables et qui valorisent bien les ressources en eau, en sol, en énergie et en main d'œuvre pour limiter l'exode rural.

Un système de monitoring des ressources en eau et en sol... doit être élaboré pour suivre l'évolution des niveaux piézométriques, de l'état des sols, pour piloter cette agriculture moderniste, conseiller les investisseurs privés et locataire des terres collectives dans le cadre du Plan Maroc Vert. Les oasis sont donc un patrimoine national et même mondial et disposent de potentialités énormes, mais il faudra penser en terme de durabilité et de résilience de ces systèmes au travers du nexus eau-énergie et agriculture. Ces actions de développement doivent être accompagnées par: i) des actions de recherche pour produire des connaissances adaptées dans différents domaines: énergies renouvelables et mines, gestion de l'eau, systèmes de production agricole et filières, tourisme solidaire et écologique, artisanat des oasis et du désert et ii) Des actions de formation et d'accompagnement, surtout des femmes rurales et des jeunes dans différents domaines: pour mettre en place des projets de micro-entreprises et/ou des coopératives.

**Patrimoine cartographique national
(Programme National de la
Cartographie Géologique)**

Ahmed BENLAKHDIM

*Ministère de l'Énergie et des Mines,
Direction de la Géologie, Maroc
a.benlakhdim@mem.gov.ma*

Le Royaume du Maroc évolue désormais, grâce aux réformes multidimensionnelles menées au cours des dernières décennies, vers un nouveau modèle de développement à la fois durable et inclusif. En phase avec cet environnement marocain en pleine mutation, il convient de s'atteler à développer davantage, dans une vision novatrice, le rôle du Service Géologique du Maroc (SGM), caractérisée par la pluridisciplinarité et la transversalité de ses missions.

Le Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement est, depuis la création du Service Géologique du Maroc en 1921, l'acteur national de référence, en matière de capitalisation, de gestion et de diffusion des données géoscientifiques, et de la conduite des recherches fondamentales et appliquées concernant le sol, le sous-sol, et les ressources associées.

Le capital de connaissances qui s'en est accumulé sur le territoire national, communément appelé infrastructure géoscientifique, est d'une importance primordiale pour tout projet de développement économique et social.

Si l'expertise scientifique et technique que le SGM a développé et continue à entretenir en matière de la cartographie géoscientifique et de la recherche fondamentale, était jusqu'alors, d'un impact fort sur des divers secteurs tels que celui des mines, de l'énergie et de l'eau, le MEME s'attèle à dynamiser davantage ses missions et mettre en valeur ses tangibles apports aux enjeux des différentes stratégies de développement.

Face à la complexité croissante des enjeux à maîtriser dans la mise en œuvre des politiques publiques et à la demande d'expertise induite, le SGM est amenée à assurer le rôle d'intégrateur pour les applications géoscientifiques offrant l'appui aux politiques publiques :

Secteur des mines et de l'industrie de transformation

L'enrichissement et la disponibilité d'informations sur les ressources minérales du pays, la localisation des zones de favorabilité en substances métalliques, roches et minéraux industriels et matériaux de construction, constitue un enjeu majeur en matière

d'approvisionnement pour le secteur de l'industrie extractive et de transformation, créatrice de valeur ajouté et d'emplois.

Secteur de l'eau

Dans un contexte marqué par une augmentation de la pression sur la quantité et la qualité des ressources en eaux, le développement de la connaissance des systèmes aquifères, l'étude de leur vulnérabilité et l'évaluation de leur contamination, constituent des enjeux majeurs en matière de gestion durable des eaux souterraine.

Secteur de l'agriculture

De même, en appui au politique de gestion durable des sols, dans le cadre du Plan Maroc Vert et des Plans Agricoles Régionaux, les études géochimiques entrepris par le SGM apportent leur contribution à la caractérisation des sols et à l'identification et la quantification des polluants dans les sols et les sédiments et l'identification de leur origine.

Secteur de l'énergie

Promouvoir le développement durable des ressources géothermiques et de stockage des produits énergétiques constitue, en rapport avec la filière économique, un appui au politique publique en matière de développement des énergies renouvelables.

Le secteur du BTP et de l'aménagement des territoires

La SGM, contribue activement, par l'établissement de l'inventaire et l'identification des ressources en géo-matériaux ainsi que par l'établissement des cartes géotechniques, à répondre aux enjeux de développement et de la promotion du secteur de la construction et des travaux publics, ainsi que dans la mise en œuvre des schémas national et régionaux de l'aménagement du territoire.

Secteur de l'Artisanat

En appui à la vision du développement de l'artisanat, l'inventaire et le développement du potentiel local en géo-matériaux, contribue à la gestion durable de ces ressources en relation avec cette filière économique.

Secteur du tourisme

L'inventaire du patrimoine géologique et la recherche de partenariat visant à le promouvoir et le valoriser de manière à en faire un levier

de développement économique et social, tant à l'échelle des huit territoires touristiques qu'à l'échelle locale.

Le numérique

Le SGM en phase avec la nouvelle ère de transformation numérique dans laquelle le Maroc est bel et bien engagé, continuera à assurer le développement, la mise à disposition à un large public, la gestion et la valorisation de plusieurs bases de données géoscientifiques spécifiques.

La recherche scientifique

Les partenariats académiques furent, depuis les débuts du SGM, d'un grand apport pour la connaissance de la géologie du Maroc.

Les travaux des universitaires, permirent notamment de mieux définir les différentes unités structurales, d'en préciser la stratigraphie et leurs relations tectoniques. Le développement de la connaissance et l'innovation en géosciences ainsi que les enjeux socio-économiques associés appellent à une intensification de ses partenariats.

En phase avec la Stratégie nationale pour le développement de la recherche scientifique, le développement de structures conjointes de recherche et de service et l'adhésion à des équipes labellisées, constituent des enjeux pour la structuration de la recherche scientifique et l'optimisation des résultats.

Avenir et développement durable du patrimoine forestier Enjeux de l'interdisciplinarité de la gestion de la biodiversité

Abderrahim HOUMY

*Haut Commissariat aux Eaux et Forêts
et à la Lutte contre la Désertification
houmy@eauxetforets.gov.ma*

La préservation de la biodiversité est un enjeu planétaire. Depuis le sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, la préservation de la biodiversité a pris son essor comme l'un des enjeux essentiels du développement durable, notamment après la signature de la Convention sur la diversité biologique. La conservation de la biodiversité n'est pas uniquement une priorité scientifique ni un enjeu d'ordre éthique, mais un vrai levier de développement socio-économique et un élément vital aux sociétés

humaines, contribuant de façon effective à l'atteinte des objectifs du développement durable.

Le Maroc : un patrimoine naturel riche mais menacé, car c'est l'un des pays les plus riches en biodiversité à l'échelle méditerranéenne, a été parmi les premiers signataires des conventions relatives à la diversité biologique. Au niveau national, la prise de conscience et la volonté de conserver, développer et valoriser les ressources naturelles ne sont plus à démontrer. En effet, depuis 1994, deux ans après le sommet de la terre, le Maroc a lancé une étude pionnière à l'échelle du bassin méditerranéen dressant un état des lieux précis de la situation de la biodiversité au Maroc avec toutes ses composantes. Elle a permis également d'identifier un réseau de 154 sites d'Intérêt Biologique et Ecologique couvrant une superficie de 2.5 millions d'hectares et représentatif de l'ensemble des écosystèmes naturels marocains.

La vision actuelle du Maroc dans le domaine de la conservation et le développement de la biodiversité est bâtie sur des approches expérimentées et des benchmarks internationaux.

Conscient des évolutions que connaît ce domaine, et en harmonie avec les conventions internationales qu'il a ratifiées et les orientations de l'UICN, le Maroc a procédé à l'actualisation de son arsenal juridique en lien avec la conservation de la nature en élaborant la loi 22/07 relative aux aires protégées promulguée en 2010 et la loi 29/05 relative à la protection des espèces de flore et de faune sauvages et au contrôle de leur commerce, promulgué en 2011.

Le Maroc a également élaboré, en 2015, une Stratégie Nationale de Développement Durable dont l'objectif primordial est d'accélérer la transition progressive du Maroc vers une économie verte globale. Ceci constitue une avancée importante dans la prise de conscience, toutefois, au-delà des programmes sectoriels classiques, elle nécessite un effort particulier dans les méthodes de mise en œuvre pour atteindre ses objectifs.

