



ROYAUME DU MAROC

Académie Hassan II des Sciences et Techniques

ACTES DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE
Année 2020

Thème
Patrimoine naturel
et développement durable

Rabat, 25 - 27 février 2020



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



ROYAUME DU MAROC
Académie Hassan II des Sciences et Techniques

ACTES DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE
Année 2020

Thème :
Patrimoine naturel
et développement durable

Rabat, 25 - 27 février 2020

© Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Rabat
Km 4, Avenue Mohammed VI (ex Route des Zaers)
Rabat, Royaume du Maroc

Dépôt Légal : 2020MO4351
ISBN : 978-9954-716-15-1

Réalisation : **AGRI-BYS S.A.R.L.**

Achevé d'imprimer : novembre 2020
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, 10040-Rabat, Maroc

SOMMAIRE

Avant-propos	9
---------------------------	----------

Forword	11
----------------------	-----------

OUVERTURE DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE 13

Cérémonie officielle d'ouverture de la session plénière solennelle	15
---	-----------

Conférence inaugurale : Réflexions et actions concernant le patrimoine naturel et le développement durable

Hugo Alfonso Morán Fernández.....	19
--	-----------

SÉANCE I : VALORISATION DU PATRIMOINE GÉOLOGIQUE MAROCAIN .. 25

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	35
-------------------------------	-----------

Modalités d'inventaire du patrimoine géologique et sa protection

Ezzoura Errami	75
-----------------------------	-----------

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

Khadija El Hariri	89
--------------------------------	-----------

Discussion : Badia Bouab	102
---------------------------------------	------------

Recherche géologique, géoconservation et exploitation commerciale des sites fossilifères

Juan Carlos Gutiérrez-Marco	107
--	------------

Geoparks and geological heritage as promoters of sustainable development

José Brilha	141
--------------------------	------------

Le Géoparc de Mgoun au Maroc

Philippe Taquet	147
------------------------------	------------

SÉANCE II : PATRIMOINE MINIER ET ÉNERGÉTIQUE, ET DÉVELOPPEMENT DURABLE.....159

Le secteur minier et développement durable

Abdallah Mouttaqi 161

Discussion : Ismail Akalay 166

SÉANCE III : PATRIMOINE HYDRIQUE, PATRIMOINE FORESTIER ET EXPLOITATION DURABLE.....167

La dynamique eau et développement durable

Mohamed Ait Kadi 169

Analyse comparée de quelques écosystèmes forestiers méditerranéens et modalités de leur exploitation durable

Abdelhamid Khaldi 185

Biogéographie des espaces boisés du Maroc

Mohamed Benzyane 201

La cédraie marocaine : protection et développement durable

Omar Mhirit 215

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

Frédéric Médail 245

Discussion : Francisco Garcia Garcia 266

SÉANCE IV : ESPACES BOISÉS ET EXPLOITATION DURABLE 271

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

Ulrich Deil 273

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

Abderrahmane Aitlhaj 295

Réalités et avenir des écosystèmes oasiens et présahariens

Ahmed Bouaziz 309

Discussion : Abdellatif Khattabi 322

SÉANCE V : PANEL QUEL AVENIR POUR L'EXPLOITATION ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLES DU PATRIMOINE NATUREL DU MAROC?.....327

Modérateur : Albert Sasson

Rapporteur : Omar Assobhei

Membres du panel :

- **Patrimoine cartographique national (Programme National de la Cartographie Géologique)**
Ahmed Manar, Chef de Division à la Direction de la géologie (Ministère de l'énergie, des mines et de l'environnement)
- **Avenir et développement durable du patrimoine forestier**
Abderrahim Houmy, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Secrétaire Général, Maroc
- **Perspectives du développement durable des écosystèmes présahariens**
Mohamed Bachri, Agence nationale du développement des zones oasiennes et de l'arganier (ANDZOA)
- **Rôle de l'éducation à l'environnement pour le développement durable (exemple de la palmeraie de Marrakech)**
Samira Benabdellah, Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement
- **Débat**

SÉANCE VI : SYNTHÈSE DES TRAVAUX ET DÉBAT GÉNÉRAL335

Modérateur : Mohamed Berriane

Rapporteur : Abdelkarim Filali-Maltouf

COMMUNICATIONS AFFICHÉES345

SESSION INTERNE DE L'ACADÉMIE

Rapport d'Activité de l'Académie pour l'année 2019-2020

Omar Fassi-Fehri 411

Compte rendu de la session plénière 2020 (en français) 433

Liste des participants et des orateurs invités..... 443

Compte rendu de la session plénière 2020 (en arabe)

Message adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI (en arabe).....

Avant-propos (en arabe).....

AVANT-PROPOS

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques se propose d'aborder, en session plénière solennelle de février 2020, le patrimoine naturel et sa contribution au développement durable de notre pays. En effet, l'importance d'inventorier, de protéger, de préserver et de valoriser ce 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.

Rappelons dans ce sens les orientations qui se dégagent des discours et messages de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu L'assiste, en particulier, le message adressé aux participants à la rencontre internationale sur les changements climatiques du 16 octobre 2009.

«... Alléger les pressions sur les ressources naturelles, c'est préserver l'équilibre des écosystèmes, objectif pour la réalisation duquel notre pays est résolument engagé à travers la restauration de nos ressources forestières et de la diversité biologique, et la lutte contre la dégradation des sols, les érosions, l'ensablement et la désertification, de sorte à conserver et développer nos capacités de production et de renouvellement de nos ressources naturelles. ...».

Le patrimoine naturel peut-être défini comme suit : *«La patrimonialisation est le processus par lequel des éléments de la culture ou de la nature deviennent, à un moment donné de l'histoire des sociétés, investis de la qualité de bien patrimonial digne d'être sauvegardé, mis en valeur au profit des générations actuelles et transmis aux générations futures».*

Les branches de la thématique choisie sont multiples et variables et c'est pourquoi l'Académie a choisi de se focaliser sur quelques volets importants que sont la géologie et la forêt ainsi que 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 ainsi :

- 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 relatée de l'Archéen au Quaternaire (soit 4,5 milliards d'années). On peut mentionner la grande diversité géologique, la présence de stratotypes, de fossiles particuliers et spectaculaires ainsi que des curiosités géologiques.
- Intensifier les programmes de recherche, d'éducation et de sensibilisation pour une exploitation judicieuse et une gestion rationnelle des ressources naturelles, en premier lieu l'eau, ressource vitale et indispensable pour tout le patrimoine naturel, puis 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: Les forêts et les espaces boisés sont menacés et à cet effet, comme ailleurs, les mesures réglementaires sont-elles suffisantes?
- Comment promouvoir la recherche scientifique pour faire connaître ces richesses, mais aussi pour les préserver et les exploiter durablement? 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?

Cette problématique implique plus de recherche-développement ainsi que la coordination étroite des principaux intervenants (chercheurs, populations locales, ministères et autorités, entreprises). De plus, la définition et l'orientation des actions à mener comprennent des activités relevant de l'éducation, de la sensibilisation, de la création de sources de revenu économique et d'emplois.

Il faut enfin souligner l'urgente nécessité de préserver non seulement le patrimoine naturel marocain mais plus encore les sites d'importance globale sur les plans géologique, biologique, et écologique.

En conclusion, la session plénière de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est une occasion pour la sensibilisation des décideurs et de l'opinion publique, en vue de préserver le patrimoine naturel national. Elle peut contribuer à identifier des niches où le besoin de nouvelles connaissances scientifiques est patent. Elle est aussi une occasion pour l'échange d'expériences entre pays du bassin méditerranéen en matière de recherche scientifique, qui pourront conduire à la mise en place de collaborations nationales et internationales et de programmes de recherche pour la préservation et la mise en valeur de ce riche patrimoine naturel à travers la création de sites de grand intérêt géologique, biologique et écologique pour un développement socio-économique durable.

FOREWORD

The Hassan II Academy of Science and Technology aims to deal, in its plenary annual session 2020, with the natural heritage and its contribution to Morocco's sustainable development. Indeed, the inventory, the protection and the conservation of this natural heritage has become nowadays a necessary condition for the sustainable ecosystem balance prevailing on Earth, and consequently for life maintenance.

In this sense, the orientations that emerge from the speeches and messages of His Majesty King Mohammed VI, may God assist him, in particular, the message addressed to the participants in the international meeting on climate change of October 16th, 2009.

«... By reducing the pressure on natural resources we shall preserve the balance of our ecosystems. This is why our country is strongly committed to restoring forests, conserving biodiversity and fighting land degradation, erosion, sand encroachment and desertification. The aim is to preserve and develop our capacity in terms of natural resource production and regeneration. ...».

Natural heritage could be defined as such: *“Heritage inclusion or making is the process through which cultural and natural elements become, at a certain moment of societies’ history, entrusted with the quality of a heritage good that must be safeguarded, and valued to be the benefit of the present generations and transmitted to the future ones”.*

Natural heritage includes a diversity of domains with their specific problems. Henceforth, the Academy has decided to focus on some areas: geology, forests (woodlands), and water resources.

In Morocco, the relation between natural-heritage preservation and sustainable development is a complex issue that could be presented as follows:

How to conserve this heritage with a view to keeping the title of Morocco as “the geologists’ paradise”, as it is often mentioned? Morocco is considered from the geological viewpoint as one of the countries where the story of the globe can be deciphered from the Archean to the Quaternary era (i.e. over 4.5 billion years). In this respect, one could mention the large geological diversity, the presence of stratotypes, of spectacular and peculiar fossil artifacts, as well as geological curiosities.

Intensify research, education and awareness programs for judicious exploitation and rational management of natural resources, first and foremost water, a vital and essential resource for all natural heritage, then flora and fauna.

Due to the risk of rapid degradation of forest or woodland ecosystems, which are the measures that seem most appropriate to preserve them and ensure their sustainable management?

What to do to put an end to the degradation, sometimes irreversible, of these natural resources and richness? Fossil artifacts as well as minerals are often looted, sold and even exported. Forest and woodlands spaces are threatened, and here, as elsewhere, are the present regulations sufficient?

How to promote scientific research with a view to improving the knowledge of this wealth, to protecting and managing them in a sustainable way? What is the social role of scientists in the search of a reasonable balance between a permanent inventory (survey) of natural resources and their management in sustainable-development projects or programs?

How to make the local populations adhere to natural-heritage preservation and to involve them in the process, the objective being the sustainable development of the resources?

All the problems mentioned above imply more research and development, as well as the close coordination among the main actors (researchers, local populations, relevant ministries and authorities, corporations). Moreover, the design and orientation of the actions to be carried out include activities dealing with education, awareness, income and job creation.

Finally, the plenary session of the Hassan II Academy of Sciences and Technology is an opportunity to raise awareness among decision-makers and public opinion, to preserve the national natural heritage. It can help identify niches where the need for new scientific knowledge is obvious. It is also an opportunity for the exchange of experiences between Mediterranean countries in scientific research, which may lead to the establishment of national and international collaborations and research programs for the preservation and enhancement of this rich natural heritage through the creation of sites of great geological, biological and ecological interest for sustainable socio-economic development.

OUVERTURE DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE

OUVERTURE DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE

Pr. 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 Ouauoucha; Je les remercie vivement d'avoir accepté notre invitation et je leur souhaite la bienvenue. Nos remerciements vont aussi aux représentants du corps diplomatique présents parmi 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»**.

Nous adressons nos vifs remerciements aux Présidents des Universités marocaines, aux doyens et directeurs des établissements universitaires qui nous honorent de 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 toutes 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 parmi 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 qui domine 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, de 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.

CONFÉRENCE INAUGURALE : REFLEXIONES Y ACCIONES RELATIVAS AL PATRIMONIO NATURAL Y AL DESARROLLO SOSTENIBLE

Hugo Alfonso MORÁN FERNÁNDEZ

Secrétaire d'Etat à l'Environnement, Espagne



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 Académicos,

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.

fgde 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.

SÉANCE I
VALORISATION DU PATRIMOINE
GÉOLOGIQUE MAROCAIN

OÙ, QUAND, POURQUOI ET COMMENT EST APPARU L'HOMME? LES RÉPONSES DU DISCOURS SCIENTIFIQUE

Yves COPPENS

*Membre associé, Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*

Professeur au collège de France



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 pondaient 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'arboricolisme; 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 considérerait 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 paléo-génétique 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 hominins, 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).

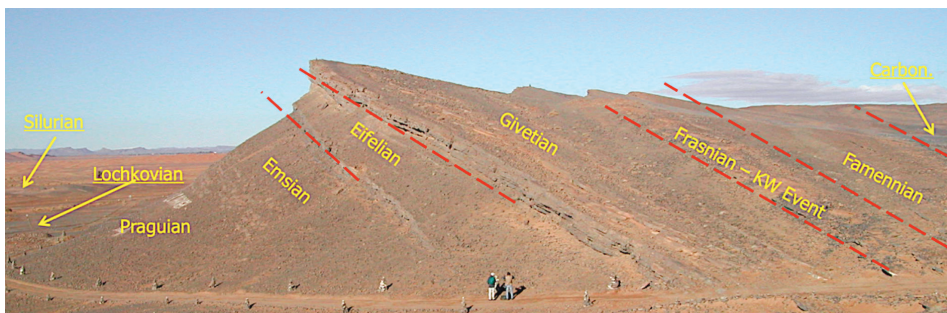


Figure 1 : Un exemple de patrimoine in-situ - Panorama ouest-est de la terminaison sud du Jbel Bouchrafine (au sud d'Erfoud- Anti Atlas), montrant la coupe complète de la période dévonienne et les bio-événements associés (le Kellwasser notamment).

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 orogènes:

- 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).

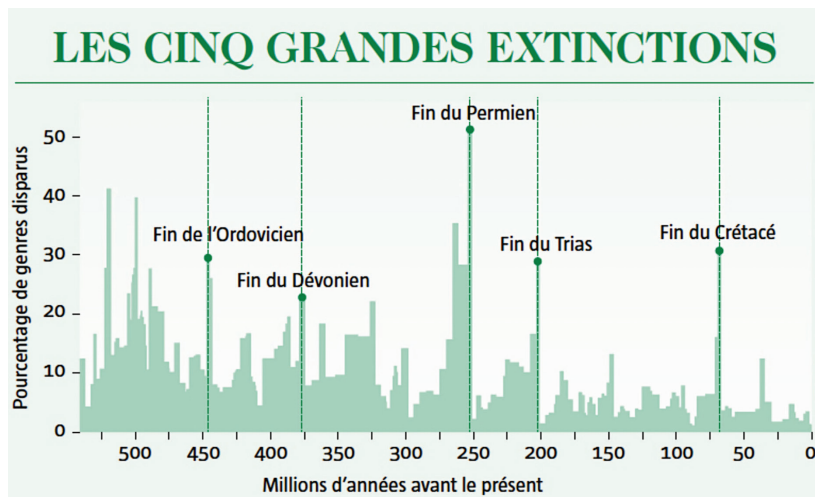


Figure 2 : Diagramme montrant les cinq principales extinctions qu'a connue la planète Terre. Ce graphique, selon *Boundless Biology* du 8 janvier 2016¹, représente les extinctions marines, car ce sont elles qui fournissent les meilleurs points de comparaison. Il s'agit des genres et non des espèces. 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 massifs, 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 caractérise la géologie du Maroc. Outre les phosphates qui occupent les régions de Khouribga-Oued Zem, Benguerir 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.

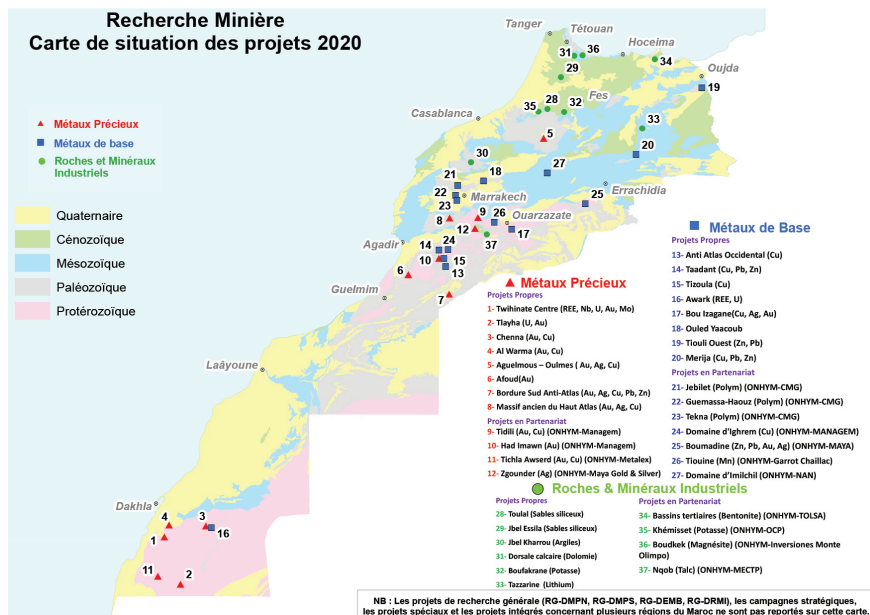


Figure 3 : Carte montrant la situation des différents projets miniers au Maroc (ONHYM, 2020)

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) :

- Le domaine Saharien (Précambrien);
- Le domaine de l'Anti – Atlas (Précambrien – Hercynien);
- Le domaine de la Meseta et des Atlas (Haut et Moyen) : Calédonien – Hercynien – Alpin;
- 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).

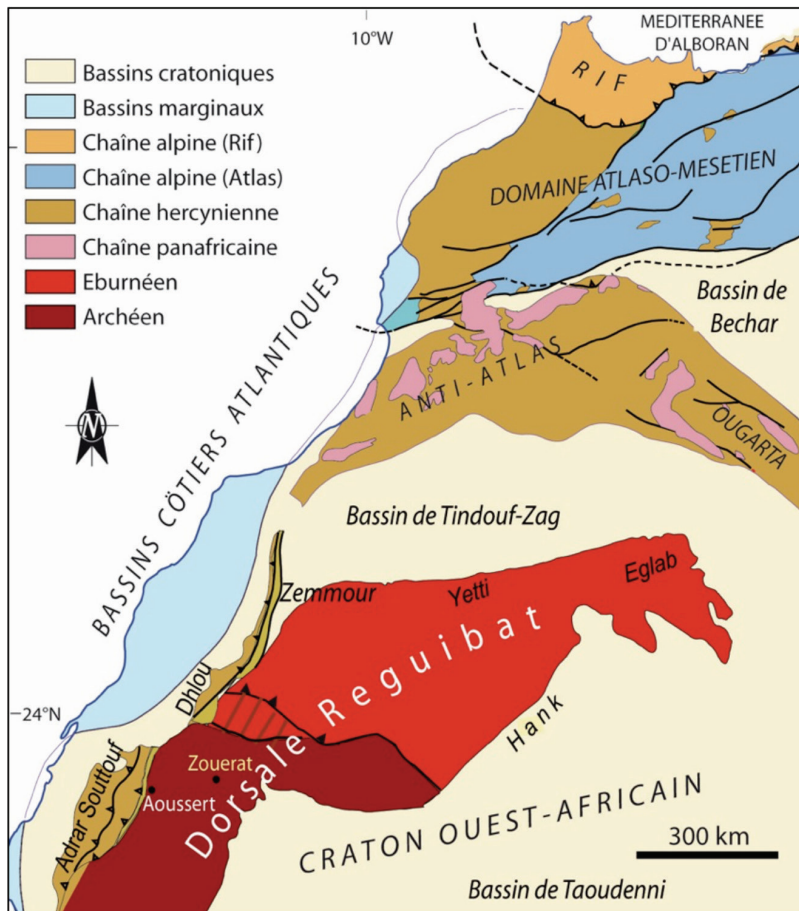


Figure 4 : Les domaines structuraux du Maroc (in Michard et al., 2008)

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 Réguibate, où l'Archéen est dominé par les gneiss et les roches granitiques; alors que l'Eburnien se compose de roches granitiques et métasédimentaires du Paléoproterozoïque. 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 Néoproterozoïque au Cénozoïque, soit environ 1 Ga, sans aucune lacune interne).

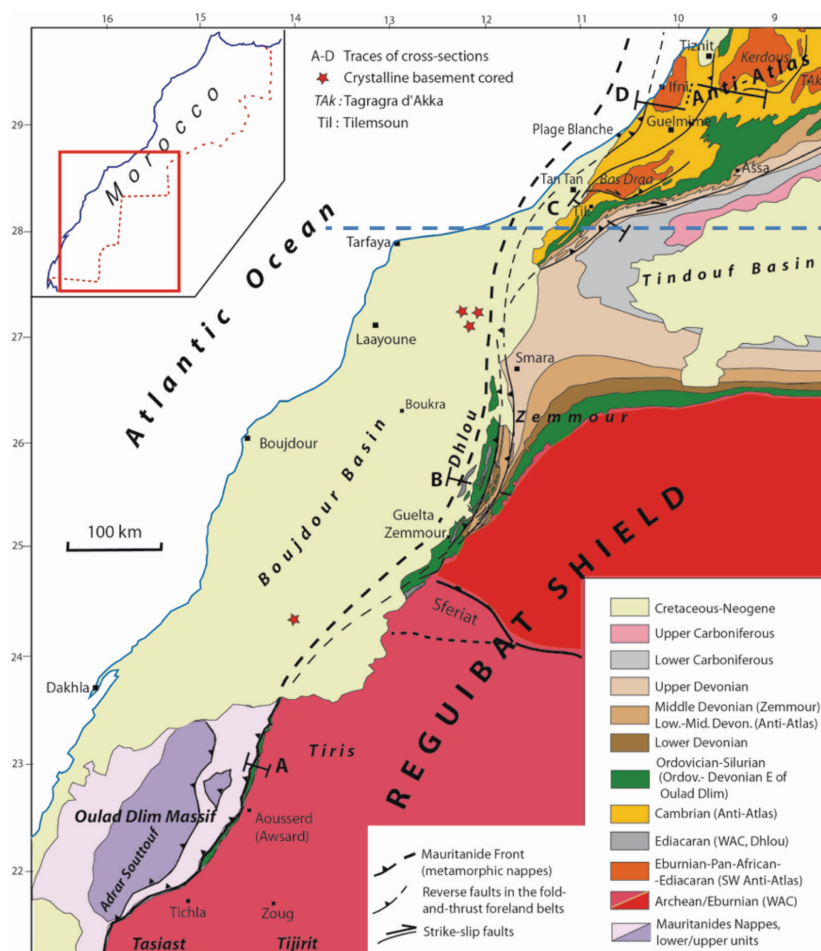


Figure 5 : Carte géologique simplifiée du domaine saharien (in Rjimati et al., 2011)

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).

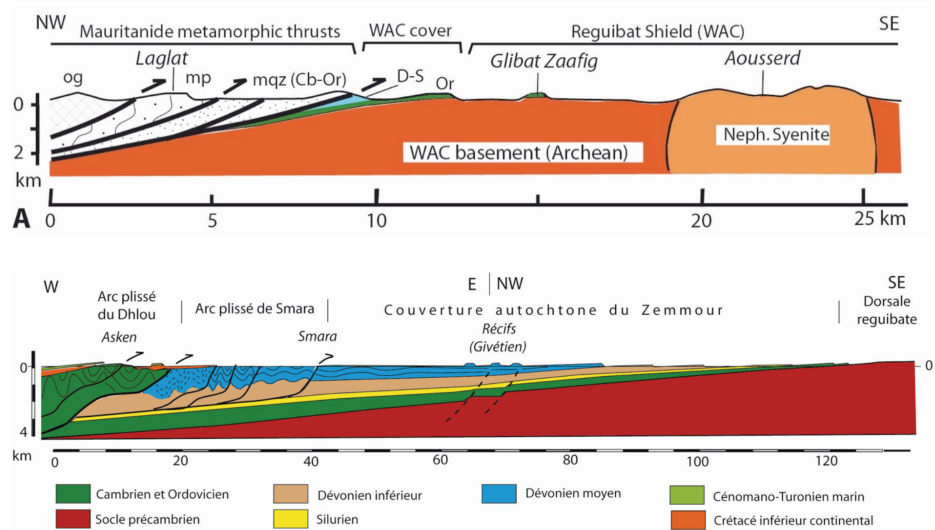


Figure 6 : Coupes montrant le type de structures géologiques dans le domaine saharien (d'après Rjimati et al., 2011)



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).

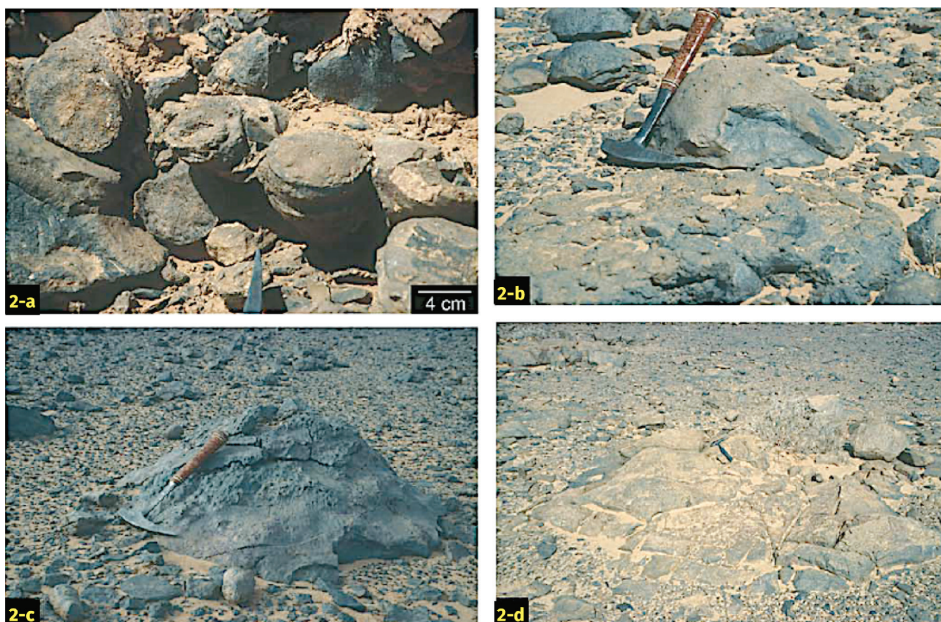


Figure 8b : Photos montrant les structures stromatolitiques : coral genus “*Mesophyllum*” (2-a); stromatoporoides en dômes (zone récifale) (2-b); stromatoporoides en dôme (détail) (2-c) et large stromatoporoides (2-d) (le Marteau comme échelle).

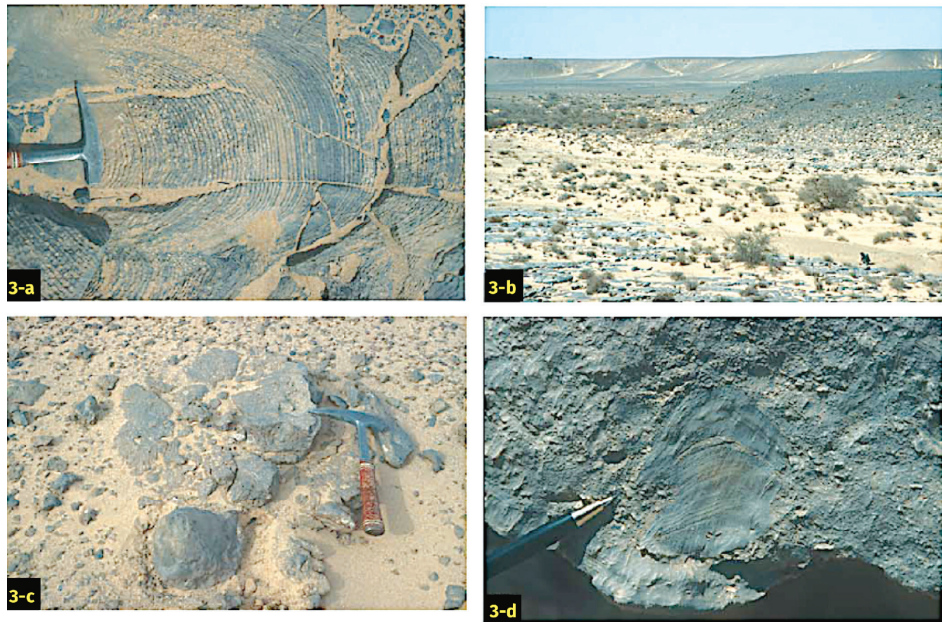


Figure 8c : Photos montrant les exemples de stromatoporoides (3-a, 3-c et 3-d) bien conservés avec des bandes de croissance, dans la partie supérieure de la section à Sabkhat Lafayrina aux alentours d'un des gigantesques mud-mounds (3-b) dévoniens au SE de la ville de Smara.

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 Cénomanien 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 Sebkhata Gueran (2018), située à l'intérieur de ce bassin.



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 Tafilalet 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, Iggherm, Zenaga, Bou-Azzer, Saghro et Ougnat. 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.

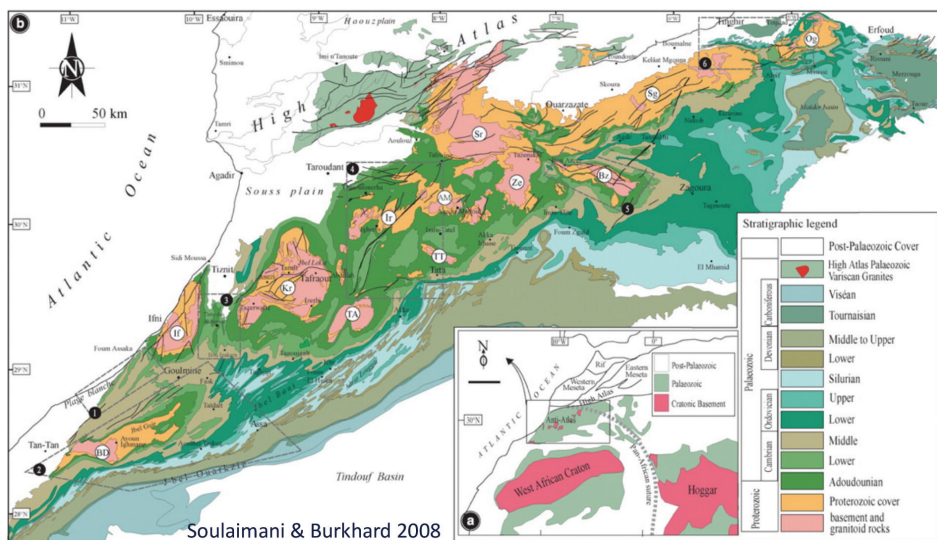


Figure 10a : Carte géologique simplifiée du domaine de l'Anti Atlas (d'après Soulaimani et Burkhard, 2008) qui montre un ensemble de boutonnières précambriennes sur lesquelles affleurent les épaisses séries du Paléozoïque.

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) (Figures 10b et 10c).

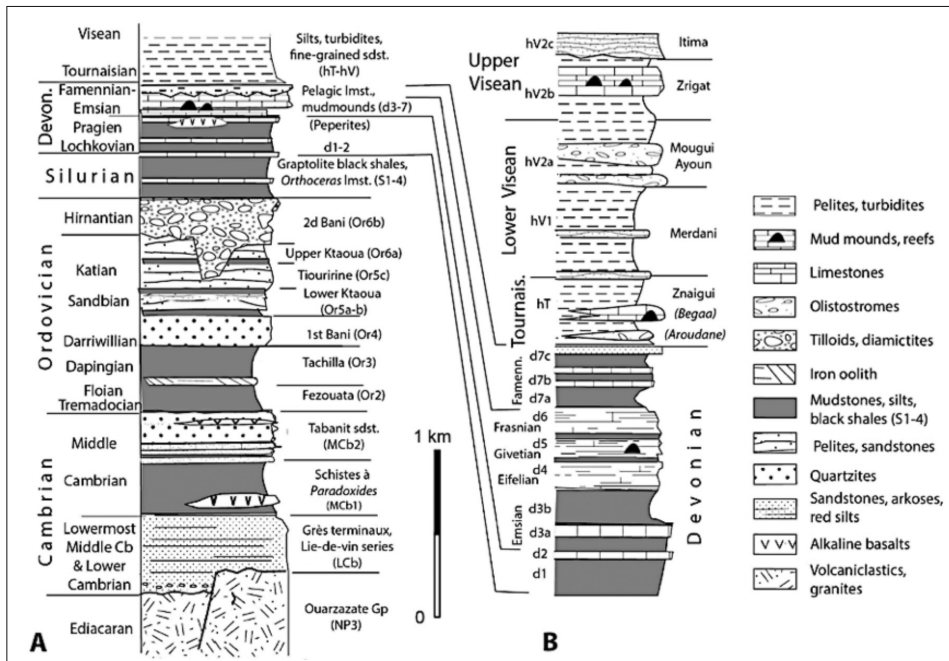
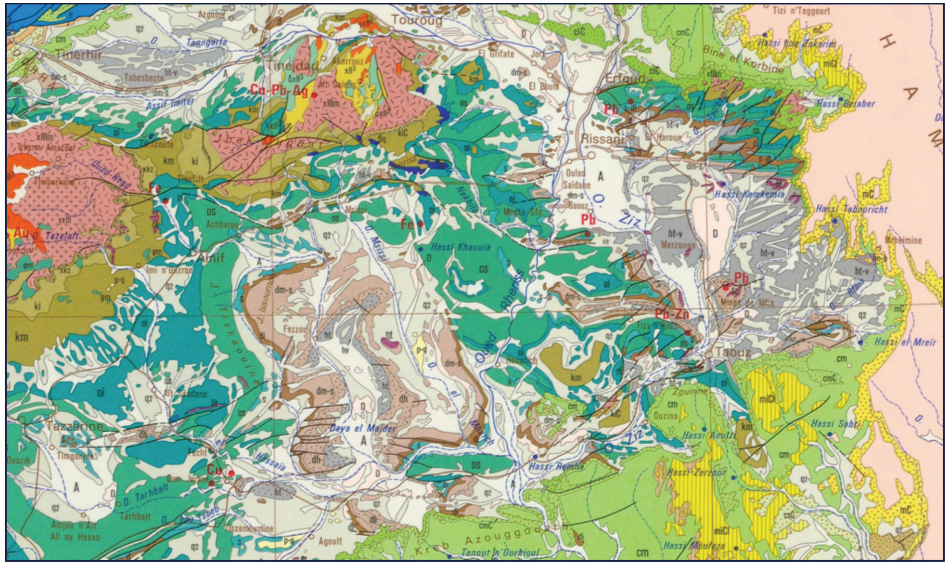


Figure 10b : Tranchée de recherche fossiles – Image-Sat (Apple-maps) : la flèche jaune montre les traces de fouille/recherche de fossiles.



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 (Schipocrinites) 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 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).

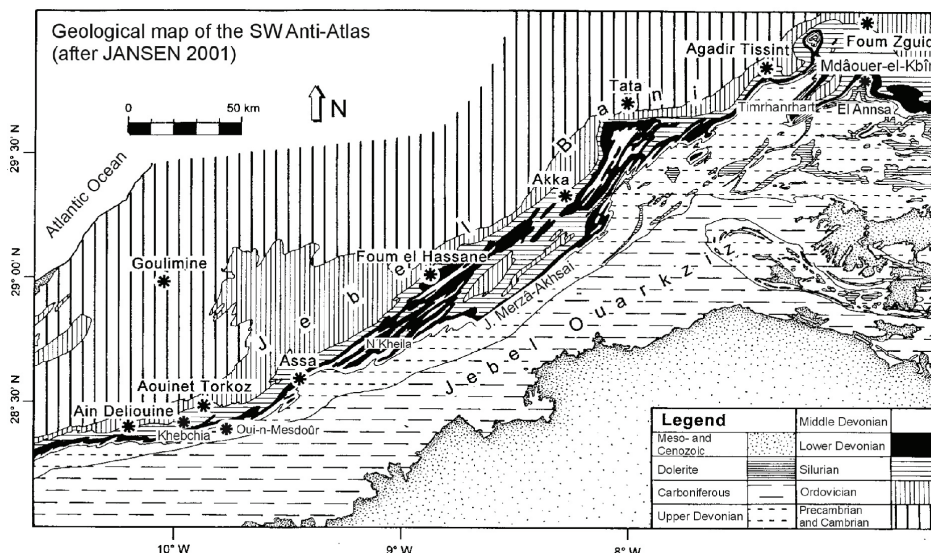


Figure 14 : Carte géologique simplifiée de la partie ouest de l'Anti Atlas (Vallée du Draa) in Jansen (2004)



Figure 15a : Photos montrant les séries continues du Dévonien du Tafilalet 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 tangentielles 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).

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 Tafilalt) dont les effets de l'orogénèse hercynienne sont minimes par rapport à ceux de la Meseta marocaine (Michard, 1976; Baidder et al., 2019), matérialisées par des plis à grand rayon de courbure (décamétrique à kilométrique) et des failles.

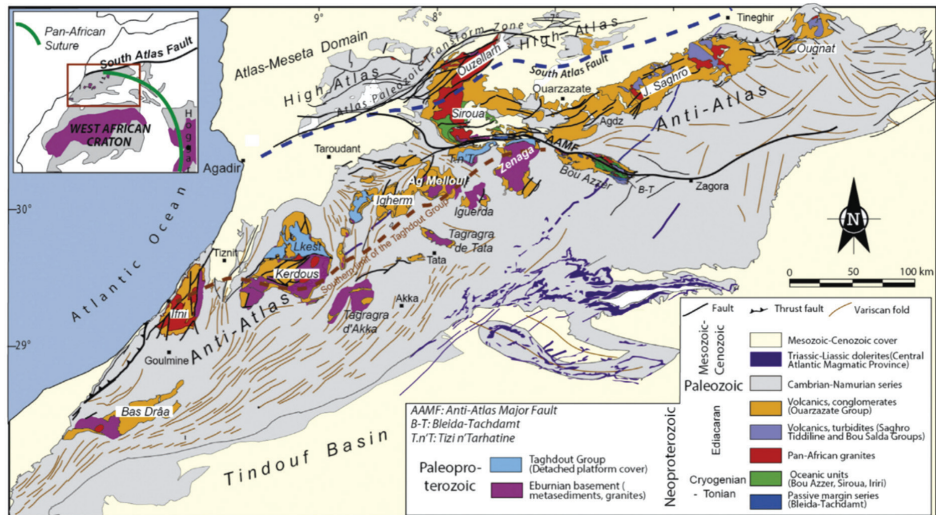


Figure 17 : Carte montrant la position de l'accident majeur, attestant de la fermeture de l'océan précambrien moyen (d'après Gasquet et al., 2008)

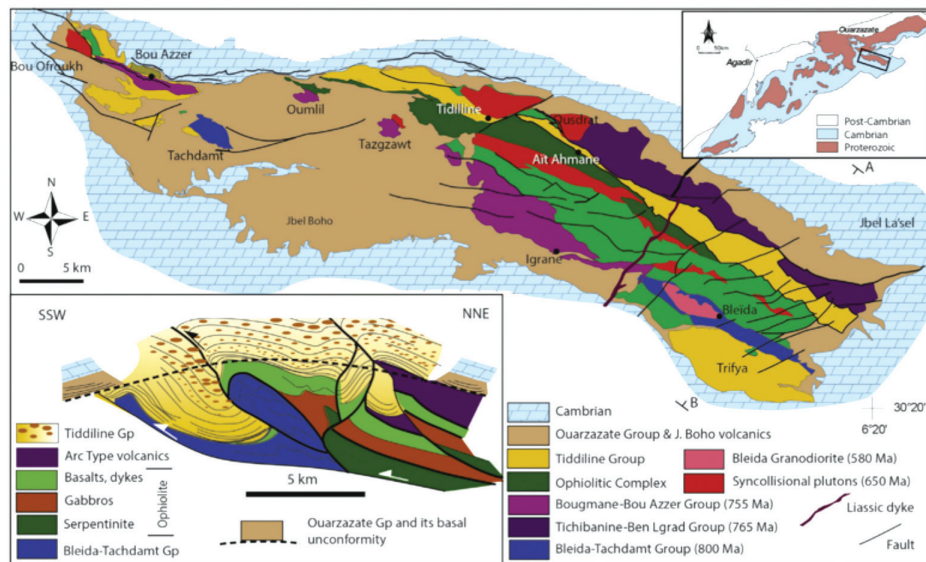


Figure 18a : Carte de la boutonnière de Bou Azzer, montrant le style tectonique de la région englobant le cortège ophiolitique – in Soulaïmani et al. (2018)

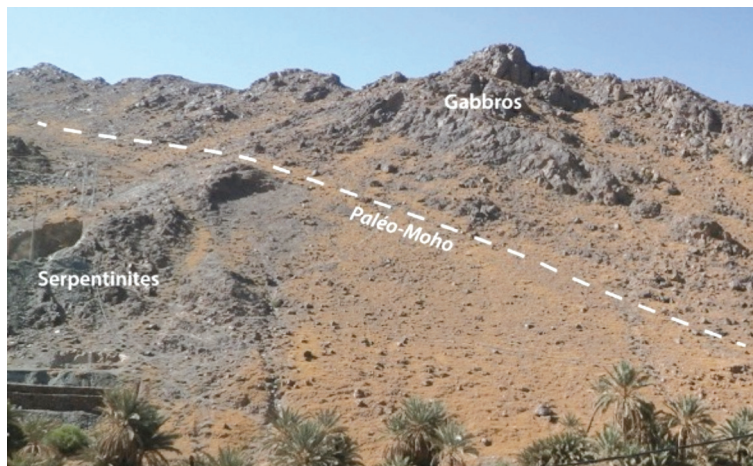


Figure 18b : Photo montrant la position (accident majeur) du paléo-Moho, séparant les gabbros des serpentinites (photo Michard)

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).

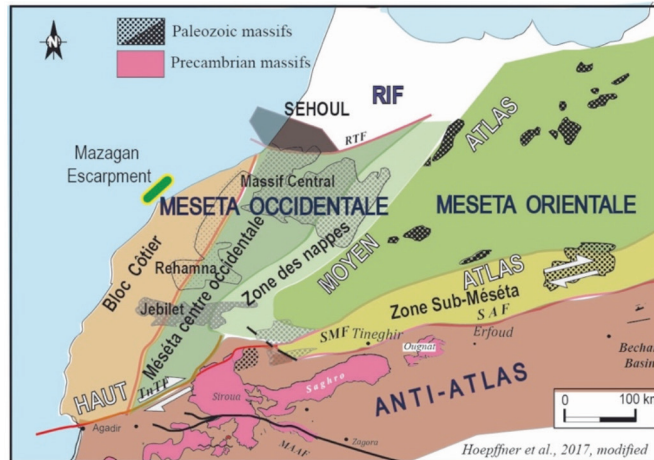


Figure 19 : Carte montrant les différentes zones de la Meseta marocaine (d'après Hoepffner et al. 2017)

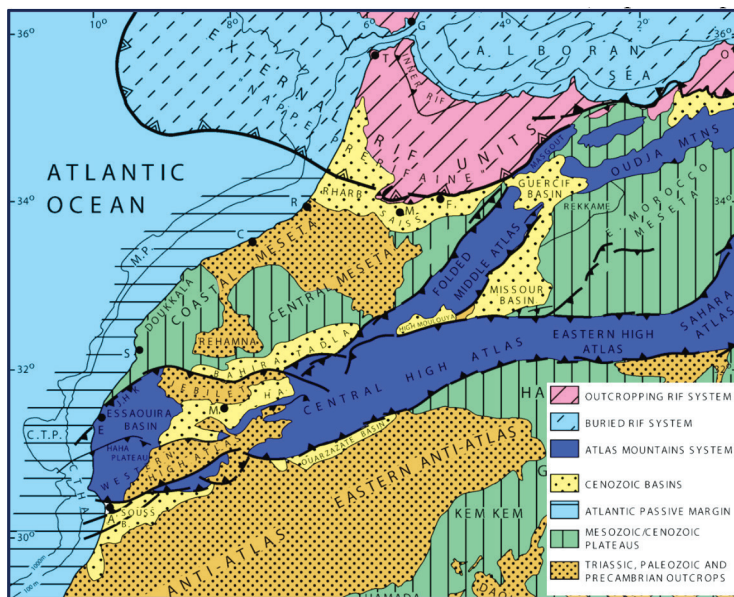


Figure 20 : Physiographie du domaine de la Meseta et de l'Atlas (Hafid et al. 2006)

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).