L'interdisciplinarité est un impératif pour une gestion durable de la biodiversité. En effet, la sauvegarde de la valeur de la biodiversité passe nécessairement par une bonne connaissance des espèces, des milieux et des écosystèmes, à travers la mise en place d'observatoires de la biodiversité et la mobilisation des différents intervenants qui doivent travailler en parfaite harmonie. Aujourd'hui, les efforts de conservation

et de développement des ressources naturelles ne suffisent pas, à eux seuls, pour garantir leur durabilité, mais doivent être accompagnés par une politique de valorisation efficace permettant aux populations de tirer profit de ces richesses. D'où le besoin d'approches sociales et économiques adaptées.

Les modes de valorisation actuels méritent d'être réinventés et modernisés pour renforcer le lien entre la création de la valeur et la préoccupation de la durabilité et faire de la biodiversité, un contributeur à l'amélioration des conditions de vie des populations riveraines. Le Maroc dispose aujourd'hui d'une expérience singulière en matière de valorisation de certaines ressources de biodiversité. De nombreux produits sont aujourd'hui valorisés au profit des populations locales notamment les plantes aromatiques et médicinales, le caroubier, l'argan, les champignons, le liège... Toutefois, beaucoup de produits restent méconnus et non valorisés.

Seule une convergence entre plusieurs approches et plusieurs disciplines travaillant de manière ordonnée et non conflictuelle permettra de trouver des passerelles et des complémentarités entre les savoirs et d'éviter leur cloisonnement. Alors que l'interdisciplinarité est un impératif dicté par les multiples interactions entre l'être vivant et son milieu, on assiste de plus en plus à une spécialisation des différentes disciplines pour évoluer aujourd'hui indépendamment les unes des autres. L'interdisciplinarité dans le domaine de la biodiversité implique une maîtrise de l'interface des sciences de la Vie et des sciences Sociales pour expliciter les concepts de chaque type de discipline, cerner les complémentarités et les ruptures, évoquer les difficultés récurrentes et s'employer à les résoudre.

Ainsi, anticiper ce cloisonnement pour mieux l'enrayer devient un enjeu majeur. Or, pour prédire l'impact des changements environnementaux résultant des activités humaines, qu'elles en soient la conséquence directe (dégradation des ressources naturelles, surexploitation des ressources marines...) ou indirecte (changements climatiques...), il est bien sûr indispensable de connaître au préalable les limites des capacités d'adaptation des organismes vivants à ces changements. Par conséquent, les fondements de toute arbitrage ne peut se construire que dans une démarche interdisciplinaire clairement définie.

Quelle solution pour lever les enjeux de l'interdisciplinarité d'une gestion durable de la biodiversité au Maroc? Depuis plusieurs décennies, le Maroc veille de plus en plus à l'intégration de la durabilité dans les différentes politiques publiques et stratégies sectorielles.

Toutefois, la biodiversité marocaine reste confrontée à des enjeux grandissants liés essentiellement à la pression anthropique et aux besoins du développement économique. Dans ces situations, la question souvent posée est : quels arbitrages à faire donc entre ces enjeux? quel terrain d'entente entre les différents intervenants?

Il s'agit de trouver la bonne équation permettant de concilier la protection des ressources naturelles dont regorge le Maroc et les impératifs du développement socio-économique.

Il existe très souvent des conflits de perception de priorités entre les scientifiques, souvent très sectaires et fervents sur les questions environnementales et les acteurs économiques en quête de création d'emplois et de richesses.

Des efforts à renforcer : L'expérience de la gestion des aires protégées par le département des Eaux et Forêts fait appel à des approches interdisciplinaires afin de chercher la concordance entre les politiques de conservation de la biodiversité et le référentiel du développement durable. D'un autre côté, Le Département travaille toujours en étroite collaboration avec les institutions de recherche scientifique en vue de promouvoir une recherche interdisciplinaire capable d'améliorer la compréhension des aspects écologiques, sociaux et économiques des aires protégées.

Aujourd'hui, le Maroc est appelé à veiller à la sensibilisation de tous les intervenants dans la gestion des territoires: décideurs, élus, coopératives, leaders d'opinion, les économistes, les chercheurs... car l'enjeu est d'ordre national et chacun a son rôle à jouer. Le rapprochement entre les différentes disciplines dans les institutions de formation est de nature à faciliter l'arbitrage et permettre d'arriver à l'objectif commun escompté.

Le coût de la «non-intégration» de la gestion des ressources naturelles risquerait d'être onéreux car les processus naturels sont très lents et généralement irréversibles.

Perspectives du développement durable des écosystèmes présahariens

Brahim HAFIDI

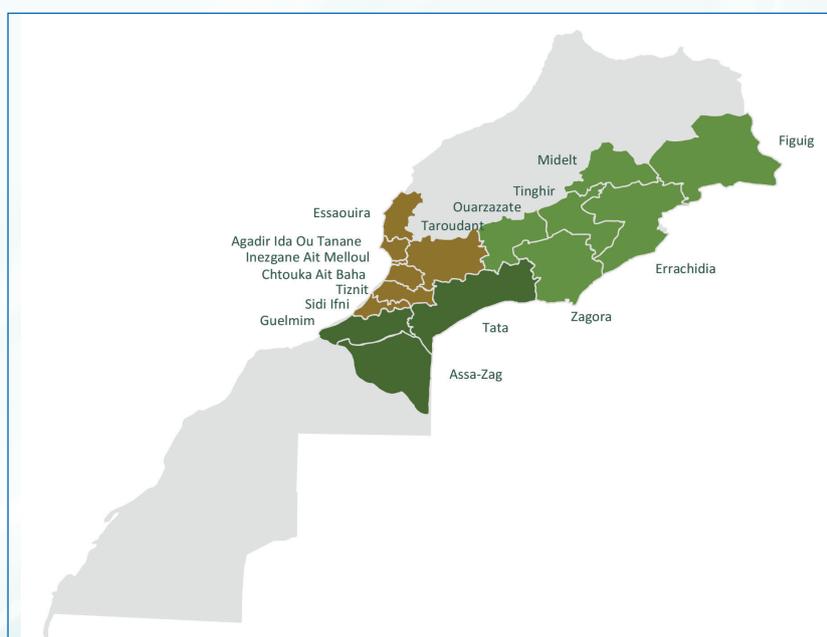
Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA)

Notre pays dispose d'un ensemble d'écosystèmes endémiques d'une biodiversité très riche et remarquable, en particulier, au niveau des zones oasiennes et de l'arganier.

Ces deux écosystèmes se trouvent actuellement sérieusement menacés par les effets des changements climatiques accentués par une forte pression sur les ressources naturelles et

particulièrement l'Eau, le Sol et la Biodiversité. Conscient de l'importance de ces écosystèmes, l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA) a été créée afin d'asseoir, avec l'ensemble des intervenants, un développement durable dans l'espace desdits écosystèmes afin qu'ils puissent continuer à jouer leur rôles socioéconomiques, écologiques et environnementaux.

L'avènement de cette agence vise à concentrer les efforts et à coordonner les actions dans un territoire vaste recouvrant près de 40% du territoire national (5 régions, 16 provinces et plus de 401 communautés territoriales) et qui présente des retards significatifs de développement.



Carte de la zone d'action de l'ANDZOA.



En effet, le diagnostic des zones oasiennes et de l'arganier avait montré que ce territoire était confronté à 3 grands enjeux :

Un enjeu de développement humain

Les Zones Oasiennes et de l'Arganier présentaient un déficit alarmant en termes de développement humain :

- Un taux de pauvreté de 14,1% contre 9,5% au Maroc;
- Un taux d'analphabétisme de 49% contre 42% au Maroc;
- Un taux de mortalité infantile de 49,1‰ contre 42,8‰ au Maroc.

De plus, le territoire était marqué par un accès restreint aux services de base, notamment en ce qui concerne l'eau potable (taux d'accès de 86,3% contre 91% au Maroc) et l'électricité (Essaouira, Figuig ou Assa-Zag avaient un taux d'électrification rurale inférieur à 90%).

Un enjeu de valorisation des ressources économiques

Le territoire présente un patrimoine riche et fortement spécialisé sur un nombre importants de produits typiques (dattes, safran, rosier, henné). Toutefois, il affichait des performances moyennes faibles et des rendements encore peu compétitifs.