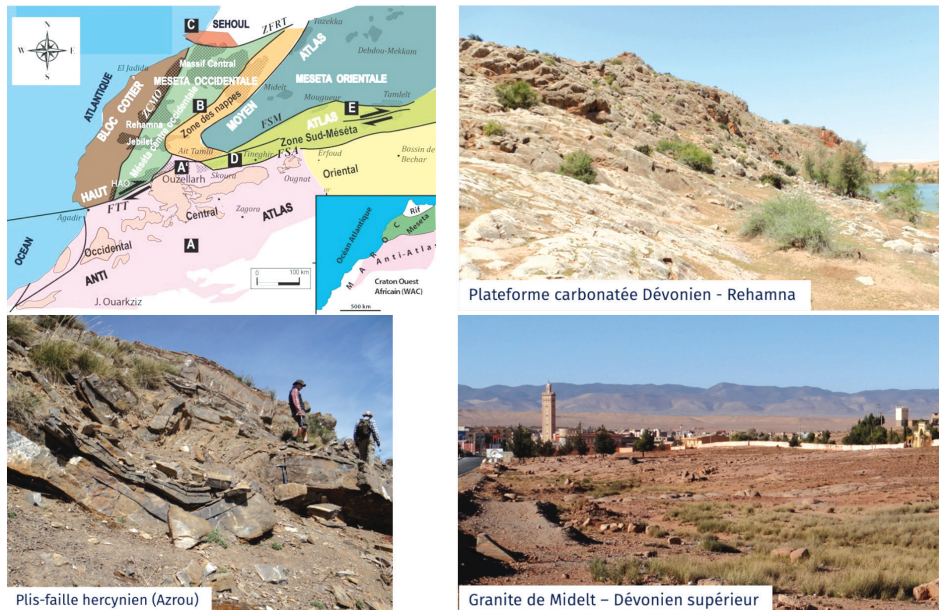


Figure 21 : Carte des zones constituant la Meseta marocaine, avec les calcaires récifaux des Réhamna (Mechra Ben Abbou), les plis hercyniens dans la région d'Azrou et le granite hercynien précoce de Zaida (Meseta orientale)

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 Sehoui 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 Sehoui 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.

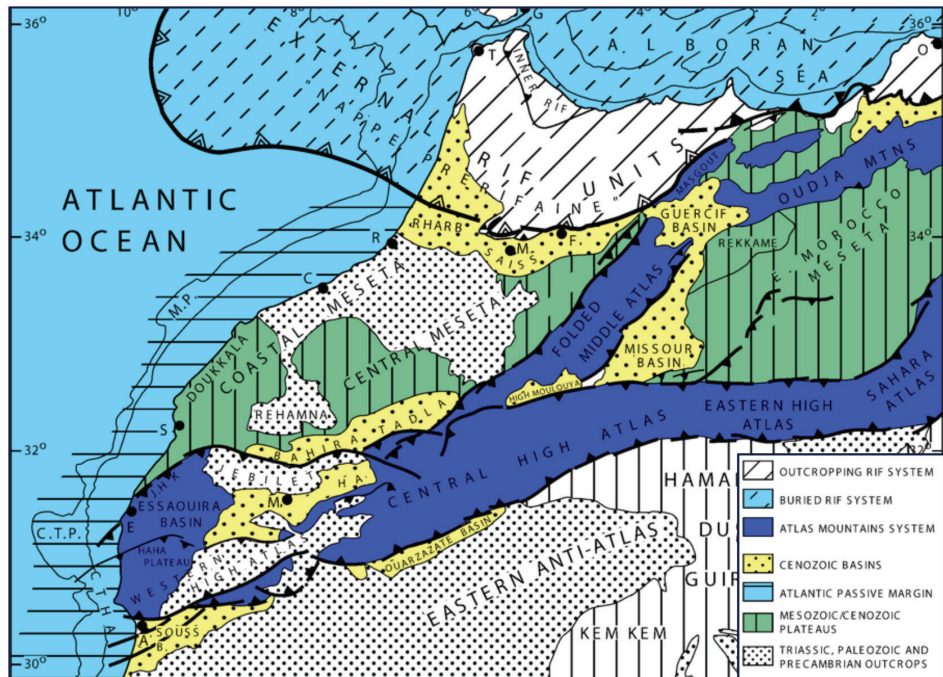
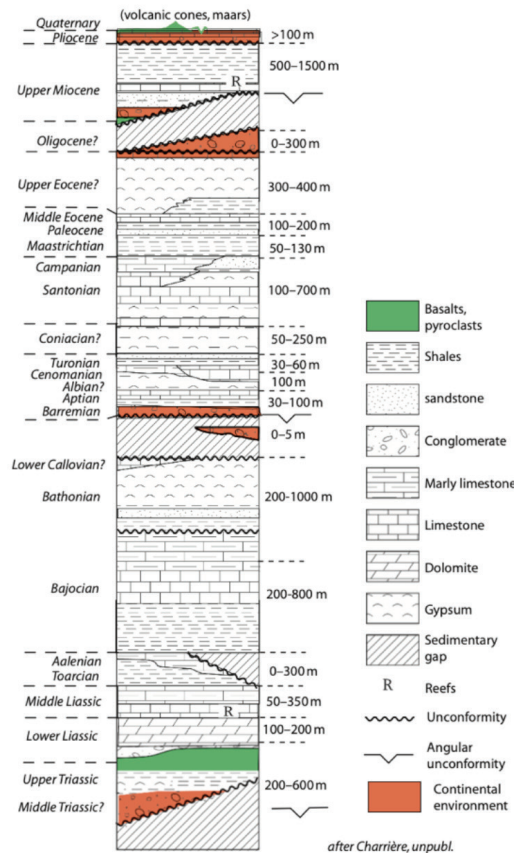


Figure 22 : Les différents composants de la chaîne atlasique
(adapté de Hafid et al. 2006)

Stratigraphie du système atlasique (Figures 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'argilites triasico-liasiques et/ou intrudée par les intrusions jurassico-crétacées.



after Charrière, unpubl.

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 Foug 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 Béni Snassen (Moyen Atlas nord-oriental : Grotte du chameau – Zegzal)

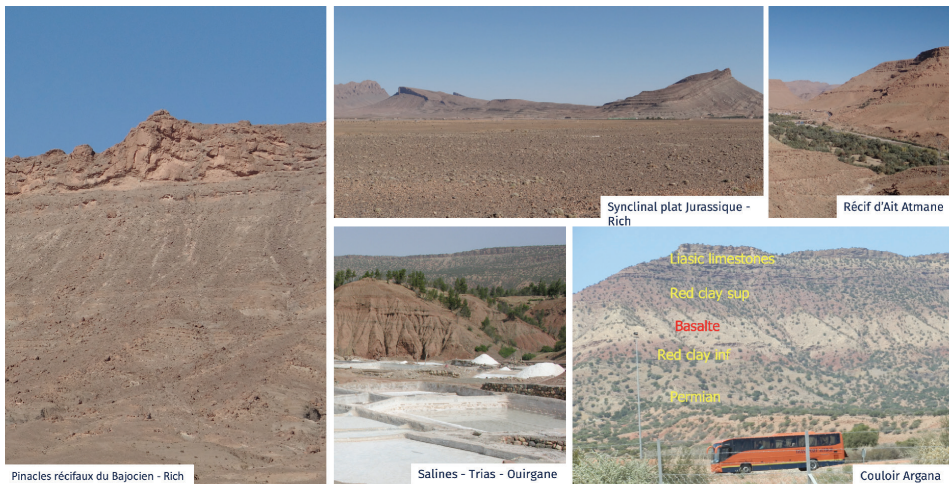


Figure 25 : Photos montrant quelques séries stratigraphiques continues, le style de déformation syn-sédimentaire et tectonique, ainsi que les lacs salifères dans le Trias de Ouirgane, Haut Atlas de Marrakech

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 (Figure 26).

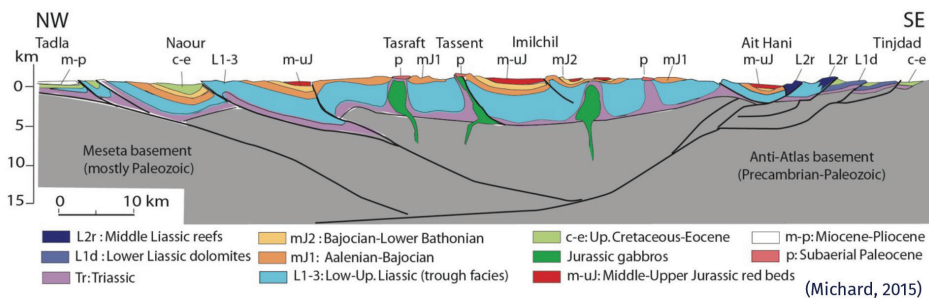


Figure 26 : Style tectonique de la transversale NW-SE du Haut Atlas
(d'après Michard et *al.*, 2015)

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 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

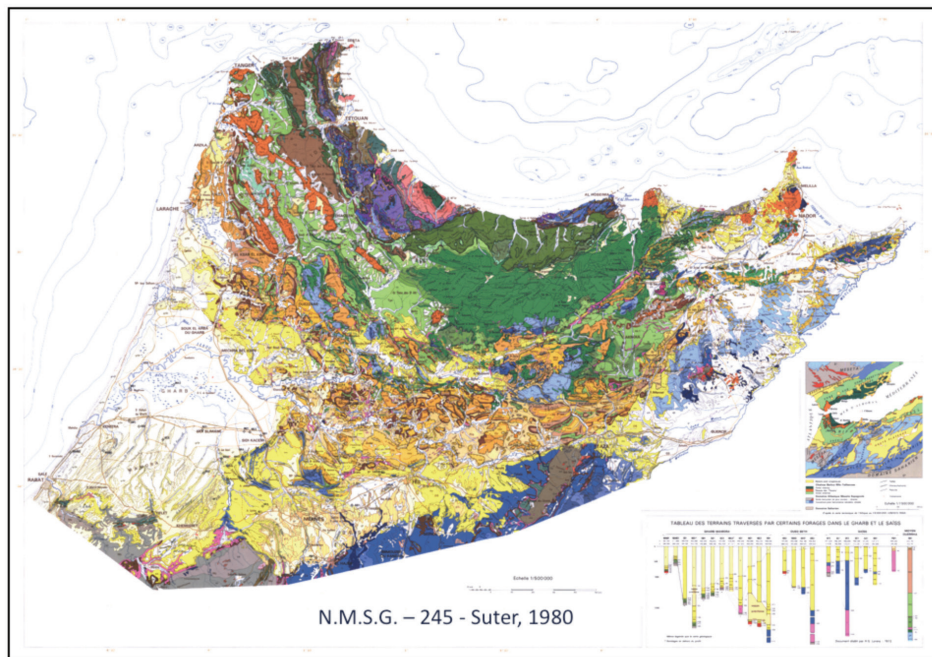


Figure 28 : Carte géologique du domaine rifain montrant une structure arquée (Suter, 1980)

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) :

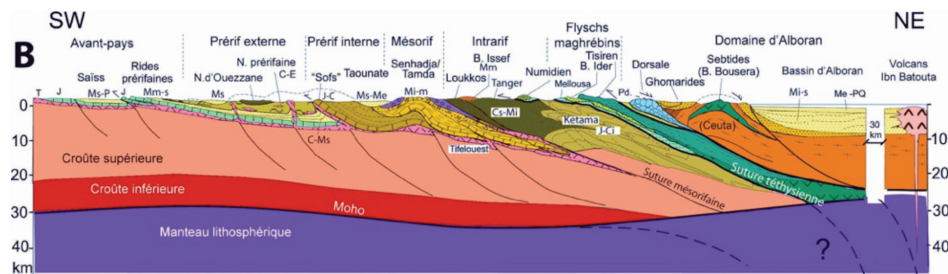


Figure 29 : Coupe crustale interprétative (Chalouan et al., 2008)

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).

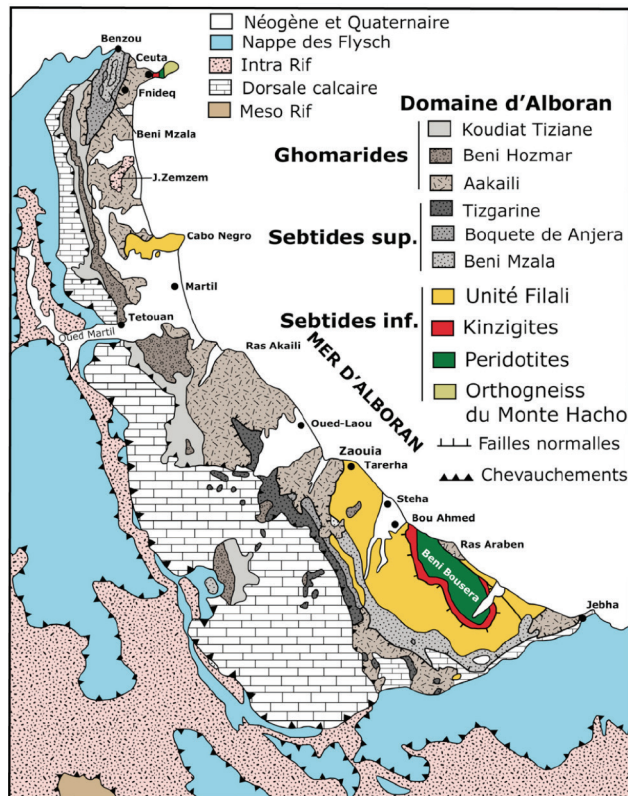


Figure 30 : Carte montrant les différentes composantes du Rif interne (in Afiri, 2011)

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

La Dorsale calcaire, dominée 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

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, illustrées 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.

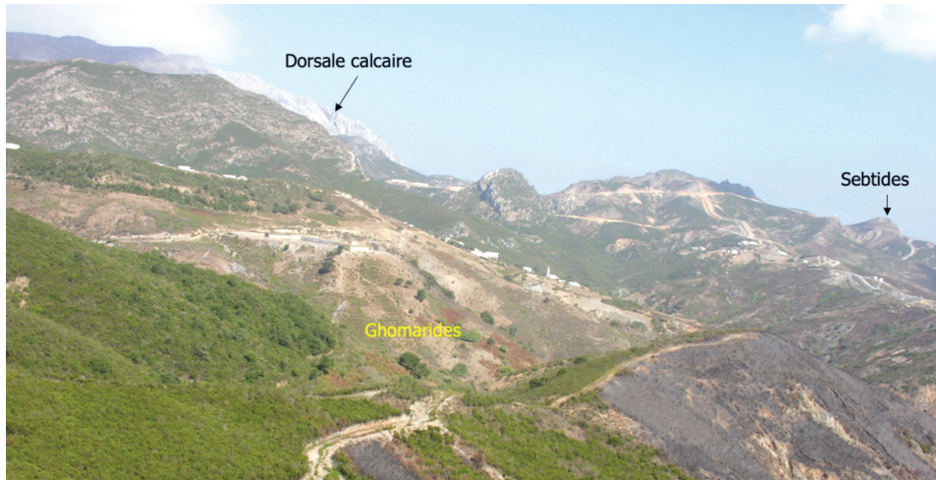


Figure 31 : Panorama montrant les 3 constituants du Rif interne (du NE au SW : les sebtides, les Ghomarides et enfin la Dorsale calcaire).

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) : Sebides (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 Sebides 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).

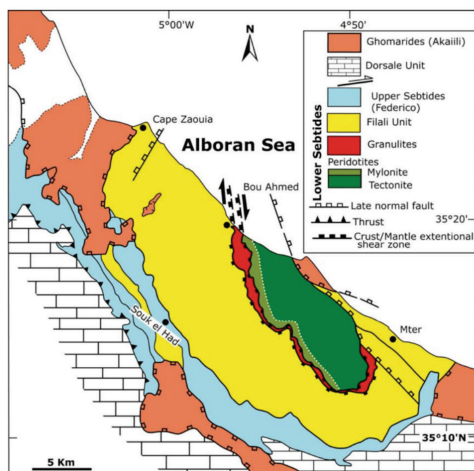


Photo des péridotites (Saddiqi)



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)

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.

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 recherche et 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 pistes de Théropodes de Ait Iouaridene

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, permettent 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 Zaghloul, 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 Dévonien du Tafilalt, 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., Aït 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., Baïdider, L., Ibouh, H., Bba, A.N., Soulaïmani, A., Gaouzi, A., Maacha, L., (2019). Fractures distribution and basement-cover interaction in a polytectonic domain: A casestudy 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., Ouanaïmi 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., Rjmati, 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 a 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. & Frizon-de-Lamotte D. (2008). *Lecture Notes in Earth Sciences; Continental Evolution: The Geology of Morocco*, Springer, 424p.
- Migon P. (2018). Chapter 13 – Geoheritage and world heritage sites. in *Geoheritage: 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 Beni 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.
- Soulaimani 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).
- Soulaimani, A., Ouanaïmi, 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., Amame A., Elboudali N., Rage J.C., De Lapparent De Broin F., Kaoukaya A. & Sebti S. (2018). Middle Eocene vertebrates from the sabkha of Guern, 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. & Meslouh 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.

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*



Résumé

Les pratiques et les modalités de l'inventaire, de l'évaluation, de la géoconservation et de la valorisation des géosites et des géomorphosites permettent la promotion de leur utilisation pour le développement socio-économique et socio-culturel local durable. L'inventaire permet aussi d'adopter des stratégies innovantes et adaptées pour, assurer la durabilité des géosites et des géomorphosites, les rendre importants et attrayants aussi bien pour le public que pour les décideurs et d'en faire un levier de développement à travers la promotion d'une nouvelle niche touristique, le géotourisme et la création de géoparc.

Le Maroc de par sa situation géographique est doté d'une géodiversité riche et variée qui lui a valu l'appellation «Paradis des géologues». Cette géodiversité nécessite un inventaire systématique et une évaluation pour lui permettre de jouer un rôle de levier de développement dans plusieurs régions surtout celles qui souffrent des effets liés aux changements climatiques.

Mots clés : *patrimoine géologique, géoconservation, géotourisme, géodiversité, méthodologie d'inventaire*

I. Introduction

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) (Figure 1). 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 plusieurs 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. En se référant à Davallon (2014), «la patrimonialisation est un processus socio-culturel, juridique ou politique par lequel un espace, un bien, une espèce ou une pratique devient un patrimoine digne de conservation et de valorisation». La patrimonialisation est donc un outil au service du développement des territoires.

Cet article vise à donner une idée générale sur la méthodologie de l'inventaire, de l'évaluation et de valorisation des géosites et des géomorphosites en donnant la situation du Maroc comme exemple.



Figure 1 : Quelques plantes endémiques vivant sur un sol en cours de formation dans un climat subsaharien (Anti-Atlas, Maroc)

II. Méthodologie de l'inventaire et de l'évaluation des géosites

Le passage de la géodiversité au géopatrimoine commence par un inventaire et une évaluation des valeurs scientifiques, qui constituent les valeurs centrales, et/ou des valeurs additionnelles. L'importance de ces dernières varie en fonction des objectifs de l'évaluation. La géodiversité qui est rare et/ou qui recèle d'une valeur scientifique, éducative, esthétique et culturelle est considérée comme un géopatrimoine. Ce dernier est défini comme l'ensemble des sites géologiques (géosites), géomorphologiques (géomorphosites) et d'objets géologiques (ex-situ) d'intérêt local, régional, national ou international.

Par conséquent, plusieurs méthodes d'inventaire ont été développées à l'échelle internationale pour inventorier et évaluer la géodiversité (Grandgirard, 1995; Wimbledon *et al.*, 1995; Rivas *et al.*, 1997; Alexandrowicz and Kozłowski, 1999; Panizza, 2001; Coratza and Giusti, 2005; De Wever *et al.*, 2006; Ruban, 2010; Fuertes-Gutierrez and Fernandez-Martinez, 2010; Lima *et al.*, 2010; Fassoulas *et al.*, 2012; Brilha, 2016; Sellier, 2016; Arrad *et al.*, 2020). Ces méthodes portent principalement sur l'aspect scientifique des sites (Rivas *et al.*, 1997; Grandgirard, 1999; Bonachea *et al.*, 2005; Coratza and Giusti, 2005). D'autres méthodes combinent l'évaluation de la valeur scientifique centrale et de plusieurs valeurs supplémentaires telles que les valeurs culturelles, écologiques et économiques ou les valeurs d'usage et de gestion (Panizza and Piacente, 1993; Pralong, 2005; Serrano and Gonzalez Trueba, 2005; Pereira *et al.*, 2007; Bruschi and Cendrero, 2009; Pereira and Pereira, 2010; Brilha, 2016; Reynard *et al.*, 2016). Ces méthodes d'évaluation ont été utilisées pour des inventaires régionaux ou nationaux et les résultats obtenus ont permis de proposer des alternatives de gestion pour promouvoir le géopatrimoine. Il n'existe actuellement aucun consensus sur une méthode unique et universelle (Reynard, 2009; Brilha, 2016) étant donné que chacune des méthodes privilégie un ensemble de critères par rapport à d'autres.

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.

Si on se réfère à l'article L.411-5 du code de l'environnement français, instituant le lancement de l'inventaire du patrimoine naturel, modifié par Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 - art. 124, l'inventaire du patrimoine naturel consiste à inventorier les richesses écologiques, faunistiques, floristiques, géologiques, minéralogiques et paléontologiques. Cet article définit les tâches de toutes les parties prenantes. A ce propos, l'Etat assure la conception, l'animation et l'évaluation. Les régions sont associées à la conduite de cet inventaire dans le cadre de leurs compétences. Les collectivités territoriales peuvent contribuer à la connaissance du patrimoine naturel par la réalisation d'inventaires locaux. Ces derniers sont conduits sous la responsabilité scientifique du Muséum national d'histoire naturelle. Au Maroc, l'inventaire du géopatrimoine est coordonné par la direction de la géologie du ministère de l'énergie, des mines et de l'environnement, équivalent des services géologiques africains et européens.

Ensuite, une méthodologie d'inventaire national est élaborée puis validée, ainsi que des groupes de collaborateurs-experts sont constitués pour inventorier, faire la sélection préliminaire, étudier, décrire et délimiter les sites d'intérêts géologiques. Une sélection définitive des sites est faite suite à une évaluation de leurs valeurs scientifiques et additionnelles (écologiques, esthétiques, culturelles, éducatives, touristiques, économiques... etc). 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.

III. La géoconservation et la valorisation du géopatrimoine

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 de protection 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, sur son état, son importance, puis sensibilisés, éduqués et formés dont l'objectif final est 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, 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 se référant au Réseau Africain des Géoparcs (AGN), un géoparc est un territoire où le patrimoine géologique et géomorphologique associé à toutes les autres composantes patrimoniales est utilisé pour promouvoir un développement humain et socio-économique local durable et une paix durable sur le continent (Errami et *al.*, 2015). Autrement dit, les géoparcs sont des outils de valorisation, de protection et de conservation du patrimoine géologique et géomorphologique. Ce sont des lieux de sensibilisation, de conscientisation et d'éducation des populations locales et des décideurs locaux pour leur permettre de répondre aux aléas de la nature (volcanisme, séismes, tsunamis, glissement de terrain, changements climatiques...), de minimiser leurs impacts en adoptant des stratégies inclusives des aménagements des territoires et d'adopter les bonnes pratiques environnementales.

Comme la majorité des géoparcs sont localisés dans les zones rurales, ils constituent à travers le géotourisme, une opportunité de développement local réduisant ainsi les inégalités entre les régions rurales et urbaines et diminuent l'exode rural.

Le géotourisme, est un terme utilisé depuis le début des années 1990, bien que ses activités précurseur remontent au 17^{ème} siècle. C'est une niche touristique relativement nouvelle avec un potentiel important pour le développement socio-économique local durable. Le géotourisme est un tourisme durable principalement axé sur les caractéristiques géologiques, qui favorisent la compréhension, l'appréciation et la conservation environnementale et culturelle. Cet objectif est atteint à travers l'élaboration de géoroutes, l'organisation des visites guidées et des géoactivités, l'interprétation du paysage (Figure 2), le geofood...etc (Newsome & Dowling, 2010). Le géotourisme est défini comme un «tourisme qui soutient et renforce l'identité d'un territoire, en prenant en considération sa géologie, son environnement, sa culture, sa beauté, son patrimoine et surtout le bien-être de sa population» Déclaration d'Arouca - Congrès international de Géotourisme (Portugal), Novembre 2011.



Géoparc Kizilcahamam-Çamlıdere (Turquie)



Géoparc Chablais (France)

Figure 2 : Exemples de panneaux interprétatifs

IV. Initiatives internationales relatives au géopatrimoine

Au vu de son importance pour les objectifs de développement durable fixés par les Nations Unies et à atteindre d'ici 2030, plusieurs organisations internationales ont commencé à s'intéresser au géopatrimoine. En 2015, l'UNESCO a créé le «Programme international de géoscience et géoparcs», et a adopté le label «Géoparcs mondial de l'UNESCO». De la même manière, pour figurer sur la liste du patrimoine mondial, un site doit satisfaire au moins un critère parmi les dix critères de sélection définis dans les orientations guidant la mise en œuvre de la Convention du patrimoine mondial. Cependant, sur les dix critères, seulement un est dédié au géopatrimoine. Ce dernier stipule qu'un site peut être classé patrimoine mondial s'il satisfait les conditions suivantes à savoir «être des exemples éminents représentatifs des grands stades de l'histoire de la terre, y compris le témoignage de la vie, des processus géologiques en cours dans le développement des formes terrestres ou d'éléments géomorphologiques ou physiographiques ayant une grande signification (Article VIII).

L'Union Internationale des Sciences Géologiques (IUGS), qui encourage la coopération internationale dans le domaine des sciences de la Terre en lien avec la société, a créé, en 2016, la Commission Internationale sur le Géopatrimoine. Cette dernière permet à l'union de collaborer activement avec les autres initiatives mondiales liées au géopatrimoine. Toutefois, l'Union Internationale de la Conservation de la Nature (IUCN) qui est surtout dédiée à la conservation de la biodiversité, commence à prendre conscience de l'importance d'une gestion intégrée du patrimoine naturelle avec ses composantes biotiques et abiotiques, et a initié un groupe de spécialistes en géopatrimoine «IUCN WCPA Geoheritage Specialist Group (GSG)». Ce dernier fournit des conseils spécialisés sur tous les aspects de la géodiversité en relation avec les aires protégées et leur gestion.

Egalement, plusieurs organisations et réseaux régionaux, nationaux et internationaux ont vu le jour durant les dernières décennies et ont pour objectifs la recherche, la formation et la valorisation du géopatrimoine tels que le Réseau Africain des Géoparcs, PROGEO...

V. Situation au Maroc

Le Maroc est un pays qui, doté d'une géodiversité remarquable de ses paysages et de ses formations géologiques, qui s'étend sur plus de trois milliards d'années. Sa géologie reflète son évolution sédimentologique, magmatique et tectono-métamorphique avec différents témoins de subduction, d'obduction, des séquences stratigraphiques, des niveaux fossilifères et des paysages splendides associés à un patrimoine culturel riche et diversifié intégré dans son environnement (Figures 2, 3, 4, 5).

L'inventaire de ces caractéristiques géologiques permettra de promouvoir le géopatrimoine et la géoconservation au Maroc. Cette dernière est mieux assurée après l'attribution des valeurs géopatrimoniales de ces caractéristiques, l'identification des sites de valeurs ou d'intérêts particuliers, ou en considérant les sites comme un ensemble géologique intégré qui a besoin d'être protégé dans le cadre des géoparcs (Errami et *al.*, 2015).

Le Maroc accorde une place privilégiée au tourisme de la nature dans sa politique de développement touristique. La vision 2020, portant sur la stratégie de développement touristique, est structurée en six programmes qui privilégient le tourisme durable. Le programme Eco/Développement durable, qui vise à valoriser les ressources naturelles et rurales tout en les préservant, est en parfaite adéquation avec les concepts du géotourisme. Le développement durable répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. 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.



Figure 2a : Rides de courant exposées dans des roches néoprotérozoïques de l'Anti-Atlas central (Maroc). Ces rides témoignent de l'action de la houle sur une plage qui date de 800 millions d'années



Figure 2b : Stromatolithes néoprotérozoïques (Anti-Atlas oriental), les plus anciennes traces de vie décrites au Maroc et qui datent de 580 millions d'années



Figure 2c : Les ophiolites néoprotérozoïques de Bou-Azzer, témoin de la présence d'un océan il y a 760 millions d'années dans l'Anti-Atlas central (Maroc)



Figure 2d : Roches glaciaires ou diamictites néoprotérozoïques de l'Anti-Atlas Central (Maroc). Ces roches témoignent d'une période glaciaire il y'a 590 millions d'années dans une zone actuellement sous un climat subsaharien



Figure 2e : Calcaire à orthocères d'Erfoud d'âge Dévonien, témoin de l'abondance de la vie marine il y'a plus de 400 millions d'années dans le Sud-Est du Maroc



Figure 2f : Echinodermes du Jorf Lihoudi (Sud de Safi), témoin du retrait de la mer atlantique pendant le Pléistocène



Figure 3 : Dépôts ordoviciens du synclinal perché du Jbel Kissane (Agdz, Maroc)



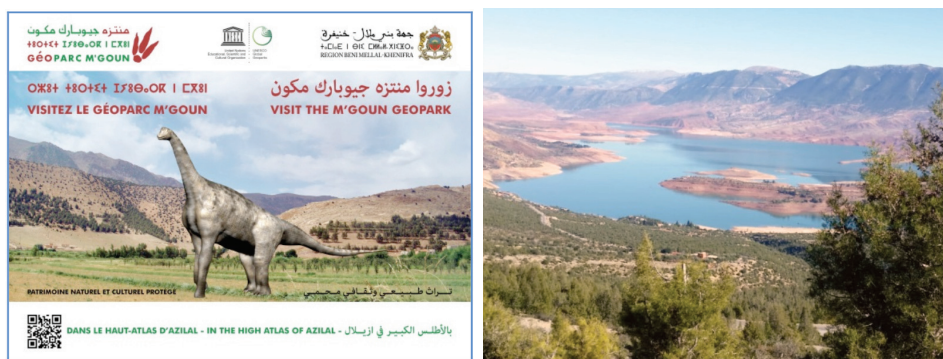
Figure 4 : La Kasbah d'Aït-Ben-Haddou, classée patrimoine de l'UNESCO en 1987, est située dans la province de Ouarzazate au sud de la chaîne alpine du Haut-Atlas, est un exemple de construction en terre (matériaux locaux) du sud marocain



Figure 5 : Les dunes de sables de Merzouga (Sud-Est du Maroc)

En revanche, le Maroc ne possède aucun inventaire de son géopatrimoine ni régional, ni national, 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, fossilifères et des météorites sont subordonnées 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 malgré que plusieurs sites ont le potentiel d'être érigé en géoparcs, le Maroc est doté d'un seul géoparc, le géoparc de M'goun situé dans le Haut-Atlas central. Il est le premier à être labellisé Géoparc mondial de l'UNESCO en 2014 à l'échelle du continent africain. Le géoparc de M'goun est connu par une géodiversité riche et variée qui remonte au Trias, il y a de cela 250 millions d'années. Elle est caractérisée par l'Atlasaurus, dinosaure du Jurassique moyen et le Tazoudasaurus naima, dinosaure du Jurassique inférieur dont les restes ont été découvertes respectivement en 1981 et 1998, des pistes d'empreintes de dinosaures, des paysages caractéristiques (Lac Bin El Ouidane, cascades d'Ouzoud, pont naturel d'Imin-Ifri et la vallée des Aït Bouguemaz) en plus des sites archéologiques et des sites écologiques (Figure 6).



Panneau indiquant le Géoparc de M'Goun
© M. Boutakiout

Lac Bin El Ouidane (Haut-Atlas, Maroc)
© F. El Bchari

Figure 6 : Géoparc de M'Goun (Haut-Atlas central, Maroc)

D'autant plus, aucun autre géosite ou géomorphosite n'est officiellement classé au Maroc. Néanmoins, le géosite d'Anza, situé à quelques kilomètres au nord d'Agadir, est un site qui a été valorisé par les communautés locales en collaboration avec l'Association Marocaine d'Orientation et de la Recherche Scientifique (Figure 7). Il est le premier site d'âge Crétacé supérieur (Santonien), découvert au Maroc. Il est à noter que les sites à empreintes de pas de dinosaures sont très rares durant cet étage, le géosite d'Anza est donc l'un des rares en Afrique et même au monde.



Figure 7 : Site d'Anza © M. Masrour
Traces de pas de dinosaures **Panneau interprétatif**

VI. Discussion et conclusion

L'inventaire de la géodiversité d'un territoire permet de patrimonialiser et de sélectionner les géosites et les géomorphosites qui ont une importance scientifique, touristique, éducative... etc, et qui seront considérés comme géopatrimoine digne de protection et de valorisation. Ce processus aide à conscientiser les communautés locales et les décideurs locaux sur l'importance du géopatrimoine, des géoparc et du géotourisme tant que potentiels leviers de développement humain et socio-économique local durable (Figure 8). Il est à noter que la plus part des pays de l'Afrique et du Moyen-Orient sont au stade de patrimonialisation et qu'aucun pays n'a effectué un inventaire national de son géopatrimoine. Néanmoins, ce continent est doté de deux géoparc labellisés Géoparc mondial de l'UNESCO, le géoparc de M'goun au Maroc et le géoparc de Ngorongoro Lengai en Tanzanie.

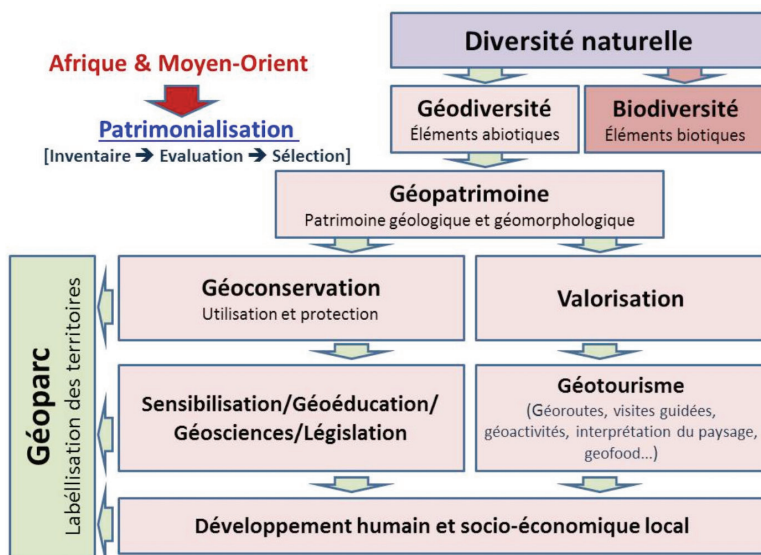


Figure 8 : Synthèse des concepts liés au géopatrimoine (Modifié d'après Bétard, 2017)

Fort de ses atouts naturels, surtout sa géodiversité et son géopatrimoine, le Maroc doit tirer profit de son patrimoine naturel pour repenser son modèle de développement local surtout dans un contexte de changement climatique global.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement Prof. Nasser Ennih, membre de l'équipe de Géodynamique, Géo-éducation et Patrimoine Géologique (EGGPG) de la Faculté des Sciences de l'Université Chouaïb Doukkali d'El Jadida, et Prof. Patrick De Wever du Muséum National d'Histoire Naturelle (France) pour le fructueux échange. Nous remercions aussi les Professeurs Fatima El Bhari, Mohamed Boutakiout et Moussa Masrour d'avoir mis les photos du géoparc de M'goun et du site d'Anza à notre disposition. Nous tenons à présenter nos sincères remerciements à l'équipe éditoriale de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques pour faire aboutir ce volume spécial sur le géopatrimoine.

Références

- Alexandrowicz, Z. and Kozłowski, S. 1999. From Selected Geosites to Geodiversity Conservation - Polish Example of Modern Framework. In *Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium*. In D. Barettino, M. Vallejo & E. Callego Eds. Madrid (Spain), Volume: III International Symposium ProGEO on the Conservation of the Geological Heritage. pp. 40-44, DOI:10.13140/2.1.4950.2728
- Arrad, T.Y., Errami, E. Ennih, N., Ouajhain, B., Ettachfini, E.M., Bouaouda, M.S. 2020. From geoheritage inventory to geotourism and geoeeducation implications: Insight from Jbel Amsittene (Essaouira province, Morocco)". *Journal of African Earth Sciences*, Vol.161. In E. Errami, Z. Hamimi, N. Ennih, B.S. Nabawy, & J. Brilha Eds. Special issue entitled "Earth Sciences for Society: Case studies from Africa and beyond". *in press*.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103656
- Bétard, F. 2017. Géodiversité, biodiversité et patrimoines environnementaux : De la connaissance à la conservation et à la valorisation. Université Sorbonne Paris. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. 272p.
- Bonachea, J., Bruschia, V.M., Remond, J., González-Díeza, A. Salas, L., Bertens, J., Cendrero, A., Otero, C., Giusti, C., Fabbri, A., González-Lastrad, J.R.; Aramburu, J.M. 2005. An approach for quantifying geomorphological impacts for EIA of transportation infrastructures: a case study in northern Spain. *Geomorphology*, Vol.66/1-4, pp. 95-117. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.008>
- Brilha, J. 2016. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage* 8(2):119-134. DOI: 10.1007/s12371-014-0139-3
- Bruschi, V.M., Cendrero, A. 2009. Direct and parametric methods for the assessment of geosites and geomorphosites. In: Reynard E, Coratza P, Regolini-Bissig G (eds) *Geomorphosites*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München. Section II, pp 73-88.

- Coratza, P., Giusti C. 2005. Methodological proposal for the assessment of scientific quality of geomorphosites. *Italian Journal of Quaternary Sciences*, Special Vol. 18(1): 307-313.
- Davallon, J. 2014. À propos des régimes de patrimonialisation : enjeux et questions. *Patrimonialização e sustentabilidade do património: reflexão e prospectiva*, Nov 2014, Lisboa, Portugal. fffhalshs-01123906f
- De Wever, P., Le Nechet, Y., Cornée, A. 2006. Vade-mecum pour l'inventaire national du patrimoine géologique. *Mémoire H-S de la Société Géologique de France*, 12, 162 p.
- Errami, E., Schneider, G., Ennih, N., Randrianaly, H.N., Bendaoud, A., Noubhani, A., Norman, N., Allan, M., Vasconcelos, L., Costa, L., Al-Wosabi, M., Al-Subbary, A., Mabvuto-Ngwira, P., Okunlola, G., Lawal Halliru, S., Andrianaivo, L., Siby, S., Ketchemen, B., Gaully, M., Hassine, M., Azki, F., Tea, J., Lattrache, K., Omulo, M., Bobrowsky, P. 2015. Geoheritage and geoparks in Africa and the Middle-East: challenges and perspectives. In: Errami, E., Brocx, M., Semeniuk, V. (Eds.), *Geoheritage to Geoparks: Case Studies from Africa and beyond*. Springer Verlag, 978-3-319-10707-3, pp. 3-23. <https://doi.org/10.1007/s00445-015-0994-z>
- Fassoulas, C., Mouriki, D., Dimitriou-Nikolakis, P., Iliopoulos, G. 2012. Quantitative assessment of geotopes as an effective tool for geoheritage management. *Geoheritage*, 4(3):177-193. DOI:10.1007/s12371-011-0046-9
- Fuertes-Gutiérrez, I., Fernández-Martínez, E. 2010. Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): a tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage*. 2(1-2) :57-75. DOI: 10.1007/s12371-010-0012-y
- Grandgirard, V. 1995. Méthode pour la réalisation d'un inventaire de géotopes géomorphologiques, Vol. 10. *Cahiers de l'Institut de Géographie de l'Université de Fribourg*, Ukpik, pp 121-137.
- Grandgirard, V. 1999. L'évaluation des géotopes. *Geologia Insubrica*, 4, 59-66.
- Lima, F.F., Brilha, J.B., Salamuni, E. 2010. Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage*. 2(3-4):91-99. DOI:10.1007/s12371-010-0014-9
- Newsome, D. and Dowling, R. 2010. Setting an agenda for geotourism. In D. Newsome & R. Dowling (Eds.), *Geotourism: The tourism of geology and landscape*, pp.4-5. Oxford: Goodfellow Publishers.
- Panizza, M. 2001. Geomorphosites: concepts, methods and example of geomorphological survey. *Chinese science bulletin*. 46(Suppl. v.) :4-6.
- Panizza, M. and Piacente, S. 1993. Geomorphological assets evaluation. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Suppl. Bd. 87, 13-18.

- Pereira, P., Pereira, D. 2010. Methodological guidelines for geomorphosite assessment. *Geomorphologie, relief, processus, environnement*, vol. 16 - n° 2, pp. 215-222. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.7942>
- Pereira P, Pereira DI, Alves M.I.C. 2007. Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geographica Helvetica*. 62, 159-168.
- Pralong, J.P., Reynard, E. 2005. A proposal for the classification of geomorphological sites depending on their tourist value. *Quaternario* 18(1): 315-321
- Reynard, E. 2009. The assessment of geomorphosites. In: Reynard E, Coratza P, Regolini-Bissig G (eds) *Geomorphosites*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp: 63-71.
- Reynard, E., Coratza, P., Hoblé, F. 2016. Current Research on Geomorphosites. *Geoheritage*, 8:1-3. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0174-3>
- Rivas, V., Rix, K., Frances, E., Cendrero, A., Brunnsden, D. 1997. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. *Geomorphology*. 18: 169-182. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(96\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(96)00024-4)
- Ruban, D.A. 2010. Quantification of geodiversity and its loss. *Proceeding of Geological Association* 121(3):326-333. DOI: 10.1016/j.pgeola.2010.07.002
- Sellier, D. 2016. A deductive method for the selection of geomorphosites: Application to Mont Ventoux (Provence, France). *Geoheritage* 8 (1):15-29.
- Serrano, E. et Gonzalez Trueba, J.J. 2005. Évaluation des géomorphosites dans les espaces naturels protégés : le Parc National des Picos de Europa (Espagne). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3, pp. 197-208.
- Wimbledon, W.A., Benton, M.J., Bevins, R.E., Black, G.P., Bridgland, D.R., Cleal, C.J., Cooper, R.G., May, V.J. 1995. The development of a methodology for the selection of British Geological sites for geoconservation: part 1. *Mod. Geol.* 20:159-202.

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

Khadija EL HARIRI

Université Cadi Ayyad, Marrakech



INTRODUCTION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

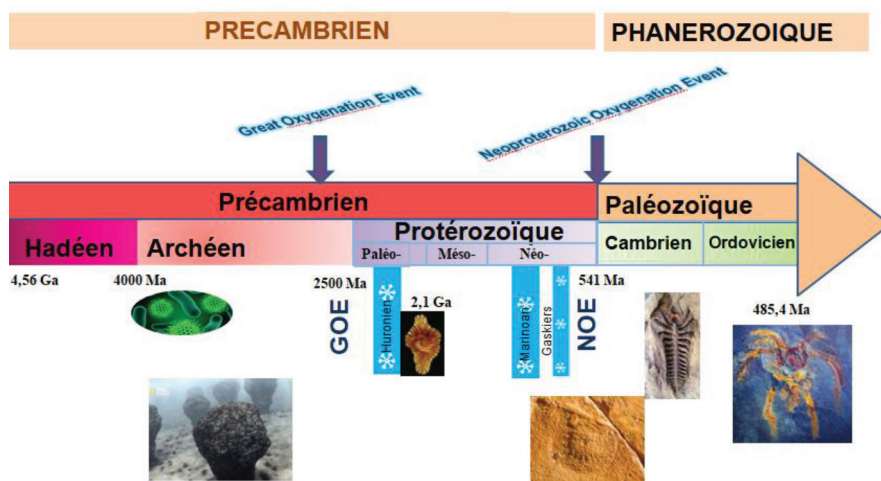


Figure 1 : Explosion de la vie pluricellulaire et installation des écosystèmes diversifiés au cours de l'Ediacarien et du Cambrien. Och et Scields-Zhou, 2012, in Azizi 2019, modif.

Le Lagerstätte des Fezouata

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

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

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

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

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

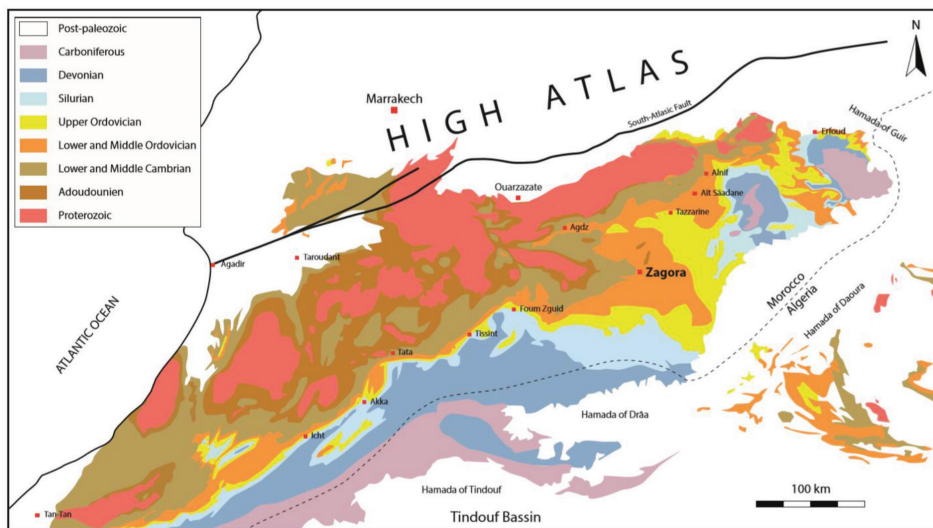


Figure 2 : Carte géologique simplifiée de l'Anti-Atlas marocain réalisée à partir de la carte géologique du Maroc au 1 000 000ème (Hollard et al., 1985, Marante, 2008, Vaucher 2016).

Campagnes de fouilles dans les Fezouata

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

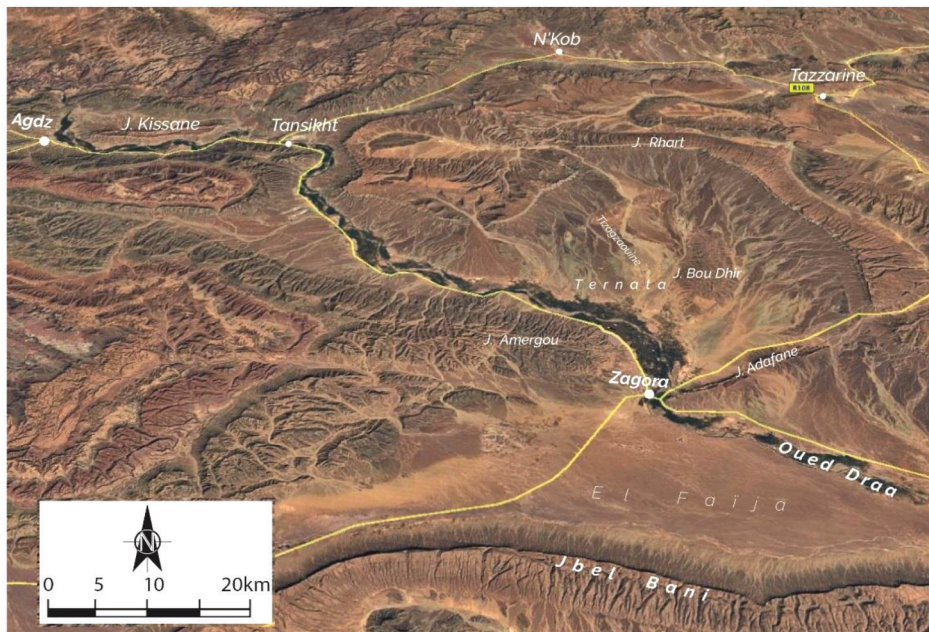


Figure 3 : Les affleurements ordoviciens de Fezouata dans la plaine de Ternata, au nord de Zagora.

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

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

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

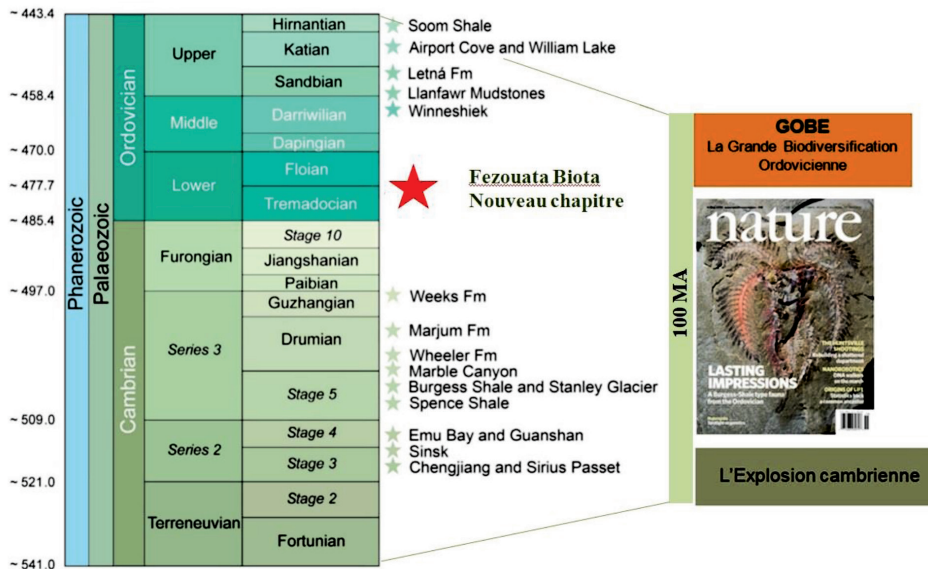


Figure 4 : Distribution stratigraphique des principales faunes exceptionnelles du Cambrien et de l'Ordovicien. Les âges sont en millions d'années MA, (Van Roy et al. 2010, Martin, 2016, *Modif.*)

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

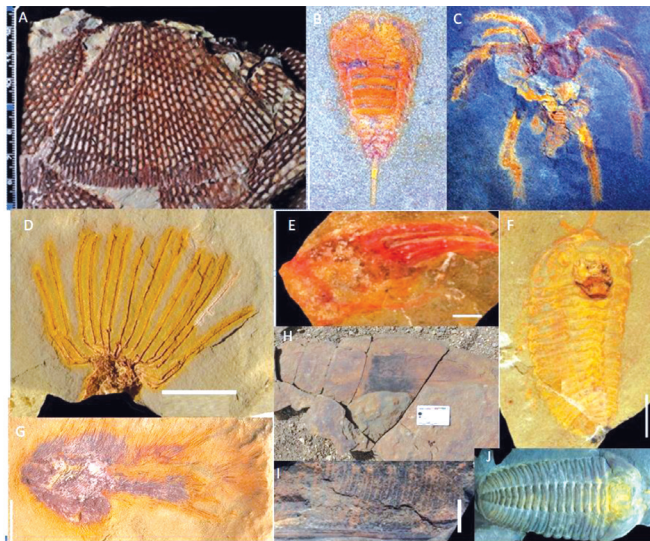


Figure 5 : Exemples de fossiles à préservation exceptionnelle de Fezouata, Zagora, Maroc.
 A. *Araneograptus murrayi*; B. Xiphosuran (Chelicerata), C. *Furca* sp. (Marrellomorpha),
 D. Echinoderme, E. Appendice – Pince très probablement d'un chélicérate, F. *Bavarilla zemmourensis* avec antennes et G.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

Les vers Paleoscolidés

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

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



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

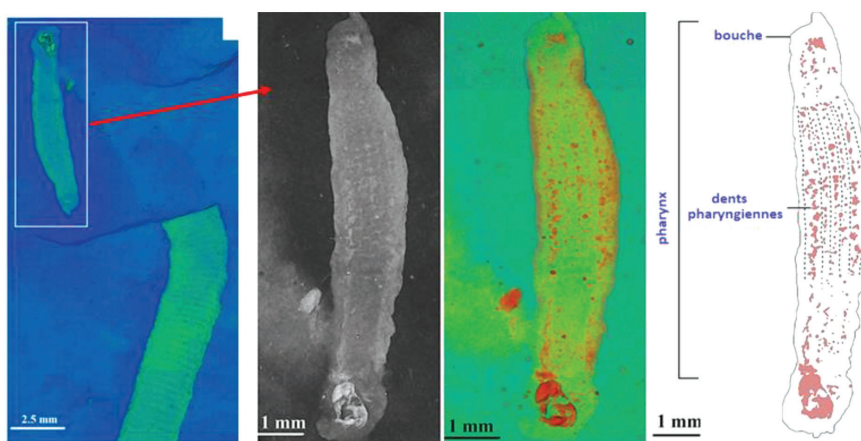


Figure 7 : *Palaeoscolex* cf. *tenensis* du Trémadocien (Ordovicien inférieur) des Schistes de Fezouata (région de Zagora, Maroc), images microtomographiques et dessin des microstructures détaillées le long du proboscis (rectangle) interprétées comme des rangées longitudinales de dents pharyngiennes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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

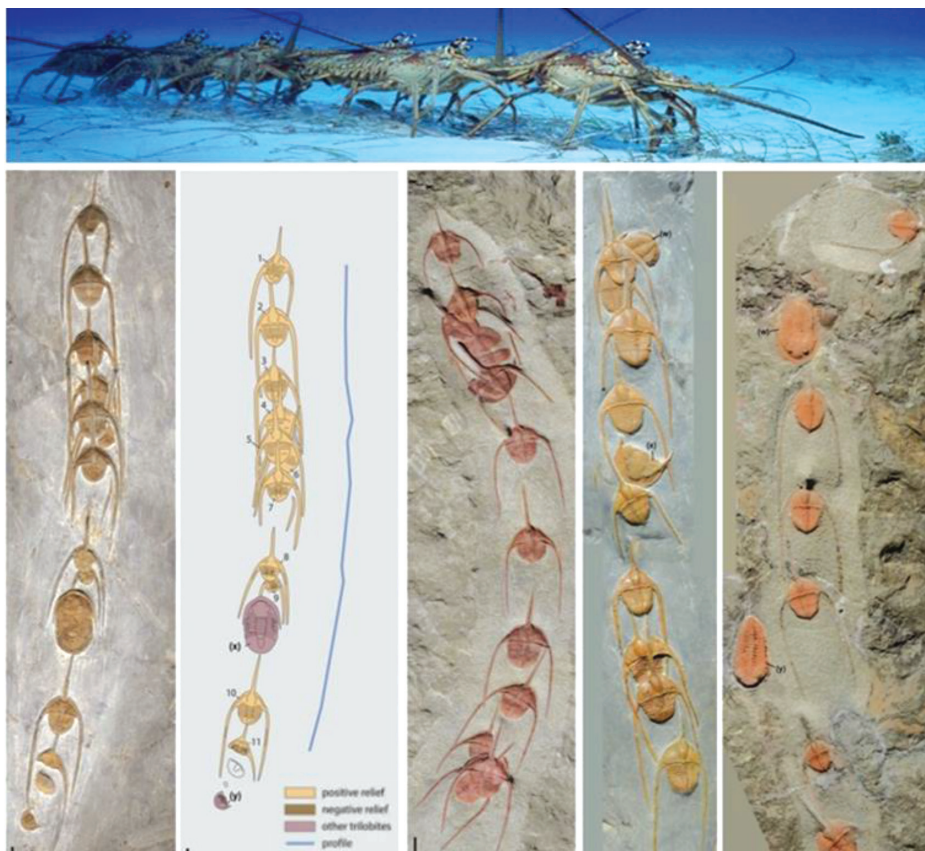


Figure 8 : A.Langoustes (*Panulirus argus*), migrant en file indienne. (<http://www.bbc.co.uk/earth/story/20160905>; crédits: Doug Perrine/naturepl.com). **B.**Amas groupes linéaires de *Ampyx priscus* du Ordovicien inférieur (supérieur Trémadocien-Floien, 480 Ma)

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

Un paléo-environnement caractérisé par des dépôts de tempêtes !

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

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

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

Un patrimoine géologique unique au monde

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Pourquoi ces actions de protection urgente du Lagerstätte des Fezouata?

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

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

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

Protéger Valoriser pour Développer

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

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



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



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

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

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

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



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

Bibliographie

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

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

DISCUSSION :

INTRODUCTION À LA DISCUSSION DE LA SESSION 1 «VALORISATION DU PATRIMOINE GÉOLOGIQUE MAROCAIN»

Badia BOUAB

*Experte auprès de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



L'ensemble des interventions que nous avons eu le privilège d'écouter met en exergue la nécessité de sauvegarde des ressources patrimoniales du Maroc. Les moyens semblent divers et variés. Il s'agit là d'une équation à résoudre:

- d'un côté le patrimoine naturel géologique,
- de l'autre le développement durable.

Comment cerner cette problématique?

Monsieur Y. Coppens et Madame E. Errami ont adopté une démarche de questionnement chère à tout esprit scientifique et qui permet une analyse exhaustive des paramètres entrant en ligne de compte. C'est la grille de Lasswell pratique, utile et qui aide à assoir une dynamique rigoureuse dans la résolution des problèmes.

C'est précisément cette démarche que j'avais choisi d'utiliser dans mon introduction à la discussion étant donné la complexité de la thématique. Mais auparavant j'aimerais ouvrir une parenthèse et préciser à propos de la conférence de M. Y. Coppens concernant l'évolution de l'Homme que le Maroc regorge de vestiges d'Hominidés qui, à coup sûr, constituent une composante particulière de notre patrimoine. Celui-là aussi nécessite une attention des plus aiguës. A l'heure actuelle, ce patrimoine est véritablement exposé à des menaces dues à l'urbanisation et la littoralisation galopante. A titre d'exemple j'évoquerai les grottes de Harhoura sur lesquelles sont édifiées des constructions pouvant engendrer des conséquences fâcheuses pour ces importants jalons de l'évolution de ces hominidés à valeur inestimable. Ne faudrait-il pas prendre les mesures qui s'imposent pour freiner, voire arrêter un tel désastre?

Parenthèse fermée, revenons maintenant à la problématique du patrimoine géologique et le développement durable en tentant d'identifier les différents paramètres qui entrent en ligne de compte par le biais du questionnement QQQQCP (Quoi, Qui, Où, Quand, Comment, Pourquoi?)

Quoi? Patrimoine géologique, développement durable,

- Comment faire pour avancer les connaissances scientifiques sur ce patrimoine, son inventaire, et l'établissement d'une base de données?
- Comment constituer et enrichir les collections de référence?
- Comment contribuer au développement durable?

Qui est concerné? Comment identifier les principaux acteurs? Et en constituer un véritable réseau aboutissant à leur nécessaire cohésion autour de ce vaste chantier. Chaque maillon du réseau se doit de comprendre les différents enjeux afin de mieux saisir la portée de la valorisation du patrimoine qui devient alors un acteur/vecteur du développement? Il s'agit à mon avis des :

- institutions concernées publiques et privées,
- collectivités, la société civile ...,
- chercheurs universitaires et autres chercheurs,
- populations vivant dans les régions concernées.

Où et Quand? Ici et maintenant: c'est-à-dire dans un contexte actuel caractérisé par une complexité systémique caractérisée par la:

- Fragilité d'un patrimoine à valeur inestimable et dont la destruction est irréversible,
- Nécessité de développement et revitalisation de régions connues pour leur richesse patrimoniale (Fossiles, minéraux et météorites); régions abritant des populations en besoin de revenus.

Comment? Quels sont les moyens et les dispositions à prendre?

- Existe-t-il une stratégie nationale adéquate pour la protection, la sauvegarde et la valorisation de ce patrimoine. Si oui, Laquelle?
- Comment la rendre opérationnelle?
- Par quels instruments d'action?
- Existe-t-il un arsenal juridique adapté et opérationnel à même d'assurer un contrôle et une traçabilité permettant de verrouiller le système et n'autorisant que la sortie de pièces préalablement autorisées et extraites de manières rationnelle et contrôlée?

- Comment résoudre la question du foncier pouvant être posée pour un certain nombre de sites? (leur acquisition par les collectivités locales?)
- Comment assurer la sensibilisation et l'éducation des populations et des jeunes au patrimoine? afin d'avoir leur adhésion, face à leurs besoins économiques en termes de revenus, dans des régions où sévissent souvent des conditions climatiques rudes et des conditions d'enclavement très dures? leur implication dans ce processus en veillant au développement local et humain?
- Quelles approches: à la fois utilitariste et multisectorielle?
- Quel rôle pourrait jouer dans ce processus de sauvegarde et de développement la création de musées régionaux, de géoparcs? Le Géoparc de Mgoun est le premier géoparc labellisé en Afrique et dans le monde arabe (revalidé en 2018). Je souligne au passage le rôle de la société civile dans cette importante dynamique initiée au Maroc, depuis ses premiers balbutiements, il y a plusieurs décennies.
- Et enfin, comment appréhender l'entreprise du rapatriement de nos ressources patrimoniales ayant subi un pillage et une exportation illégale? Un exemple de réussite : le rapatriement du plésiosaure marin Zarafasaura provenant des phosphates marocains.

Quelle est la situation actuelle au Maroc?

De nombreuses actions sont déjà entreprises aussi bien par les universitaires que par d'autres acteurs, d'autres secteurs, qui se sont déjà attelés à la «tâche» en organisant :

- Des rencontres et workshops scientifiques nationaux et internationaux portant sur la valorisation et la préservation du patrimoine; la deuxième édition de la journée nationale du patrimoine géologique s'est déroulée à Rabat en Novembre dernier (2019) avec la participation de responsables à l'échelle nationale et mondiale et où une place de choix a été réservée à l'éducation à la préservation et à la valorisation du patrimoine géologique; La 8^{ème} Rencontre Internationale sur la valorisation et la préservation du patrimoine paléontologique déjà lancée est prévue à El Jadida en novembre 2020;
- Des formations;
- Des masters;
- Des travaux de recherche à différents niveaux partout au Maroc proposant entre autres des cartes de circuits géo-touristiques;
- Des publications de ces travaux dans les revues spécialisées attestent de cette effervescence;
- La Création et signature fondatrice du réseau africain.

Face à cette complexité systémique, la contribution de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a porté dans ses priorités l'axe du patrimoine? Et plusieurs projets ont d'ores et déjà reçu un appui financier sur cette thématique.

Quel chemin parcouru depuis la déclaration des droits de la Terre rédigée à Dignes en 1991. Déjà en 1996 des universitaires de la Faculté des Sciences (Université Mohammed V de Rabat) ont organisé la première exposition réservée au patrimoine géologique marocain sous le thème : «Fossiles et minéraux du Maroc : Un patrimoine géologique et une longue histoire naturelle».

Pourtant, tant de choses restent à faire car la destruction irrationnelle et alarmante et le commerce affligeant continuent de sévir, particulièrement dans l'Anti Atlas. Devant l'urgence d'une stratégie nationale intégrée, il devient impératif de trouver une solution radicale. Car on ne peut demeurer à ce niveau d'actions et de réalisations louables, importantes mais hélas souvent tributaires d'initiatives séparées et non fédérées au sein d'un projet global à même de donner une véritable impulsion à une dynamique efficiente pour la résolution définitive de ce grave problème.

Les fondements de cet immense chantier relèveraient-ils de: ***la mise en place d'un dispositif institutionnel de pilotage, structurant et mobilisateur?***

Enfin la dernière question relative à cette problématique: Pourquoi? Je me limiterai à trois mots-clés qui sont :

- Respect de notre histoire naturelle qui remonte à des centaines de Millions d'années;
- Préservation et j'ai envie de dire aussi «géo-conservation» d'un patrimoine dont nous sommes dépositaires;
- Legs aux générations futures.

RECHERCHE GÉOLOGIQUE, GÉOCONSERVATION ET EXPLOITATION COMMERCIALE DES SITES FOSSILIFÈRES

Juan Carlos GUTIÉRREZ-MARCO

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



1. Présentation

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

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



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

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

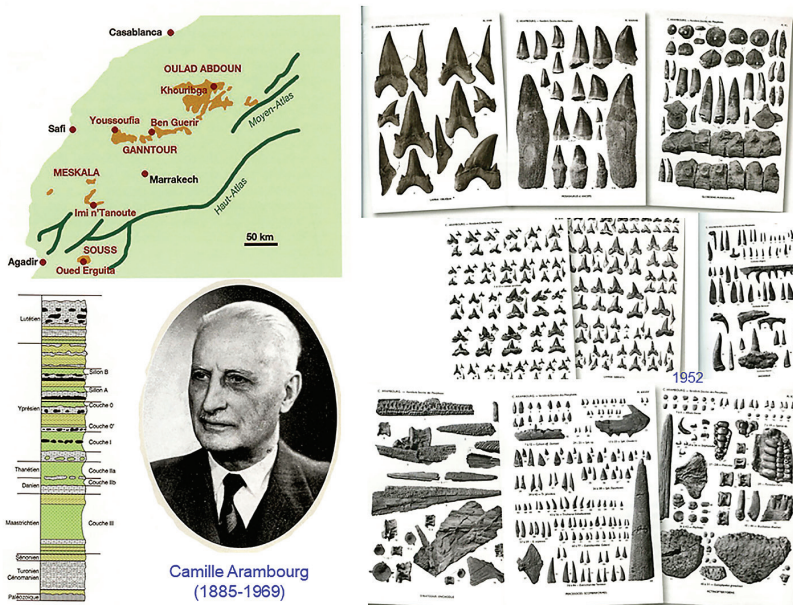


Figure 2 : À gauche, schéma de localisation des principaux bassins phosphatés au Nord d'Agadir et colonne stratigraphique des différentes couches minières (selon divers auteurs, in Lebrun, 2019). À droite, reproduction par Lebrun (2019) de neuf des 44 planches de la monumentale monographie d'Arambourg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

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

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



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



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

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

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



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

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

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

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

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



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



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

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

2. L'industrie des fossiles du Maroc

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

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



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

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

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

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

B. Roches ornementales fossilifères, ce sont les :

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

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

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

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

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

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



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



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



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



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

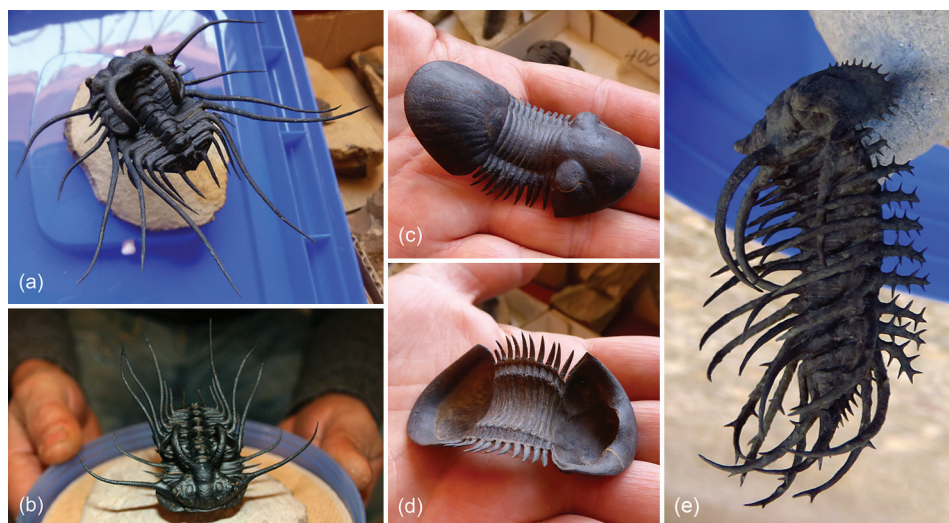


Figure 13 : Préparation exceptionnelle de certains trilobites du Dévonien de l'Anti-Atlas.

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

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

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

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

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

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

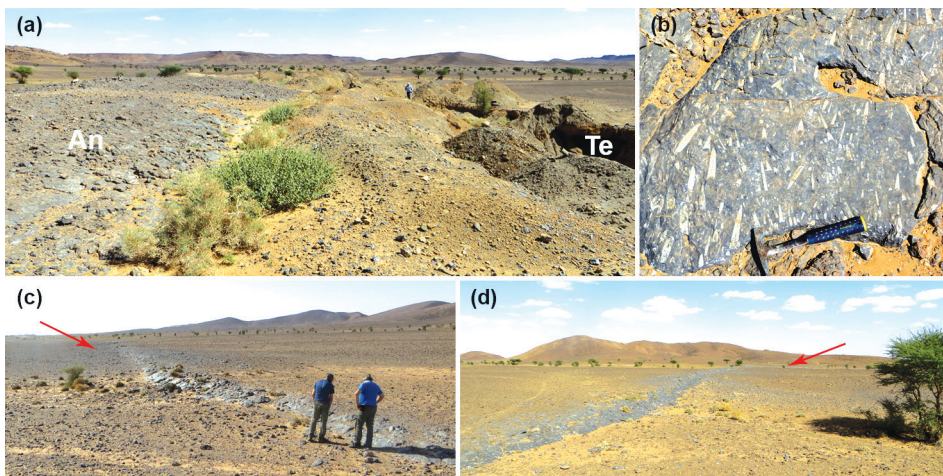


Figure 14 : Calcaire à *Temperoceras* (= «calcaires noirs à orthocères») du Ludfordien (Ludlow) au Sud-Est d'Erfoud. (a) Affleurement naturel (An) et tranchée d'exploitation de la couche (Te), suite à son pendage vers le sud (à droite sur l'image); (b), détail du calcaire à la surface, montrant l'abondance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

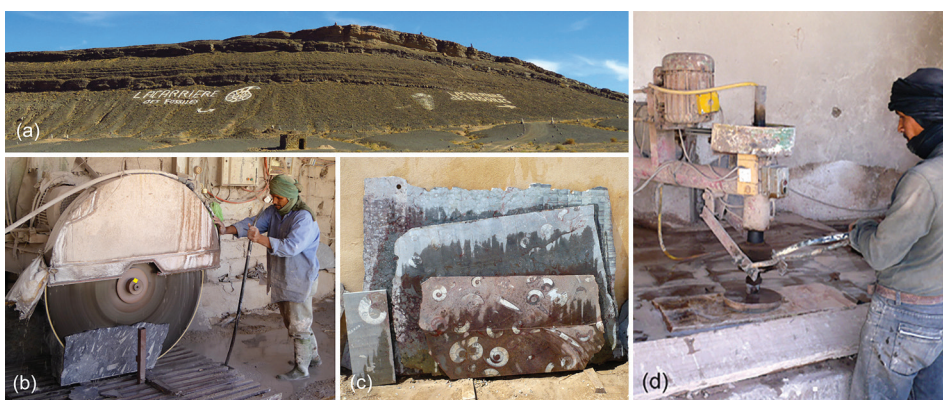


Figure 15 : Travaux d'extraction et de préparation de roches ornementales dans le Tafilalt. (a), Affleurement du Dévonien inférieur au Sud d'Erfoud avec de grandes enseignes en pierres peintes à la main indiquant la route d'accès à une carrière vendant des fossiles; (b) scie à disque coupant un bloc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

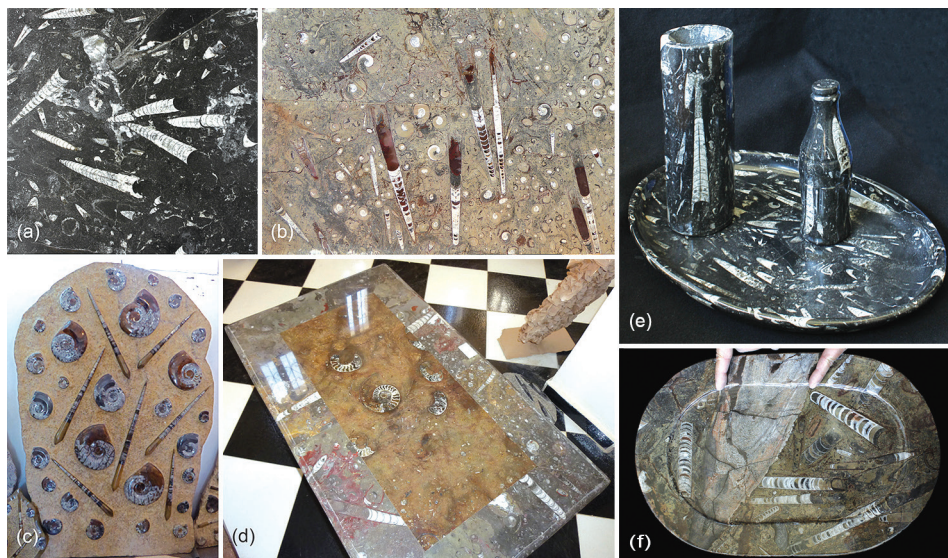


Figure 16 : Exemples de roches ornementales riches en fossiles de la région de Tafilalet :
 (a) calcaire noir silurien («pierre de Tazarine») présentant plusieurs fragmocones d'*Arionoceras* sp.; (b) calcaire du Dévonien brun à rougeâtre («dalles d'Erfoud», non poli) avec des nautiloïdes orientés sur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

3. L'artisanat des fossiles du Maroc

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

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

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

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

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

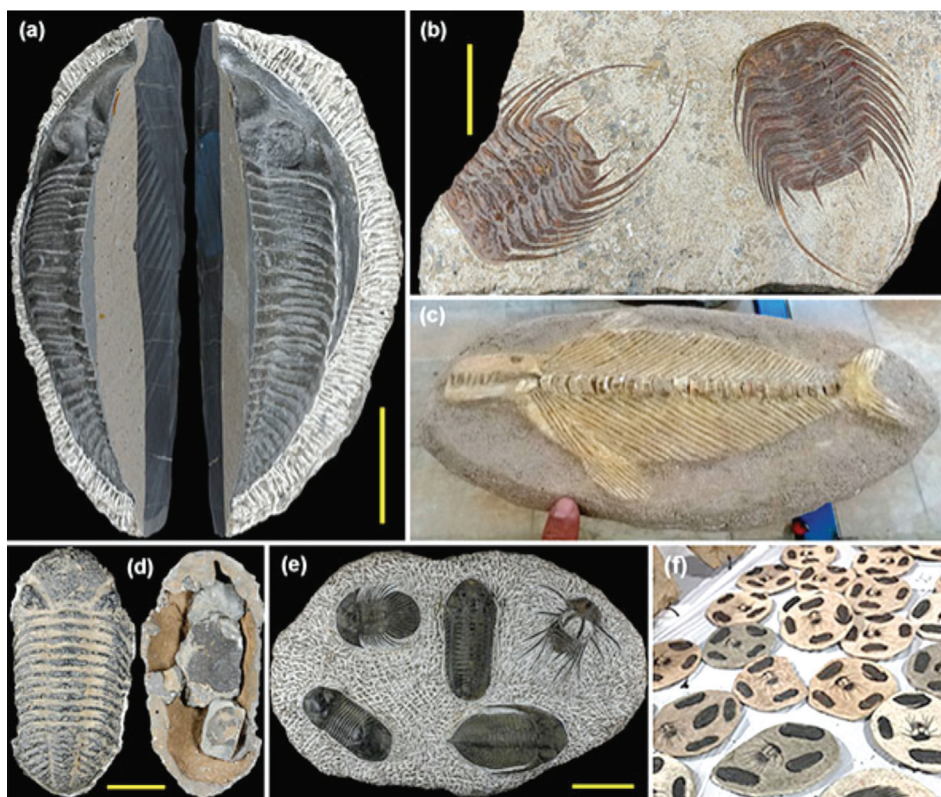


Figure 17 : Quelques exemples de contrefaçons trouvées à Erfoud. (a), Réplique époxy d'un spécimen d'*Odontochile* monté sur de la vraie pierre. La coupe longitudinale révèle qu'elle consiste en une fine couche de résine foncée appliquée par le haut dans un moulage négatif concave (elle est épaissie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



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

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

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

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

A. Contemporains

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

B. Permanents

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

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

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



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

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

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

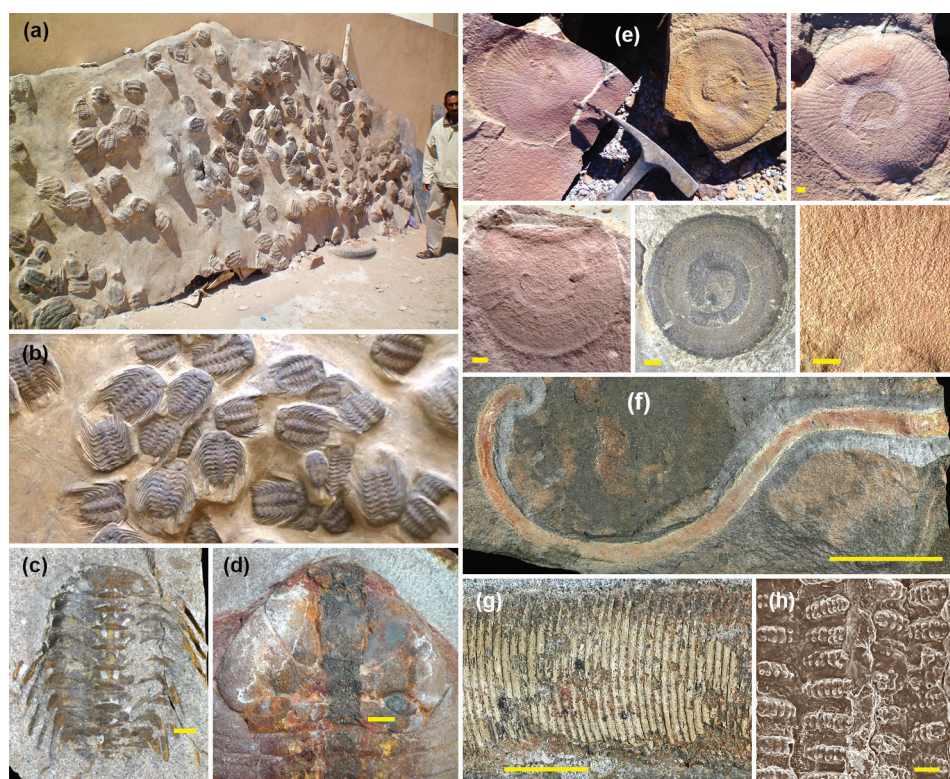


Figure 20 : Quelques fossiles du Lagerstätte de Tafilalt. (a-b), Niveaux de concentration de trilobites épineux (*Selenopeltis*); (c-d) vestiges d'anatomie interne sur le thorax de *Selenopeltis* (c) et trace du tube digestif (bande axiale sombre) au céphalon d'*Uralichas*; (e), *Discophyllum*, un fossile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

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

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

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

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

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

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

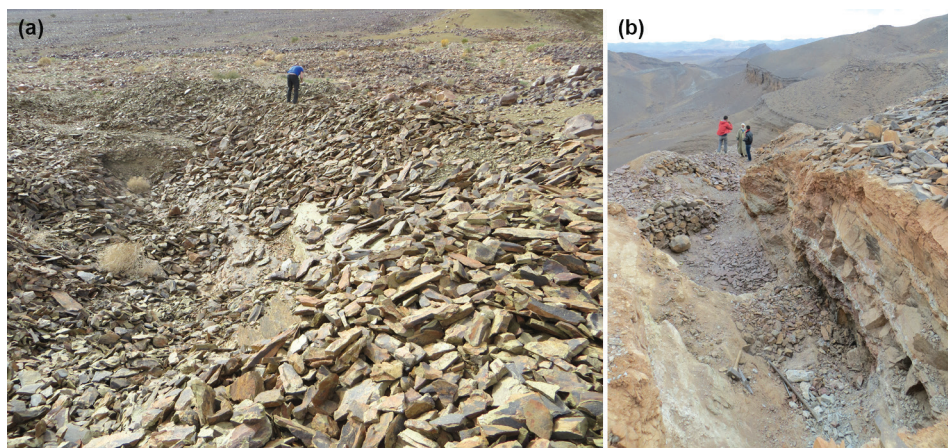


Figure 21 : (a), Etat du gisement fossilifère avec la «faune de Fezouata» (ici du Floien moyen) situé au pied du Jbel Bou Zeroual (nord de Zagora), avec d'abondants déblais d'origine anthropique recouvrant les strates fossilifères; (b), carrière ouverte presque au sommet du site de Bou Nemrou (Jbel Tijarfaïouine)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



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

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

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

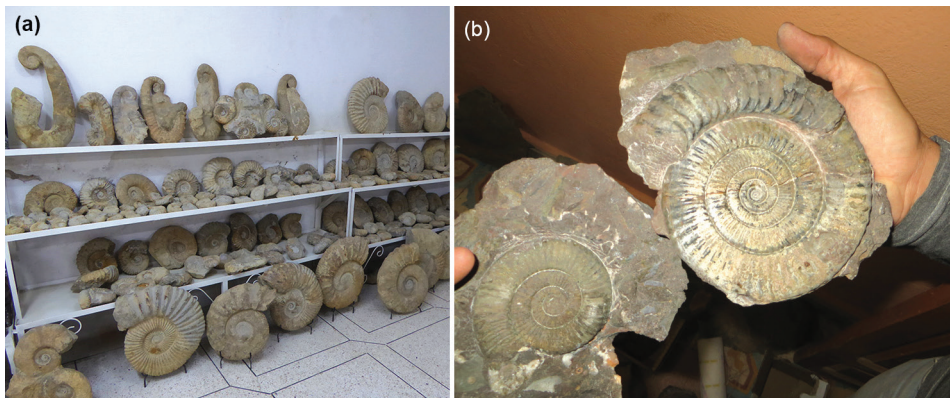


Figure 23 : Ammonites du Crétacé (a) et du Jurassique (b) du Moyen et Haut Atlas, en vente à Erfoud.

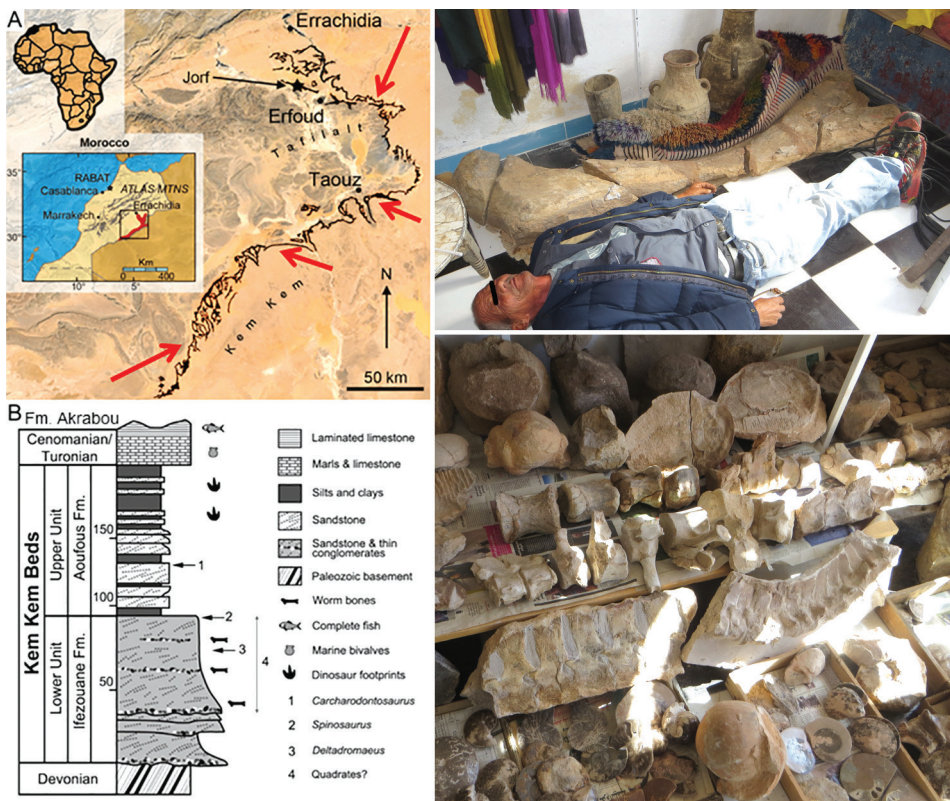


Figure 24 : Distribution géographique des affleurements, log stratigraphique et vente de dinosaures du Groupe Kem Kem. À gauche, selon Hendrickx et al. (2016). En haut à droite, un vendeur est à côté d'un fémur pour servir d'échelle. En dessous, vertèbres articulées et autres ossements.