- La filière de l'Arganier, quant à elle, présente un fort potentiel mais profitait peu aux populations locales. En effet, malgré les efforts de structuration de la filière, les producteurs nationaux captaient une faible partie de la valeur ajoutée (près de 17% de la VA des exportations).
- Le potentiel touristique des Zones Oasiennes et de l'Arganier était faiblement valorisé: le tourisme dans les zones rurales était un tourisme de passage (faible nombre moyen de nuitées). Ces zones étaient peu dotées en infrastructures d'hébergement et de loisirs adaptées.
- En termes de richesses minières, les Zones Oasiennes et de l'Arganier regroupent les principales zones minières du pays, et présentent une forte spécificité sur certains produits. Néanmoins, le secteur minier était encore sous exploité par le tissu des acteurs.

Un enjeu de développement environnemental

Enfin, le territoire constitue la dernière barrière contre l'avancée de la désertification. Or, le

territoire est soumis à de fortes contraintes naturelles (climat désertique, pauvreté des sols, érosion, etc.) qui sont aggravées par l'importante pression exercée par l'homme sur les ressources naturelles (surpâturage, surexploitation des boisements, extension des terres agricoles, gestion peu optimale de l'eau...). Cette situation pose un sérieux problème environnemental et doit être enrayerée, d'autant plus que le territoire abrite un riche patrimoine naturel (2 réserves de biosphère, 4 parcs nationaux, 20 SIBES).

La stratégie de développement durable des zones oasiennes et de l'arganier

Partant de ces constats, l'ANDZOA a élaboré en 2012 une stratégie ambitieuse pour le développement de ces zones. Cette stratégie, présentée devant Sa majesté le Roi Mohamed VI en octobre 2013 à Errachidia, vise le développement humain des zones cibles, la valorisation des ressources économiques, naturelles et culturelles, ainsi que la protection de l'environnement. Elle s'assigne comme principaux objectifs d'améliorer les conditions de vie de tous les citoyens et accroître leurs revenus tout en assurant la préservation des ressources naturelles et de l'environnement, et d'atteindre les valeurs cibles des indicateurs y afférents à l'horizon 2020.

Cette stratégie s'articule autour de trois axes de développement visant à rendre le territoire attractif, compétitif et préservé. Ces axes ont été déclinés en 10 dossiers stratégiques et en 45 programmes de développement comme suit :

Rôle de l'éducation à l'environnement pour le développement durable exemple du programme de Sauvegarde et de développement de la palmeraie de Marrakech

Loubna CHAOUNI-BENABDELLAH

Fondation Mohammed VI pour
la Protection de l'Environnement
l.chaouni@fm6e.or

Présentation de la Fondation et sa mission

- La Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement a été créée en juin 2001 par Sa Majesté le Roi Mohammed VI et en confia la présidence à Son Altesse Royale La Princesse Lalla Hasnaa.

- La vocation fondamentale de la Fondation est l'éducation à l'environnement et au développement durable.
- Il s'agit d'accompagner tous les acteurs/ tout public pour les aider à adopter des comportements citoyens et écoresponsables afin de construire ensemble un avenir durable, en intégrant l'enseignement et l'apprentissage des thèmes clés de l'environnement et du développement durable notamment, les changements climatiques, la biodiversité, la protection des écosystèmes, etc...
- Cet effort passe par une sensibilisation constante et l'adoption de méthodes pédagogiques innovantes et adaptées à des types d'acteurs.
- La Fondation mène un certain nombre de programmes/projets dont l'axe «Education à l'Environnement et au Développement Durable» est transversal, tels que la sauvegarde du littoral, Air/Climat, la Restauration des Parcs et Jardins Historiques...et la sauvegarde et le développement de la Palmeraie de Marrakech.

Sauvegarde et développement de la palmeraie de Marrakech

- La Palmeraie de Marrakech est classée au Patrimoine National Marocain depuis 1929 pour son intérêt écologique, socio-économique, culturel et historique, dont les premières descriptions datent de la période Almoravides.
- Elle couvrait à l'origine une superficie de 12 000 Ha qui comptaient des milliers de palmiers et d'arbres fruitiers.
- Malgré l'existence de plusieurs textes juridiques et le SDAU de 1995 qui a recommandé la définition de zones urbanisables et non urbanisables, la dégradation de cette palmeraie n'a pu être freinée.

Devant cet état de fait, sur Instructions de Sa Majesté le Roi, un programme de Sauvegarde et Développement de la Palmeraie de Marrakech a été lancé et annoncé par Son Altesse Royale La Princesse Lalla Hasnaa Présidente de la Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement le 19 Mars 2007, pour faire face aux menaces combinées de la désertification, la pression des activités humaines, du manque d'entretien, du vieillissement des palmiers et de l'absence de repeuplement.

Ce programme se propose de fédérer et d'impliquer les différentes parties prenantes au niveau local impliquées dans la gestion de la palmeraie et d'inclure la population locale et le tissu associatif à ce processus de sauvegarde participatif et inclusif. Il combine des actions de repeuplement/entretien des palmiers et l'implémentation des dispositifs d'éducation à l'environnement et au développement durable, de renforcement des capacités et des outils de gestion durable pour préserver et garder ce patrimoine culturel et naturel.

Trois axes d'intervention :

1. Repeuplement de la palmeraie par la plantation et l'entretien de 540 000 jeunes plants moyennant des pratiques contribuant à l'amélioration de la qualité du sol et préservant la ressource en eau (aménagement d'une pépinière dédié, utilisation du compost, arrosage par eaux usées traitées, pompage solaire, etc...)
2. Inclusion de la population locale et du tissu associatif :

La valorisation de l'activité d'une partie des agriculteurs de la Palmeraie par l'introduction de pratiques durables d'agro écologie, d'éducation environnementale de l'alphabétisation et formation qualifiante des femmes d'agriculteurs.

Le développement de circuits courts de commercialisation de produits agroécologiques.

La création de l'observatoire de la palmeraie de Marrakech, une association composée des résidents de la palmeraie.

3. Sensibilisation et éducation à l'environnement et au développement durable de tout public y compris le plus jeunes, par l'implémentation des programmes spécifiques tel que «Eco-Ecoles» et «Jeunes reporters pour l'Environnement» respectivement pour les écoliers et les lycéens et par le biais d'outils pédagogiques tel que le chemin pédagogique.

A date ce programme, a ainsi contribué directement à l'atteinte de 6 des Objectifs du Développement Durable à savoir :





Activités de l'Académie

Projet de mise en place de l'Institut des Etudes Avancées en Mathématiques

Le jeudi 4 juin 2020 s'est tenu, à partir du siège de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, un webinaire présidé par le Secrétaire perpétuel et auquel étaient conviés, outre le Chancelier de l'Académie, une trentaine de mathématiciens marocains exerçant au Maroc ou à l'étranger, en plus des membres du Collège des Sciences de la modélisation et de l'information, organisateur de l'événement.

Cette initiative fait suite aux conclusions du rapport établi en janvier 2019 par l'Académie et intitulé «Une politique scientifique, technologique et d'innovation pour accompagner le développement du Maroc». L'Académie y préconise un certain nombre de mesures dont celle de créer des centres de rayonnement et d'excellence autour d'une thématique où le Maroc dispose d'un réel potentiel de recherche tant en personnel qu'en équipement.

C'est ainsi que les discussions autour du projet de mise en place de l'Institut des Etudes Avancées en Mathématiques ont confirmé l'existence d'un potentiel de recherche en mathématiques dans notre pays et permis d'élaborer un ensemble de propositions (voir texte ci-après) qui donnent quelques pistes pour les premières actions à mener, des exemples pour la structuration de l'Institut ainsi que les premiers membres à pressentir.

Un Comité de pilotage a été créé à l'occasion et est constitué des membres du Collège: Omar EL FALLAH, El Maati OUHABAZ et Youssef OUKNINE.

Les mathématiques sont une discipline centrale tant de point de vue de la recherche que des retombées économiques. Elles nourrissent et se nourrissent des autres disciplines telles que la physique, chimie, informatique, biologie, médecine, économie, sciences sociales,... C'est une discipline centrale qui est au carrefour de toutes les sciences. Beaucoup de pays ont énormément investi en créant des Centres de Recherche et en attirant des chercheurs de haut niveau. Il nous semble important que le Maroc se dote d'un Institut de Recherche en Mathématiques et leurs applications. Cet Institut aura comme vocation de développer une recherche de grande qualité et jouera un rôle de catalyseur, faisant ainsi des mathématiques une vitrine de la recherche scientifique et accompagner le développement de notre pays. Il pourra s'appuyer sur un noyau de chercheurs marocains actifs et exerçant au Maroc, mais aussi sur des chercheurs marocains travaillant à l'étranger.