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

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

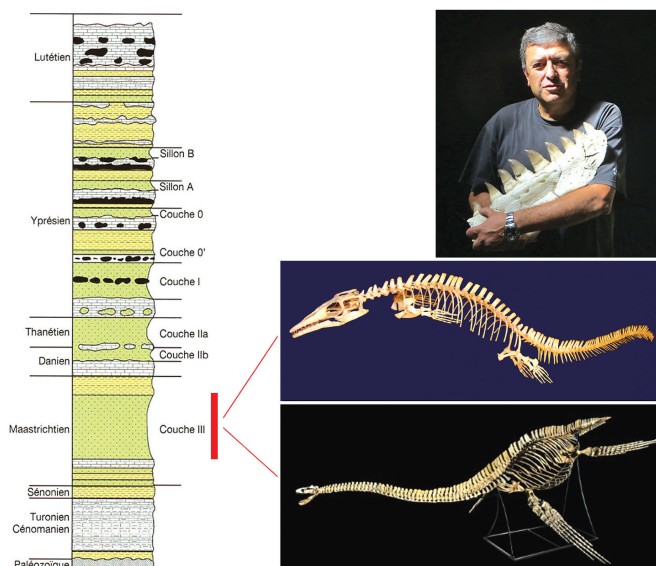


Figure 25 : Colonne stratigraphique de la succession phosphatée des Oulad Abdoun dans la zone minière du Grand Daoui (à l'Est de Khouribga), avec le découpage minier en couches et sillons phosphatés (selon différents auteurs in Lebrun, 2019). À droite et de haut en bas, trois des fossiles du Crétacé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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

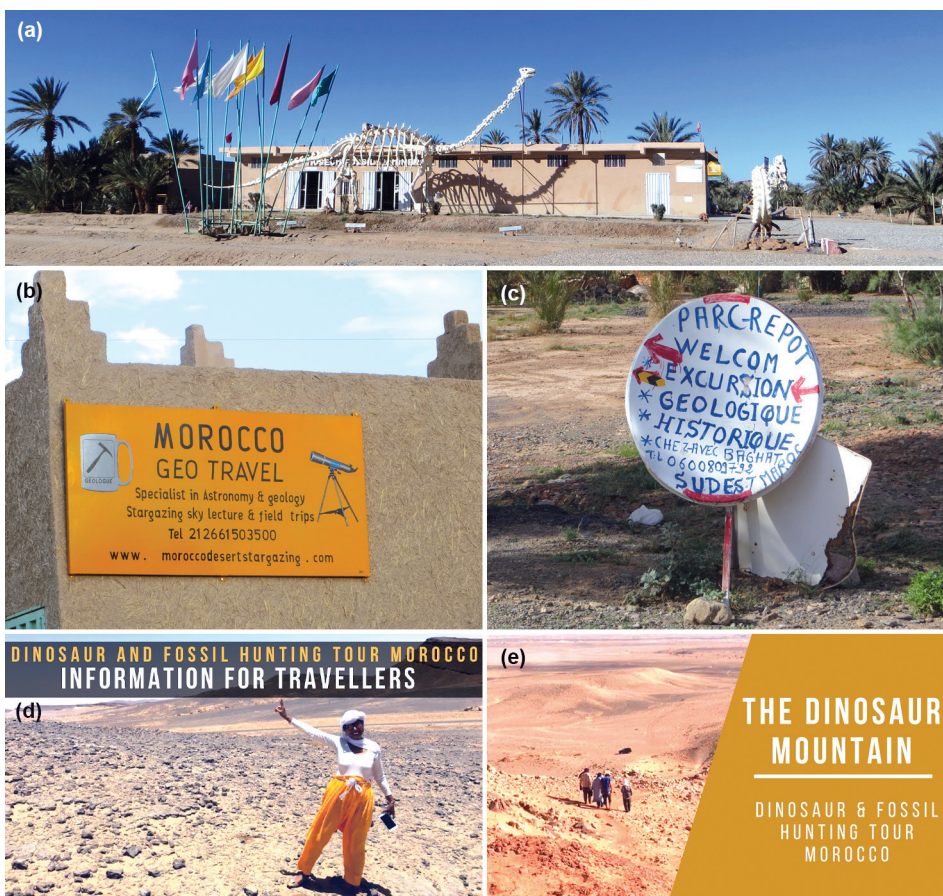


Figure 26 : (a), Extérieur du musée Tahiri (privé) avec des espaces pour la préparation et la vente des fossiles et minéraux, situé dans la palmeraie entre les villes d'Erfoud et Rissani; et reconnaissable par le squelette de sauropode modelé sur la façade principale; (b, c), deux exemples d'initiatives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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

Remerciements

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

Références bibliographiques

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

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

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

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

GEPARKS AND GEOLOGICAL HERITAGE AS PROMOTORS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

José BRILHA

*Universidade do Minho, Escola de Ciências,
Departamento de Ciências da Terra, Braga (Portugal)*



Geological heritage¹

By definition, heritage is what is inherited from past generations, maintained in the present, and bestowed to future generations due to its values. In this context, geological heritage (or geoheritage) is a selection of the most representative natural elements of geological nature that are worthy of preservation for present and future generations (Brilha, 2019). This includes the set of geological features that best represent the history of planet Earth and that are the foundation of life-support systems essential to humankind and to biodiversity. Geological heritage includes all types of non-living natural elements, namely minerals, rocks, soils, fossils, landforms and landscapes, together with the diversity of natural processes that produce them.

Geoheritage may have distinct types of values (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 – geoconservation (Reynard and Brilha, 2018).

1- This short paper intends to present updated and concise information about geological heritage and geoparks, with some insights about the present status of geoconservation in Morocco.

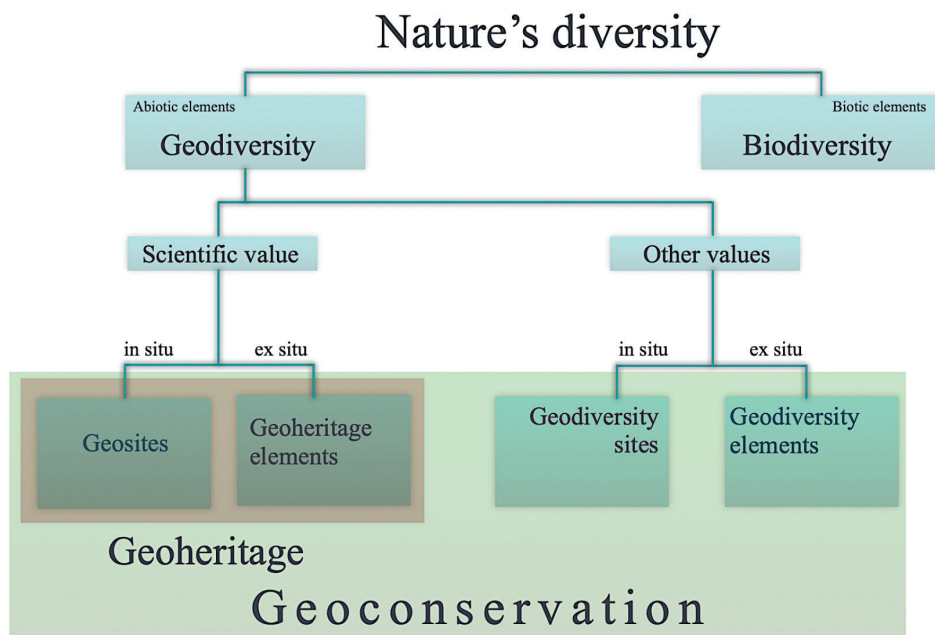


Figure 1 : Geoconservation should be applied to all geodiversity elements that have a superlative value which justify their preservation (Brilha, 2018).

Geoheritage may be affected by several types of threats that may cause its decay or even total destruction. While natural processes, such as weathering and erosion, may degrade or destroy geological sites, such natural processes can also be responsible for the development of new rock exposures and even the formation of new landforms.

By contrast, anthropogenic threats are much more serious and may irreversibly affect geoheritage. Total or partial destruction of geological sites may happen due to (Brilha, 2019):

- (i) urban development and construction of infrastructures (roads, dams, etc.);
- (ii) mining of geological resources;
- (iii) absence of legislation;
- (iv) ineffective implementation of protective policy by public agencies responsible for land-use planning and nature conservation;
- (v) vandalism, illegal collecting, and smuggling of geological specimens;
- (vi) mass tourism;
- (vii) general social unawareness of the value of geoheritage.

All these threats contribute to the loss of geoheritage, which is the most obvious justification for the need to implement geoconservation strategies. 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. In general, European countries have been developing geoconservation for longer time (Wimbledon and Smith-Meyer, 2012). The first efforts to make a systematic geoheritage inventory have started in mid 20th century in the United Kingdom. However, the absence of international conventions or agreements on geoheritage is a clear sign that this topic is still misunderstood by politicians, administrators and the general society.

For many decades that the national and international geoscientific community is well-aware of the high scientific relevance of geodiversity in Morocco. The quality and abundance of rock exposures and the variety of rock formations representing almost entirely the whole chronostratigraphical table are just two of the reasons to consider Morocco a geologists' paradise! In recent years, the number of scientific researches on the Moroccan geoheritage has greatly increased (for instance: Malaki, 2006; Wartiti et al., 2009; Tahiri et al., 2010; El Hadi et al., 2011; Errami et al, 2013, 2015; Nahraoui, 2016; Bouzekraoui, 2017; Arrad, 2018; Aoulad-Sidi-Mhend, 2019; Beraaouz, 2019; Berred, 2019; Baadi et al., 2020; Mehdioui et al, 2020). Many of these works were developed under the scope of PhD and master theses, which is an encouraging sign of the development of a young generation of geoscientists in Morocco with expertise on geoconservation.

UNESCO Global Geoparks

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 (Henriques and Brilha, 2017).

Fifteen years later, in 2015, the *International Geoscience and Geoparks Programme* was established by UNESCO. *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” (UNESCO, 2015). With the launch of this programme, UNESCO reinforce its role in the recognition of geoheritage at the international level. In fact, since the establishment of the *Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage* in 1972 that UNESCO selects and promotes geoheritage with *Outstanding Universal Value*. As today, there are 93 properties (the formal designation of UNESCO for these sites) with top-class geoheritage in 51 countries.

Similarly, there are today 147 UGGp in 41 countries around the world, which taking into account the recent character of this programme, represents a remarkable acceptance of the geopark idea (Figure 2). 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 (Henriques and Brilha, 2017).

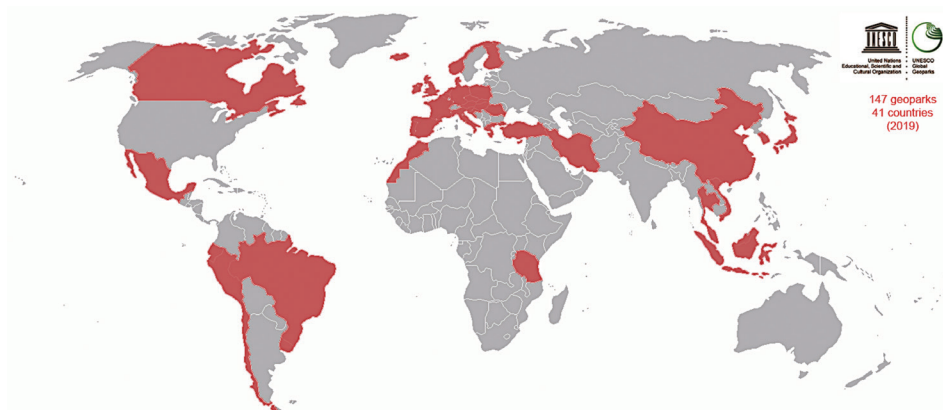


Figure 2 : Countries with UGGp (in red). China is the country with the higher number of geoparks (39), followed by Spain (13), Italy (10), and Japan (9). Data as of June 2020

The geopark concept is still under represented in Africa. With only two geoparks (M'Goun UGGp in Morocco and Ngorongoro Lengai UGGp in Tanzania), Africa has a huge potential to develop new geopark projects. Firstly, because the geological heritage in many African countries is highly relevant (Errami et al., 2015). Secondly because the sustainable development that is expected as an outcome of any geopark strategy could really make a difference for some deprived communities.

In Morocco, the top-class geoheritage, its rich cultural heritage, and the need to develop innovative actions to support the sustainable development of local communities, make geoparks a good option that should be supported by the public administration. With the support of a young generation of Moroccan geoscientists with expertise on geoconservation, the growth of the number of geoparks in Morocco could generate several positive effects:

- (i) Raise of awareness of local people about the importance of their own geological and cultural heritage, that increase their self-esteem and direct engagement in the protection of this heritage;
- (ii) Jobs creation for young people in rural areas, decreasing the internal migration tendency towards the big cities;
- (iii) Development of alternative activities (for instance, production of fossil replicas) that could decrease the pressure caused by the illegal collecting of fossils and meteorites in some areas of Morocco;
- (iv) Promotion of a new tourism offer that could attract international and national visitors to areas of the country where this is not yet happening contributing, indirectly, to their development (for instance with the building of essential infrastructures);

- (v) Contribution for the recovery of local material and immaterial cultural heritage that has a tendency to disappear in depopulated and deprived rural communities;
- (vi) The establishment of a successful network of UGGp in Morocco would certainly stimulate the internal sustainable tourism, contributing to the increase of the national sense of pride by the Moroccan society.

The experience of the last 20 years has shown that although a certain territory might have geoheritage of international significance and some acceptance of the idea by the local people, the political support by local or national authorities is absolutely vital. At the least during the first years of the project, the availability of public funding and logistic support makes all the difference in setting up an aspiring geopark with high potential to be well succeeding. Considering the environmental and social benefits produced by geoparks, the use of public resources to trigger the launch of more aspiring geoparks following international standards should definitely be considered by Moroccan authorities. The impact of geoparks is measurable at the medium-long term but this is very important when we consider the establishment of sustainable living conditions for future generations.

References

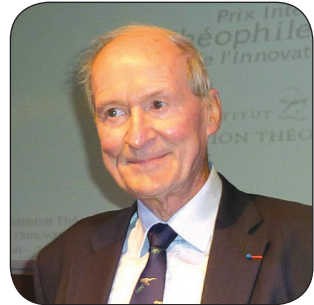
- Aoulad-Sidi-Mhend A., Maaté A., Amri I., Hlila R., Chakiri S., Maaté S. & Martin-Martin M. (2019) – The geological heritage of the Talassemtane National Park and the Ghomara coast natural area (NW of Morocco). *Geoheritage* 11(3): 1005–1025
- Arrad T.Y. (2018) – Patrimoine géologique et géomorphologique de la Province d'Essaouira. PhD Thesis University Chouaib Doukkali, pp. 240.
- Baadi K., Sabaoui A., Tekiout B. (2020) – Methodological Proposal for Assessment Geosites: its Application in Bou-Iblane Region (Middle Atlas, Morocco). *Geoheritage*, 12:55. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00476-1>
- Beraaouz M., Macadam J., Bouchaou L., Ikenne M., Ernst R., Tagma T., Masrour M. (2019) – An inventory of geoheritage sites in the Draa Valley (Morocco): a contribution to promotion of Geotourism and sustainable development. *Geoheritage* 11(2): 241–255.
- Berred S., Fadli D., El Wartiti M., Zahraoui M., Berred K.H., Sadki R. (2019) – Geomorphosites of the semi-arid Tata region: valorization of an unknown geoheritage for geotourism sustainable development (Anti-Atlas, South Morocco). *Geoheritage* 11: 1989–2004.
- Bouzekraoui H., Barakat A., Touhami F., Mouaddine A., El Youssi M. (2017) – Inventory and assessment of geomorphosites for geotourism development: a case study of Ait Bou Oulli valley (central High-Atlas, Morocco). *Area*, 50(4): 331–343
- Brilha J. (2018) – Geoheritage: inventories and evaluation. In: Reynard E. & Brilha J. (Eds.), *Geoheritage: assessment, protection and management*, Elsevier, 69–85.
- Brilha J. (2019) – Geoheritage. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences (Encyclopedia of Geology, 2nd edition edited by Scott Elias and David Alderton) Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12106-2>

- El Hadi H., Tahiri A., Simancas J.F., Gonzalez-Lodeiro F., Azor A., Martinez- Poyatos D. (2011) – Geoheritage in Morocco: the Neoproterozoic Ophiolite of Bou Azzer Central Anti-Atlas. *Geoheritage* 3:89–96.
- Errami E., Brocx M., Semeniuk V. (Eds) (2015) – From Geoheritage to Geoparks: case studies from Africa and beyond. Springer Verlag, 269p.
- Errami E., Ennih N., Brocx M., Semeniuk V., Otmane K. (2013) – Geoheritage, Geoconservation and aspiring Geoparks in Morocco: the Zenaga inlier. *Società Geologica Italiana*, Roma 18:49
- Henriques M.H. & Brilha J. (2017) – UNESCO Global Geoparks: a strategy towards global understanding and sustainability. *Episodes*, 40(4), 349-355.
- Malaki A. (2006) – Geosites: Interet Scientifique, Patrimoine Culturel et Visées Socio-Economiques, au Niveau d'Ifrane, Azrou, AïnLeuh et el Hajeb (Causse Moyen Atlasique). Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de Rabat, Maroc
- Mehdioui S., El Hadi H., Tahiri A., Brilha J., El Haïbi H., Tahiri M. (2020) – Inventory and quantitative assessment of geosites in Rabat-Tiflet Region (North Western Morocco): Preliminary study to evaluate the potential of the area to become a geopark. *Geoheritage*, v. 12, n° 35, <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00456-5>
- Naharoui F. (2016) – Le patrimoine géologique du massif central marocain: atouts pour un géotourisme intégré. Thèse de doctorat «Sciences de la Terre». Faculté des sciences-Rabat, Maroc
- Reynard E. & Brilha J. (Eds.) (2018) – Geoheritage: assessment, protection and management. Elsevier, Amsterdam, 450p.
- Tahiri A., El Hassani A. & El Hadi H. (2010) – Le patrimoine géologique du Maroc: l'exemple de la géodiversité paléozoïque de la région de Rabat Salé Zemmours Zaers. *Géol Fr* 1:79–88
- UNESCO (2015) – Statutes of the International Geoscience and Geoparks Programme and Operational Guidelines for UNESCO Global Geoparks: Paris, UNESCO, 6 p.
- El Wartiti M. Malaki A., Zahraoui M., Di-Gregorio F., De-Waele J. (2009) – Geosites And Touristic Development Of The Northwestern Tabular Middle Atlas Of Morocco. In: Marini A., Talbi M. (eds) *Desertification and Risk Analysis Using High and Medium Resolution Satellite Data*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 143–156
- Wimbledon W.A. & Smith-Meyer S. (eds.) (2012) – Geoheritage in Europe and its conservation. Oslo: ProGEO.

LE GÉOPARC DE MGOUN 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 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 Hassan II des Sciences et 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.

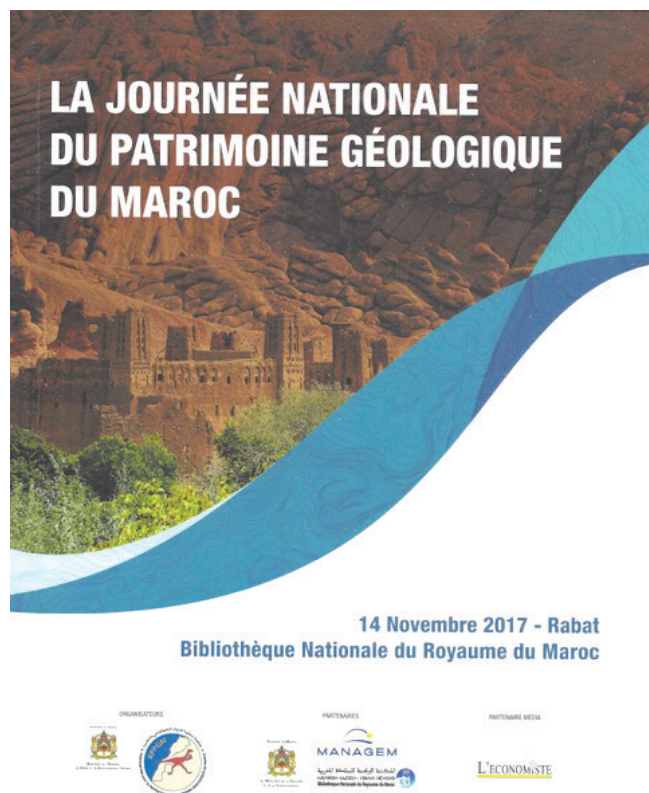


Figure 1 : La journée nationale du patrimoine géologique du Maroc. Rabat 2017

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.

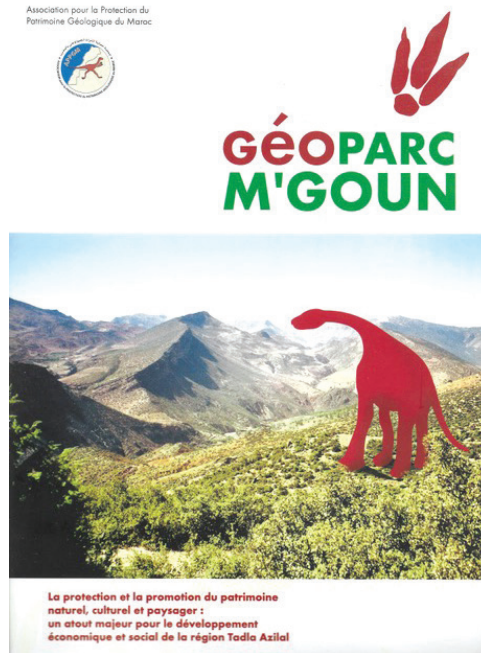


Figure 2 : Le Géoparc du M'Goun - plaquette de présentation. Association pour la protection du patrimoine géologique du Maroc (APPGM)

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 cœur 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 de tous les éléments a permis de savoir que ce Dinosauré, 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 Dinosauré 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 élané 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 Dinosauré carnivore nouveau pour la science que Najat Aquesbi et Ronan Allain ont nommé en 2007 *Berberosaurus liassicus* (le saurien berbère du Lias). Ce Dinosauré est un représentant des Abelisauroïde 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 1999 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. Boulinier)

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, entre autres, les sites exceptionnels des Cascades d'Ouzoud, du Pont Naturel d'Imi n'Ifri, 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 Dinosaures de Tazouda, ainsi que la naissance de la Route des Dinosaures. 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.

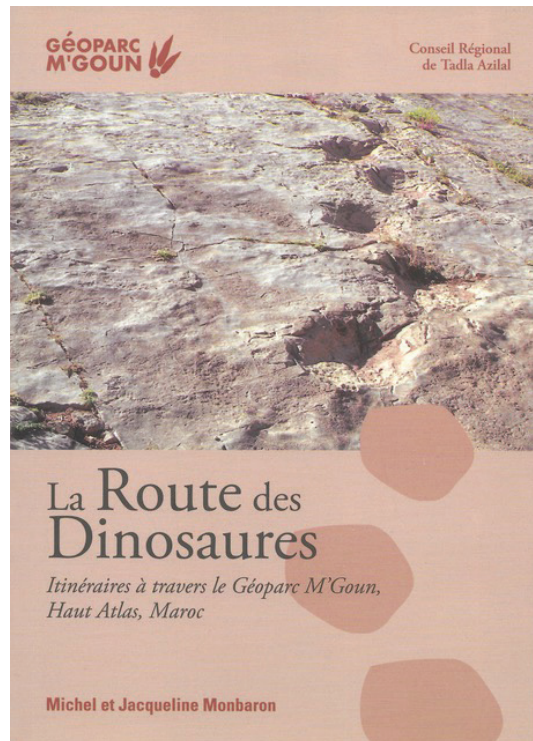


Figure 9 : La route des Dinosaures. Michel et Jacqueline Monbaron. 2015

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 Yvanès 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 doré 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.

SÉANCE II
PATRIMOINE MINIER ET ÉNERGÉTIQUE,
ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

LE SECTEUR MINIER ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Abdallah MOUTTAQI

Office National des Hydrocarbures et des Mines, Rabat



Le secteur minier marocain est confronté, comme partout dans le monde, 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. Ainsi, le secteur se trouve désormais évalué sous l'angle de la triple performance, économique, sociale et environnementale.

La primauté accordée au concept du développement durable est portée conjointement par l'administration, les opérateurs et la Fédération de l'Industrie Minérale (FDIM).

1. Evolution et chiffres clés du secteur minier marocain

Le Maroc est un pays de très longue tradition minière, avec plusieurs exploitations qui remontent au moyen Age (9^{ème} au 13^{ème} siècle), comme cela est attesté par des reliques d'objets ou d'anciens travaux découverts sur les sites d'Imiter et Zgounder (Ag), Iourirn (Or), Jbel Aouam (Pb), Bleida et Tazalaght (Cu)...

L'organisation actuelle du secteur résulte d'une évolution sur un siècle; il s'agit aujourd'hui d'un secteur libéralisé, où les rôles et les responsabilités sont bien identifiés et bien répartis entre l'Etat, le privé et la société civile.

La liste des différentes institutions et la date de leur création, ainsi que celle du cadre réglementaire sont données comme suit :

- *A partir de la décennie 1920 du XX^{ème} siècle :*
 - Service géologique : (1920)
 - OCP : (1920)
 - BRPM : (1928)
 - SCP : (1929)
 - ONAREP : (1981)
 - ONHYM : (2003)
- *En termes d'association professionnelle :*
 - GIMM (1940) puis AIMM (1957) et FDIM (depuis 1998)
- *Sur le plan législatif :*
 - Règlement minier : (1914, 1951, 2015)
 - Statut du mineur : (1960)

Aujourd'hui, le secteur minier est un contributeur important dans le développement socio-économique du pays, avec des impacts positifs à trois niveaux, national, régional et local. Sa part dans le PIB est estimée à 10% et le nombre d'emplois directs est d'environ 40 000. En termes d'exportations, le secteur contribue à hauteur de 80% en volume et 20% en valeur. La production s'évalue à 34 millions de tonnes de phosphates bruts et 2,5 millions de tonnes pour les autres produits (Argent, cobalt, plomb, zinc, cuivre, manganèse, barytine, bentonite, sel gemme, fluorine...).

Le Maroc est leader mondial dans le domaine des phosphates, il est premier producteur africain d'argent et de barytine, et occupe le troisième rang pour la fluorine et le cobalt sur le continent.

2. Le concept du développement durable dans la réglementation minière marocaine

Sur le plan réglementaire, il faudrait rappeler le fort engagement de notre pays envers les questions environnementales et de durabilité. Le Maroc a ratifié les trois conventions issues du processus de la Conférence de Rio et dispose d'un arsenal législatif cohérent et solide, basé sur une Constitution où le développement durable est érigé en droit fondamental, la Loi-Cadre 99-12 portant charte sur l'environnement et le développement durable, la loi sur les études d'impact sur l'environnement, la loi sur l'eau...

Pour le cas du secteur minier, la loi 33-13 relative aux mines et ses décrets d'application ont introduit des mesures de respect de l'environnement et de plan d'abandon; ils obligent le titulaire du titre minier de se conformer à la réglementation en vigueur en matière de santé, de sécurité, d'hygiène, de protection de l'environnement et à respecter la législation sur les biens culturels, archéologiques et les monuments classés.

Ainsi, lors de la demande de la licence d'exploitation de mines, le titulaire est obligé d'élaborer l'étude d'impact sur l'environnement et de présenter l'acceptabilité environnementale.

Dans le cadre de cette même loi, étendue à l'exploitation des cavités et à celle des haldes et terils, le demandeur de l'autorisation d'exploitation doit présenter lors du dépôt de sa demande un engagement d'exécuter l'étude d'impact sur l'environnement et la décision d'acceptabilité environnementale.

3. L'engagement des opérateurs miniers

Les opérateurs miniers, aussi bien privés que publics, intègrent la durabilité dans leur modèle d'activité. Plusieurs opérateurs sont labélisés selon la charte et label RSE de la CGEM (Figure 1). 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 et du développement communautaire. Citons dans ce cadre le recours aux eaux non conventionnelles (chez Managem où environ 42% de l'eau consommée est recyclée, ainsi que chez le groupe OCP avec l'optimisation de l'utilisation de l'eau sur l'ensemble de la chaîne de valeur avec le recyclage des eaux usées dans les procédés d'enrichissement, la réduction de la consommation grâce au Slurry Pipeline...).

Pour l'utilisation des ressources énergétiques, ces opérateurs font appel à de l'énergie provenant de parcs éoliens et adoptent de bonnes pratiques en développant des capacités de cogénération et en mettant en place des mesures d'efficacité énergétique.

Concernant le développement communautaire, les opérateurs miniers s'engagent précocement à l'égard des communautés en mettant en place les mécanismes adéquats pour une relation durable avec les riverains et faciliter ainsi l'acceptabilité sociale. Ils s'investissent systématiquement - selon une démarche d'écosystèmes - pour l'amélioration de l'accès à l'éducation et l'encouragement de l'excellence, l'amélioration de l'accès aux services de santé, le développement des infrastructures territoriales et la promotion de l'entrepreneuriat par le soutien à la croissance des entreprises existantes, l'encouragement à l'innovation, à l'entrepreneuriat féminin et social, le développement de coopératives et d'activités génératrices de revenus, et la réhabilitation des mines par des campagnes de reboisement...

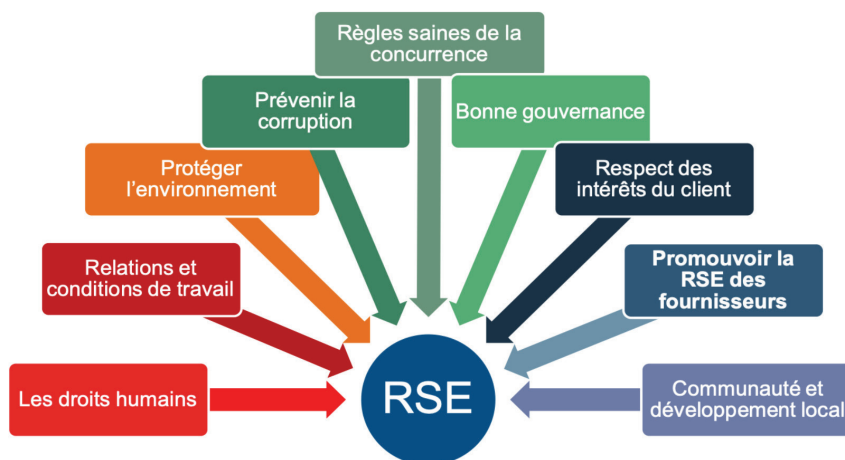


Figure 1 : Les neuf axes de la Charte et Label RSE de la CGEM

4. L'engagement de Fédération de l'industrie minérale (FDIM)

La responsabilité du secteur minier se traduit également par le renforcement de la FDIM dans son rôle fédérateur pour la diffusion des pratiques responsables, avec la mise en place d'une «commission RSE et développement durable» et l'adoption d'une «stratégie climat» et d'une «Directive de développement durable du secteur minier marocain (3D2M)» (Figure 2).

La stratégie climat du secteur minier se décline à l'aide d'une «Charte climat» et d'un «Manifeste climat»; documents qui constituent l'engagement des opérateurs miniers dans l'agenda climat national, avec ses deux volets d'atténuation et d'adaptation.

La Directive de développement durable du secteur minier marocain (3D2M), basée sur les meilleurs standards internationaux en la matière, constitue un cadre de référence national pour la prise en compte de la durabilité des opérateurs miniers d'une manière progressive.

Cette directive couvre les trois dimensions sociale, environnementale et économique. Elle est construite sur l'articulation de quatre principes (performances environnementales, optimisation des impacts socio-économiques, transparence et responsabilité, participation communautaire) et de huit enjeux (résidus miniers, efficacité énergétique, biodiversité, santé et sécurité, droits de l'homme, gérance de l'eau, développement communautaire, diversité selon le genre).



Figure 2 : Démarche stratégique de la 3D2M: *Articulation principes et enjeux*

5. En conclusion, deux messages à retenir

- Le premier concerne les opérateurs miniers, qui répondent aux questions qui se posent sur le terrain, à travers une démarche de durabilité, d'abord chacun dans son périmètre et ensuite en adoptant une approche d'intégration et de convergence par le biais de l'initiative 3D2M. Pour cette dernière, le secteur minier est en train de mettre en place, de manière interactive, un mécanisme d'autoévaluation pour chaque opérateur avec l'objectif d'atteindre la maturité d'implémentation dans un délai de deux à trois ans, afin de permettre l'appropriation sectorielle de la durabilité.
- Le deuxième adresse la question de la durabilité dans notre modèle de développement, bien au-delà du seul secteur minier, en rappelant l'une des conclusions du rapport du Conseil Economique, Social et Environnemental «Richesse Globale du Maroc entre 1999 et 2013» publié en 2016. La durabilité est appréhendée par l'évaluation de l'Épargne nette ajustée (ENA), indicateur qui tient compte de la destruction du capital naturel. Si cet indicateur est positif, le modèle de développement est considéré comme durable; par contre s'il est négatif, le modèle de croissance n'est pas durable. Pour le cas du Maroc, l'ENA se situe en moyenne à 17,4% du PNB pour la période 1999-2013, indiquant que le Maroc est sur un sentier de croissance durable. Cependant, cet indicateur est passé de 24,1% en 2006 à 14,8% en 2013, signifiant que cette situation n'est pas soutenable à long terme vue cette tendance baissière. Ceci révèle donc toute l'importance que nous devrions accorder à l'atténuation des pressions sur l'ensemble du capital naturel dans notre modèle de développement.

DISCUSSION

INTRODUCTION À LA DISCUSSION DE LA SESSION 2 «PATRIMOINE MINIER ET ÉNERGÉTIQUE, ET DÉVELOPPEMENT DURABLE»

Ismail AKALAY

*Expert de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Directeur Général de la Société Nationale de Sidérurgie, Maroc*



L'industrie minière fait reculer la pauvreté aux alentours de ses activités. Pendant mes 33 ans passés dans les mines, j'ai vu des enfants des riverains des mines devenir des médecins, des professeurs, des notaires, des chercheurs et des avocats. La mine a désenclavé des régions qui étaient inaccessibles ce qui a permis aux instituteurs d'y accéder ainsi que les médecins et les infirmiers. La mine a, très tôt, introduit le concept de la RSE (Responsabilité Sociale des Entreprises), ainsi que l'économie circulaire en valorisant et en inertant les déchets miniers qui sont devenus grâce à l'efficacité de la R&D des matières premières à haute valeur ajoutée.

L'industrie minière est le parent de l'industrie du recyclage car la plupart des techniques et technologies utilisées sont issues de la valorisation minière. Enfin la mine a un bel avenir devant elle, encore faut-il :

Intégrer la digitalisation, la robotisation et l'intelligence artificielle pour garantir la sécurité aux mineurs et améliorer les conditions de travail, mais aussi la productivité opérationnelle;

La formation des ingénieurs mineurs (géologie minière, traitement et mine) doit être améliorée et encouragée;

Après chaque fermeture de mine, il faut mener une réflexion pour transformer la mine en site touristique attirant tous les membres des sociétés savantes de géologie;

Toutes les mines profondes peuvent devenir des lieux de stockage d'énergie par la mobilisation de l'eau : vider la mine de son eau pendant les heures creuses et la remplir par passage à travers une turbine pour produire de l'électricité pendant les heures de pointe où la demande en électricité est élevée.

Nous autres marocains, avons un rôle à jouer en Afrique par l'apport du savoir-faire, la maîtrise des processus et la capacité d'adaptation de nos ressources humaines. La mine reste donc un vecteur de développement lorsque son exploitation est responsable et que la sécurité, la santé et l'hygiène y sont assurées.

SÉANCE III

**PATRIMOINE HYDRIQUE, PATRIMOINE
FORESTIER ET EXPLOITATION DURABLE**

LA DYNAMIQUE EAU ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Mohamed AIT KADI

***Membre résident, Académie Hassan II
des Sciences et Techniques***

Président du Conseil Général du Développement Agricole



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 Consœurs, 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)

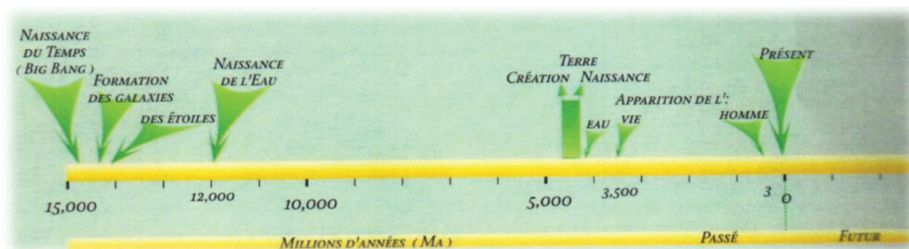


Figure 1 : Ambroggi R. 1997

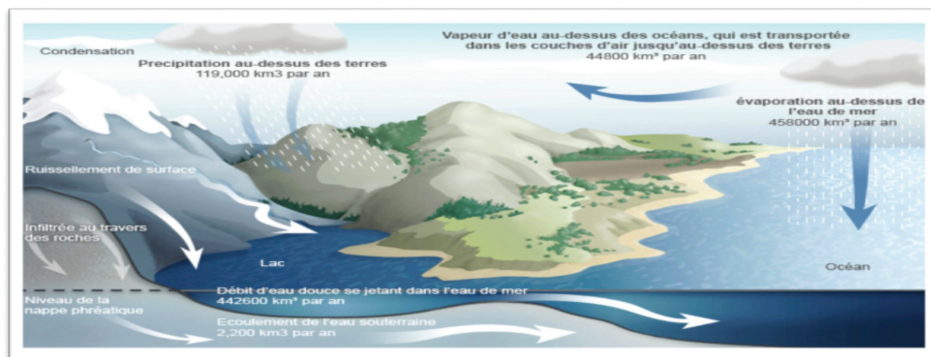


Figure 2 : Le cycle de l'eau

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.

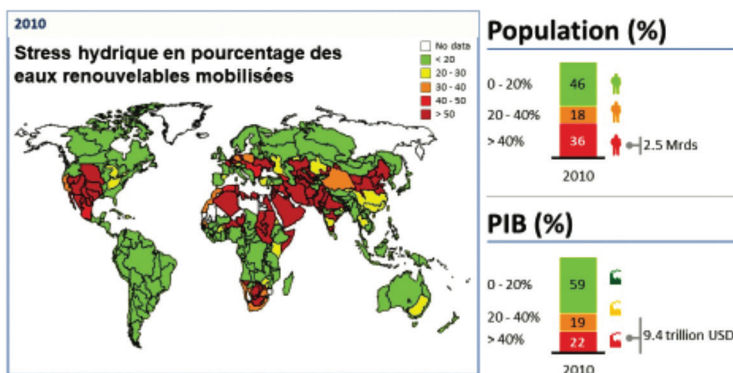


Fig. 3 Source IFPRI

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

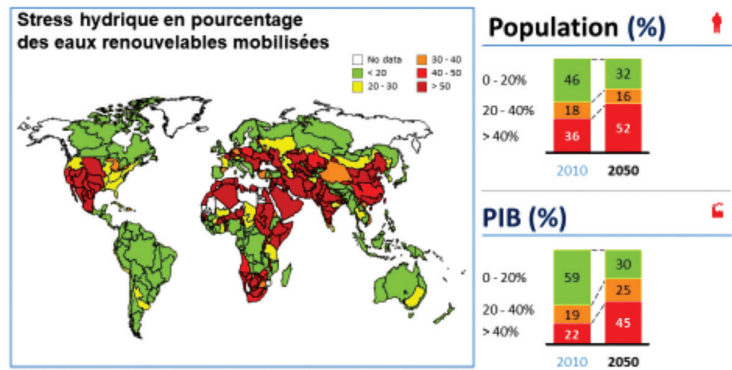


Fig. 4 SOURCE: IFPRI

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’efficience 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**

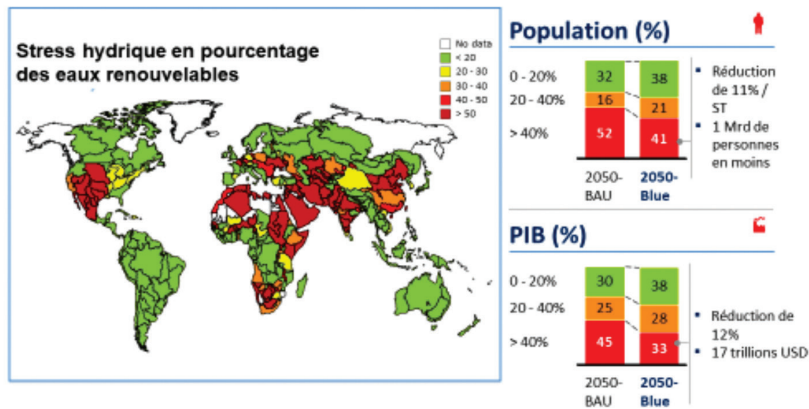


Fig. 5 (SOURCE: IFPRI)

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.

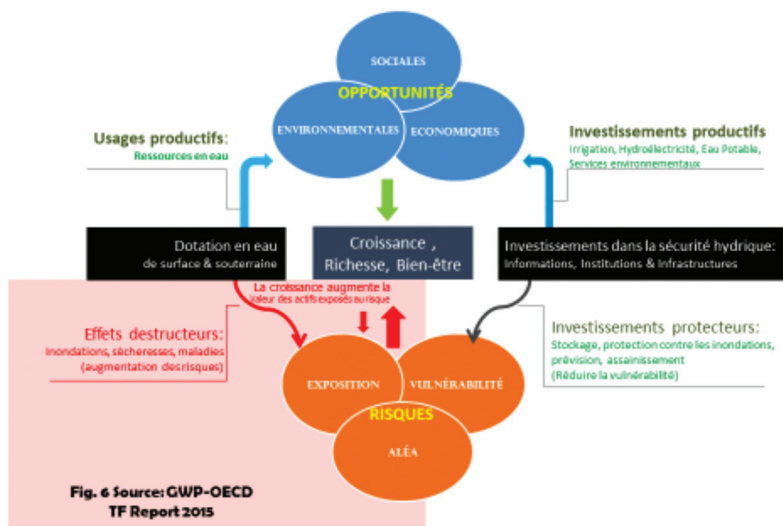
3. La dynamique Eau et Développement

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.

La dynamique Eau - Développement



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 trappe 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.

Importance du capital "eau"

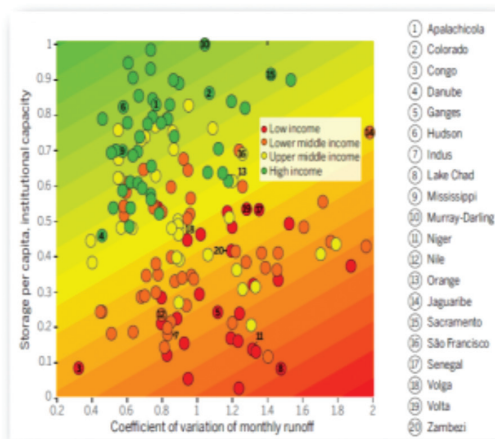


Fig.7 Sources:GWP-OECD
TF Report 2015

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.