Au Maroc, la recherche en mathématiques jouit d'une certaine reconnaissance comme cela a été souligné dans les différents rapports de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, notamment

dans son dernier rapport intitulé "Une politique de recherche scientifique, technologique et d'innovation pour accompagner le développement du Maroc (2019)". En 2016, la part de publications marocaines en mathématiques au niveau mondial s'élève à 3, 44/1000 et se place à ce titre en tête des disciplines scientifiques (voir le rapport cité ci-dessus, page 35). L'Académie soutient la discipline par l'encouragement et le financement de jeunes marocains brillants ayant intégré les ENS en France ou d'autres établissements de haut niveau, la co-organisation avec le Ministère du concours général des sciences et techniques et aussi à travers des manifestations scientifiques dans des lycées. Enfin, et c'est le point important, l'Académie a exprimé son souhait pour la création d'un Institut de recherche en Mathématiques. Cette initiative est à saluer car elle permettra de soutenir et encourager une recherche de qualité avec l'espoir de voir l'émergence d'une véritable Ecole Marocaine de Mathématiques. Il y a des mathématiciens marocains, au Maroc comme à l'étranger, qui pourraient s'investir dans ce projet et contribuer à faire de ce Centre un lieu de rayonnement.

1. Quelques pistes pour les premières actions

Institut des Etudes Avancées en Mathématiques devra mener à bien un nombre d'actions dont voici quelques exemples.

- le soutien à une recherche de grande qualité en mathématiques, qu'elle soit de nature académique ou à finalité industrielle,
- encourager la diffusion des travaux scientifiques et la publication dans des revues internationales de haut niveau,
- le soutien à la politique d'invitation et d'échange de chercheurs, notamment en direction des chercheurs marocains de l'étranger,
- la participation des membres du Centre à la formation des jeunes aux niveaux Doctoral et Post-Doctoral (voire au niveau Master en vue de détecter les meilleurs éléments),
- l'organisation de séminaires, conférences et écoles thématiques,
- la mise en place d'un système de Chaires avec des invités pour une période entre 3 et 6 mois et l'organisation de trimestres ou semestres thématiques
- Accueil en délégation ou de type IUF (Institut Universitaire de France) de chercheurs ou enseignant-chercheurs marocains pour des périodes d'un ou deux ans sur la base d'un projet de recherche.
- l'encouragement des interactions avec d'autres disciplines telles que la Physique, l'Ingénierie, la Chimie, la Médecine, la Biologie...
- l'aide au montage de projets de recherche dans le cadre des appels d'offre au Maroc ou à l'étranger.

2. La structuration de l'Institut

Le soutien financier pour un tel Institut sera déterminant pour sa réussite. En dehors des moyens financiers, la structuration va jouer également un rôle de premier plan. Même s'il peut paraître un peu prématuré à ce stade d'avancer des pistes précises, il nous paraît intéressant de s'inspirer des exemples d'autres pays ayant mis en places des Centres de Mathématiques et qui sont de véritables réussites. Citons par exemple :

- IHES (Institut de Hautes Etudes Scientifiques) à Bure-sur-Yvette près de Paris,
- IHP (Institut Henri Poincaré) à Paris,
- ICMAT (The Instituto de Ciencias Matemáticas) à Madrid,
- CRM (Centre de Recerca Matemàtica) à Barcelone,
- IAS (Institute for Advanced Study) à Princeton,
- ICTP (International Center for Theoretical Physics) à Trieste,
- IMPA (Instituto de Matemática Pura e Aplicada) à Rio de Janeiro,
- IMPAN (Institut of Mathematics of the Polish Academy of Sciences) et Banach Center à Varsovie.

L'exemple de l'IHES est particulièrement intéressant et pourrait servir de modèle. Cela consiste à avoir un petit nombre de chercheurs permanents (une petite dizaine à long terme), beaucoup de chercheurs invités de haut niveaux, un bon nombre de doctorants et post-doctorants, une équipe administrative pour la gestion quotidienne et pour l'organisation matérielle des événements scientifiques...

3. Les premiers membres pressentis

A ce stade, nous pensons qu'il est judicieux de commencer par un petit noyau de chercheurs reconnus. L'Institut va monter en puissance et pourra accueillir un plus grand nombre de chercheurs. La liste des premiers membres pressentis est composée de: M. Abouzaid (New York), S. Adly (Limoges), M. Boucetta (Marrakech), A. Boussejra (Kénitra), A. Bouziad (Rouen), A. Chkifa (Ben Guerir), O. El Fallah (Rabat), A. El Jai (Perpignan), M. El Kahoui (Marrakech), M. Erraoui (El Jadida), K. Ezzinbi (Marrakech), J. Fadili (Caen), K. Kellay (Bordeaux), M. Lemou (Rennes), Z. Mghazli (Kénitra), N. Mir (Doha), J. Najim (Marne-la-Vallée), E.M. Ouhabaz (Bordeaux), Y. Ouknine (Marrakech), A. Rhandi (Salerno), E.H. Saidi (Rabat), D. Sbibih (Oujda), A. Zeriah (Toulouse), E.H. Zerouali (Rabat).

Le Système national d'information et de modélisation *

Khalid SEKKAT

*Université Libre de Bruxelles
Académie Hassan II des Sciences et Techniques*



Le séminaire était organisé par le Collège "Etudes Stratégiques et Développement Economique" de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en partenariat avec Bank Al-Maghrib, le Ministère de l'Economie, des Finances et de la Réforme de l'Administration, le Haut-Commissariat au Plan Humain. Il s'est déroulé le 21 janvier 2020 au siège de l'Académie. Le séminaire a réuni plus de deux cents participants dont environ 70 personnalités issues d'institutions nationales (environ 60) et internationales (environ 15) ainsi que des chercheurs universitaires ou d'établissements d'enseignement supérieur (environ 130).

L'objectif du séminaire était d'examiner l'adéquation entre les systèmes d'information nationaux et les systèmes de modélisation et ce dans le cadre des impératifs du développement humain et durable. Plus précisément, le séminaire devait éclairer les problématiques liées à :

- i) La production de l'information économique chiffrée.
- ii) La modélisation macroéconomique dans ses aspects conceptuels et appliqués.
- iii) L'exploitation de ces domaines pour la prévision et l'analyse des politiques économiques.
- iv) La gouvernance d'un monde dominé par les chiffres.

Après plusieurs allocutions de personnalités gouvernementales, paragouvernementales et académiques, le séminaire s'est déployé en 3 sessions thématiques.

Première session

La session a traité du rôle crucial des statistiques officielles conformes aux normes internationales pour permettre au gouvernement, à la société civile, et au secteur privé de prendre des décisions éclairées pour un développement humain, social et économique et durables.

Les présentations et le débat se sont focalisés sur l'évaluation du système statistique national dans le domaine économique, social et environnemental y

compris les normes de production de l'information et la gouvernance du système statistique national. Ils ont mis en évidence l'état de la coopération entre les différentes composantes du système, ses forces et faiblesses et les perspectives d'amélioration

Il en ressort, que la qualité de sa gouvernance, de son capital humain et de ses collaborations a permis au système statistique national de se positionner parmi les systèmes les plus avancés au niveau international. Il permet, en effet, de traiter des questions importantes dans des domaines aussi divers que les politiques économiques, financières et sociales, l'équilibre budgétaire, les accords de libre-échange et l'impact des programmes de développement humain,

Deuxième session

Cette session a été dédiée aux modèles utilisés pour la prévision économique et financière et pour l'évaluation d'impact des différentes décisions économiques. Les exposés et le débat peuvent être regroupés en 2 parties. La première partie a été consacrée aux problématiques conceptuelles liées à la modélisation en général et à son application aux pays en développement en particulier. La deuxième partie a été consacrée aux modèles appliqués dans 3 grandes institutions marocaines.

La première partie a d'abord mis en exergue l'émergence dans les années 2000 d'un consensus au niveau de la modélisation macroéconomique dénommé "Synthèse". Cette dernière conclue une vive rivalité entre la nouvelle économie keynésienne et la nouvelle économie classique qui a occupé la dernière décennie du XXe siècle. La Synthèse consacre l'application de l'approche d'équilibre général dynamique et stochastique au traitement des rigidités nominales et des imperfections de marché. Les quelques faiblesses empiriques qui ont marquées cette approche ne semblent, cependant, pas à même d'évincer la Synthèse.

Les débats se sont ensuite tournés vers le type de modélisation reflétant les réalités du Maroc. Ces réalités sont déterminées, entre autres, par

(*) Compte-rendu du séminaire organisé le 21 janvier 2020 par le Collège Etudes stratégiques et développement économique.

le choix du mode d'insertion du Maroc dans l'économie mondiale qui affecte sensiblement la croissance et le développement au pays. Les approches traditionnelles d'analyse ne semblent pas adaptées au fait que le Maroc est un pays en développement dont les principaux concurrents sont les pays qui sont dans la même situation. Il y a lieu de recourir à une approche institutionnaliste prenant en compte la qualité des produits et des emplois ainsi que la diversité des entreprises.

En outre, la modélisation de la croissance de l'économie marocaine n'a de pertinence que dans une perspective de développement. Celle-ci devant être appréhendée eu égard aux "pénuries humaines" en matière d'éducation, de santé, de logement, d'emploi, et tenant compte des nouvelles trajectoires liées à la transition écologique. Il en découle que le Maroc a besoin d'une approche augmentant le contenu quantitatif des modèles macro-économétriques par une "recherche" qualitative, critique et compréhensive du développement national.

Le deuxième partie a été consacrée aux modèles appliqués dans 3 grandes institutions marocaines que sont Bank Al-Maghrib, le Haut-Commissariat au Plan et la Direction des Etudes et des Prévisions Financières.

Pour Bank Al-Maghrib, la perspective d'adoption du ciblage d'inflation et la réforme du régime de change, a engendré des progrès substantiels dans le dispositif de modélisation. Actuellement, l'institution dispose, à l'instar des banques centrales modernes, d'un cadre prévisionnel intégré et articulé autour d'un modèle central d'inspiration néo-keynésienne et d'une batterie d'autres modèles. Compte tenu de leurs limites, ces modèles sont complétés par le jugement d'experts afin de formuler une décision pertinente et compréhensible.

Le Haut-Commissariat au Plan dispose d'un ensemble de modèles (économétrique, input-output et équilibre général) pour analyser et simuler les impacts des politiques économiques au Maroc aussi bien au niveau macro que microéconomique. Ces modèles sont en adaptation continue pour tenir compte des challenges liés au processus continu de développement que connaît le pays et à l'environnement international qui est devenu de plus en plus incertain et erratique.

A côté de l'éclairage des choix budgétaires de l'État, la Direction des Etudes et des Prévisions Financières s'occupe de l'évaluation des grandes réformes, contribue au débat autour du "nouveau modèle de développement national" et examine

les options de libre-échange pour le Maroc. La veille stratégique, basée sur son expertise, traite des nouveaux enjeux et des défis auxquels fait face le pays. Ses fonctions l'amènent à jeter des passerelles fluides entre la sphère académique et les départements impliqués dans les politiques publiques.

Troisième session

Ont été discutées au cours de cette session les opportunités offertes par le Big Data pour développer des modélisations économiques pertinentes, plus appropriées et plus adaptées aux nouvelles trajectoires économiques à la fois nationales et internationales.

Les débats se sont d'abord attachés à mettre en évidence l'importance du Big Data (ou encore métadonnées) et son potentiel de contribution à l'économie de façon générale et à la modélisation économétrique en particulier. Cette dernière a été illustrée sur base de l'approche empirique de la croissance endogène. Plusieurs autres exemples tirés de la littérature empirique ont été discutés. Le débat a aussi mis en évidence les problèmes liés à l'utilisation du Big Data en économie et en particulier dans les pays en développement.

Ensuite, les intervenants ont examiné une série de problèmes spécifiques que pose le Big Data en matière de statistiques publiques. Ils ont aussi débattu de comment utiliser et modéliser au mieux la profusion de données émanant du Big data y compris les projets prioritaires en préservant la confidentialité des informations privées. Il s'est avéré que les instituts de statistiques devront changer de paradigme et utiliser d'avantage des méthodes d'analyse complémentaires telles que les analyses prédictives avancées, l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique. En outre, les opportunités de collaborations nationales et internationales doivent être explorées.

La session a finalement examiné la disponibilité et la diversité des nouvelles sources d'information accessibles en temps réel, ainsi que leur utilisation pour estimer les grandes variables macroéconomiques, comme la croissance économique, l'inflation ou le marché de l'emploi, en temps réel (le "Nowcast"). Par ailleurs, les différentes techniques d'Intelligence Artificielle permettant l'analyse de diverses sources de données (texte, données satellitaires, données structurées, etc.) ont été discutées.



Appui à la recherche scientifique et technique

Made in Morocco : Industrialisation et développement

Noureddine EL AOUI

Membre Résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Le projet de recherche «Made in Morocco : Industrialisation et développement» est issu de l'Appel d'offres 2010 de l'Académie Hassan II des sciences et techniques avec un budget total de 1 587 000 DH. Le projet couvre la période 2012-2015 et il a bénéficié de deux prolongations (2016-2017 et 2018-2019). Noureddine El Aoufi (professeur à la Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales, Université Mohammed V de Rabat) est le porteur du projet. La fonction de chef de projet a été assurée, respectivement, par Noureddine EL AOUI de 2012 à 2016, Hicham HANCHANE (professeur à l'Institut universitaire de recherche scientifique, Université Mohammed V de Rabat) de 2016 à 2017 et par Nadia BENABDELJILIL (professeure à l'Ecole Mohammed V des Ingénieurs, Université Mohammed V de Rabat) de 2017 à 2019.

1. Concept et problématique

Le concept de «Made in Morocco», mis en exergue dans le programme de recherche, désigne l'ensemble de la production des entreprises opérant au Maroc quelle que soit la nationalité de leurs propriétaires et actionnaires. Le système industriel est appréhendé comme processus, dans sa dynamique interne et externe.

On est en présence d'un processus d'industrialisation, au sens strict, dans un pays lorsque la part de l'industrie augmente. Il s'agit, d'abord, d'un constat historique à l'échelle mondiale. C'est aussi une proposition dont presque toutes les théories du développement démontrent le bien-fondé. Le débat entre ces théories ne porte pas sur l'existence d'un lien entre les deux processus, mais sur le sens et l'ampleur de ce lien.

Le processus d'industrialisation du Maroc est analysé en longue période, c'est-à-dire en remontant à l'Indépendance. Cette analyse est conduite en termes de *trajectoires* faisant apparaître dans le processus long à la fois les inflexions, les continuités et les ruptures.

2. Hypothèse et approches

L'hypothèse principale du programme de recherche est que l'industrialisation est une condition nécessaire au développement.

Nécessaire mais non suffisante. Une stratégie de développement tirée par la politique industrielle implique pour le Maroc de mettre l'accent sur la qualité (du travail, des produits, des procédés, des processus), l'innovation et la recherche/développement, la coordination et l'intégration sectorielle, ainsi que sur la conjugaison des deux dynamiques marché interne/marché externe.

On s'interroge, dès lors, sur les «nouvelles configurations industrielles», mises en œuvre au Maroc depuis le milieu des années 1990, et sur leurs limites. Une telle analyse, à la fois quantitative et qualitative, ne se limite pas, pour autant, à un simple diagnostic aussi exhaustif soit-il, dans la mesure où l'analyse factuelle est sous-tendue, voire tirée par le principe théorique d'une relation consubstantielle entre industrialisation et développement. Ce dernier articulait dans une combinatoire arbitrale les différentes composantes constitutives, économique, sociale et humaine, qui le structurent et lui donnent une cohérence d'ensemble. Bref, il s'agit d'apprécier l'évolution observée sur la base du critère de *la contribution de l'industrialisation au développement économique, social et humain du Maroc*.

Quatre approches complémentaires ont été adoptées :

(i) Une analyse transversale approfondie, théorique et empirique, des problématiques et des enjeux du Maroc en matière d'industrialisation et de développement : le rôle des institutions dans le processus d'industrialisation, la variété des expériences internationales, les relations industrie/croissance/développement, la diversification et la sophistication des exportations, l'innovation, l'ancrage territorial, le financement et l'investissement, le capital humain, le rapport salarial, etc.