Impacts économiques de l'insécurité hydrique

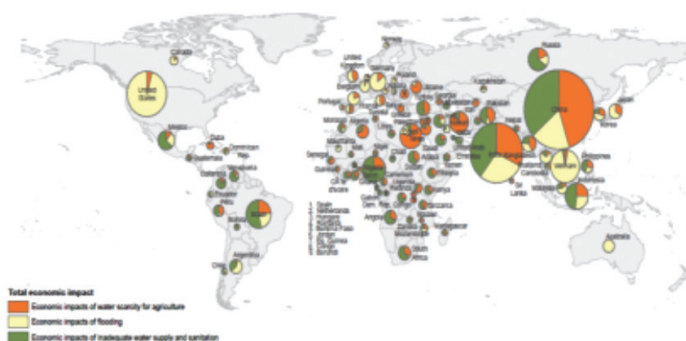


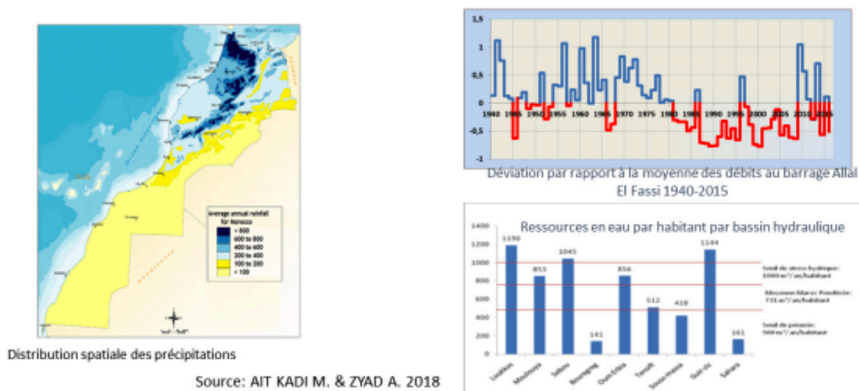
Fig. 8 Source: GWP-OECD TF Report, 2015

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)

Fig. 9 LE CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE

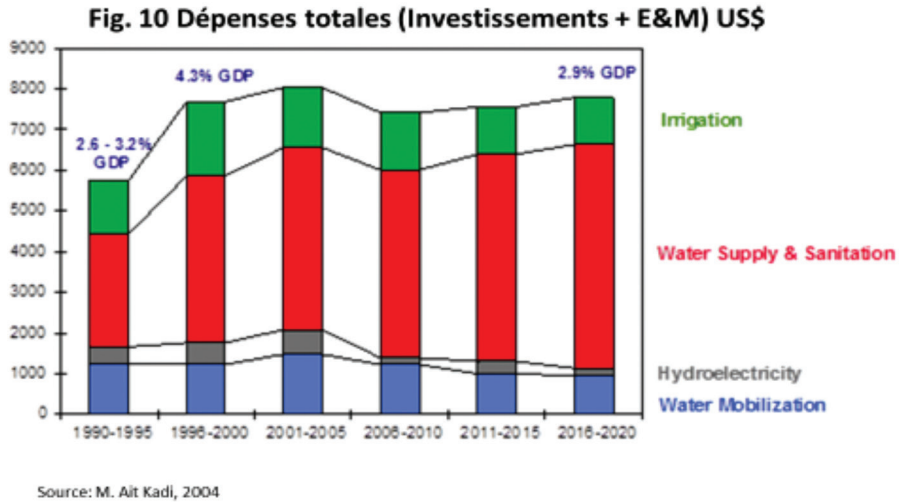


Au cours des cinq dernières décennies, l'accent est mis, sans discontinuité, sur la maximisation de la mobilisation des ressources en eau de surface et sur leur utilisation optimale dans l'agriculture irriguée, l'approvisionnement en eau potable et industrielle et la production d'énergie.

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).

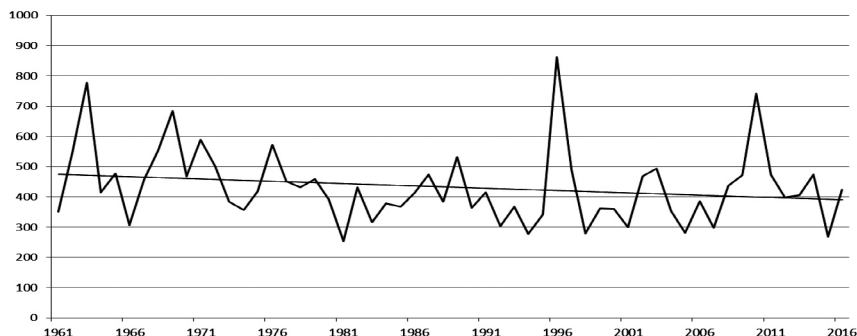


Figure 11 : Baisse tendentielle des Précipitations (Ait Kadi M & Ziad A. 2018)

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 éclair (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.

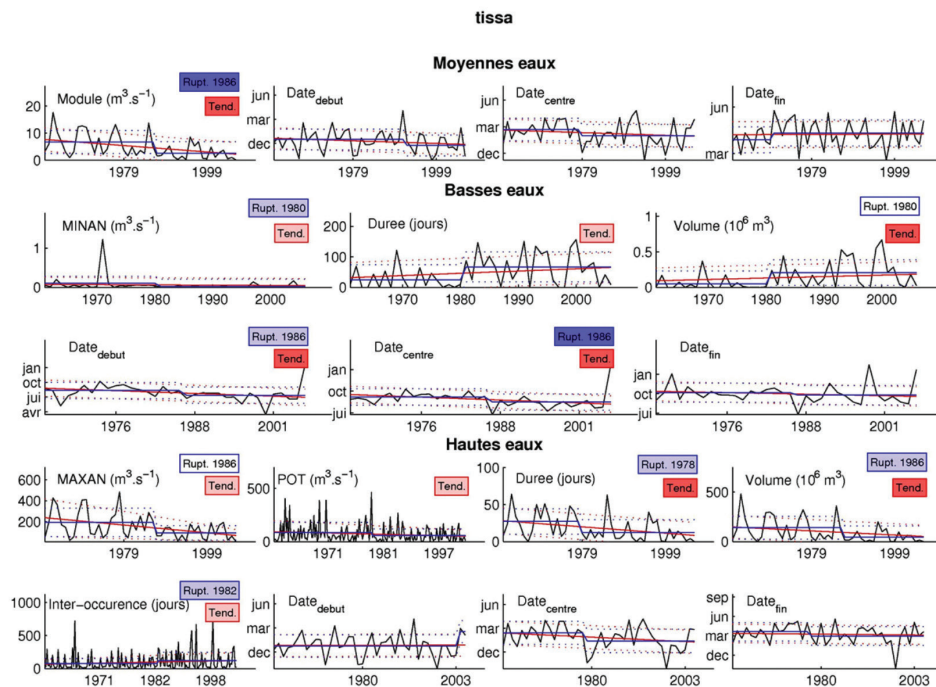


Figure 12: Variation des régimes hydrologiques du Sebou – source M. Ait Kadi, IRES.

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 XX^e 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)

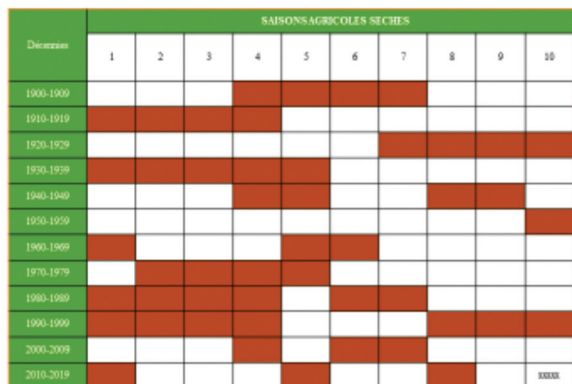


Figure 13 : Intensification des Sécheresses

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 efficience 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'efficience 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 Saïs (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.

Axe 2 : 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 1^{er} 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, VIIth 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 Ziad, 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.

ANALYSE COMPARÉE DE QUELQUES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS MÉDITERRANÉENS ET MODALITÉS DE LEUR EXPLOITATION DURABLE *

Abdelhamid KHALDI

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



1. Introduction

Au niveau de la Méditerranée, la biodiversité est d'un niveau assez remarquable, mais aujourd'hui, on vit des mutations globales profondes, en raison des changements climatiques, assez importantes, d'où la nécessité de conserver les écosystèmes forestiers de la région méditerranéenne qui reste un souci partagé au niveau de cette région. Dans ce sens, je vais évoquer la gestion comparée de quelques écosystèmes forestiers méditerranéens, en prenant l'exemple d'une forêt emblématique : la subéraie, mais pas uniquement, pour laquelle on a fait la valorisation à travers l'amélioration des connaissances et aussi à travers des valorisations pratiques qui permettent d'augmenter les chances de conservation.

La Méditerranée possède aussi des écosystèmes qui sont à la croisée des chemins et des civilisations, à travers les impacts et conséquences sur les écosystèmes terrestres et marins assez remarquables. Cependant, la résilience de ces écosystèmes a aujourd'hui des limites et donc auront de plus en plus de difficultés à résister à cette même résilience qu'ils ont connus tout au long de leur histoire.

* Contribution compilée par les soins du Comité d'organisation, à partir de la présentation orale (PPT) et de l'enregistrement vidéo de la conférence de l'auteur.

2. Le bassin méditerranéen: un haut lieu de biodiversité

En effet, le bassin méditerranéen est considéré comme un haut lieu de la biodiversité (appelé aussi hotspot), avec un niveau d'endémisme très important sur l'ensemble des 34 points chauds (hotspots) de la biodiversité reconnus à l'échelle du globe aujourd'hui (Figure 1). Il abrite une flore exceptionnelle, avec près de 22 500 espèces de plantes vasculaires, 500 espèces d'oiseaux (en plus de celles qui migrent à travers la région), 220 espèces de mammifères terrestres, dont 25 endémiques (11%), 225 espèces de reptiles en Méditerranée dont près de 80 (34%) sont endémiques, 80 espèces d'amphibiens dont 30 endémiques (31%) et 220 espèces de poissons d'eau douce dont 60 endémiques.

A l'intérieur de ces hotspots méditerranéens, on a de mini hotspots (Figure 2), qui montrent :

Un taux d'endémisme important chez les arbres (290 espèces d'arbres dont 201 endémiques: cèdre du Liban, arganier, chêne-liège,),

10 mini hotspots: ex. Montagnes de l'Atlas en Afrique du Nord,

Ces dix zones couvrent environ 22% de la superficie totale du bassin, mais abritent près de 5 500 espèces végétales endémiques, soit environ 47% de la totalité des espèces endémiques méditerranéennes¹.

Cette grande biodiversité nous interpelle par le devoir de conserver ces écosystèmes au vu justement de la présence de ces mini-hotspots (Figure 3).

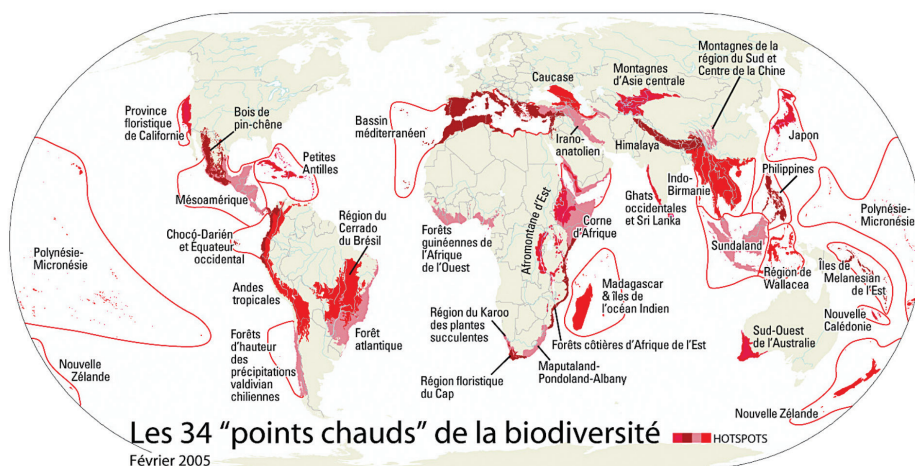


Figure 1 : Carte de répartition des hotspots à l'échelle globale
(Source : Conservation internationale)



Protection contre l'érosion, la désertification et les avalanches,
Qualité de l'air,
Séquestration de carbone,
Préservation de la biodiversité (flore et faune),
Des paysages prisés,
Ecotourisme et activités récréatives.

Ces écosystèmes sont malheureusement devant des menaces et des pressions, qu'on peut résumer comme suit :

Prélèvements excessifs (bois, parcours, PFNL,...),
Défrichements et extension des surfaces cultivées,
Importante urbanisation,
Fréquentation croissante des espaces boisés,
Pollution de tout type,
Envahissement des espèces non indigènes,
Feux de forêts; qui représente le plus grand fléau et qui est malheureusement permanent,

Si nous ajoutons ces données des mutations globales profondes et impacts sur les écosystèmes forestiers méditerranéens au réchauffement planétaire de plus en plus alarmant, nous obtenons la courbe suivante (Figure 4)²; où on constate que la température moyenne a très peu augmentée pour le centenaire 1980-1880, mais au cours des 40 dernières années on enregistre une augmentation importante dont l'impact est loin d'être cerné et connu, avec des conséquences parfois désastreuses parfois irréversibles et je donne ici une carte qui résume la vulnérabilité à la désertification (Figure 5)³

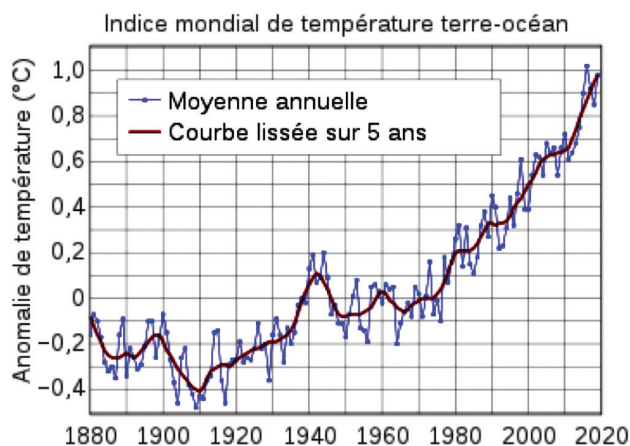


Figure 4 : graphique montrant l'évolution de l'indice mondial de température terre-océan (document NASA)

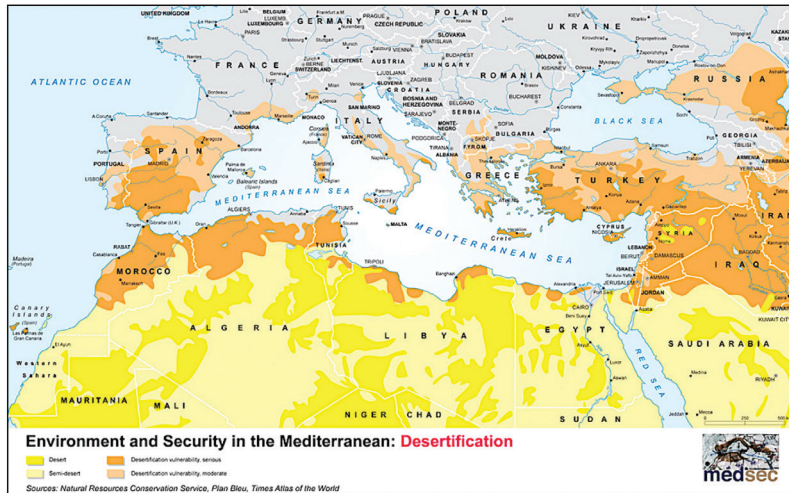


Figure 5 : Environnement et sécurité dans la région méditerranéenne: Vulnérabilité à la désertification (document UFM)

4. Nécessité de conserver les écosystèmes forestiers de la région méditerranéenne: un souci partagé?

Il a été créé autour de la région méditerranéenne beaucoup d'aires protégées (PN, RN, habitats protégés, ...): étendues limitées, importance stratégique mais est-ce suffisant? Pas du tout, la seule conservation muséenne ne suffira pas à garder un niveau de biodiversité élevé. Dans le cadre de la gestion comparée de quelques écosystèmes forestiers méditerranéens, on peut prendre l'exemple de la subéraie pour illustrer ce phénomène: sa répartition, son état de conservation et que fait-on pour sa sauvegarde (Figure 6).

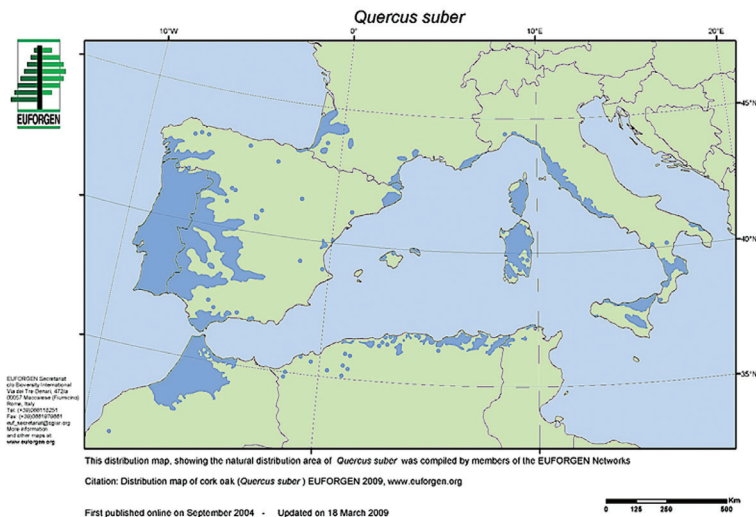


Figure 6 : Carte de distribution de la subéraie dans l'ouest méditerranéen (Source : Euforgen)

La Répartition chiffrée est de 000 687 2 ha avec:

Pour l'Afrique du Nord : le Maroc (16,4%), l'Algérie (14%) et la Tunisie (5,3%);

Pour l'Europe du Sud : le Portugal (32%), l'Espagne (27%), l'Italie (3,7%) et enfin la France (1,6%).

Les caractéristiques pour chacune des rives diffèrent et on note:

Pour la Rive nord (foncier majoritairement privé, gestion dominée par l'aspect économique, pressions anthropiques faibles, déficit de régénération naturelle, efforts conséquents de reconstitution (UE);

Pour la Rive sud (foncier majoritairement public, gestion dominée par l'aspect de protection et d'intégration sociale, pressions anthropiques élevées, déficit de régénération naturelle, efforts de reconstitution limités). La photo (Figure 7) montre un exemple de la menace de la subéraie par l'urbanisme.



Figure 7 : Une forêt habitée: pressions et résilience de plus en plus limitée

Le Maroc, par exemple, contient un nombre important de surfaces importantes en chêne-liège, dont la surface globale est de 377 482 ha, ce qui place le pays au 4^{ème} rang mondial, derrière le Portugal, l'Espagne et l'Algérie. Jusqu'au début du siècle dernier, la forêt de la Mâamora était considérée comme la plus grande subéraie du monde d'un seul tenant avec 133 853 ha. Elle n'est plus qu'à 60 000 ha environ au début du 21^{ème} siècle (Belghazi et al. 2001)

Pour ce qui est de l'Algérie, la superficie de 440 000 à 480 000 ha selon les auteurs (Bouhraoua, 2013); le premier Inventaire Forestier National (IFN 1983-84) n'a répertorié que 230 000 ha de forêts de chêne-liège, le reste de la superficie a évolué vers un maquis à chêne-liège. L'IFN de 2008 donne 357 000 ha, dont 242 098 ha de vieilles futaies.

Les Causes de la régression de la subéraie algérienne (Bouhraoua, 2013) sont dues à plusieurs facteurs (vieillesse des peuplements et régénération naturelle déficiente; enrésinement des peuplements, par le pin d'Alep et le pin maritime principalement; absence de travaux sylvicoles, et donc embroussaillage et abandon des forêts; manque de plans de gestion subéricoles; mauvaises pratiques d'exploitation du liège; attaques parasitaires, par le platype (*Platypus cylindrus*) notamment; et peut être la cause principale : la récurrence des feux de forêts). Selon le même auteur, la Direction Générale des Forêts (DGF) avance le chiffre de 200 000 ha de forêts de chêne-liège ravagées par le feu sur la période 1985-2012, soit une surface moyenne annuelle de près de 7 400 ha, avec 3 pics notables en 1994 (63 000 ha), 1990 (15000 ha) et 2012 (17000 ha).

En Tunisie, on a exactement la même chose (Figure 8) où beaucoup d'efforts ont été faits pour améliorer les techniques de régénération, en essayant de faire des semis, des plantations, etc... Mais reste toujours le problème d'exploitation abusive des glands et, donc, il ne reste pratiquement pas beaucoup de choses à régénérer.

Nous avons une évolution inquiétante, ce qui fait que les Constats d'hier et d'aujourd'hui montrent des peuplements de plus en plus vieillissant (ceux âgés de moins de 50 ans représentent moins de 5% des effectifs : IFPN, 2005)

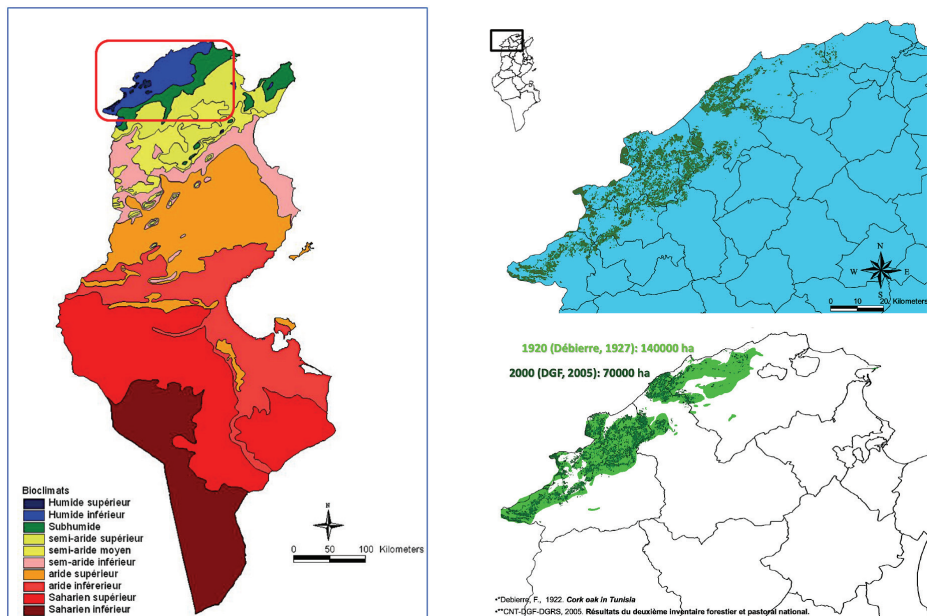
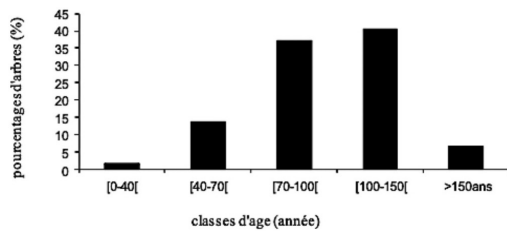


Figure 8 : Localisée principalement dans la région de Khroumi-Mogods
(Source : Stiti et al., 2006)



Répartition des chênes lièges par classes d'âges en Tunisie ; Source: Stiti et *al.*, 2006



Figure 9 : Différentes facettes de la forêt de chêne-liège en Tunisie :

- a). b) quasi absence de régénération naturelle;
- c) augmentation de la pression sociale sur la subéraie;
- d) dépérissement de plus en plus visible des peuplements

5. Régénération naturelle: a-t-on encore les moyens de se l'offrir?



Régénération naturelle après 18 ans de mise-en-défens stricte: 1992-2010: (Forêt de Bellif-Photo Khaldi, 2010)



Population locale pauvre: difficile de concevoir des mises en défens prolongées

Figure 10 : Différents types de régénérations naturelles

6. Régénération assistée : du semis à la plantation

Le bilan à mi-parcours du PNR pour l'Algérie montre que la surface plantée en chêne-liège est de 18 500 ha (moyenne annuelle de 1 500 ha), répartie comme suit :

Repeuplement des vides (enrichissement) : 4 836 ha (26,0%);

Plantations : 13 656 ha (73,7%);

Ensemencement : 12 ha (0,3%).

Le taux de réussite moyen des reboisements (DGF) pour les campagnes 2001 à 2011 est de 40%.

Le bilan pour le Maroc (cas de la Maâmora), après travaux de reboisement en chêne-liège réalisés sur une période 35 ans, correspond à une surface totale d'environ 4 400 ha. Ce bilan a été dressé en vue de mettre en évidence les facteurs responsables de la réussite et des échecs (Belghazi et al. 2001).

On peut donc dire que, pour le Maroc, la régénération artificielle est partout possible à l'intérieur de la forêt; elle ne dépend pas de la pente du terrain et encore moins de la profondeur du sable, et enfin, elle est meilleure en Maâmora occidentale (littorale), mais là aussi, l'approvisionnement en glands pose un sérieux problème. A ce sujet, le rapport de la Cour des Comptes de 2018⁴, dit : *«Des opérations de régénération portant sur 1930 ha ont été ajournées en 2015 par les DPEFLCDs de Khémisset, Rabat, Ouazzane et Sidi Slimane en raison de l'absence des plants de chêne-liège au niveau de la pépinière de Sidi Slimane, qui est due au ramassage abusif des glands et du manque de cette semence sur les sites indiqués par les services forestiers. Par ailleurs, au titre des campagnes 2014 à 2017, 11 marchés de régénération ou de regarnis ont été ajournés et deux résiliés au niveau des DREFLCD du Rif et de Rabat-Salé-Zemmour-Zaer à cause de l'indisponibilité ou de l'insuffisance des gland»*

Pour la Tunisie, avant 1988, il n'y a pas eu d'effort remarquable pour la régénération de la subéraie (enrésinement du maquis). Entre 1988-1989, il y a eu régénération par semis directs de glands sur plus de 3 000 ha (PDF1), cela s'est soldé par un échec total. De nombreux essais de semis directs ont connu le même sort dans toute la région méditerranéenne (Messaoudene, 1984; Sondergaard, 1991; Carvallo & Morais, 1996; Louro, 1999...); Enfin, au début des années 90, on constate que des progrès de recherche ont été enregistrés en matière de production de plants en pépinière et de transplantation (Figure 10).

L'autocernage s'est avéré nécessaire pour les plants transplantés pour obtenir des performances significatives, et de loin, meilleures. Cela implique nécessairement une transformation des modes de production des plants en pépinière forestière



Figure 11 : Essais répétitifs de semis: pas de résultats notoires



Figure 12 : Expérimentation de différents substrats et conteneurs : effets sur l'architecture racinaire et la réussite de transplantation. (Pépinière Ouechtata. Photo Khaldi, 2005)



Figure 13 :

A gauche : Jebel Dinar : un exemple de reboisement réussi en chêne-liège (Photo Khaldi, 2012)

A droite : Plantations comparatives (essais de provenances) installées en 1997. (Périmètre de Tebaba. (Photo prise en 2005)

7. Valorisation d'une ressource d'un écosystème forestier méditerranéen: le lentisque : (changement de perception et souci de conservation)

Nous prendrons comme exemple le lentisque (*Pistacia lentiscus* L.), qui en Tunisie occupe une surface de 69 000 ha (Figure 14) dont l'usage est essentiellement pour la production d'une huile fixe, comme l'huile d'argan, uniquement dans quelques terroirs entre l'Algérie et la Tunisie (Figure 15). En faisant de la valorisation de cette ressource, est-ce que nous avons des chances à la garder parce que c'est une ressource surexploitée. Les techniques traditionnelles sont limitées à quelques terroirs, nous avons cherché à améliorer la technologie d'extraction, qui est une technologie artisanale, très difficile à faire au niveau ergonomique.

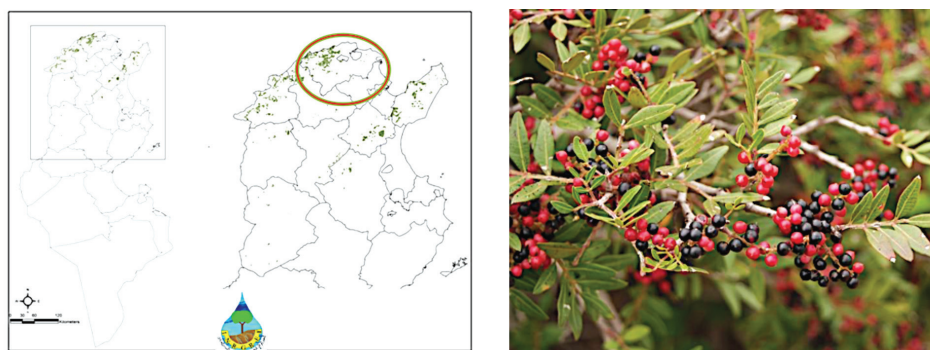


Figure 14 : Carte de répartition du lentisque (*Pistacia lentiscus*) en Tunisie.



Méthode traditionnelle

Méthode améliorée

Figure 15 : Différentes méthodes d'extraction de l'huile de lentisque



Figure 16 : Photos montrant les divers formations dispensées aux artisans de ce genre d'extraction

Pour l'extraction de l'huile fixe, nous avons travaillé sur l'amélioration du rendement en huile; l'amélioration de la qualité de l'huile; plus pratique et ergonomique; et surtout un gain du temps. Ces méthodes d'extraction sont brevetées (Brevet enregistré à l'INNORPI et TN2013/0181). Ce Brevet est exploité par les GDAs et certains industriels (WM oils...). Ajoutons enfin, que nous avons aussi travaillé sur l'amélioration de la connaissance de la ressource de ce produit pour une meilleure valorisation (Figure 16). Ce qui a permis l'amélioration des revenus (15 dinars en 2010 à 80 dinars en 2018), surtout quand on sait que la demande de ce produit sur les marchés a augmenté, ce qui donne un prix total de vente d'environ 4 800 dinars.

A l'échelle locale nous avons aussi formé beaucoup de femmes dans différentes zones (aujourd'hui au nombre de 15) qui produisent régulièrement ce produit.

Nous avons aussi élaboré, avec la FAO, un guide téléchargeable sur internet, qui explique la pratique de l'extraction mécanique de l'huile fixe de lentisque (Figure 17). Nous avons également établi un autre guide pratique AVFA (Figure 18: en arabe, pour la population locale) et avons fait beaucoup de recherches sur la composition biochimique et nous l'avons brevetée pour ses qualités de cicatrisation notamment une pommade à base d'huile de lentisque, qui a un pouvoir cicatrisant important, meilleur que celui de Cicaderma® et qui a donné de très bons résultats. Nous avons plusieurs publications à ce sujet, avec un certain nombre de brevets (Brevet enregistré à l'INNORPI TN2016/0206) et aussi une demande d'exploitation du Brevet par des industriels (EPPM...).

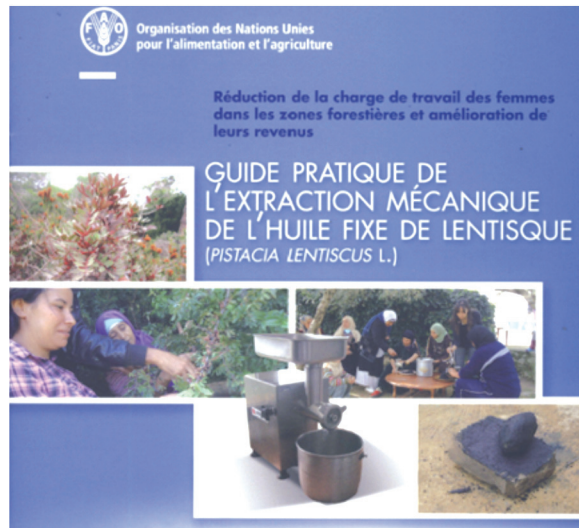


Figure 17 : Guide pratique FAO pour l'extraction mécanique de l'huile fixe de lentisque



Figure 18 : Guide pratique AVFA

Actuellement nous travaillons sur un nouveau projet pour faire un transfert de technologies depuis le Sud vers le Nord de la méditerranée pour faire connaître ces produits et nous espérons les développer dans le futur.

8. Conclusion

La conservation des écosystèmes méditerranéens passe impérativement par une prise de conscience des décideurs à propos des défis et des menaces qui pèsent sur ces écosystèmes. La valorisation apporte aussi un plus à l'effort entrepris pour conserver les ressources forestières augmente systématiquement avec toute valorisation apportée (innovation ou amélioration de la gestion) et donc l'appropriation par les populations locales équivaut plus de chance et une garantie pour la durabilité

Références bibliographiques

- Belghazi B.; Ezzahiri M.; Amhajar M.; Benzyane M. (2001) : Régénération artificielle du chêne-liège dans la forêt de la Mâamora (Maroc). Forêt méditerranéenne, t. XXII, n° 3, pp : 253-261
- Bouhraoua RT, Villemant C, Khelil MA, Bouchaour S (2002) : Situation sanitaire de quelques subéraies de l'Ouest algérien: impact des xylophages. IOBC-wprs Bull 25:85–92
- Carvalho, J.B. & Morais, C.J.E., 1996. Analise da florestaço em Portugal 1966-1995, Reunião de Especialistas em Reabilitação de Ecossistemas Florestais Degradados. Instituto Florestal. Lisboa, Portugal.
- Dehane B., Bouhraoua R. Latifa B. et Hamani FZ (2013) : La filière liège algérienne, entre passé et présent. Forêt méditerranéenne, t. XXXIV, n° 2, pp : 143-152
- Louro G., 1999. Avaliação da aplicação de programas de apoio à floresta na região do algarve, Direcção Geral das Florestas (DGF- Lisboa), Portugal.
- Messaoudene, M., 1984. Résultats des essais de semis directs du chêne-liège à Melata. Rapport Interne, Inst. Nation. Rech. For. (INRF, Algérie), 10 p.
- Sondergaard P., 1991. Essais de semis de chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans la forêt de Bab Azhar, une subéraie de montagne au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, 25: 16-29.

BIOGÉOGRAPHIE DES ESPACES BOISÉS DU MAROC

Mohamed BENZYANE

*Ancien Directeur du Centre de Recherches Forestières,
Rabat*



1. Introduction

Par sa position géographique, avec des côtes baignées par deux mers : l'Océan Atlantique et la Mer Méditerranée, des chaînes montagneuses élevées (dépassent 4 000 m d'altitude) a structure complexe et très compartimentée; les plateaux et les plaines étendus, le Maroc bénéficie d'un climat varié résultant des effets conjugués des influences océaniques, méditerranéenne et saharienne. Ce climat est de type méditerranéen sur presque l'ensemble du territoire, avec un très large éventail des types bioclimatiques (Figure 1).

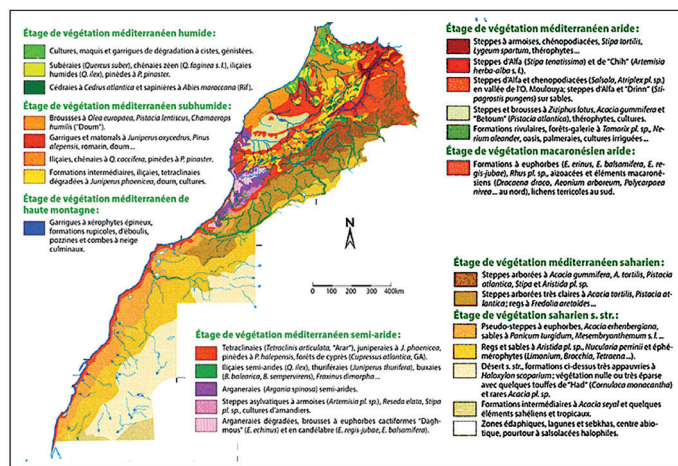


Figure 1 : Carte générale de la végétation du Maroc, d'après la carte de l'UNESCO-FAO (1970); modifiée

Ces traits orographiques et bioclimatiques sont à l'origine de la grande richesse floristique et la diversité des biocénoses. Si on ne considère que les phytocénoses forestières, préforestières et prestéppiques, on dénombre alors plus de 30 espèces arborescentes majeures et plus de 30 autres espèces arborescentes secondaires qui constituent ces types de formations. Celles-ci occupent tous les bioclimats (Benabid, 2000). Elles constituent des groupements dont la superficie couverte est de l'ordre de 5,5 millions d'hectares, répartis comme suit :

Chêne vert	1 331 113	Cèdre	130 000
Acacias	1 235 669	Pins	110 499
Arganier	1 076 100	Chêne zène	19 216
Thuya	679 744	Sapin	4 855
Genévriers	589 271	Cyprès	4 777
Chêne liège	295 919		

2. Biogéographie des principales formations forestières

Les grands types d'écosystèmes naturels du Maroc sont représentés par des essences arborescentes feuillues et conifères.

2.1. Les espèces feuillues

Dans les espèces feuillues on distingue :

- Les chênes caducifoliés représentés par les zénaies et les tauzaies;
- Les chênes sclérophylles où l'on trouve, le chêne vert, le chêne liège, le chêne kermès et l'arganier.

Leur répartition dans le temps géologiques est figuré dans le tableau suivant (Figure 2) :

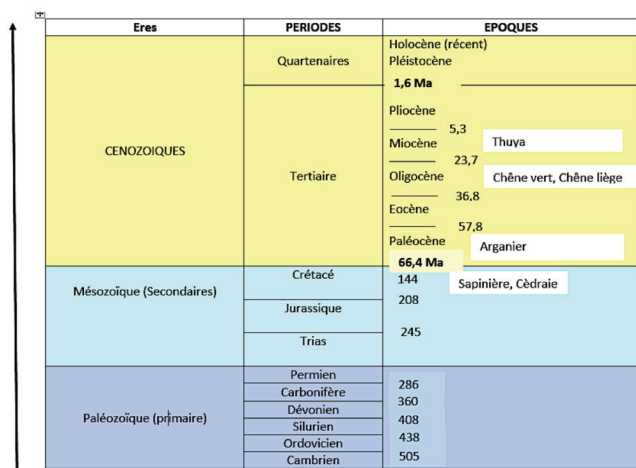


Figure 2 : Place des formations forestières dans l'échelle des temps géologiques

Chênaie verte (*Quercus rotundifolia* Lam.)

Le chêne vert (Figure 3) est apparu probablement au Miocène, il y a environ 25 millions d'années (Benabid & Fennane, 1994.), et il est en particulier très abondant au Maroc où on le rencontre dans toutes les régions montagneuses. Emberger (1938) l'a qualifié de «ciment vivant qui relie les massifs forestiers: il apparaît comme le substrat, le fond sur lequel se détache en tâches plus vives les peuplements des autres essences. Avec près de 1 330 000 ha, il est le premier arbre forestier du Maroc».

La plasticité et la résistance du chêne vert lui permettent de coloniser tous les types de substrats géologiques, et de se situer dans les zones bioclimatiques semi-aride, sub-humide, humide et per-humide tempérées à extrêmement froides (Emberger, 1938; Barbero et al., 1981; Benabid, 1986 et 1994a; Benabid & Fennane, 1994).

Du point de vue de la zonation altitudinale, les formations du chêne-vert s'insèrent entre 600 et 2 700 m d'altitude, c'est-à-dire qu'elles apparaissent au plafond du thermo-méditerranéen, et disparaissent au plancher de l'oroméditerranéen.



Figure 3 : Forêt de chêne vert

Subéraie (*Quercus suber*) (Figure 4)

Depuis l'Oligocène, date probable de l'apparition de *Quercus suber* L. (Chêne liège), le chêne liège est une espèce endémique du domaine atlantique du bassin méditerranéen. Il s'étend du 33^{ème} parallèle au Sud-Ouest (Maroc) au 36^{ème} parallèle au Sud-est (Algérie et Tunisie) et dépasse à peine la 44^{ème} parallèle au Nord (France); à l'Ouest, elle couvre la totalité du Portugal, l'Est de l'Andalousie et l'Est de l'Italie.

Son aire de répartition au Maroc est estimée à 296 000 ha. Les principaux massifs s'observent dans le Rif, le Moyen-Atlas, le Plateau Central et la Meseta occidentale. Sa présence dans le Haut-Atlas est relativement peu importante. Il se localise dans les zones bioclimatiques subhumide, humide et per-humide chaudes, tempérées et fraîches, exceptionnellement semi-aride chaude et tempérée.

Au Maroc, Le chêne-liège est le seul arbre qui présente encore des forêts de plaines relativement denses et vastes. Les subéraies de la Maâmora et de Larache en constituent les meilleurs exemples, mais pour combien de temps encore vu l'irrésistible avancement de l'anthropisation et des cultures. La Maâmora est désormais réduite à moins du tiers de sa surface potentielle.

Notons que, les écosystèmes à chêne-liège de la portion centrale du Rif ont été quasi-littéralement anéantis par les opérations de défrichement. Les conséquences sont catastrophiques: destruction des sols par amplification de l'érosion, dysfonctionnement du cycle de l'eau, appauvrissement de la biodiversité dans les zones perturbées.



Figure 4 : Le chêne liège de la forêt de la Maâmora, région de Rabat

Arganeraie (*Argania spinosa*)

L'arganier (Figure 5) est une essence endémique spécifiquement marocaine, à affinités tropicales, de la famille des sapotacées. Unique en son genre, l'arganier constitue la curiosité biogéographique, écologique et forestière du Maroc. Il est aussi une caractéristique importante du secteur macaronésien marocain, secteur physiologiquement et floristiquement singulier vu ses affinités évidentes avec les îles Canaries.

Son installation en région méditerranéenne est très ancienne, probablement avant le Tertiaire, avec une aire qui était très vaste dans le passé. Au Maroc, la situation actuelle semble dater du dernier pluvial (Benabid & Fennane, 1994).

Actuellement l'arganier couvre essentiellement la région de Souss et les régions avoisinantes, sur un important espace de 2,5 millions d'hectares : Anti-Atlas, revers du Sud et Haut Atlas, la région de Haha, Chaidma, les Ida-Outanane.

Sur le plan écologique, le «climat de l'arganier» est spécial; il est marqué par un hiver chaud ou tempéré, une humidité de l'air toujours forte et une fréquence élevée de brouillard.



Figure 5 : Photos montrant l'arganier et un paysage de forêt d'arganier

Zénaies (*Quercus canariensis*, *Q. faginea*)

Des observations relatives à la taxonomie des chênes zènes révèlent que ceux-ci se rapportent à deux espèces distinctes : *Q. canariensis* et *Q. faginea*. Au Maroc, les zénaies occupent près de 19 000 ha. La première espèce est la plus fréquente puisque ses peuplements peuvent s'observer depuis le bord de mer jusque vers 1 800 m dans le Rif et le Moyen Atlas.

Le chêne zène (*Quercus faginea*) est limité, dans son aire d'extension, à la dorsale calcaire de la partie occidentale de la chaîne du Rif. Ses forêts, relativement moins élancées que celles de la première espèce, occupent l'étage supra-méditerranéen humide et perhumide.