(ii) Une telle analyse théorique prend appui sur une enquête nationale qui a porté sur un échantillon représentatif de 600 entreprises opérant dans le secteur industriel et réparties sur cinq régions du Maroc. L'enquête porte, pour l'essentiel, sur la situation de l'entreprise, tout particulièrement en ce qui concerne les marchés, la qualité du travail, la qualité des produits, le recrutement

et la formation de la main-d'œuvre, ainsi que la recherche-développement, l'innovation et le financement.

L'enquête entreprise a été effectuée sur la base d'un questionnaire se déclinant autour des «items» suivants : (i) configuration de l'entreprise; (ii) production; (iii) marché; (iv) financement; (v) innovation; (vi) capital humain; (viii) normes; (viii) stratégie.

Deux types d'entreprises ont été prises en compte: (i) les entreprises spécialisées dans les activités d'exportation; (ii) Les entreprises produisant exclusivement pour le marché interne; (iii) les entreprises dont la production est destinée à la fois à l'exportation et au marché interne.

Trois principes ont été mobilisés : (i) principe qualité (qualité des produits, des processus et des procédés, des emplois, etc.); (ii) contenu en capital humain des investissements industriels (part de l'emploi salarié, qualifié et décent); (iii) capacité d'innovation du système productif national.

(iii) L'enquête quantitative a été prolongée par une série monographies significatives mettant en évidence les dimensions qualitatives de l'entreprise marocaine : (i) leurs trajectoires, leurs activités; (ii) la destination de leurs produits; (iii) leurs partenariats industriels; (iv) les compétences internes, le potentiel de R&D et la capacité d'innovation; (v) l'investissement et le financements; (vi) la performance et la prise de risques.

(iv) Enfin des études sectorielles englobant les industries de transformation mais aussi les métiers mondiaux et les nouveaux secteurs stratégiques établissent les «profils sectoriels» qui forment le tissu de l'industrie de transformation et l'écosystème industriel (logistique, infrastructures, énergie, etc.).

3. Outputs et livrables

Les différents outputs du programme sont consignés dans les «livrables» suivants :

(i) Un ouvrage ayant pour titre *Made in Maroc, Made in Monde* (Editions Economie critique, Rabat, 2019) composé de trois volumes.

(ii) Des publications, directement ou indirectement liées au programme de recherche, dans des supports scientifiques nationaux et internationaux.

(iii) Des thèses de doctorat soutenues dans le cadre du programme de recherche.

(iv) Une base de données originale de l'enquête «entreprises» qui constitue l'output principal du programme de recherche et le référentiel empirique des analyses effectuées.

(v) Un site web (www.Programmemadeinmorocco.ma) qui sera intégré par la suite au site web du Laboratoire Economie du développement (LED) qui a porté le programme de recherche (www.ledmaroc.ma)

3.1. Ouvrages

L'ensemble des travaux entrepris et des résultats obtenus dans le cadre du programme de recherche est consigné dans un ouvrage ayant pour titre général : *Made in Maroc, Made in Monde* (Editions Economie critique, Rabat, 2019) et composé de trois volumes.

Le premier volume intitulé *Made in Maroc, Made in Monde : industrialisation et développement* porte sur la *problématique générale* retenue, qui par définition est théorique. Il se compose de 14 chapitres théoriques et empiriques «déclinant» les divers aspects de la problématique : trajectoires d'industrialisation au Maroc, régime de politique économique, croissance et développement, capital humain, innovation, rapport salarial, compétences territoriales, besoins de financement, investissements, développement agricole, promotion des exportations.

Dans le premier chapitre, celle-ci est exposée en mettant en évidence son originalité au regard des enjeux majeurs nationaux et internationaux de l'économie marocaine, et il y est fait état des outils mobilisés et de la façon dont ils sont conjugués pour tester le bien-fondé de cette problématique générale. Dans les chapitres suivants, divers aspects de celle-ci sont passés en revue et analysés : outre une mise en perspective historique de l'industrialisation au Maroc, les différentes relations qu'un processus national d'industrialisation tirée par le développement met en jeu avec le régime de politique économique, la croissance, le capital humain, l'innovation, les formes du rapport salarial, les compétences territoriales, les besoins de financement, le développement agricole, la modalité promotion des exportations.

Le second volume ayant pour titre «*Made in Maroc, Made in Monde : l'entreprise marocaine entre marché et industrie*» traite de la diversité des entreprises industrielles marocaines, en se préoccupant de savoir si cette diversité a une coloration sectorielle marquée ou si, en accord

avec la problématique générale du programme de recherche, elle est dans une large mesure transversale aux divers secteurs dont se compose l'industrie manufacturière.

Dans une première partie, sont présentés et analysés les résultats d'une enquête nationale effectuée au cours de l'année 2015 auprès d'un échantillon de 600 entreprises opérant dans le secteur industriel et réparties sur cinq régions du Maroc. Conçue en résonance avec la problématique générale et les hypothèses théoriques, conduite par des chercheurs et des doctorants du programme et administrée sur le terrain par des étudiants de Master formés à cette épreuve, l'enquête a pour visée de fournir une description des différentes configurations de l'entreprise marocaine sur la base d'une grille d'indicateurs d'«état» et d'«évolution» ayant trait au cadre institutionnel et organisationnel, aux structures productives, aux transformations des marchés, aux facteurs de compétitivité et aux tendances observées depuis 1998. L'enquête repose sur un questionnaire portant pour l'essentiel sur la *situation* de l'entreprise, tout particulièrement en ce qui concerne les marchés, la qualité du travail, la qualité des produits, la composition, le recrutement et la formation de la main-d'œuvre, ainsi que la recherche-développement et le financement.

La seconde partie complète cet exercice d'ensemble relevant de la statistique descriptive par une série de monographies d'entreprises. Ces dernières apportent un éclairage personnalisé, en termes de trajectoires, sur certains types mis en évidence dans la première partie, sans que le choix des entreprises enquêtées ait répondu à un souci de représentativité.

Le troisième volume a pour titre «*Made in Maroc, Made in Monde : Profils sectoriels et émergence industrielle*» et se compose de 13 chapitres faisant un «état des lieux» analytique et prospectif des divers secteurs de l'industrie de transformation au Maroc. Dans le chapitre introductif est présenté un cadrage d'ensemble de la dynamique sectorielle de l'économie nationale, réalisé en mobilisant les données de la comptabilité nationale. Les chapitres suivants portent sur un certain nombre de domaines d'activités industrielles, couramment qualifiés de branches ou de secteurs. Il ne s'agit pas seulement de domaines relevant de l'industrie manufacturière, puisque certains sont des composantes de l'environnement de cette dernière (logistique, infrastructures, etc.).

3.2. Articles et chapitres d'ouvrages

- Askour K. et Sadik Y., «L'entreprise coopérative innovante et le rôle du réseautage : le cas de COPAG au Maroc», in *Le pouvoir d'innover des coopératives : Textes choisis de l'appel international d'articles scientifiques* sous la direction de Lou Hammond Ketilson et Marie Paule Robichaud Villettaz, pp. 881-893. Lévis: Sommet international des coopératives, Québec 2014.
- Benaabdelali Wail, Hanchane Said et Kamal Abdelhak, «Les inégalités du capital humain au Maroc», *Revue Maghreb-Machrek*, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), N° 211 «Education et insertion professionnelle en Méditerranée», 2012.
- Benabdeljlil N., Lung Y., Piveteau A., «L'émergence d'un pôle automobile à Tanger», *Critique économique*, N°35, Hiver-Printemps, 2017.
- Benabdeljlil N., «Apprendre dans un réseau: le cas inédit d'un fournisseur automobile marocain», *Annales des Mines-Gérer et Comprendre*, Juin, N°112, pp.55-65, 2013.
- Billaudot B. et El Aoufi N., «Les nouveaux ressorts de l'industrialisation dans la mondialisation pour les pays en développement. Le cas du Maroc», *Critique économique*, N°35, Hiver-printemps, 2017.
- El Alaoui Amine M. and Mdaghri Alaoui A., «Organizational Efficiency and X-Inefficiency: Which Role of Learning Organization, Knowledge Transfer, and Innovation?», pp. 222-241, in *Book Series Learning Models for Innovation in Organizations: Examining Roles of Knowledge Transfer and Human Resources Management*, Under direction : Fawzy Soliman (The University of Technology, Australia) (Published in the United States of America by Business Science Reference (an imprint of IGI Global). DOI: 10.4018/978-1-4666-4884-5.ch012, 2014.
- El Aoufi N., «Ainsi parlait Abdelaziz Belal», *Critique économique*, n°33, Été-Automne 2016.
- El Aoufi N, Hanchane Said, «Economie de l'éducation : une brève revue de littérature», *Critique économique*, N° 31, pp. 21-33, 2014.
- Goumrhar H., Akodad S., «Education, inégalités et croissance économique dans les pays en développement : une analyse en données de panel», *Critique économique*, N°36, 2017.

- Hanchane Said, Kamal Abdelhak, «A New Data Set of Educational Inequality in the World, 1950-2010 : Gini Index of Education by Age Group», Chapter 13, “Educational Inequality in the World, 1950–2010: Estimates from a New Dataset”, in *John A. Bishop and Rafael Salas (ed.), Inequality, Mobility, and Segregation: Essays in Honor of Jacques Silber* (Research on Economic Inequality, Volume 20), Emerald Group Publishing Limited, 2012.
- Khetar E. H., «Le processus de développement au Maroc : de l’ajustement à la rigueur», *La science en liberté, Editions Mersenne*, Volume 7, février, N° 150203 (2015). En ligne sur : http://www.sciencelib.fr/IMG/pdf/Article_science_leb_18_01_2015-2.pdf
- Piveteau A., «Le Maroc industriel dans la mondialisation : processus, trajectoires et acteurs», *Revue marocaine des sciences politiques et sociales*, «Economie politique du Maroc», Volume 14 (Hors-série), Avril 2017.
- Taouil R., «L’approche néo-institutionnaliste du développement à l’épreuve de l’émergence chinoise», *Mondes en développement*, Vol. 43, N° 169, pp. 107-120, URL : www.cairn.info/revue-mondes-en-developpement-2015-1-page-107.htm. DOI : 10.3917/med.169.0107, 2015.

3.3. Thèses de doctorat

- A. Mahfoudi, «Politique industrielle et démographie des entreprises au Maroc : cas des industries de transformation», Université Mohammed V de Rabat, 23 juin 2015 (cette thèse a obtenu le Prix AMSE de thèse 2015-2016).
- I. El Filali, «Flexibilité du travail et protection de l’emploi au Maroc», Université Mohammed V de Rabat, 07 juillet 2015.
- M. Liouaeddine, «Une approche micro économétrique pour l’évaluation des inégalités et de la qualité du système éducatif marocain», Université Mohammed V de Rabat, 29 juin 2015.
- A. Mdaghri Alaoui, «Enracinement des entreprises familiales non cotées au Maroc : application de modèles binaires univariés», Université Mohammed V de Rabat, 03 février 2017.
- E. Khetar, «Les fondements théoriques des politiques du développement au Maroc», Université Mohammed V de Rabat, 25 juin 2018.
- H. Goumrhar, «Capital humain et croissance économique dans les pays en voie de développement : une analyse empirique en données de panel», Université Mohammed V de Rabat, 17 janvier 2018.

- S. Akodad, «Institutions, croissance et développement. Une approche empirique des réformes économiques au Maroc» (en cours).
- A. El Houmaidi, «La succession au sein des entreprises marocaines» (en cours).

3.4. Base de données

Produite dans le cadre du programme, cette «Base de données» originale est mise (en ligne) à la disposition des chercheurs et du public.

3.5. Site web

Le site web ([www. Programmemadeinmorocco.ma](http://www.Programmemadeinmorocco.ma)) créé au cours du déroulement du programme sera, à l’issue du programme, intégré au site web du LED (Laboratoire Economie du Développement) qui a porté le programme au plan scientifique et mobilisé les chercheurs et les doctorants ayant contribué aux travaux du programme ([www. ledmaroc.ma](http://www.ledmaroc.ma)). Sont mis en ligne, outre la base de données, l’ensemble des notes conceptuelles et les outils méthodologiques, les documents de travail, les profils sectoriels, les thèses soutenues, ainsi que les publications issues du programme.

4. Organisation de manifestations scientifiques

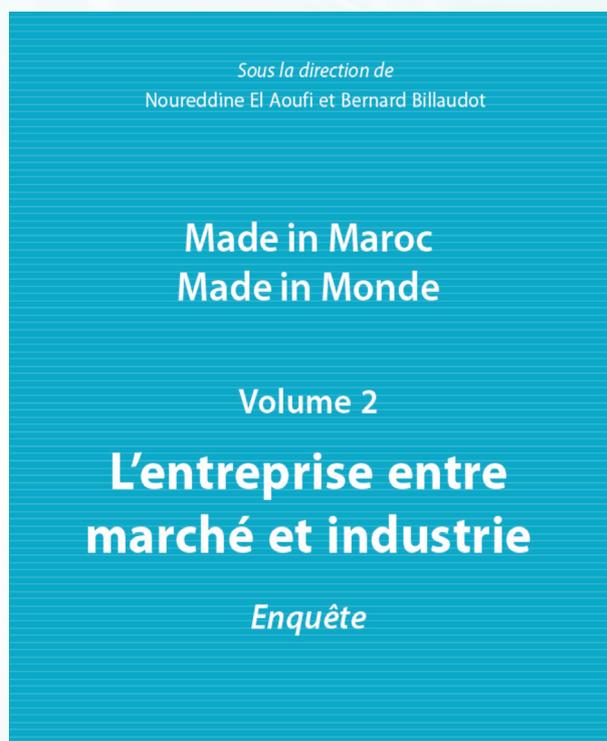
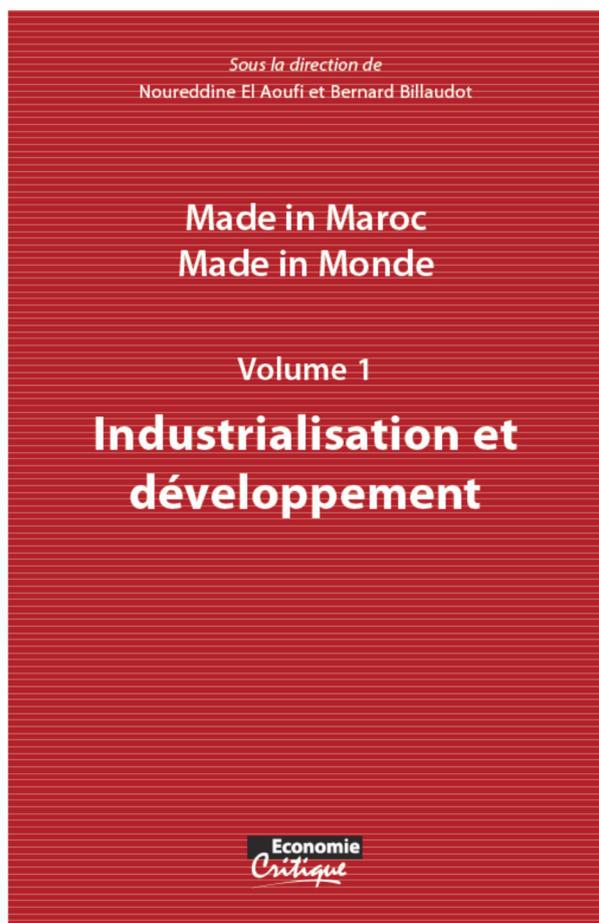
4.1. Séminaire international sur le thème «Politique industrielle et stratégie de développement économique», organisé le vendredi 12 décembre 2014 à l’Académie Hassan II des Sciences et Techniques (voir Bulletin d’Information de l’Académie Hassan II des Sciences et Techniques, n°16, Décembre 2014).

4.2. Colloque international sur le thème «Les conditions du développement industriel : cas du Maroc» organisé à la Présidence de l’Université Mohammed V de Rabat le Vendredi 29 juin 2018 (en partenariat avec l’Association marocaine de Sciences économique/AMSE).

4.3. Colloque international sur le thème «Made in Maroc, Made in Monde : les nouveaux enjeux du développement», prévu pour avril 2020 et reporté à cause des mesures sanitaires liées au Covid-19.