Tauzaie (*Quercus. pyrenaica*)

Au Maroc, les tauzaies ne sortent guère des étages méso-méditerranéen et supra-méditerranéen humides et perhumides. D'une superficie de 5 000 ha, le chêne tauzin n'apparaît que dans la partie centre-occidentale du Rif. Il est strictement calcifuge (Benabid, 1985). Dans ces conditions climatiques favorables aux chênaies caducifoliées, la tauzaie peut entrer en contact avec la zénaie, mais celle-ci préfère coloniser les sols profonds colluvionnaires, alors que les sols moyennement profonds mais régulièrement frais durant toute l'année, sont couverts par la tauzaie.

2.2. Les espèces sahariennes : *Les Acaciaies*

Au Maroc, trois espèces d'*Acacia* se développent spontanément : *Acacia gummifera*, *Acacia tortilis subsp raddiana* et *Acacia ehrenbergiana*. L'inventaire forestier National réalisé en 2016 fait ressortir, pour les *Acaciaies*, une superficie de 1 235 000 ha.

L'Acacia gummifera, «gommier du Maroc», est un arbre endémique du Maroc, on le trouve sur les marges septentrionales du Sahara, mais surtout, plus au Nord dans l'aire de l'arganier et dans le Haouz. Le gommier du Maroc organisait des écosystèmes qui s'étendaient sur de vastes zones du Haouz, des Rehamna, de Tadla et de la Chaouia. Défrichés sur l'ensemble de leur aire naturelle, ils n'ont été épargnés que dans certains lieux saints, de ces zones.

Acacia tortilis subsp raddiana et *Acacia ehrenbergiana* sont typiquement sahariens ; ce sont les arbres les plus communs et les plus utiles.

L'Acacia raddiana (Figure 6), est considéré comme le symbole du désert en Afrique du Nord (Mhirit et al., 1999). Elle constitue des savanes désertiques qui sont, de loin, les plus diversifiées et les plus répandues, car elles s'observent depuis Figuig à l'Est, jusqu'au Sud d'Adrar Souttouf dans la province de Dakhla. Ces savanes occupent les bas fonds et les marges, voire les lits des thalwegs et des oueds (Emberger, 1938 et 1939; Quézel, 1965; Bernard & Darley, 1983; Benabid, 1985b, 1986, 1994a-b et 1996; Quézel et al. 1995).

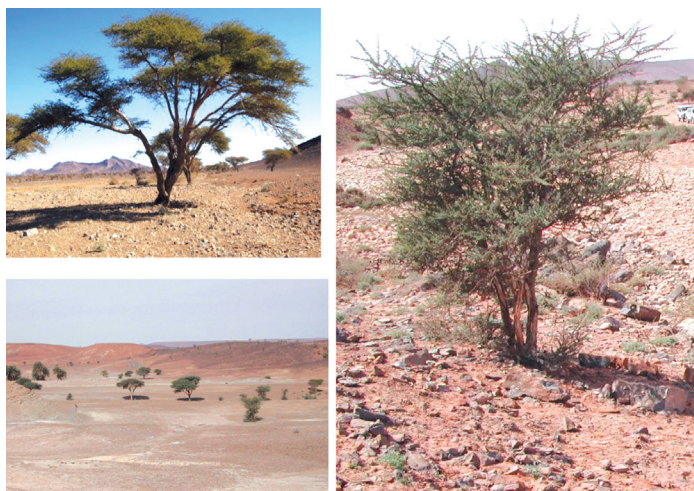


Figure 6 : Figure montrant l'*Acacia raddiana* dans différents milieux naturels

Cet arbre mythique, qui manifeste une grande résilience aux changements climatiques, présente aussi un intérêt économique certain, en raison des usages multiples. Il joue par ailleurs un rôle indéniable dans la sauvegarde et la conservation des zones fragiles, l'agroforesterie et la lutte contre toutes les formes de dégradation.

2.3. Les conifères

Au Maroc, les conifères sont représentés par onze espèces à l'état naturel, repartis en sept genres (*Abies*, *Cedrus*, *Pinus*, *Tertclinis*, *Juniperus*, *cupressus* et *Taxus*). Tous les genres sont très anciens en Méditerranée; leur installation remonte au moins à l'Holocène.

Cédraie (*Cedrus atlantica*)

Le cèdre de l'Atlas (Figure 7), essence noble et mémoire des temps, occupe 133 000 ha, et constitue une richesse sur les plans écologique, économique, social et culturel; ce qui lui confère une importance particulière au Maroc.



Figure 7 : Le cèdre de l'Atlas

La répartition du cèdre de l'Atlas au Maroc se présente dans quatre unités biogéographiques : les cédraies du Rif, du Moyen Atlas central, du Moyen Atlas oriental et du Haut Atlas oriental. Sa valeur biogéographique est liée au fait que sa présence au Maroc remontrait au crétacé inférieur. Son aire actuelle est disloquée sur le pourtour méditerranéen et s'étend jusqu'au Himalayas vers l'Est.

Dans les variantes fraîche, froide, très froide et extrêmement froide des bioclimats subhumide, humide et perhumide, on observe de très belles futaies de cèdre qui ornent les montagnes marocaines entre 1 500 et 2 500 m d'altitude. Ces cédraies apparaissent dans le Rif central, le Moyen Atlas et le Haut Atlas oriental au niveau du supra-méditerranéen (cédraie basse) du montagnard méditerranéen (cédraie de moyenne altitude) et de l'oroméditerranéen inférieur (cédraie de haute altitude). Elles s'installent sur tous les types de substrats mais il semble qu'elles se développent mieux sur ceux qui sont plutôt acides.

Sapinière (*Abies maroccana*)

Comme beaucoup d'autres conifères, le genre *Abies* est très ancien puisqu'il est connu du Crétacé inférieur à l'Actuel (Figure 8). Il est représenté par plusieurs espèces de systématique fort complexe, distribuées surtout en Europe. *Abies maroccana* Trabut (sapin du Maroc) est une espèce endémique du Maroc, appartient au groupe *A. pinsapo* Roiss., représentée également en Espagne par quelques milliers d'hectares. Le sapin du Maroc est également rare, cantonné aux seules montagnes calcaires du Rif occidental aux environs de Chefchaouen. Ses peuplements actuels n'excèdent guère 4855 ha de surface. Ils sont généralement infiltrés de cèdre, de chênes ou de pins, avec généralement un sous-bois comparable à celui de la cédraie.

Sur le plan écologique, le sapin du Maroc coiffe les hauts sommets de la dorsale calcaire dans le Rif occidental, sous des bioclimats humide et surtout perhumide, frais et froids. La sapinière du Maroc s'insère entre 1500 et 2000 m au niveau du supra-méditerranéen et du montagnard méditerranéen (Benabid, 1985).



Figure 8 : Sapin du Maroc (Parc National de Tallasmtan , Chefchaouen)

Tetraclinaie (*Tetraclinis articulata*)

Le thuya de Barbarie (Figure 9) est une essence qui est essentiellement cantonnée en région méditerranéenne méridionale occidentale. Il est lié géographiquement à la Berbérie, c'est-à-dire aux régions non sahariennes des trois pays du Maghreb: Maroc, Algérie et Tunisie.

Son installation en Méditerranée occidentale remonte à l'ère Tertiaire au cours de laquelle son aire était importante en Europe centrale (Fennane, 1994).

C'est au Maroc que cette espèce individualise les peuplements les plus étendus et les plus diversifiés. Son aire de répartition s'étend dans la partie orientale du pays, sur le plateau central, et dans le secteur de l'arganier. Ses peuplements sont remarquablement liés aux variantes chaudes et tempérées du semi-aride exceptionnellement subhumide inférieur ou aride. Le tempérament plastique et la résistance du thuya lui permettent de coloniser tous les types de substrats géologiques et d'occuper une frange altitudinale comprise entre le bord de mer et 1 000 m dans le Maroc septentrional, 1 500 m dans le Maroc méridional.

Le Thuya présente la particularité d'être le seul conifère qui a la capacité de rejeter des souches après exploitation. Cet arbre remarquable constitue le support de tout un artisanat de bois au niveau de la ville d'Essaouira où l'on recense plus de 300 artisans.



Figure 9 : photo montrant le thuya (*Tetraclinis articulata*) dans la montagne du Gourougou au Nord de la ville de Nador.

Juniperus phoenicea

Le Genévrier de Phénicie est largement représenté dans les pays du bassin méditerranéen. Au Maroc, on reconnaît deux taxons infra spécifiques :

- le premier *Juniperus*, *subsp.* ou *var. lycia*, concerne les peuplements côtiers occupent au Maroc les dunes sableuses en ambiances bioclimatiques semi-aride et subhumide chaudes. Ces peuplements apparaissent autour d'Essaouira, de Mehdià (Kénitra), dans le Tangérois et à Saïdia dans le Maroc oriental (Benabid, 1985);

- Le deuxième. *subsp.ou var. phoenicea*, concerne les peuplements de l'intérieur qui remplacent le Thuya de Berbérie quand la continentalité devient importante. *Juniperus phoenicea subsp* apparait depuis le thermo-méditerranéen jusque vers le montagnard méditerranéen, mais c'est au niveau du méso-méditerranéen et supra-méditerranéen qu'il atteint son optimum.

La plasticité et la résistance de ce résineux lui permettent de coloniser les différents types de substrats sur les adrets du Moyen Atlas et surtout du Haut Atlas et de l'Anti Atlas. Il est présent dans une frange altitudinale comprise entre 1 000 et 2 200 m et il occupe les bioclimats semi-aride et aride supérieur frais froids et très froids.

Thuriféraies (*Juniperus thurifera*)

L'aire géographique du Genévrier thurifère est essentiellement méditerranéenne, avec une présence importante surtout au Maroc et en Espagne. Au Maroc, le thurifère est l'arbre des situations extrêmes : le plus longévif, le plus alticole, le plus robuste et le plus dégradé. C'est un arbre majestueux, d'une robustesse extraordinaire, qui organise des écosystèmes dans des conditions climatiques très rudes où aucune autre essence forestière n'arrive à se développer (Emberger, 1938 et 1939). Ces thuriféraies s'étendent sur presque tous les hauts sommets du Moyen Atlas plissé et du Haut Atlas centre-oriental, dans des bioclimats semi-aride et subhumide très froids et extrêmement froids et sur tous les types de substrats (Gauquelin, 1989 ; Benabid et Fennane, 1994).

Pinèdes (*Pinus spp.*)

Quatre espèces et variétés de pins sont spontanées au Maroc. Ce sont *Pinus halepensis* (pin d'Alep), *Pinus pinaster subsp. bamiltoni var. magbrebiana* (pin maritime de montagne du Maroc) et *var. iberica* (pin maritime de la péninsule ibérique), et *Pinus clusiana var. mauretanica* (pin noir de l'Afrique du Nord). Ces espèces couvrent environ 80 000 ha. Les deux dernières essences n'existent au Maroc que dans le Rif occidental. Quant aux deux autres, elles organisent des peuplements exigus dans le Rif, le Moyen Atlas et le Haut Atlas.

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller), couvre au Maroc près de 60 000 ha, répartis en colonies éparpillées sur les chaînes montagneuses depuis le niveau de la mer (région de Melilla jusqu'à environ 2 000 m (vallée de Tassouat). Il est présent dans le Rif, en particulier sur le versant méditerranéen, le Moyen Atlas central et certaines vallées du Haut Atlas. Les peuplements purs de pin d'Alep sont assez rares. Souvent, cette espèce entre en contact avec le Thuya de Barbarie, le Genévrier rouge, le chêne vert, le chêne-liège ou le chêne kermès avec lesquels elle forme des peuplements pré forestiers ou pré-steppiques.

Le Pin maritime (*Pinus pinaster* Aiton), d'une superficie de 12 000 ha; il se répartit entre le Rif (montagne de Chefchaouen, de Ketama), le Moyen Atlas (environs d'Ifrane (Tamrabet), massif de Bouiblanc, Bou Nacer) et le Haut Atlas surtout oriental. Sur le plan écologique, le pin maritime se rencontre dans les étages bioclimatiques subhumide et humide.

Le pin noir (*Pinus nigra Arnold*) : Au Maroc, le pin noir ne forme que quelques petites colonies à l'Est de Chefchaouen entre 1 300 et 1 700 m d'altitude, en bioclimat humide frais et froid.

Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*) : Le genre *Cupressus* comprend une vingtaine d'espèces dans le monde. Son aire géographique a été fortement étendue par l'Homme tant il est utilisé dans des plantations artificielles comme ornement, reboisement et haies. Le Cyprès de l'Atlas (*Cupressus atlantica*), espèce endémique marocaine, individualise des formations pré-steppiques localisées dans la haute vallée du N'Fiss dans le Haut Atlas occidental, entre 900 et 1 400 m, en ambiance bioclimatique semi-aride et localement subhumide.

3. Les écosystèmes forestiers face aux changements climatiques

Au Maroc, la pression démographique, la déforestation, la désertification rampante, l'urbanisation incontrôlée, la surexploitation des ressources biologiques et la pollution se conjuguent aux réchauffement climatique pour faire peser de graves menaces sur la biodiversité du Maroc. Ces changements se traduisent par la fragmentation et la destruction des milieux et des habitats de la flore, l'extinction et la migration des communautés végétales.

Le changement climatique peut avoir des effets néfastes sur les écosystèmes forestiers marocains, qui, malgré leur diversité, sont très fragiles en raison de la pression accrue sur la ressource. Les conséquences de cet impact seront, certes, écologiques, avec une modification des aires de répartition des espèces et donc des paysages, une érosion plus forte des sols, mais elles seront aussi économiques et sociales, avec une augmentation des risques d'incendie, une forte susceptibilité aux insectes et aux maladies et une diminution de la productivité.

A titre d'exemple la subéraie a perdu 13% de sa superficie en l'espace de 50 ans (1938 -2000), soit une perte de 60 000 ha. L'exemple le plus frappant à cet égard est la subéraie de la Maâmora, se situant dans la limite supérieure de son aire de répartition écologique, les changements climatiques associés à des facteurs anthropo-zoogènes ont eu pour conséquence la régression en superficie et en densité.

En 40 ans (1951 - 1992), la classe de densité inférieure à 100 souches par hectares représentait en 1992, 47% de la superficie de la subéraie de la Maâmora alors qu'en 1951, cette proportion n'était que de 10% (DEFCS, 1994).

Migration des espèces : L'hypothèse la plus communément admise sur la réponse des espèces aux changements climatiques concerne les potentialités de migration selon le gradient altitudinal associé au gradient thermique. La règle biogéographique conceptuelle associée à un changement de 3°C, un changement d'altitude de 500 m. L'impact de ce changement entraînerait la perte des zones climatiques les plus froides et le déplacement linéaire de toutes les ceintures de végétation vers les sommets. De même, une augmentation de 2°C, entraînerait un déplacement latitudinal de la végétation de 150 à 200 km. Cette évolution se traduira par un déplacement vers le Nord des étages bioclimatiques, conduisant à une remontée des zones arides et désertiques.

Dans le Moyen Atlas, les cédraies ont également tendance à s'infiltrer dans l'aire de répartition du thurifère, qui occupait autrefois des tranches altitudinales allant de 2 400 à 3 300 m d'altitude, pour céder la place aux chênaies vertes.

Les études menées dans le cadre du Plan d'Action National de Lutte Contre la Désertification (PANLCD, 2001-2007) ont montré que 93% du territoire national sont menacés par le phénomène de désertification. Ce phénomène sera aggravé par le maintien de la pression sur les ressources naturelles et l'aridité de plus en plus prononcée du climat.

Références bibliographiques

- Achhal A. (1979): Le chêne vert dans le Haut Atlas central : Etude phytoécologique et problèmes posés par les aménagements de la chênaie. Thèse Univ. Aix-Marseille III, France.
- Barbero M., Benabid A., Quezel P., Rivas-Martinez S. & Santos A. (1982): Contribution à l'étude des Acacia Arganetalia du Maroc occidental. Documents phytosociologiques, N.S. Vol. VI Camerino.
- Barbero M. & Quezel P. (1981): Contribution à l'étude des formations préstepaniques à Gêneriers au Maroc. Boletim da sociedade Broteriana L III Sér. 2,53 (2):1 1 37- 1 1 60.
- Barbero M., Quezel P. & Rivas-Martinez S. (1981): -Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Maroc. Phytocoenologia, 9, 3: 311-412.
- Benabid A. (1976): Etude phyto-écologique, phytosociologique et sylvopastorale de la tétraclinaie de l'Amsittène. Thèse Univ. Aix-Marseille III , 1 5 5 p.
- Benabid A. (1982-b): Etude phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc). Thèse es-sciences. Univ. Aix-Marseille III, 199 p.
- Benabid A. (1982-a): Bref aperçu sur la zonation altitudinale de la végétation climacique du Maroc. Ecologia mediterranea Vol. VIII., fasc. 1 et 2, Marseille.
- Benabid A. & Fennane, M. (1994): Connaissances sur la végétation du Maroc: Phytogéographie, phytosociologie et séries de végétation. - Lazaroa 14: 21-97.
- Benabid A.. (2000): Flore et écosystème du Maroc, Edition Ibis Presse, 355p.
- Bernard J. & Darley (1983): Les acacias du sud Marocain : limites Nord-Ouest de l'aire d'Acacia ehrenbergiana Hayne (Mimosoideae). Bull. Fac. Sci., Marrakech (secr. Sei. Vie) 2: 203-214.
- Daget Ph. (1977-b): Le bioclimat méditerranéen : Analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. Vegetatio, 34 (2): 87- 103.
- Daget Ph. (1977-a): Le bioclimat méditerranéen: Caractères généraux, modes de caractérisation. Vegetatio, 34 (1): 1-20.
- Donadieu P. (1977): Contribution à une synthèse bioclimatique et phytogéologique au Maroc. Inst. Agron. et Vétér. Hassan II, Rabat.

- Emberger L. (1964): La position phytogéographique du Maroc dans l'ensemble méditerranéen. *Al Awamia* no 12: 1-15 .
- Emberger L. & Maire R. (1941): Catalogue des plantes du Maroc. Minerva, Alger. Supplément aux vol. 1, 2 et 3, 4: 915-1181.
- Emberger L., (1955): Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Lab. Bot. Zool. Fac. Sc. Montpellier*, Sér. Bot. 7: 3-43.
- Emberger L. & Maire R. (1934): Histoire de nos connaissances botaniques sur le Maroc: 5-35 in *Tableau phytogéographique du Maroc*. *Mem. Soc. Scien. Nat. Du Maroc*, 38, Edit. Larose, Paris.
- Fennane M. (1982): Analyse phytogéographique et phytoécologique des tétraclinaies marocaines. Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Aix-Marseille III.
- Fennane M. (1987): Présentation du monde végétal marocain. *In Grande Encyclopédie du Maroc*, Volume Flore, Rabat : 7-14.
- Fennane M. (1988): Phytosociologie des tétraclinaies marocaines. *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 12: 99-148.
- Fennane M. & Mathez J. (1988): Nouveaux matériaux pour la flore du Maroc. Fasc. 3. *Nat. Monsp.*, sér. bot. 52: 135-141.
- Fennane M. & Mathez J. (1992): Nouveaux matériaux pour la flore du Maroc. Fasc. 4. *Nat. Monsp.*, sér. bot. 56: 151-170.
- Mhirit O., Blerot P. , Benzyane M. (1999): *Le Grand livre de la forêt marocaine* : Edition Mardaga, Belgique; 277 p.
- Peletier J. P. (1982) : La végétation du bassin versant de l'Oued Souss (Maroc). Thèse es-sciences. Univ. de Grenoble.
- Pujos A. (1966): Les milieux de la cédraie Marocaine. *Ann. Rech. Forest.*, Rabat, 8; 283 p.

LA CÉDRAIE MAROCAINE : PROTECTION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Omar MHIRIT

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

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, écophysiologiques, 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, écophysiologie, 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*, *Cedrus lennieri*, *Cedroxylon reticulatum*, *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 Marne. 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.

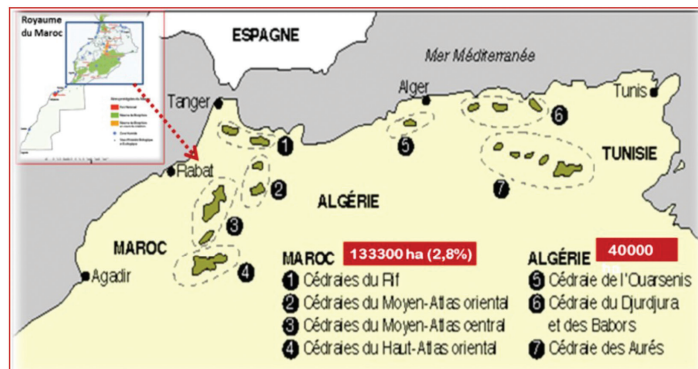


Figure 1: Aire de répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (Mhirit, 1982)

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 quartzeux-schisteux 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, Talassemtane 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 *Quercetea 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 maroccana-Cedrus atlantica*) et dans les Babors en Algérie: le sapin de Numidie (*Abies numidica*) et le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) avec les espèces principales suivantes: l'if (*Taxus bacata*), le houx (*Ilex aquifolium*), le chêne à feuilles caduques (*Quercus mirbekii*), les érables (*Acer granatense* et *Acer obtusatum*);
- b) **Les communautés végétales de la cédraie à chêne vert**, avec *Ilex aquifolium* et *Acer monspessulanum* dans le Moyen-Atlas et le Rif occidental et central;
- c) **Les communautés de la cédraie mésophile** dans le Moyen-Atlas, le Rif, l'Ouarsenis algérien où dominent les espèces suivantes: *Argyrocystis battandieri* et *Ilex aquifolium*;
- d) **Les communautés de la cédraie orophile** dans la dorsale calcaire du Rif; du Moyen-Atlas oriental et les Aurès en Algérie avec des genévriers: *Juniperus thurifera*, *Juniperus oxycedrus* et un grand cortège de xérophytes épineux.

La composition floristique des cédraies, sa signification dynamique et syntaxonomique et son évolution sont décrites en détail par ailleurs (Pujos 1966; Lecompte 1969; Mhirit, 1982; Peyre 1979; Barbero et al. 1980; Quézel et al. 1987)

Ces communautés végétales abritent une faune sauvage remarquable dont le représentant le plus emblématique est le singe “magot” (macaque de berbérie), espèce endémique du cèdre, mais l’on citera également le renard roux, la genette, le sanglier, la mangouste, le chat sauvage, le cerf de berbérie (réintroduit récemment dans le Parc National de Tazzeka) et de nombreux insectes et oiseaux (circaète, aigle botté, faucons, coucou, chouette hulotte, pic épeiche, rollier d’Europe, roitelet triple bandeau, bec-croisé des sapins, petit-duc, mésange bleue...). Les deux espèces les plus impressionnantes, le lion de l’Atlas et la panthère ont disparu, le premier dans les années 1920 et la seconde, récemment, dans les années 1980-1990.

2.2. Caractéristiques édaphiques et autoécologiques

L’originalité édaphique du cèdre de l’Atlas réside, tout particulièrement, dans sa rusticité et son indifférence à la nature lithologique du sol. Le cèdre se rencontre sur des substrats et des sols variés: sur des basaltes, de la dolérite, des marno-calcaires, des marno-schistes, des dolomies, des calcaires dolomitiques, des schistes et des grès au Maroc. Toutefois, il trouve son optimum sur les roches siliceuses et les sols meubles, à structure et texture hétérogène, profonds (> 60 cm), assez riches chimiquement et avec une réserve utile comprise entre 80 et 100 mm. Il accepte également une large gamme de pH, avec un optimum compris entre 4 et 6,5. (Figure 2).

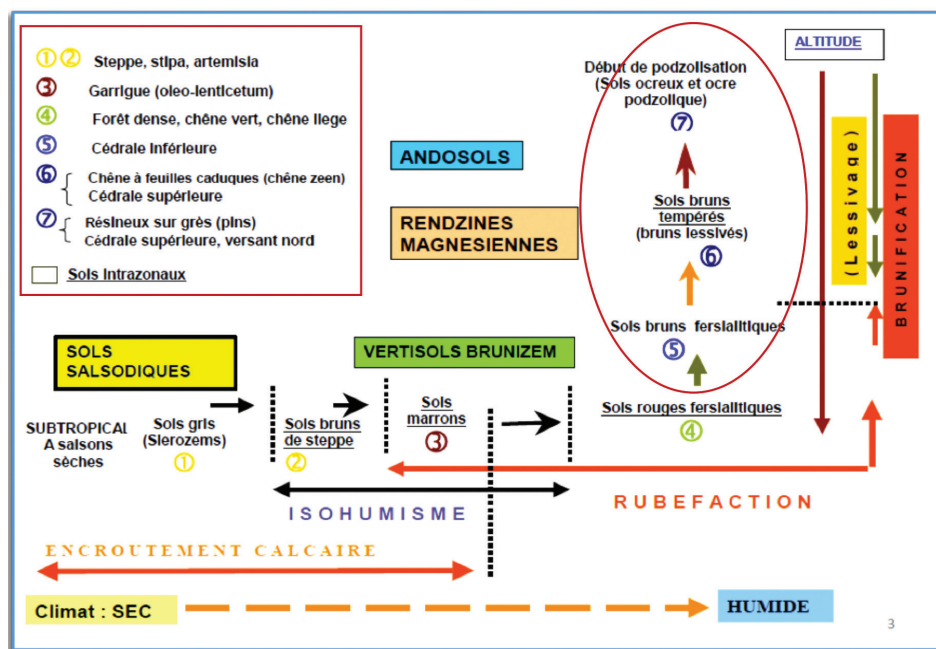


Figure 2: Place du cèdre dans l’ensemble écosystémique forestier structurant le paysage marocain en fonction des processus édaphoclimatiques (Mhirit, 2006)

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 Adel, 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 dégradée 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).

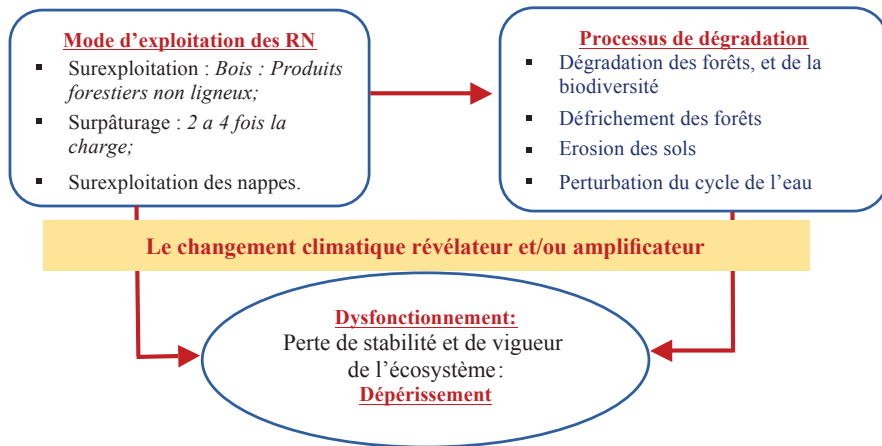


Figure 3: Fonctions sensibles de la cédraie et processus de vulnérabilité

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 déclenchants** (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 (*Diffubenzuron*) 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

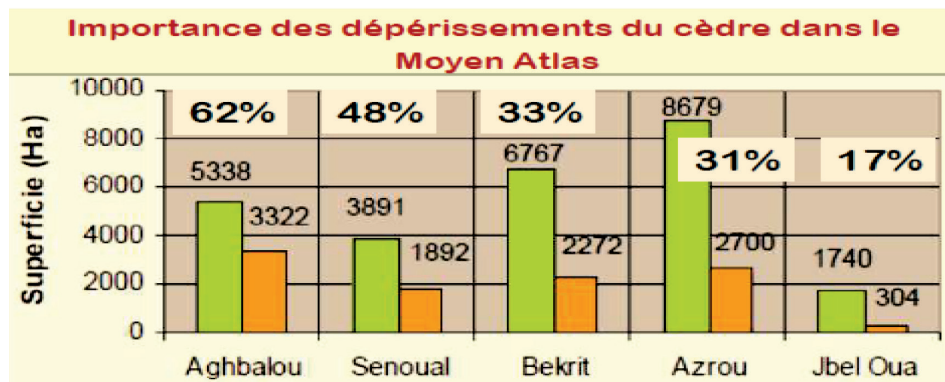
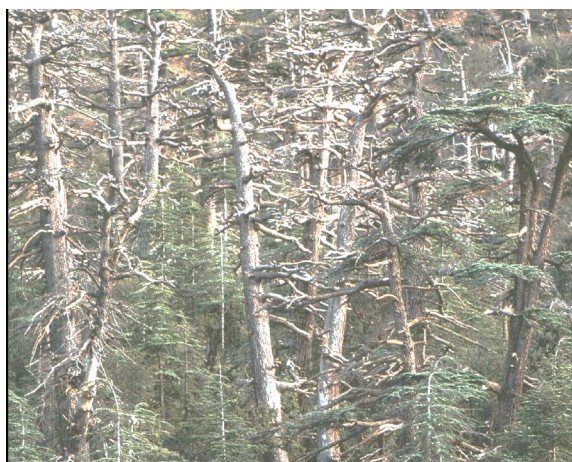


Figure 4: Importance des dépérissements du cèdre dans le moyen Atlas
(Source ET-Tobi, 2004)

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**

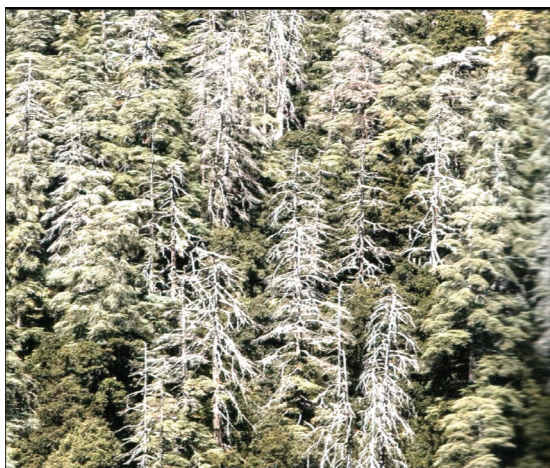


Photo 2 (droite): Peuplement de cèdre de l'Atlas en cours de mortalité généralisée dans la forêt d'Azrou (Moyen Atlas).

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 dépérissantes;
- (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.

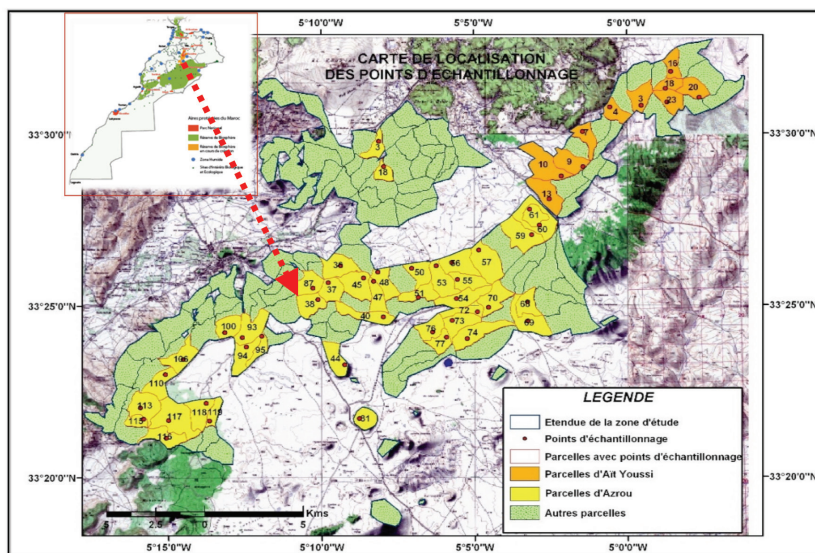


Figure 5: Carte de situation et de localisation des placettes échantillons

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).

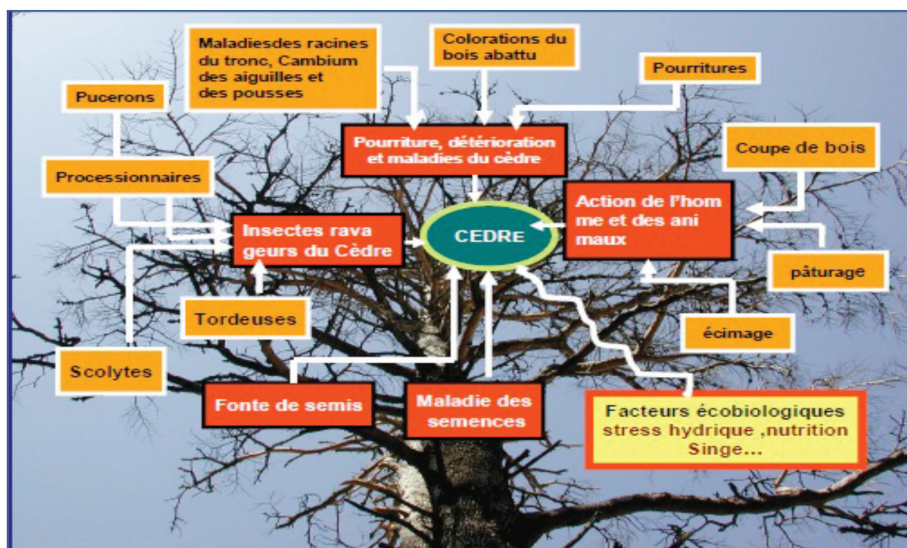


Figure 6: Dommages causés au cèdre (Mhirit et al., 2008)

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.

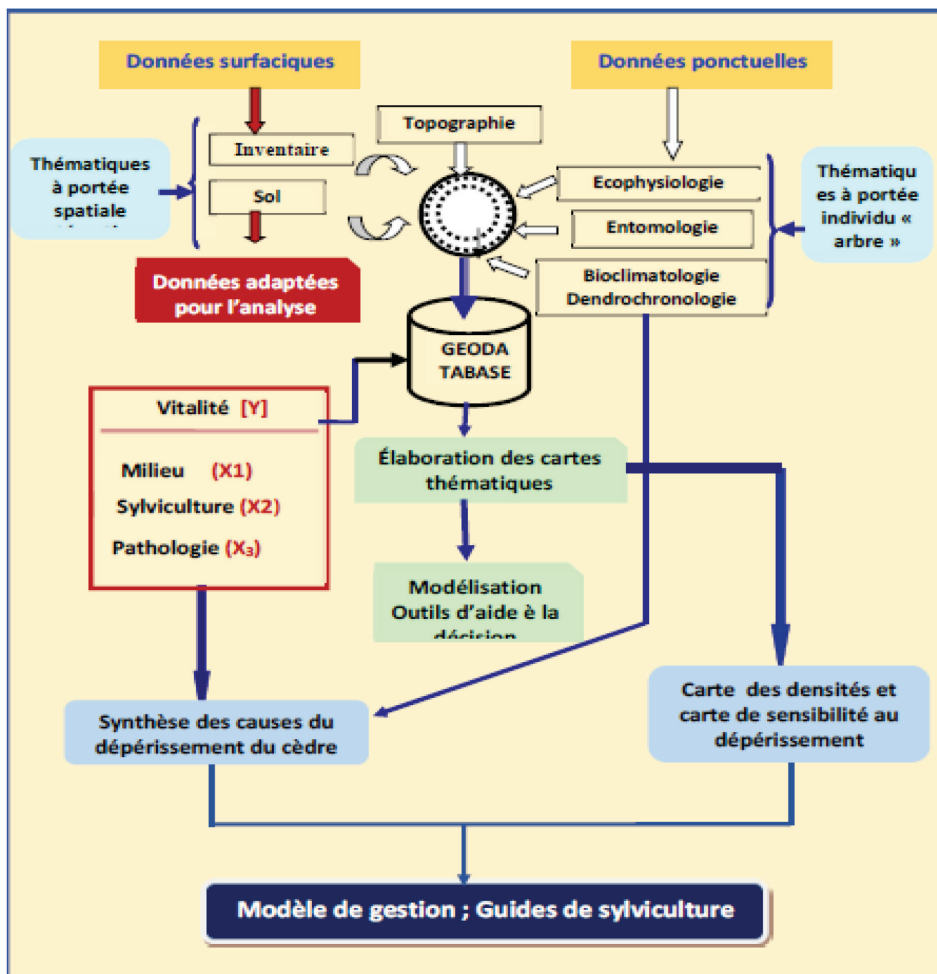


Figure 7: Organisation et structuration des données de l'étude

Source : Mhirit et al., 2008

Les données relatives à la zone d'étude en rapport avec les dépérissements de la cédraie, sont intégrées au Système d'Information Géographique, élabore 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 ; >50 (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 ; > 750	(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 dommages 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.

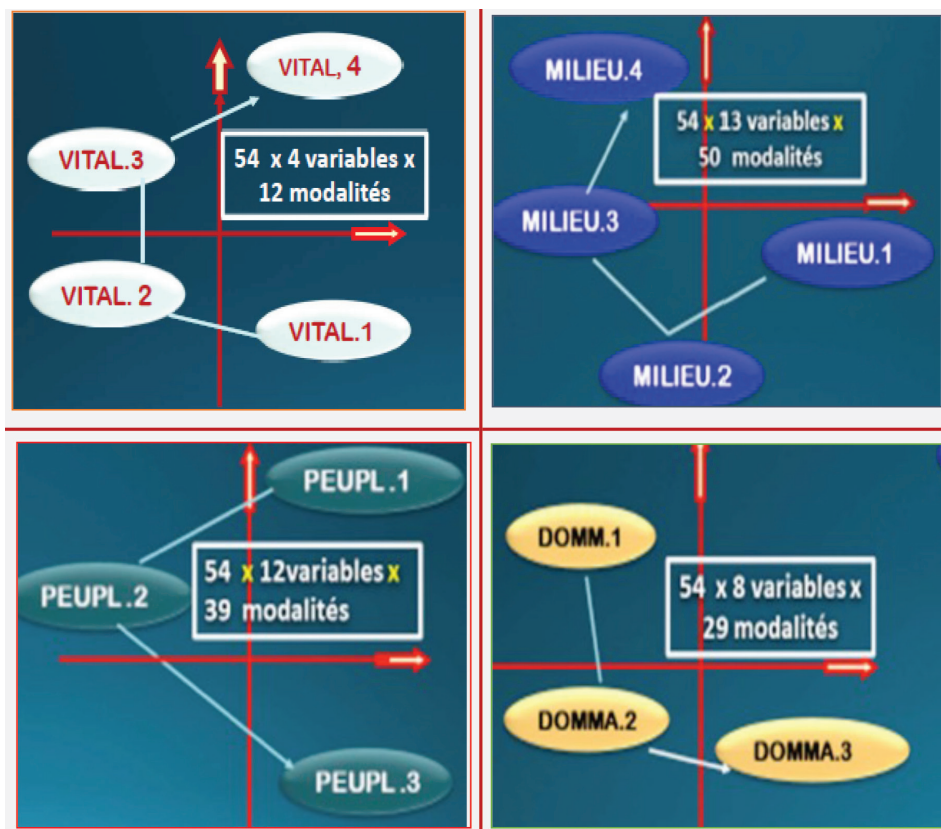


Figure 8: Cartes factorielles des typologies des classes de santé du cèdre, des stations écologiques, des peuplements forestiers et des symptômes et dommages phytosanitaires

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.

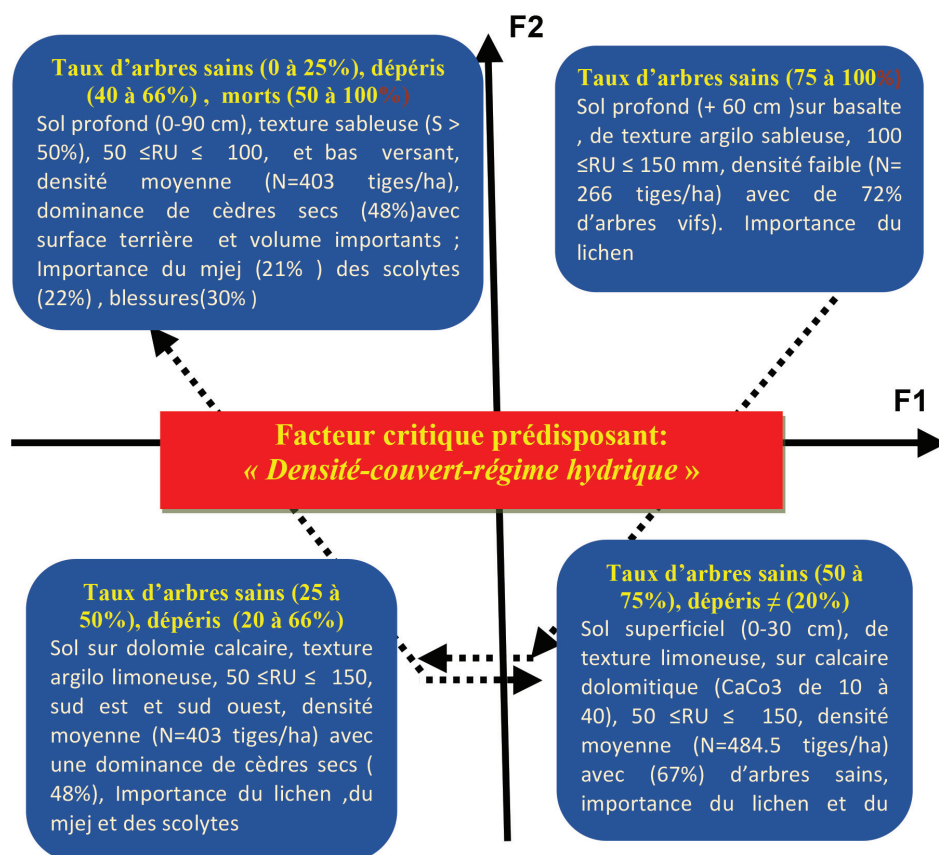


Figure 9: Relations «Etats de santé-milieu-sylviculture»; Plan factoriel (1,2)

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 spatialisée 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 élaborée à

partir d'un **indice synthétique** intégrant les facteurs stationnels discriminants du régime hydrique et du stock d'eau du sol de la forme : $[IS = 5*RU + 4*SUB + 3*Sa + 2*CaCO_3 + 5*Pe + 3*Ex]$ 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.