5. Prix et distinctions

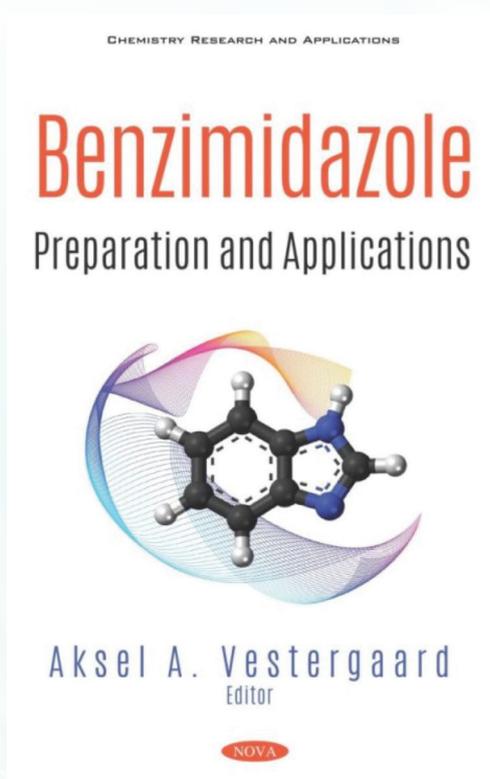
Prix AMSE de thèse 2015-2016 décerné à Anass MAHFOUDI, *Politique industrielle et démographie des entreprises au Maroc : cas des industries de transformation*, Thèse soutenue à l’Université Mohammed V de Rabat, le 23 juin 2015 et qui a bénéficié d’un encadrement complémentaire dans le cadre du programme Made in Morocco.





Nouvelles des académiciens

Pr El Mokhtar ESSASSI, resident member of Scientific College of Physics and Chemistry is among the contributors of a book entitled «Benzimidazole : Preparation and Applications»



PREFACE

Benzimidazole: Preparation and Applications first defines the structure, physical and chemical properties of the benzimidazole compound class. Further conventional and alternative synthesis methods and important reactions of these compound derivatives are illustrated with examples.

The authors provide an overview of benzimidazole-based synthetic medicine and their significant applications in treating various ailments. The chemical reactions of benzimidazole with other heterocyclic compounds/chemical reagents produce a lot of new substituted molecules, which have potential pharmaceutical applications.

A literature review is presented focusing on the synthesis of chiral compounds and their subsequent applications as therapeutic compounds in order to better evaluate the results so far.

Additionally, the authors discuss how benzimidazole derivatives play a vital role in organic light emitting diodes as emissive materials, host materials, electron transport materials, hole blocking materials, etc., and have pharmaceutical applications such as antimicrobial, antihypertensive, anti-HIV and anticancer.

Following this, this collection examines classes of potential chemosensors possessing benzimidazole moieties which are capable of both visual and optical estimation of target analytes over a broad concentration range and without interference of contemporary analytes.

Important methodologies used for the synthesis of variedly substituted benzimidazoles are presented along with their multi-target therapeutic uses.

The latest research on anti-tumor and antimicrobial benzimidazole compounds, as well as structure-activity correlations, drug design, clinical and preclinical studies is also presented.

Benzimidazole-based polymers with various architecture and copolymers are discussed with a variation of properties such as mechanical, thermal stability, thermo-oxidative stability and enhanced performance.

The penultimate chapter covers a critical analysis of the recent developments in benzimidazole framework research and the future scope of benzimidazole framework in ligand designing.

In closing, the synthesis and biological properties of coordination compounds containing benzimidazole derivatives are presented and discussed

TABLE OF CONTENTS

Preface

Chapter 1. Overview of Benzimidazole Compound Class

(Bahittin Kahveci, PhD, and İnci Selin Doğan, PhD, Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Health Sciences, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, and Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey)

Chapter 2. Chemistry and Medicinal Importance of Benzimidazole

(Mohammad Rashid and Asif Husain, Department of Medicinal Chemistry and Pharmacognosy, College of Dentistry and Pharmacy, Buraydah Colleges, Buraydah, Al-Qassim, Kingdom of Saudi Arabia, and Department of Pharmaceutical Chemistry, School of Pharmaceutical Education and Research, Jamia Hamdard, New Delhi, India)

Chapter 3. Chiral Benzimidazoles in Medicinal Chemistry: Syntheses and Applications

(Maria Marinescu, Department of Organic Chemistry, Biochemistry and Catalysis, University of Bucharest, Bucharest, Romania)

Chapter 4. Benzimidazole Preparation and Applications: Benzimidazole Derivatives in Organic Light Emitting Device

(J. Jayabharathi PhD and V. Thanikachalam PhD, Department of Chemistry, Material Science Lab, Annamalai University, Annamalainagar, Tamilnadu, India)

Chapter 5. Charged Guest Stimulated Benzimidazole Based Chemosensors

(Gargi Dhaka, PhD, and Navneet Kaur, PhD, Department of Chemistry, Panjab University, Chandigarh, India)

Chapter 6. Multifunctional Compounds: A New Journey of Benzimidazole

(Richa Minhas, Ankit Singhal, Gulshan Bansal and Yogita Bansal, Department of Pharmaceutical Sciences and Drug Research, Punjabi University, Patiala, Punjab, India)

Chapter 7. Benzimidazole Compounds with Anti-Tumor and Antibacterial Activities

(Christina-Marie Zalaru and Maria Marinescu, Department of Organic Chemistry, Biochemistry and Catalysis, University of Bucharest, Bucharest, Romania)

Chapter 8. Synthesis of Benzimidazole Based Polymeric Film for Application in Fuel Cell

(Asit Baran Samui, Institute of Chemical Technology, Nathalal Parekh Marg, Matunga, Mumbai, India)

Chapter 9. Substituted Benzimidazoles as Ligands: Recent Developments in Designing and Applications

(Aayushi Arora, Preeti Oswal, Gyandshwar Kumar Rao, Arun Kumar, and Ajai Kumar Singh, Department of Chemistry, School of Physical Sciences, Doon University, Dehradun, Uttarakhand, India, and others)

Chapter 10. Benzimidazole Derivatives: Chelating Properties Towards Transition Metals Ions and Their Applications

(Karim Chkirate and El Mokhtar Essassi, Laboratory of Heterocyclic Organic Chemistry, Pole of Competence Pharmacochemistry, Mohammed V University, Faculty of Sciences, Av Ibn Battouta, BP, Rabat, Morocco)

Pr Mohamed AIT KADI co-auteur d'un article sur les "concepts de la gestion de l'eau" publié dans la prestigieuse revue Oxford Research Encyclopedia (ORE)



"Ait-kadi, M., @ Kay, M, (2020). Integrated water resource management as an organizing concept. In Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. Oxford University Press. doi: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.598>"

Cet article est un voyage immersif à travers différents concepts de gestion de l'eau. L'attractivité conceptuelle des concepts ne suffit pas; ils doivent être applicables en prenant en compte les réalités différenciées des contextes et leurs évolutions rapides. Ainsi, au-delà des concepts, notre défi de longue date reste le renforcement de la sécurité hydrique. Il s'agit de gérer les ressources en eau pour le bien-être des sociétés et de l'environnement. C'est une responsabilité publique nécessitant une planification dynamique, adaptable, participative et équilibrée. Tout est question de coordination et de partage. Des approches multisectorielles sont nécessaires pour faire face de manière adéquate aux menaces et aux opportunités liées à la gestion des ressources en eau dans le contexte du changement climatique, de l'urbanisation rapide et des disparités croissantes. Les processus impliqués sont nombreux et nécessitent une cohérence et un engagement à long terme pour réussir.

Le changement climatique est étroitement lié aux problèmes de sécurité hydrique, de sécurité alimentaire, de sécurité énergétique et de préservation de l'environnement. Ces interconnexions sont souvent ignorées lorsque les décideurs élaborent des réponses partielles à des problèmes singuliers pris isolément. Elles font appel à des approches de planification des politiques publiques plus englobantes, capables d'apporter une clarification légitime des arbitrages nécessaires et l'évaluation du potentiel des multiples utilisations de l'eau pour faciliter le développement et la croissance. Nous devons éviter les cloisonnements mentaux en silos et surmonter l'approche fragmentaire et réductrice actuelle pour résoudre les problèmes de l'eau. Cela nécessite un changement majeur de culture et de pratique au niveau des institutions (gouvernementales et bailleurs de fonds) habituées aux partitions des problèmes de l'eau par sous-secteurs. Notre expérience de l'intégration nous enseigne que (1) nous devons investir dans la compréhension de l'économie politique des différents secteurs; (2) nous avons besoin de nouveaux arrangements institutionnels qui fonctionnent dans le contexte d'une complexité croissante, transcendant les silos sectoriels. (3) les approches descendantes pour la gestion des ressources ne réussiront pas sans des efforts ascendants pour aider les populations à améliorer leurs moyens de subsistance et leur capacité à s'adapter à la raréfaction croissante des ressources ainsi qu'à réduire les modes de production et les utilisations non durables.