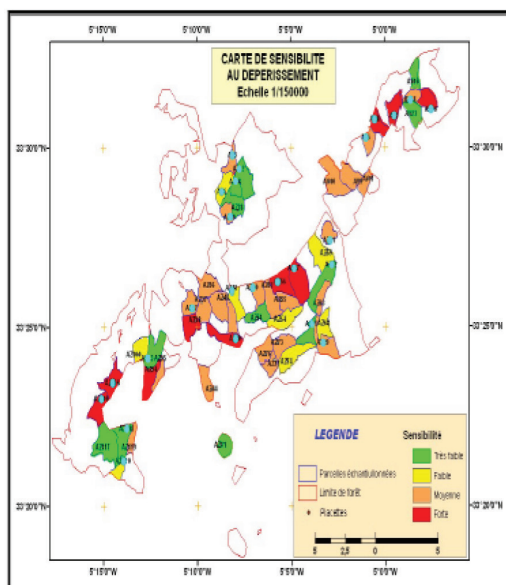


Figure10: Carte de sensibilité au dépérissement

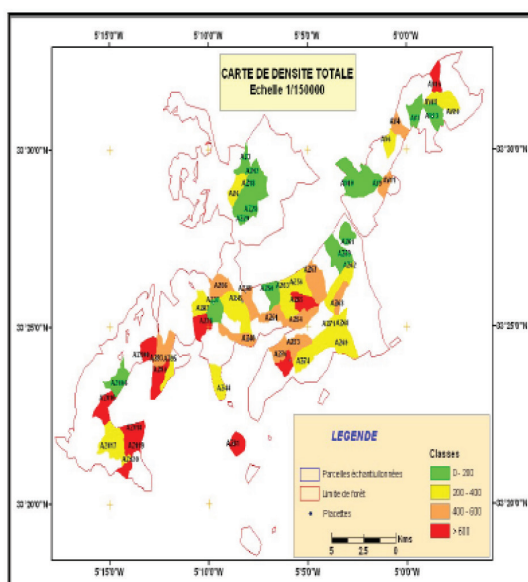


Figure 11: Carte des densités du peuplement

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:

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

(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.

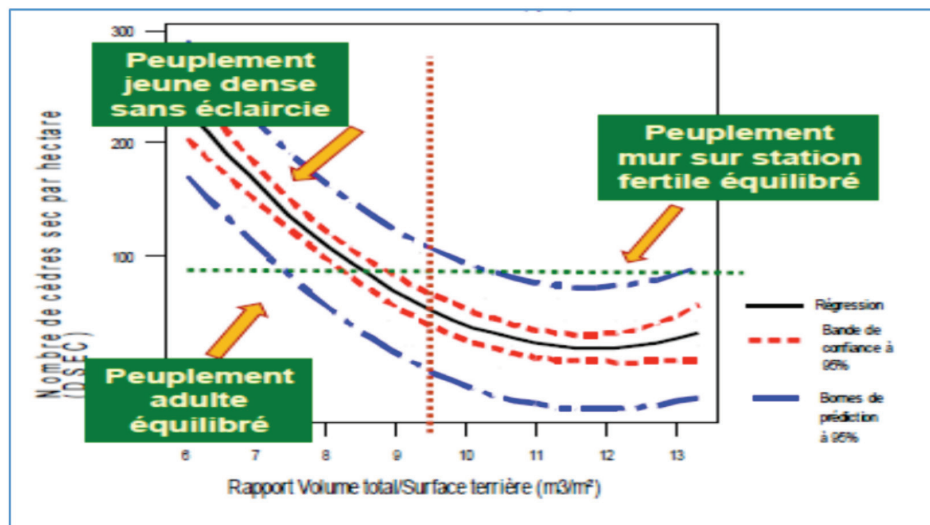


Figure 12: Courbe de régression et intervalle de confiance

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 :

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

$$(R^2 = 76,9\% \text{ Ecart -type résiduel}=31,4374)$$

DDEP : densité de cèdres dépéris (N/ha)

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

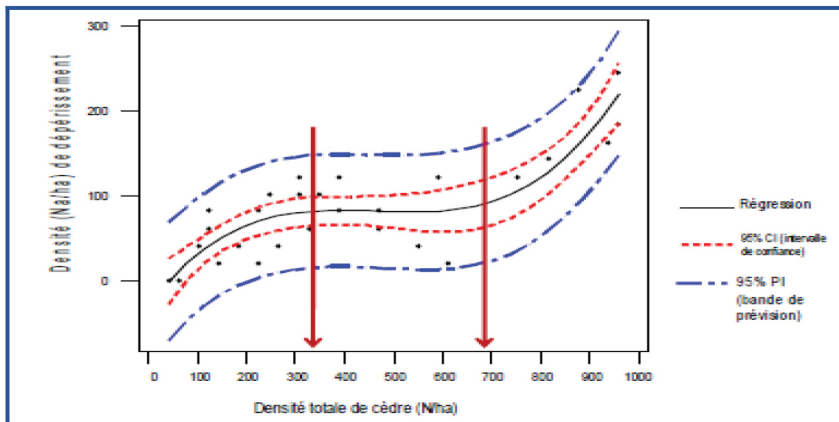


Figure 13: Courbe de régression et intervalle de confiance

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'axe1 «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 particulière de:

- Poursuivre les investigations dendrochronologies et écophysiologiques 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, (génotypes 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 Xème 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. 31 1-412.

- 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/028/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/028/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. I-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 : Contributie à l'étude des gruzementen 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 écophysiologie 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**.

LES CHÊNAIES EN MÉDITERRANÉE ET AU MAROC: BIOGÉOGRAPHIE, ÉCOLOGIE, PROTECTION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE *

Frédéric MÉDAIL

*Institut Méditerranéen de Biodiversité
et d'Ecologie marine et continentale,
Université d'Aix-Marseille (France)*



1. Introduction

La remarquable biodiversité du monde méditerranéen, nous amène à dire qu'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 (Figure 1). 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 les fonctions des écosystèmes forestiers et de leurs espèces.

* Contribution compilée par les soins du Comité d'organisation, à partir de la présentation orale (PPT) et de l'enregistrement vidéo de la conférence de l'auteur.



Figure 1 : Le bassin méditerranéen, l'un des 36 points-chauds (*hotspots*) mondiaux de biodiversité (selon Conservation internationale)

Cette notion de *hotspot* est multiple et regroupe trois types d'aspects (Figure 2) :

- Des aspects de richesse en espèces,
- Des aspects de richesse en endémiques,
- Des aspects de vulnérabilités fortes

Aux seins du bassin méditerranéen, il y a des zones particulièrement riches, ce sont ces points chauds régionaux qui ont été identifiés, il y'a une vingtaine d'années, et le bioclimat méditerranéen est à peu près de 2,1 millions km², abritant à peu près 30 000 espèces et sous-espèces, c'est à dire environ 10% de la richesse floristique mondiale sur 1,6% des terres émergées. Par rapport à la Chine (30 000 végétaux / 9,6 millions Km²), les USA: (18 000 végétaux / 9,4 millions km²) et l'Europe (11 500 végétaux / 9,9 millions km²), ces aspects montrent bien la responsabilité de la population de cet espace méditerranéen.

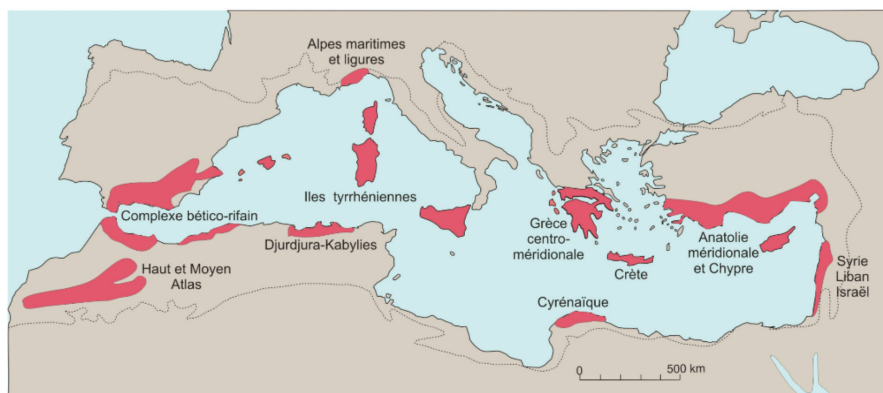


Figure 2 : Les 10 points-chauds (*hotspots*) régionaux de biodiversité végétale au sein de la région méditerranéenne (in Médail F. & Quézel P., 1997. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 84.)

L'endémisme (Figure 3) dans cet espace ne s'est pas fait au hasard ; il est particulièrement présent au niveau des montagnes et au niveau des îles; et si on se focalise sur le Maroc, les zones des Atlas et du Rif sont particulièrement importantes en terme d'endémisme (avec des taux supérieur à 20%).

La biodiversité n'est pas seulement un nombre d'espèces. On constate en effet qu'il y'a trois dimensions dans cette biodiversité (Figure 4) :

- Une biodiversité spécifique taxonomique,
- Une biodiversité fonctionnelle,
- et une biodiversité évolutive génétique, qui prend en compte les études génétiques et phylogéographique et qui permet de retracer l'histoire des peuplements végétaux. Les données moléculaires montrent que le bassin méditerranéen comprenait plusieurs zones particulières (dites zones refuges) en fonction des événements climatiques anciens.

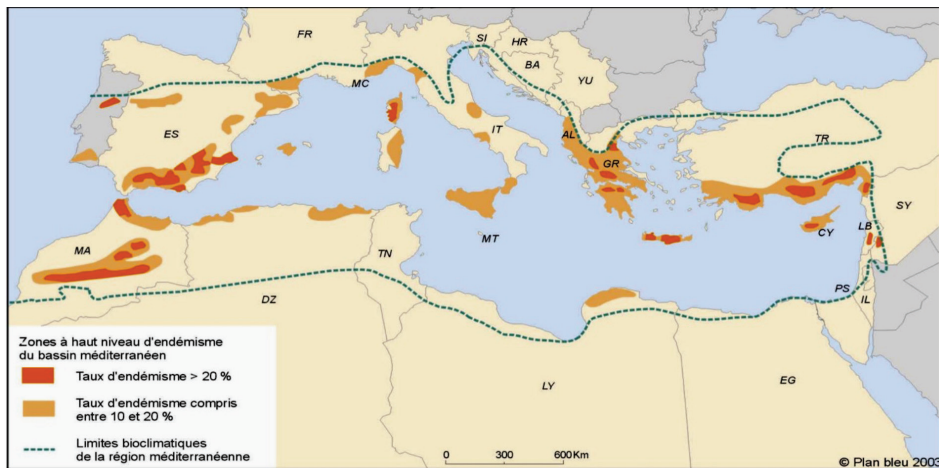


Figure 3 : Carte des Secteurs de plus fort endémisme végétal en Méditerranée
(Médail F. & Quézel P., 1997. *Annals of the Missouri Botanical Garden.*)

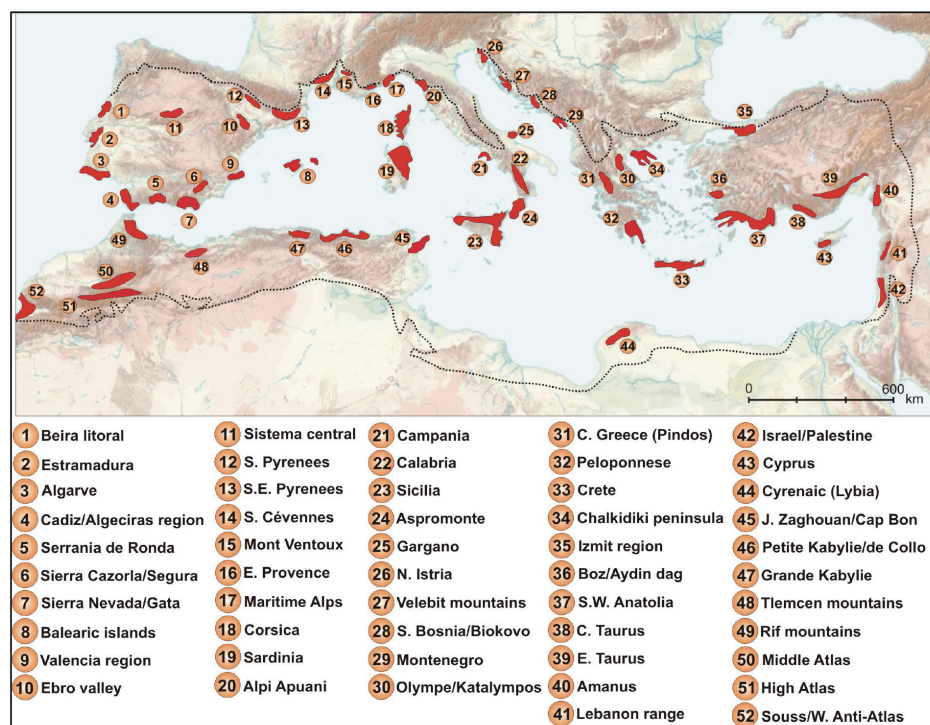


Figure 4 : Refuges phylogéographiques majeurs de plantes en Méditerranée
(in : Médail F. & Diadema K., 2009. *Journal of Biogeography*, 36)

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 (Figure 4). 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.

2. Biodiversité et biogéographie des chênes en région méditerranéenne

Quand on considère la biodiversité et la biogéographie, nous avons deux niveaux d'appréhension : le premier, relativement classique, correspond aux paramètres environnementaux actuels (Figure 5), lié aux caractéristiques climatiques et aux types de sols ; le second, correspond à la capacité de dispersion de l'espèce, sans oublier l'impact de l'homme depuis quelques dizaines de milliers d'années au moins.

Tout ceci va jouer un rôle important, mais le grand schéma de mise en place des espèces (faune et flore) à l'échelle planétaire et à l'échelle régionale est donné par le filtre biogéographique et donc grâce aux données paléo-écologiques et génétiques, on arrive de plus en plus à reconstituer cette histoire.

Concernant les chênes, le genre *Quercus* (famille des *Fagaceae*) comprend environ 425 espèces de chênes distribués surtout dans l'hémisphère nord (Paléarctique). Parmi les régions les plus riches : Mexique et SW des USA = 150 espèces; Bassin méditerranéen = 43 espèces et sous-espèces; l'Europe = 35 espèces. Le Maroc, quant à lui, comprend 9 espèces et sous-espèces.

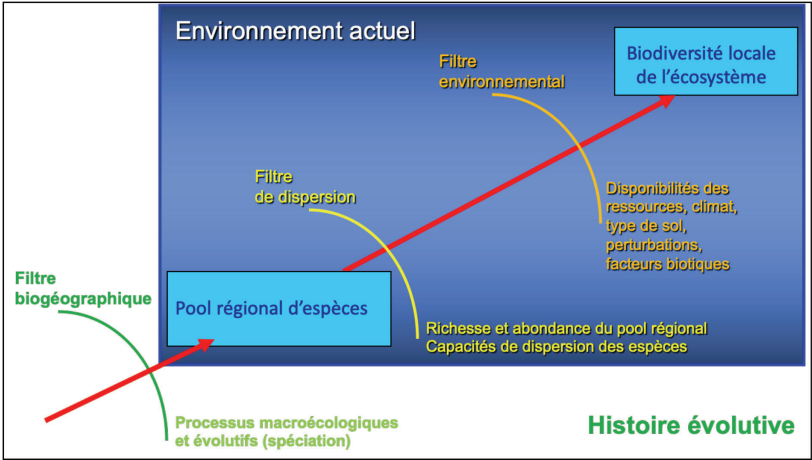


Figure 5 : Histoire biogéographique et environnement actuel (d'après Hillebrand H. & Blenckner T., 2002. *Oecologia*, 132, modifié)

La distribution globale de ces chênes, selon les recherches les plus récentes, est la suivante (Figure 6) :

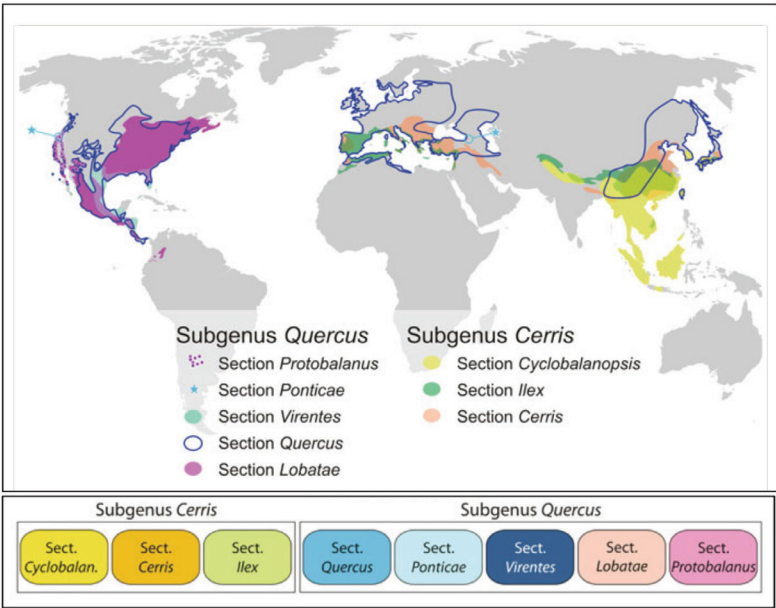


Figure 6 : Distribution géographique des huit sections de *Quercus* (Denk T. et al. 2017. *Oaks Physiological Ecology*. Springer)

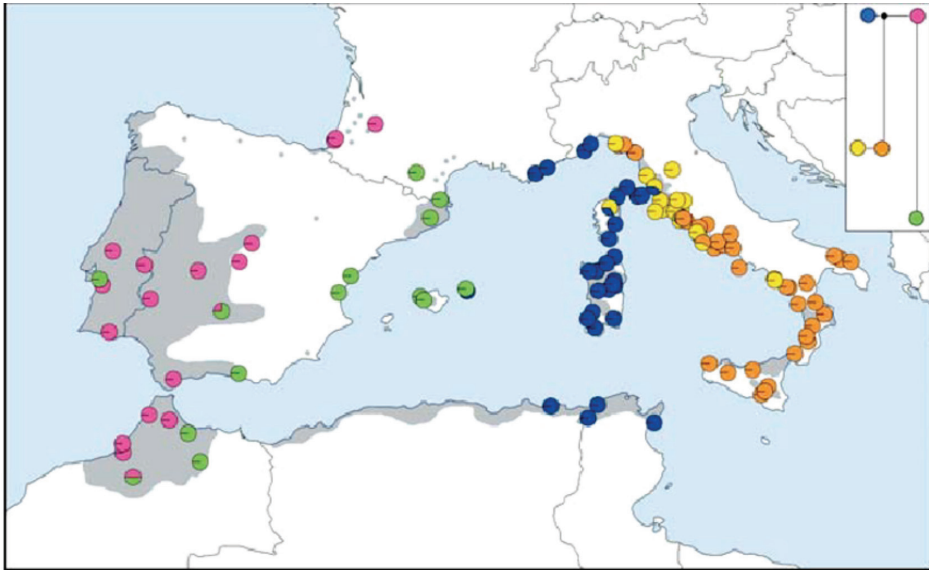
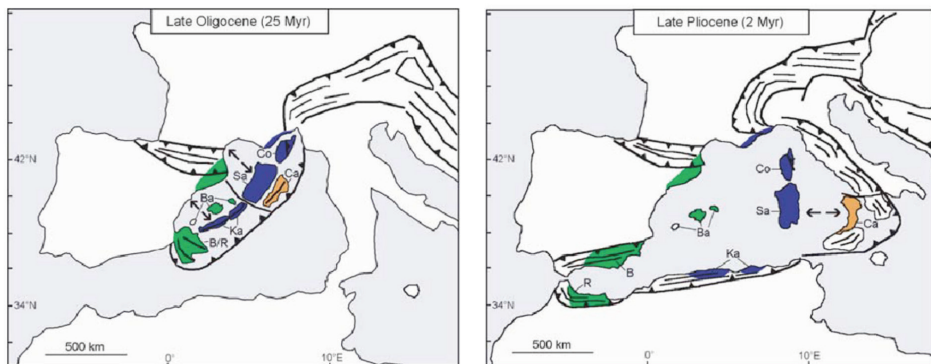


Figure 8-a : Mise en place et différenciation du chêne liège (*Quercus suber*) :
Phylo-géographie des populations de chêne liège (Magri D. et al., 2007.
Molecular Ecology, 16); montrant la distribution des 5 haplotypes de l'ADN
 chloroplastique (110 populations, 14 marqueurs cp microsatellites)

Si on fait appel à la paléogéographie du bassin méditerranéen, qui est assez complexe, on arrive à expliquer la diversité génétique. Cette paléogéographie montre que lors de l'Oligocène terminal (près de 25 millions d'années), on avait un microcontinent, «*continent protoligure*» proposé par Alvarez (1976), qui regroupait divers secteurs (Figure 8-b) où les haplotypes sont partagés (Sardaigne, Corse, Nord de la France, l'Italie, une partie de l'Algérie et de la Tunisie).

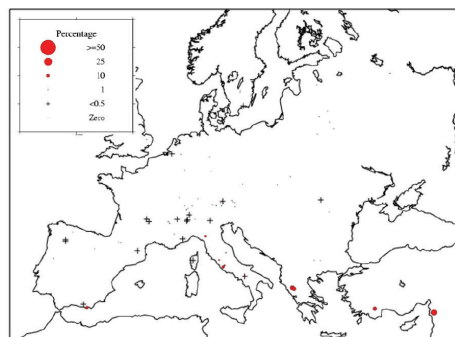


**Figure 8-b : paléogéographie du bassin méditerranéen
 à l'Oligocène supérieur et le Pliocène supérieur**

C'est donc cette paléogéographie qui explique en partie la structuration et l'organisation actuelles de cette diversité et l'originalité génétiques (en terme de conservation génétique). On peut donc penser que les données paléo-écologiques peuvent nous renseigner sur l'indigénat d'une espèce (par exemple, le chêne liège n'était pas indigène en France).

2.1. La Recolonisation post-glaciaire des chênes décidus en Europe

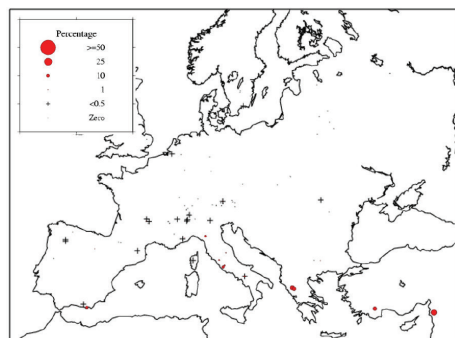
La combinaison des données paléo-écologiques (palynologie) et génétiques (phylogéographie), de 22 espèces de chênes à feuilles caduques (décidus) en Europe, permet de tracer les cartes des données paléo-écologiques suivantes :



13 000 ans BP



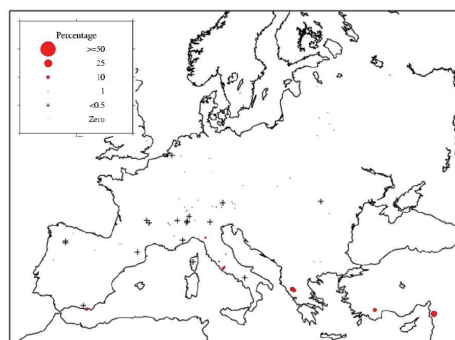
11 000 ans BP



10 000 ans BP



9 000 ans BP



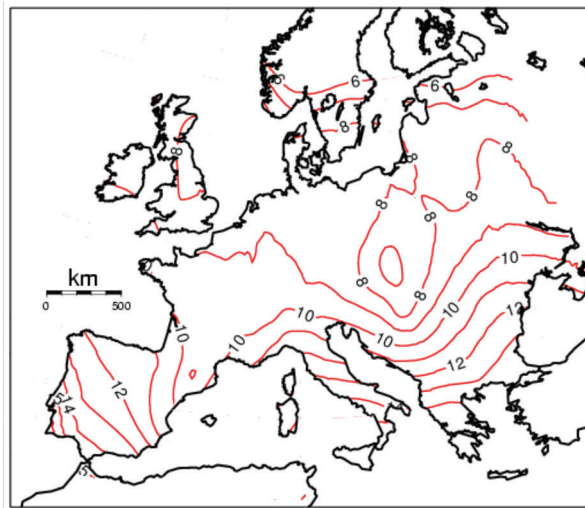
8 000 ans BP



7 000 ans BP



6 000 ans BP



Carte isochrone (pollens fossiles) :

- Rapide expansion vers le nord et l'ouest
- Recolonisation depuis les 3 péninsules sud-européennes

Figure 9 : Cartes des données paléo-climatiques (de 13 000 à 6 000 ans BP) et carte isochrone d'après l'étude des pollens fossiles

Les paléo-écologues et les palynologues ont cherché à connaître les occurrences des chênes à feuilles caduques en Europe. Les premières se situaient à l'Est de la Méditerranée et dans les Balkans et, avec l'amélioration des climatiques, une progression de ces chênaies à feuilles caduques s'est produite depuis le Sud de l'Europe jusqu'au Nord. Les cartes (Figure 9) donnent une idée sur la rapidité de l'expansion des espèces vers le Nord et l'Ouest, dans des zones qui étaient classiquement des zones de refuge, et ce dans le Sud des péninsules ibérique, italique et les Balkans. Après la dernière glaciation, avec l'amélioration des conditions climatiques, se produit de façon très schématique une remontée sud-nord (les points rouges sur les cartes).

2.2. Recolonisation postglaciaire des chênes décidus en Europe

En parallèle, les données génétiques (Figure 10) ont été fournies (plus de 2600 populations ont été analysées, 32 haplotypes / 5 lignées ont été mis en évidence). Nous donnons un exemple de l'haplotype 10 (Figure 11) avec les cartes des données génétiques et des données paléo-écologiques permettant de reconstituer un scénario de colonisation depuis le Sud de la péninsule ibérique jusqu'au niveau du Royaume Uni, voire la Scandinavie bien plus tard.

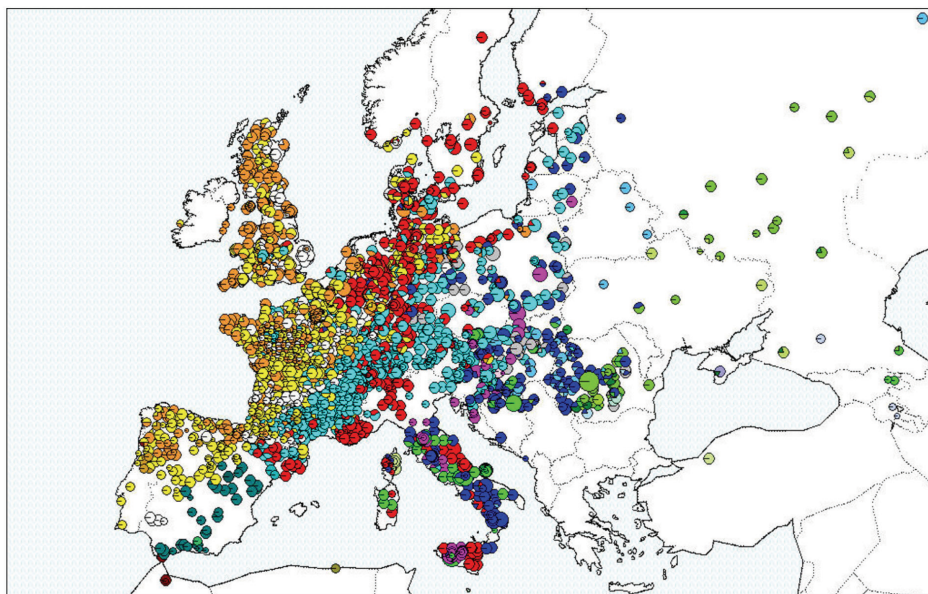
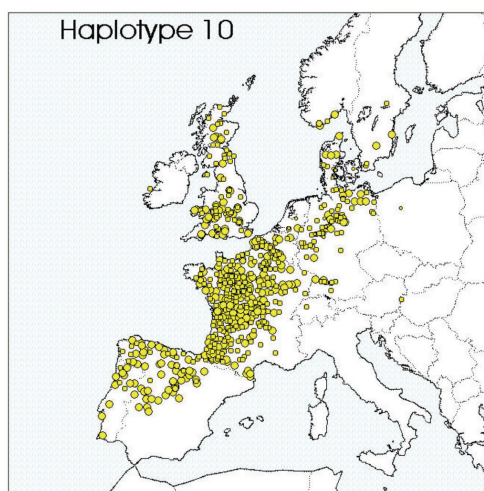
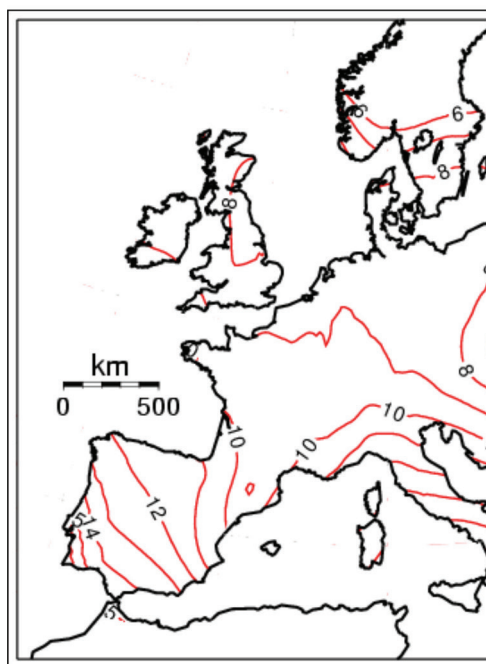


Figure 10 : Carte de la recolonisation postglaciaire des chênes décidus en Europe (d'après : Petit R.J. *et al.* 2002. *Forest Ecology and Management*, 156)



Données génétiques



Données paléocéologiques

Figure 11 : Recolonisation postglaciaire des chênes décidus en Europe
(Distribution de l'haplotype n°10); d'après les travaux de Petit R.J. *et al.* 2002.
Forest Ecology and Management, 156.

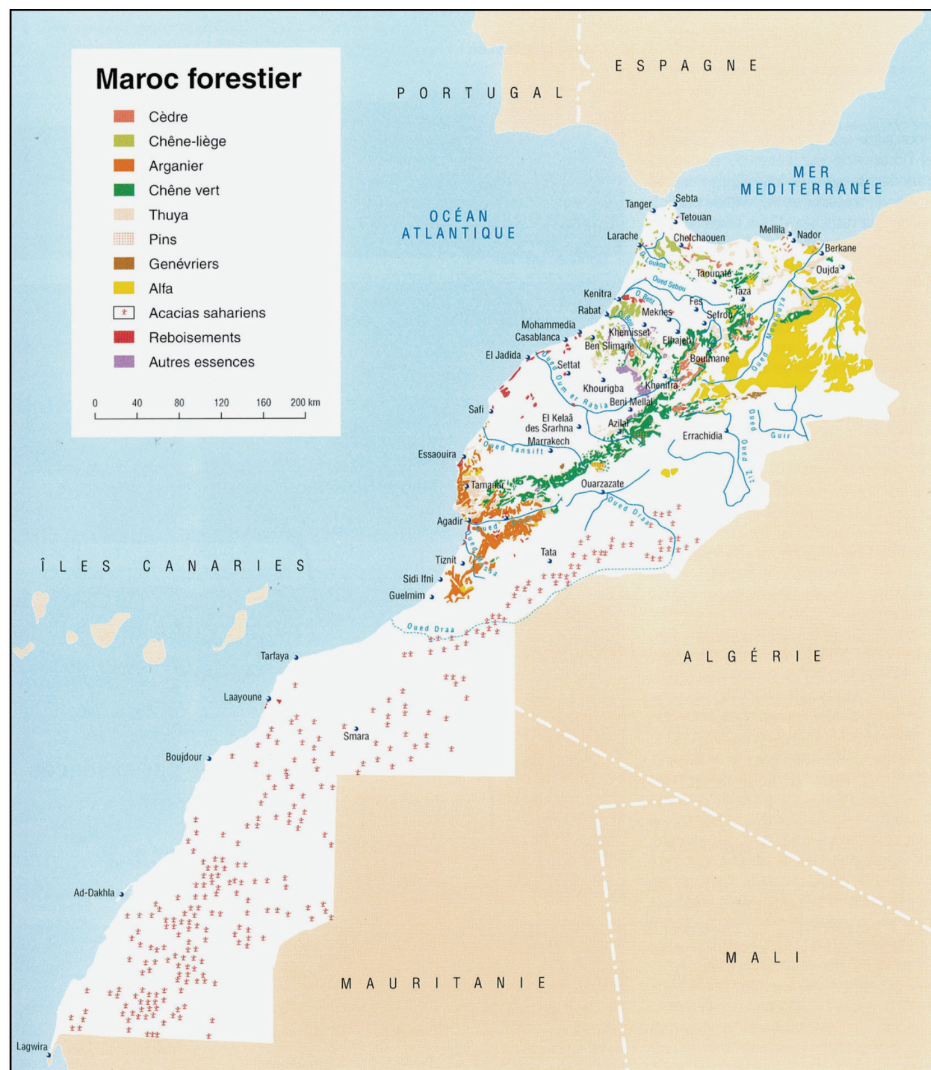
3. Chênes et chênaies du Maroc

Pour reprendre une carte synthétique de la forêt marocaine les principales forêts du Maroc sont constituées par deux essences majeures : le chêne vert et le chêne liège (Figure 12).

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.



**Figure 12 : Les chênaies du Maroc (Mhirit et al., 1999 :
Le grand livre de la forêt marocaine. Mardaga ed)**



Chênaie verte ou yeuseraie



Chênaie liège ou suberaie

Le tableau suivant montre qu’au Maroc, on distingue 8 espèces et sous-espèces selon la flore pratique du Maroc (Fennane *et al.* 1999) :

Noms latins	Noms français	Surface au Maroc
<i>Quercus canariensis</i> Willd.	Chêne des Canaries	
<i>Quercus coccifera</i> L.	Chêne kermès	
<i>Quercus faginea</i> Lam. - subsp. <i>faginea</i> - subsp. <i>broteroi</i> (Cout.) A.Camus - subsp. <i>maroccana</i> (Braun-Blanq. & Maire) F.M. Vázquez & A. Coombes	Chêne zeen	9 091 ha
<i>Quercus ilex</i> L. subsp. <i>ballota</i> (Desf.) Samp.	Chêne vert, yeuse	1 415 200 ha
<i>Quercus lusitanica</i> Lam.	Chêne nain, chêne du Portugal	
<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	Chêne tauzin	ca. 5 000 ha
<i>Quercus suber</i> L.	Chêne liège	377 482 ha

Les principales espèces du chêne du Maroc sont :

Chênes caducifoliés qu'on retrouve dans le Rif et dans une partie de la chaîne de l'Atlas (Figure 13).

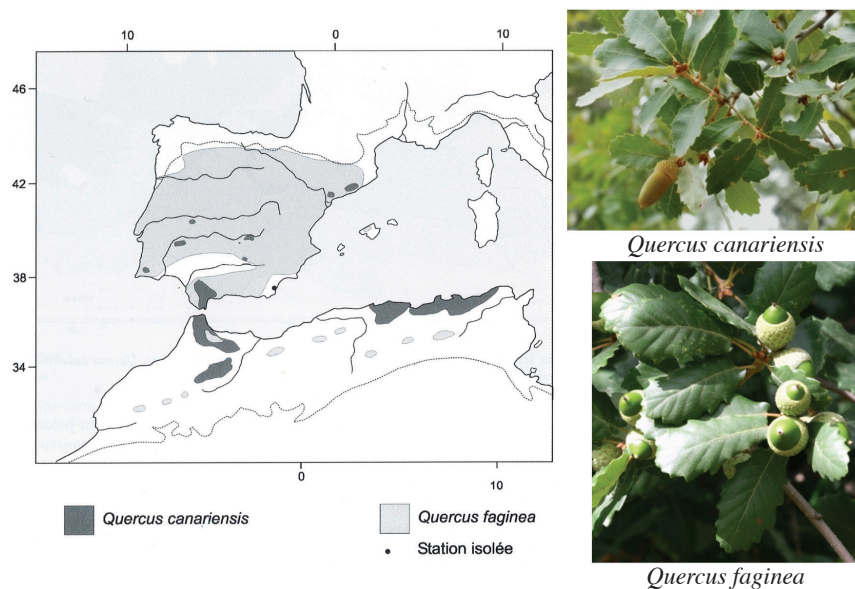


Figure 13 : Répartition du Chêne des Canaries (*Quercus canariensis*) et chêne zèze (*Quercus faginea*) : d'après Quézel P. & Médail F., 2003 : *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*, Elsevier

Chênes sclérophylles

Il s'agit du chêne liège (*Quercus suber*) qui est une espèce ouest méditerranéenne (Figure 14) et les deux chênes sclérophylles majeures que sont le chêne vert et le chêne kermès présents dans l'extrême Nord du Maroc (Figures 15 et 16).

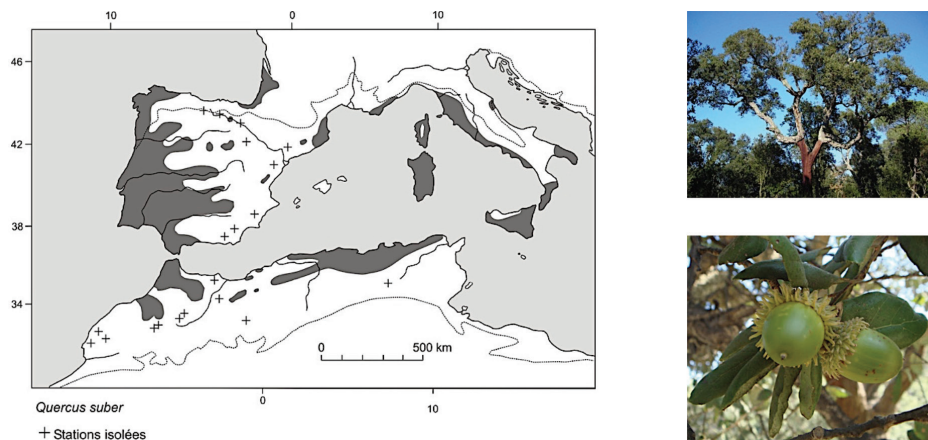


Figure 14 : Carte de répartition du Chêne liège (*Quercus suber*) : d'après Quézel P. & Médail F., 2003. *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*, Elsevier

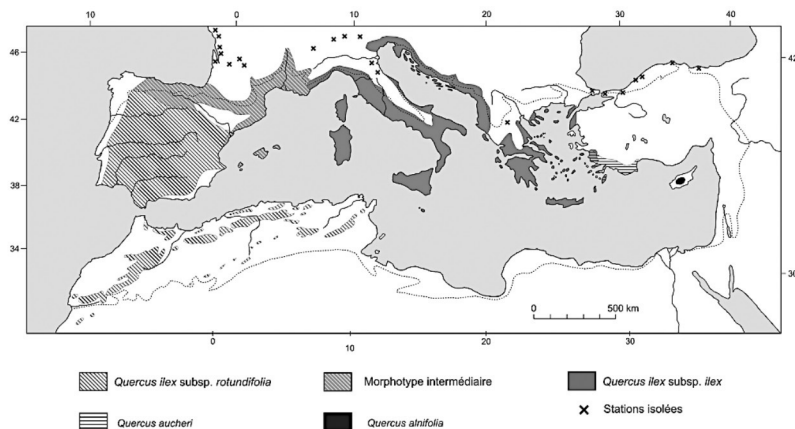


Figure 15 : Carte de répartition du chêne vert (d'après Quézel P. & Médail F., 2003.
Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen, Elsevier)

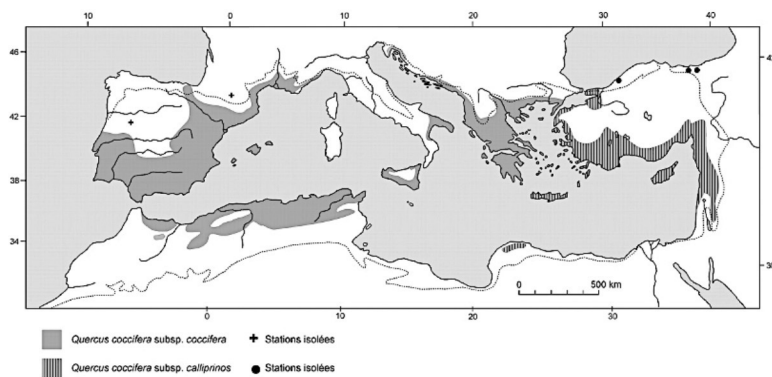


Figure 16 : Carte de répartition du chêne kermès (d'après Quézel P. & Médail F., 2003.
Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen, Elsevier)

Quant à l'écologie des principaux chênes du Maroc (Figure 17), elle est bien expliquée dans le dernier ouvrage de Taleb M.S. et Fennane M (2019), sur les communautés des plantes vasculaires du Maroc. Ces auteurs distinguent deux grands ensembles :

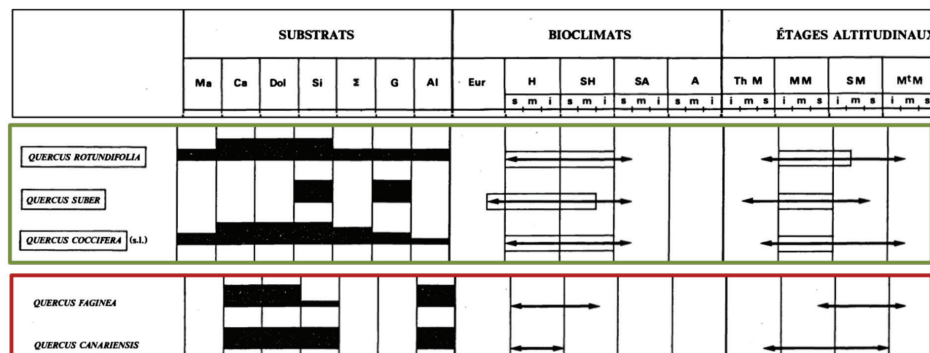


Figure 17 : Ecologie des principaux chênes du Maroc
(Quézel P., 1979. *Forêt méditerranéenne*, 1)

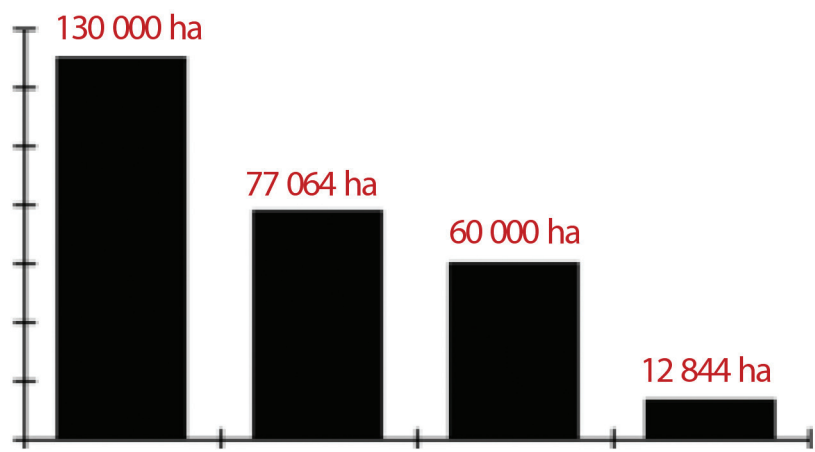
- **Chênaies sclérophylles** (bioclimats aride à humide; Étages infra- à supra-méditerranéen) : *Quercetea ilicis* Br.-Bl. Ex A. Bolos and O? de Bolos y Vayreda 1950.
- **Chênaies caducifoliées** (bioclimats hyper-humide et humide; étage supra-méditerranéen) : *Quercetea pubescentis* Doing Kraft 1955 ex Scamoni and Passarge 1959

4. Conservation et développement durable

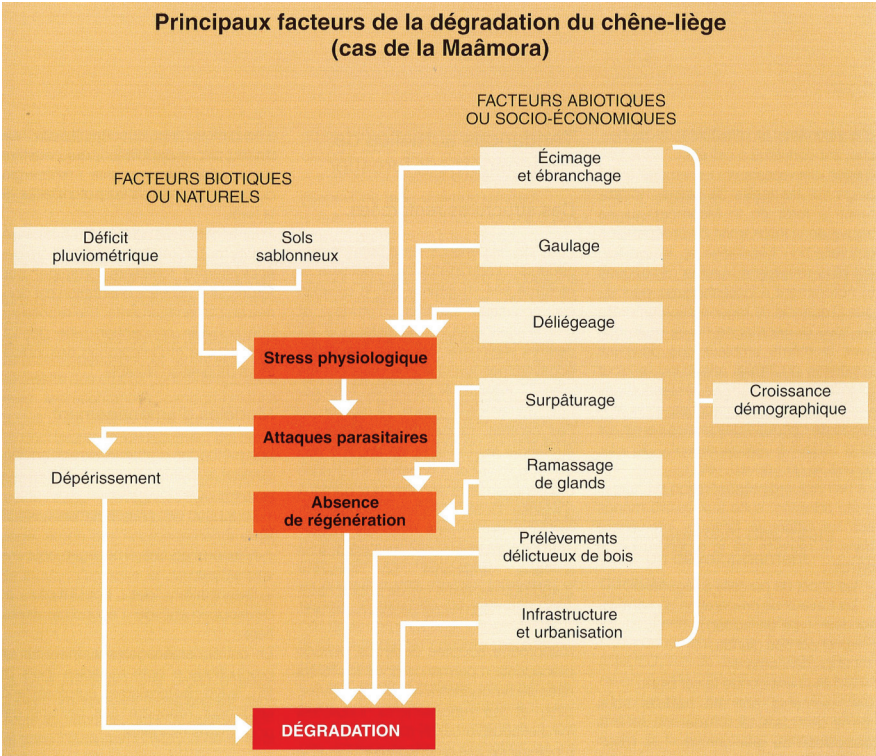
Dès lors, quelles modalités de développement durable peut-on envisager pour préserver au mieux ces diverses chênaies, ces structures forestières clés des paysages méditerranéens et de leur biodiversité unique?

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 la 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.

On cite ici, le cas de la subéraie de la Maâmora (Figure 18) où on voit tous les facteurs de dégradation. Le lecteur pourrait avoir beaucoup plus de détails dans le livre de Mhirit et al. (1999) sur la forêt marocaine.



Evolution des surfaces boisées de la forêt de la Maâmora (Maroc)



In : Mhirit O. & Blerot P. (dirs.), 1999. *Le grand livre de la forêt marocaine*. Mardaga ed.

Figure 18 : Cas de la subéraie de la Maâmora

Reste à noter que le plus important est l'existence d'une stratégie de conservation écosystémique qui concerne la flore, la faune, le fonctionnement et l'évolution, à divers niveaux :

- **Idée fondamentale** : Insiste sur la dépendance des populations humaines vis-à-vis d'écosystèmes variés et sur l'importance de leur bon fonctionnement pour le maintien durable de la biodiversité.
- **Réalisation** : Identification et classement des divers services écologiques, pour l'établissement de plans de conservation pour les écosystèmes en voie de dégradation.
- **Avantages** : Permet de mieux concilier la conservation de la nature et le bien-être de l'homme. Soutien durable et efficace des projets de protection, en limitant les pertes économiques et de biodiversité.
- **Inconvénients** : Difficultés d'identifier et d'évaluer les services rendus par les écosystèmes. Démarches souvent longues et complexes.

Il s'agit aussi d'estimer le degré de vulnérabilité de ces habitats, en essayant de mieux comprendre :

- ➔ leur sensibilité vis à vis des actions anthropiques et la probabilité d'exposition de l'habitat par :
 - Situations géographiques et topographiques,
 - Compositions floristiques,
 - Magnitude des nouvelles interactions biotiques.
- ➔ identifier la capacité de résilience : Capacités de restauration des communautés et de ses espèces à faire face aux changements environnementaux (résilience),
- ➔ Type de rareté (*sensu* Izco, 1998) : Combine l'extension géographique totale, l'occurrence absolue au sein de l'aire de distribution et la taille de l'habitat à l'échelle locale.

Ce qui permet de déterminer le degré de vulnérabilité de ces espèces (Figure 19) :

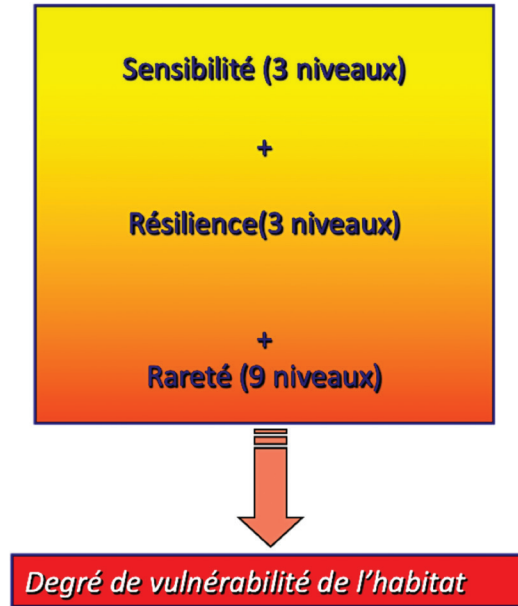


Figure 19 : Degré de vulnérabilité de l'habitat
(d'après : Médail F. & Quézel P., 2001. *Bocconea*, 16)

4.1. Les listes rouges

Il y a une approche qui a été développée, c'est celle de créer des Listes Rouges des écosystèmes menacés (suivant les stratégies de l'UICN), selon le même schéma que pour les espèces, en essayant de bien comprendre les réductions de superficies de dégradation de cet environnement et tout un ensemble de critères. Donc ces listes rouges peuvent être assimilées à des documents d'alerte, avec la nécessité de prendre en compte non seulement les systèmes forestiers, mais aussi des espèces. On donne comme exemple le chêne nain : *Quercus lusitanica*, qui est un arbuste clé d'un écosystème unique, méritant une grande attention puisqu'il n'existe que dans le Nord du Maroc (dans la chaîne du Rif) et qui mérite, en conséquence, d'être préservé.

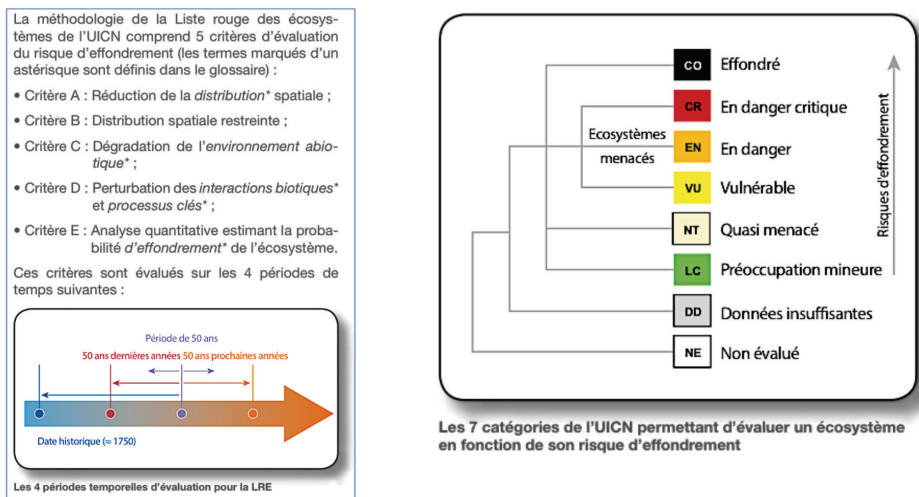


Figure 20 : Liste Rouge UICN des écosystèmes menacés

4.2. Conservation et développement durable des chênaies

La forêt n'a pas (normalement) besoin de l'homme! Donc (Figure 21) :

- Opérer des coupes d'arbres pour «régénérer» la forêt a souvent un impact fort sur sa biodiversité,
- Réaliser des plantations d'arbres n'est pas forcément bénéfique pour la biodiversité (homogénéisation et destruction de divers milieux),
- Les perturbations «normales» sont un moteur de la bonne dynamique d'un système écologique et de sa régénération naturelle.

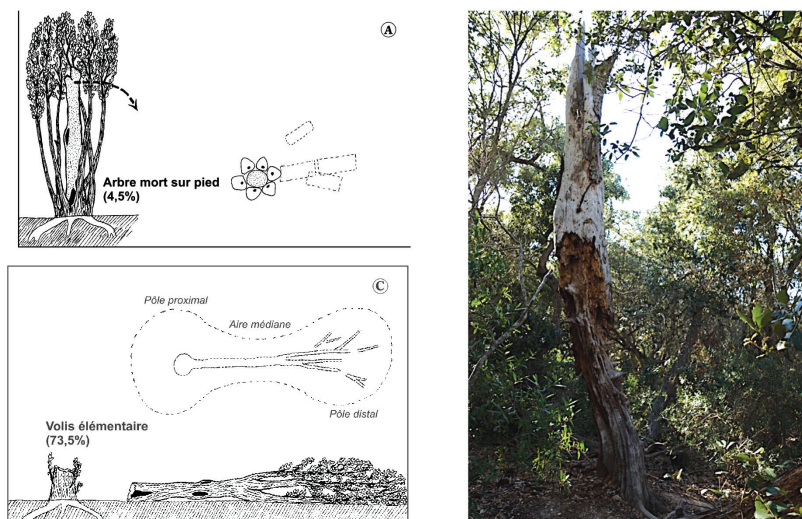


Figure 21 : Conservation et développement durable des chênaies

- Laisser évoluer librement et sur le «long» terme (> 150 ans) les systèmes forestiers,
- Favoriser la maturation des systèmes forestiers grâce à des zones exemptes d'intervention forestière et de perturbation anthropozoogène,
- Conserver sur place le bois mort (nécromasse).

4.3. Les forêts anciennes sont des zones refuges de biodiversité

Les forêts anciennes ont une importance dans la préservation de la biodiversité spécifique et fonctionnelle, par la détermination de zones microclimatiques très particulières et, donc, ont un rôle essentiel dans la persistance de la biodiversité face au changement climatique.

5. Conclusions

Pour la conservation et développement durable des chênaies marocaines, Quelques propositions :

- Analyse de la distribution et de la dynamique des divers types de chênaies,
- Analyse de leur vulnérabilité (Liste Rouge sensu UICN),
- Prise en compte de l'ensemble de la biodiversité, notamment les espèces endémiques et les plus menacées de ces écosystèmes,
- Proposer un réseau de réserves forestières représentatives des divers types d'écosystèmes (réserves biologiques intégrales ou dirigées).

DISCUSSION

INTRODUCCIÓN A LA DISCUSIÓN DE LA SESIÓN 3 WATER-RESOURCES HERITAGE, MOROCCO'S FOREST AND WOODLAND HERITAGE, AND THE CHALLENGE OF ITS SUSTAINABLE USE

Francisco GARCIA GARCIA

*Académie Hassan II des Sciences et Techniques; Coordinador General
Académico en Universidad de Las Américas Puebla Jenkins, Mexique*



Muchas gracias Sr. Director de Sesión, extensiva a sí mismo al Sr, Secretario Perpetuo de nuestra Academia.

Mi felicitación a cada uno de los cinco ponentes que me han antecedido en la palabra. La verdad que ponen el listón y el reto de superación muy alto en cuanto a contenido y claridad de exposición. Cada uno desde una perspectiva distinta pero complementaria, nos han dado un panorama de algo que es multisectorial y polifacético, además de complejo. Me refiero al manejo y la gestión de los recursos naturales, en particular de los forestales. Reitero que no es nada sencillo lo que han hecho y expuesto en tan poco tiempo, y que cada uno ha logrado posicionar.

Durante estos quince años pasados de los que tengo la gran fortuna de venir y participar en las distintas sesiones de esta gran Academia de Ciencia y Tecnología, como miembro activo, he aprendido precisamente sobre las bondades y potencialidades de los recursos naturales y forestales de esta gran país, de Marruecos. Y en ese sentido me congratulo y felicito a la sociedad, al gobierno nacional, a los productores del mundo rural, principalmente porque durante este tiempo pasado se ha pasado de hablar entonces hace años, de una visión extractiva y productiva maderocéntrica, y se ha evolucionado a una nueva visión mucho más holística, vanguardista, de actualidad y de necesidad, que es precisamente hablar del **Manejo Forestal Sostenible** (MFS); velando también por los interés del cuidado al medio entorno, a la biodiversidad. No solamente se habla aquí en la Academia del MFS, sino que incluso es parte del discurso oficial que se utiliza públicamente y que le escuchamos ayer durante la inauguración al Sr, Jefe de Gobierno de este gran país, así como al Ministro de Educación, Sr. Amzazi; quienes en varias

ocasiones mencionaron y se refirieron al término *Sostenibilidad*, como algo propio. Se habló también de *Agenda 2030*, cosa que en años anteriores, al menos un servidor no había tenido la oportunidad de escuchar; y hoy en día me congratulo de escuchar. Y esos términos están vinculados precisamente a lo que hoy presentamos y debatimos en la Academia Hassan II.

Hoy en la tarde sólo hemos tocado algunos puntos de ésta complejidad multifacética del Desarrollo Forestal Sostenible. Haciendo un balance de conjunto, hemos hablado muy poco de lo que en terminología de las Naciones Unidas (ONU), se conoce como la *Agenda Gris*, vinculado a la contaminación; en particular del sector minero, y como cuida también a su medio ambiente desde una actividad extractiva y productiva. Luego nuestro Director de Sesión (Prof. Mohamed Aït Kadi) hizo una exposición fantástica, magnífica en tan corto tiempo de algo que no es nada fácil de plasmar y explicar sobre el tema Agua, el tema Hídrico. Es decir, abordamos en una ponencia el tema de la *Agenda Azul*. Como muchos ya conocen estoy citando literalmente los tres colores aceptados y usados por la ONU para definir las Agendas ambientales; dicho sea de paso, a través y relacionados con los *Objetivos de Desarrollo Sostenible* (ODS) de la ONU. Y por último entramos en el tema que nos trae el día de hoy aquí, que es el tema de los Recursos Naturales, recursos forestales, dentro de la *Agenda Verde*, que como su propio color indica está vinculado a la naturaleza viva de los ecosistemas, de los bosques y selvas.

No voy a abordar todos los tipos de ecosistemas terrestres, solo los mencionaré, y me concentraré en los principales. Los terrestres tropicales, como selvas altas, medias y bajas, espinosas, etc., como el tema principal de las distintas especies forestales que se han abordado hoy en la tarde: también se han mencionado los ecosistemas terrestres templados; en tal sentido hemos hablado de bosques de pinos, coníferas, abetos, cedros, encinos, argán, etc., muy ricos y diversos en éste país como acaban de mencionar los ponentes, y sobre todo en la cuenca mediterránea del norte de África y sur de Europa, así como en el sur de Marruecos. Nos quedan muchos ecosistemas por mencionar, porque éste es un país muy diverso y variado; cómo son los ecosistemas acuáticos costeros, los ecosistemas subterráneos de cuevas y grutas (que éste país también tiene), los matorrales, pastizales, etc. Debo recalcar, ya que también se mencionó en una de las ponencias, el vínculo de las agendas y temas con los objetivos específicos de los 17 ODS. En particular me refiero a los Objetivos números 12 y 13 que son los que se han posicionado por parte de cada uno de los 5 ponentes participantes. El **ODS 12** trata la Producción y el consumo responsable y sostenible, es decir hace alusión al aprovechamiento y uso responsable de los recursos naturales, de manera sostenible. Y el **ODS 13** aborda lo que todos los países estamos sufriendo a nivel global que son las acciones de combate y mitigación del Cambio Climático y sus efectos. Ahora quisiera hacer el vínculo con el papel preponderante de Marruecos país, y Marruecos gobierno nacional, comprometido con la Agenda 2030 y estos Objetivos ODS; uno de los ejemplos claros de ese compromiso político fue la realización en Marruecos de la COP22 realizada hace unos pocos años en Marrakech, creo recordar en 2016. Ese es un compromiso de los gobiernos que dicen mucho sobre sus sectores de los recursos naturales, de la biodiversidad, etc., y sobre todo del combate al Cambio Climático. Sectores a los que se quiere impulsar para llevar una mejoría económica y mejor calidad de vida a los productores y/o habitantes del mundo rural de cada país.

Entramos ahora en la parte de los problemas. De la misma manera que Marruecos y otros países son megadiversos y tienen una riqueza en diversidad biológica propia, también la diversidad de pensamiento es riqueza y necesidad, siempre que los planteamientos se hagan con fundamentos, respeto y sabiendo escuchar. Ya que si todos pensáramos igual las cosas no cambiarán, ni avanzaríamos hacia las mejoras como sociedad, pueblo y/o país. Es a través del análisis, del intercambio, del debate, tal como se hace en nuestra Academia, como precisamente se enriquecen las posiciones, y crecemos como sociedad. Yo estoy de acuerdo con la gran mayoría de lo que los ponentes han expuesto; sin embargo tengo algunas diferencias, menores, que de momento me reservo con la sana intención de darles la oportunidad y el tiempo a ustedes para que se enriquezca el debate y la participación abierta. De mi parte veré más tarde en lo particular con cada uno de los ponentes estas opiniones con la finalidad de enriquecernos mutuamente, tratando de precisar y clarificar opiniones.

La presión que ejercemos sobre los ecosistemas y el medio ambiente surge de los patrones sociales y los modelos económicos actuales de convivencia, que es el origen de la necesidad de los conceptos de Conservación, Protección, Preservación y Restauración. Y en este contexto quisiera comentar que no recuerdo haber escuchado a ninguno de los ponentes hablar de la Restauración de los ecosistemas, y/o de las especies; y ojalá que alguien en ponencias posteriores aborde estos planteamientos desde la perspectiva de la Restauración.

¿Qué sucede con estos patrones de consumo? A todos, tanto en lo individual como colectivamente nos gusta vivir bien, los países quieren desarrollarse social y económicamente para mejoría de sus ciudadanos, con la mejor calidad de vida que se pueda para todos.

Y aquí es donde trato de vincular estas temáticas mencionadas con el término de **Sostenibilidad**; ese término tan fácil de emitir y hablar, y tan difícil de implementar en la realidad. Un término que no tiene una fórmula única para cada ocasión, circunstancia, tiempo y lugar, sino que debemos ser muy originales e innovadores para esa búsqueda de respuesta social. Sostenibilidad es esa mesa hipotética de tres patas, donde debemos hacer que los intereses económicos, sociales y ambientales confluyan, convivan y queden en equilibrio, sin que se nos caiga y rompa la mesa. Todos los países estamos inmersos en mayor o menor medida en un crecimiento demográfico grande, patrones de consumo que hemos modificado al alza, demandamos ciertos recursos naturales (incluyendo más comida) en mayores cantidades, y hemos creado nuevas y más infraestructuras para nuestra convivencia y ciudades o zonas urbanas, etc. Y todos estos factores están haciendo presión cada vez mayor sobre los ecosistemas, así como contra las especies de flora y fauna que en los bosques y selvas existen y conviven. Por ello es imprescindible, fundamental y necesario para nuestra coexistencia de que encontremos nuevas fórmulas, esquemas, y planteamientos de coexistencias para minimizar esas presiones. Algunas de ellas las hemos escuchado por parte de los ponentes de esta tarde.

Finalizo con la siguiente síntesis. Primero, todos estos esquemas pasan inequívocamente por el **conocimiento científico**, el contrastado y comprobado. Hay y debemos abordar estas problemáticas con esquemas integrales y conjuntos de conservación y restauración; de los dos, no solo de uno de ellos. Deben ser en paquetes integrales, en mi opinión. Segundo, lo anterior debe realizarse con enfoques de reforestación en las partes altas de las cuencas hidrológicas forestales. Porque el binomio forestaría-agua debe garantizarse y mantenerse, ya que la vida en sí misma no podría darse en ausencia del agua. De no ser así la captación del agua podría estar en entredicho.

Tercero, el uso y manejo de los aprovechamientos forestales deben realizarse de manera sostenible; sin olvidarnos de que además de las especies maderables a producir, son tan o más importantes **las especies no maderables**, como hemos visto aquí en Marruecos en numerosos casos; como por ejemplo resalto el caso del argán.

Cuarto, no deberíamos olvidarnos de cuestiones estratégicas importantes como la **Educación y Cultura Ambiental-Forestal**, vía unos programas innovadores de publicidad hacia la ciudadanía y los sectores productivos rurales

Y quinto, la integración de todo lo anterior a través de una **Gobernanza o Gobernabilidad**, vía leyes, normas y un marco regulatorio que oriente y defina lo que se debe hacer y cómo, y lo que no se puede hacer en qué lugares.

Finalizo diciendo que en lo que hemos visto y se ha expuesto, considero que Marruecos va en la dirección correcta y adecuada en el manejo forestal sostenible, así como en su política para evitar y reducir los impactos negativos en la pérdida de la biodiversidad.

Muchas gracias.

SÉANCE IV
ESPACES BOISÉS ET EXPLOITATION
DURABLE

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, Schanzlestrasse 1,
D-79104 Freiburg, Germany*



Abstract

Study areas: The Tangier Peninsula in NW Morocco and the Campo de Gibraltar in SW Spain offer identical physical conditions (bedrock, soil and climate), a common flora and shelter endemic plant species. We can study the effects of a different agro-technological management, population density, economic levels, ownership and cultural traditions on the vegetation cover and the plant species diversity.

Methods: The plant species composition was analysed at the habitat level by about 2000 phytosociological relevés. The vegetation mosaic in the landscape dimension was recorded in 75 sample plots of 1 square km. 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, unproductive arable land and 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. Exceptions are forests around Marabouts and on rural cemeteries. These places, respected for religious reasons, are Sacred Natural Sites. From 86 sites analysed less than 50% conserve near natural,

sustainable Holy Forests. Some stands have an overaged tree layer or are ruderalized by grazing and pilgrimage activities.

SNS are an important element of the natural and cultural heritage of Morocco. They contribute to the conservation of rare plant species and threatened forest ecosystems. SNS make landscapes unique. A national inventory is urgent. Enclosures against pasturing livestock are necessary to guarantee the regeneration and long-term persistence of the Marabout forests.

Weed vegetation in arable land varies strongly according to the agro-technological level. Self-sustaining agriculture still exists in the Outer Rif Ranges. Traditional ploughing methods, shifting cultivation and the intercalation of short-term fallow land periods results in species rich Moroccan weed communities. Agro-industrial management 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. Heathland is richer in species and endemics in Spain and poorer in Morocco, due to higher grazing impact and fire frequency there. The results confirm the intermediate disturbance hypothesis of diversity.

Conclusions: “Modernisation” of vegetation landscapes results in a more trivial plant canopy. 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 must take into consideration several independent parameters such as 1- external energy input (fossil carbon or green energy?), 2- external nutrient input (better food supply for the local population or risk of groundwater pollution? 3- Forests managed sustainably and offering ecosystem services (e.g. water retention and prevention of soil erosion).

Keywords:

Landscape succession, biodiversity, natural heritage, cultural ecology, Sacred Natural Site, Marabout, Gibraltar Straits

Abbreviations: SNS = Sacred Natural Sites

Introduction

Archaeobotanical findings like those of Berglund (1991) in southern Sweden show us clearly, that the anthropogenic transformation of vegetation landscapes is going on step by step: The Berglund-model (Figure 1) illustrates the relationship between the agro-technological level and the productivity of husbandry. Innovations such as mechanisation, external energy input, artificial fertilizers, irrigation, breeding of new races of cultivated plants or animals etc. raise the carrying capacity for the human population.

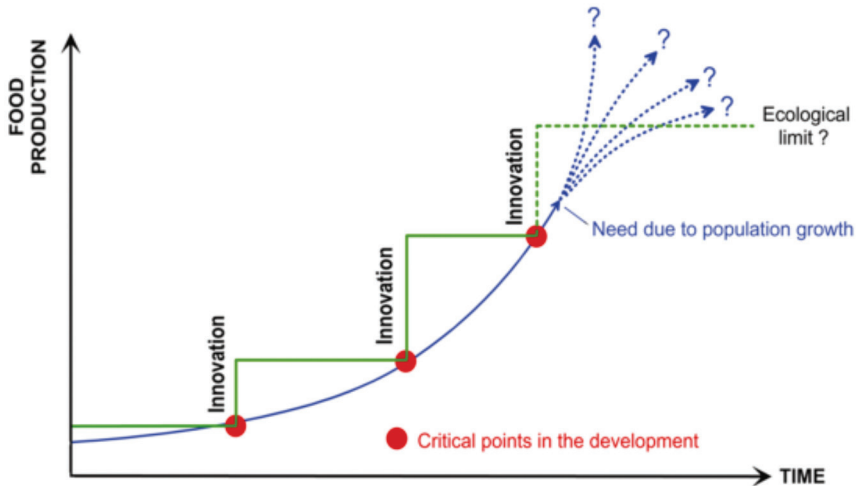


Figure 1: Theoretical model for the development of cultural landscapes
(from Berglund 1991, modified)

Important steps in the last decades were the transition steps from self-sustaining to market oriented agriculture and further on to an agro-industrial land management, oriented to international markets. Finally, a post-industrial society will re-evaluate land for new “products” like recreation, tourism, or nature conservation. So, for example, a sandstone ridge in the Outer Rif Ranges, exposed to strong wind and covered with a very unproductive heathland can become a very valuable site for a wind power installation and be very productive for green energy. Or it can be of high conservation value, when it shelters endemic plant species.

The plant cover is an ecosystem parameter quite sensitive to land management and human impact. The question is: Do different agro-technical management and contrasting economic and social conditions result in different vegetation landscapes? What are the characters of a “traditional” respectively a “modern” vegetation landscape?

The economic situation of a society also affects biodiversity patterns. We start with the hypothesis, that within-habitat plant species diversity (alpha-diversity) is maximal under moderate environmental stress and medium intensity of management (Intermediate Disturbance Hypothesis of Grime, 1993). This will be studied 1- by the example of the weed flora in arable land, and 2- by the species richness in heathland plant communities.

To study landscape succession and vegetation changes we can apply two approaches:

- 1) A retrospective approach by comparing historical and recent documents (e.g. time series of aerial photographs). A profound field analysis of the present landscape allows drawing some conclusion, what have been the earlier land cover, former vegetation types and the historical habitat diversity (diachronic analysis).

- 2) The location-for-time-substitution-approach: It starts with the following pre-assumptions: The rate, direction and velocity of the stepwise transformation of landscapes depend upon the national economic situation, the regional infrastructure and the individual situation of the landowner. Therefore, two regions might exist side by side, which have arrived today at quite unequal economic levels, and have different ownership structures and agro-technological management. We can study the land use trends by comparing the present vegetation of regions, if one of them still represents the former situation of the other. The different human impact resembles to an “experiment in the landscape dimension”, which is already running over decades or centuries.

Areas, suitable for a location-for-time-substitution-approach have to fulfil two conditions:

- 1) They must offer identical physical and biotic features before human intervention.
- 2) They must be submitted to different land use systems, cultural traditions and levels of modernisation.

The Mediterranean world, situated in the economic gradient between Europe and Africa is a suitable area for studying the effects of a changing economic situation and of the impact of different societies on land use trends and biotic diversity. The meeting place of the contrast is the Straits of Gibraltar. An agro-industrial landscape on the Spanish coast might exist side-by-side with a self-sustaining farming system in Morocco. The actual Moroccan plant cover could have some features, which are already historic in Spain or in other words: Landscape transformation might be asynchronous. To see whether the trends of land use changes are parallel, divergent or convergent, the location-for-time-substitution approach was applied to the peninsulas at both sides of the Straits of Gibraltar.

The comparison of the plant cover of the Tangier Peninsula in NW Morocco and the Campo de Gibraltar in SW Spain should give answers to the following questions:

1. Do both areas differ in the extension, internal structure and plant species composition of the forests? Is forest management and exploitation by cutting, logging and grazing sustainable, allowing regeneration of the tree layer? A special focus will be laid upon the role of Sacred Forests around Marabout tombs and on rural cemeteries as elements of natural and cultural value.
2. What are the effects of modern respectively traditional land management for the within-habitat plant diversity? Does it confirm the intermediate disturbance hypothesis? This will be tested by the example of weed communities and heathlands.
3. How are the land use trends in both areas? Is there a convergent or a divergent landscape evolution? Or is it parallel, but with time lag in one country?
4. Are these tendencies positive for a sustainable land use or are they threatening the natural heritage?

Study area

Abiotic and biotic similarity

The study areas are the peninsulas at both sides of the Straits of Gibraltar. The African part in NW Morocco is called Tangier Peninsula (Tangérois) respectively “Tingitano” as phytogeographical sector. It includes parts of the provinces Tangier, Tetouan and Larache. The European part is located in the provinces Cadiz and Malaga. This part of SW Andalusia is called Campo de Gibraltar or “Gaditano” in phytogeography. Both peninsulas are part of the Betic-Rifean mountainous arc. Common sedimentation processes and a synchronous orogenetic uplift resulted in identical geological structures, bedrock material, soils and geomorphological features (see geological map in Didon et al., 1973 and geomorphological study by Andre, 1971). The sandstone ridges of the “Unité numidienne” in Morocco are equivalent to the Unidad del Campo de Gibraltar.

A common sub-humid climate of the atlantic-mediterranean type and a land connection between Africa and Europe until mid-Tertiary resulted in an almost identical flora. Valdés (1991) was the first to setup a Gaditanean-Tingitanean phytogeographical sector. The study area is a hotspot of biodiversity in the Mediterranean (Médail & Quézel, 1997) and shelters a large number of vascular plant species, endemic to that area (Galán de Mera & Vicente Orellana, 1997; Molina-Venegas et al., 2013). One example is the Portuguese Sundew (*Drosophyllum lusitanicum*) (Figure 2), distributed over the southwestern part of the Iberian Peninsula, and transgressing to Africa exclusively on the Tangier Peninsula (Garrido et al., 2003).



Figure 2: The Portuguese Sundew (*Drosophyllum lusitanicum*), a SW-Mediterranean endemic species occurring in open heathland on the Tangier Peninsula

The study area became part of the Intercontinental Biosphere Reserve of the Mediterranean (IBRM), designated by UNESCO in 2006 (Abdul Malak et al., 2017) because of its floristic richness (about 1700 plant species) and high rate of endemism (about 5%) (Arroyo 1997).

Without human intervention, the altitudinal sequence of potential natural vegetation would be forests with Wild Olive Tree (*Tamo-Oleetum sylvestris*) on black cotton soil respectively Wild Olive and Cork Oak (*Oleo-Quercetum suberis*) on sandy soils in the thermomediterranean lowlands, a pure Cork Oak forest (*Teucro baetici-Quercetum suberis*) on acid soils and with Kermes Oak (*Rusco hypophylli-Quercetum cocciferae*) on schist and marl in subhumid, mesomediterranean bioclimate at mid altitude, and a forest with deciduous oaks (*Rusco hypophylli-Quercetum canariensis*) in perhumid mountainous areas and on northern slopes (see Figure 3 in Deil, 2003). Clearing and pasturing resulted in a great variety of maquis and heathland plant communities.

An important cultural difference is the existence of Holy Forests in the Moroccan part. Sacred sites, sheltering remnants of vegetation in the surroundings of Marabout tombs and on Muslim rural cemeteries are called Sacred Natural Sites (= SNS). They have often been considered as primeval forests (Quézel & Barbero 1990, Benabid 1991). Such elements are part of the cultural as well as biological heritage of Morocco.

Cultural and economic contrasts

Man's influence on the vegetation cover is quite different on the European and African side. In general human pressure in Morocco is higher. The density of the rural population is three to four times higher in Morocco than in Spain. In spite of a considerable urbanisation in northern Morocco (see some contributions in Berriane & Laouina, 1998), the rural population is still increasing. In Andalusia there has been a strong decline of the rural population in recent decades. The role of agriculture for the GDP and the number of employees in that sector has decreased enormously in the last few decades (Prados de la Escosura & Sanchez-Alonso, 2020). A strong contrast between both countries can also be stated in mean income (GDP per capita is 4,600 USD in Morocco, 33.700 in Spain) and in average farm size (2-3 ha in Morocco, 35 ha in Spain) (Abdul Malak et al., 2017).

Arable land in Spain is the property of big land owners, who produce for the market of the EU in a biennial crop rotation and with a considerable amount of capital. Characteristics of this agro-industrial system are the application of modern ploughing techniques and of chemicals for weeding. Unprofitable soils have been abandoned in recent years. In the Rifian part of Morocco, self-sustaining small holder farming still exists in remote areas. Rainfed agriculture of durum wheat, superficial ploughing without harrowing, manual weeding, and the intercalation of fallow land periods (shifting cultivation) are characteristics of this traditional agricultural system. In both countries, the irrigated agricultural area is increasing. In the western Rif Mountains, the cleaning of maquis and the cultivation of new agricultural land even on steep slopes is still going on (Ben Salah et al., 2018). In the Spanish mountainous regions the setting aside of pastures and fields is frequent, favoured by subsidies of the European Community.

Pastures: In the Andalusia, large areas in private ownership are used for cattle breeding with the Retinto race in a rotation system with enclosures. Medium sized farms and latifundia predominate. In Morocco, we find an unregulated grazing system on common ground with local cow races and predominant small animal breeding. Stocking rate and – in consequence – pasture intensity are higher in Morocco.

In both countries, urbanization, industrialization and tourism are concentrated on the coastal regions. Many sensitive dune ecosystems of the Gaditanean coast are protected from touristic impact. At the coast east of Tangier near Ksar Kbir, camping and permanent settlement take place in a more or less unregulated fashion. Hunting and ecotourism are important activities in the National Park “Los Alcornocales”, situated in the Campo de Gibraltar. Such activities are of minor economic importance in northern Morocco at the moment.

Conclusion: An agro-industrial system with some elements of post-industrial character (tourism, nature conservation) on the Spanish coast exists side-by-side with a system in Morocco, based mainly on smallholder preindustrial farming with remnants of a self-sustaining agricultural system. First transitions to agroindustry take place in Morocco. The Peninsulas offer the possibility of studying the effects of different human impact on the plant cover, because population density, ownership, and economic framework are different and the land is used and managed differently.

Methods and data set

The vegetation was analysed at the habitat level by sampling of floristic data on more than 2000 plots. Vegetation types were defined on the basis of repetitive species composition (phytosociological approach). 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. The plant cover was mapped in three corresponding pairs of ecoregions on both peninsulas (for location of the perimeters see Figure 2 in Deil, 2003). Land use trends in the last few decades were analysed by an interpretation of historical and actual air photographs.

In the last decade (2007 to 2017) we studied and analysed the vegetation around the tombs of local saints (“Marabout”) and on graveyards on the Tangier Peninsula (NW Morocco), a region, known for its Maraboutism (Berriane, 1989). These sacred groves were studied intensely in the last decade, with a regional focus on the Tangier Peninsula. Naturalness and conservation value have been investigated in detail (Deil et al., 2005 2009; Frosch & Deil, 2011; Jäckle et al., 2013; Deil & Mhamdi, 2015; Frosch et al., 2016; Jäckle, 2017) and by a working group of Tetouan University (Demdan et al. 2008; Taiqui et al., 2009; Ben Salah et al., 2018).

Total number and size of the SNS in the study area were analysed from topographic maps and verified by field studies in 8 landscape sections (36 km² plots), randomly located in the major ecoregions after a pre-stratification according to bioclimate and geology (see Figure 1 in Jäckle 2017). The vegetation mosaic was recorded on 86 SNS: Frequency,

spatial extension and naturalness of the habitats were analysed. The habitats were classified based on physiognomic characters of the plant cover and dominating woody species, and grouped according to naturalness. To analyse the conservation value for rare or vulnerable plant species, 203 phytosociological relevés have been sampled in the forested parts of the SNS and were clustered according to floristic similarity. The resulting forest associations are discussed in a broader geographical context (SW Mediterranean) and compared with data from non-sacred forests (Frosch & Deil, 2011). Vascular plants were classified according to pre-defined risk factors like stenochory or grazing sensitivity. Naturalness index and refugial value were calculated for each site (Frosch et al., 2016). Deil & Mhamdi (2015) give a synopsis where in Morocco SNS have been studied.

Results

Contrasting processes in forests and maquis

Maamora was the largest Cork Oak forest in the world (300.000 ha in 1939), before it was reduced by clearing and internal exploitation by illegal cutting in the last few decades to actual 50.000 ha open degraded forest (Rejdali, 2004; Fennane & Rejdali, 2015). Now the largest Cork Oak forest in the Mediterranean Biome occurs in the Campo de Gibraltar (82.000 ha), colonising the Aljibe and other mountain ridges over Numidian sandstone (Figure 3). It is protected as part of the Natural Park Los Alcornocales (170.000 ha), designated in 1989. 25% of the area is in public ownership (Alvarez de Sotomayor, 2002). Private owners are big fincas (< 100ha). Dominating vegetation types are Cork Oak (*Quercus suber*), Holm Oak (*Quercus rotundifolia*), deciduous Oak forests (*Quercus canariensis*, *Q. faginea*, and *Q. pyrenaica*), maquis and heathland. Reforestations with *Pinus* or *Eucalyptus* are of minor importance.



Figure 3: A closed Cork Oak forest covers the Sandstone Ridges of the Sierra del Niño, part of the Natural Park Los Alcornocales in SW Andalusia

The tree layer in the Spanish forests became closer in the last few decades, stem number and basal area increased (Alvarez de Sotomayor 2000). In *Quercus suber* forests, low and middle diameter classes are dominating, favoured by forest management. These diameters are easier to handle for cork exploitation, which was in the last 150 years the main economic objective of land use (beside charcoal production and extensive grazing). *Quercus canariensis* has a certain percentage of very large trunks with diameters > 60 cm (Jurado, 2002a, 2000b). Nowadays, hunting for red deer, roe deer, and wild boar creates the main income from the Park. Ecotourism is also relevant. Further forest ecosystem services are water storage, reduction of erosion, and protection of water reservoirs from sedimentation.

The extraordinary conservation status of the forests in the Aljibe Mountains is due to their position in a no man's land with extreme low population density, located in the Middle Ages in a frontier situation between reign of the Caliph of Grenada and the Empire of the Kings of Castillia (Marañón & Ojeda 1998). Strict regulations and supervision with forest guards since 1748 by the Ministry of Sea protected the forests later on. Actual management according to the Plan Forestal Andaluz is sustainable.

The Tangier Peninsula also shelters large Cork Oak forests in the Outer Rif range, for example between Chaouen and Jebel Bouhachem, and on the Numidian sandstone ridges further westwards like Jebel Kerchichane near Moulay Abdesselam. Palynological data (Muller et al., 2014) document that human impact in the Pre-Rif Mountains was low in Roman times. Opening of the forests started 900 years ago and increased strong in the last 400 years. Forest quite well conserved still existed in the colonial period.

Actually the remaining forests are submitted to strong deforestation and degradation processes like reduction of the forest area by clearing (Chabbi, 1994; Taiqui, 2005, Taiqui et al., 2008, Ben Salah et al., 2018), internal exploitation and opening of the tree canopy by illegal cutting of low and middle diameter classes. Intensive browsing with small animals (sheep and goats) prevents the regeneration of the tree layer. Forest use is not sustainable, even not in the SIBE site of Jebel Bouhachem, where illegal logging and clearing for *Cannabis*-cultivation reduces the closed *Quercus suber* and *Q. canariensis* forest. (Chabbi, 1994; Gatchui et al., 2014). Illegal logging of low diameter classes of *Abies maroccana* occurs even in the National Park Talassemtane (Linares et al., 2011).

A more detailed study of the forests in the summit area of the Aljibe Mountains in Spain and the Jabal Kerchichane in the Beni Aros tribal area on the basis of 146 relevés gave the following results (Benzler et al. 1998): Two forests communities (Teucro baeticum-Quercetum suberis and Rusco-Quercetum canariensis) occur in both countries. Their spatial distribution is triggered by aspect and soil water capacity. Herbs like *Luzula forsteri* and *Brachypodium gaditanum* characterize closed forests with intact topsoil. When these forests are opened by selective felling, pollarding, fire and grazing, the ombrophilous herbs are disappearing and shrubs are dominating the understorey. The invading woody plants are different in both countries: In Spain, this regressive succession results in the dominance of Ericaceae and Genisteae (e.g. *Erica scoparia* and the Gaditanian endemic *Ulex borgiae*). In Morocco, Rock Rose species (*Cistus crispus* and other *Cistus* spp.) characterize the ground floor. The higher fire frequency and stronger grazing impact in

Morocco might cause this shift from resprouters (Ericaceae with lignotuber) to reseeders (Cistaceae with a fire stimulated seed bank).

The role of Sacred Natural Sites (= SNS) for forest conservation and natural heritage

Intact Cork Oak forests on fertile soils in Morocco are restricted to small plots. They are sheltering Marabout tombs or covering rural cemeteries (Figure 4). These SNS are numerous in NW Morocco (mean value is about 26 per 10x10 km perimeters), but small in size (in mean 0.7 ha) (Figure 5). Jäckle et al. (2013) estimate about 2100 sites for the Tangier Peninsula. 67% are documented on the topographical maps 1:50.000.

In a broad scale analysis which compared forests in the SW-Mediterranean inside and outside SNS, forests on SNS were in better condition (Frosch, 2010; Frosch & Deil, 2011). Some forest types are exclusively found around Marabout tombs and on cemeteries like Wild Olive groves on sand and marls in the thermomediterranean lowlands and the Kermes Oak plant community (*Rusco-Quercetum cocciferae*) (Figure 6) on marl and schist in the subhumid bioclimate. Near natural forests shelter true forest species in the ground floor, with a high constancy and abundance of ombro- and mesophilous taxa. These well conserved Holy Groves are restricted to certain ecoregions, with preference in mid altitude and in remote areas of the Outer Rif Ranges (Figure 7) (Jäckle, 2017; Ben Salah et al., 2018). They represent the potential natural vegetation of the mesomediterranean bioclimatic belt.



Figure 4: A small patch of a Cork Oak forest around a Marabout tomb, located in the Beni Ider tribal area, Outer Rif Ranges



Figure 5: Sacred grove Sidi el Mokhfi near the village Er Rhorba in the tribal area of Beni-Ider in the Outer Rif Ranges. The holy forest is a mixed stand with Kermes Oak and Wild Olive Tree



Figure 6: Near natural forest with arborescent individuals of Kermes Oak (*Quercus coccifera*) and Mock Privet (*Phillyrea latifolia*) around Marabout 'Sidi Arabi' in the Western Rif Mountains. Due to opening of the canopy around the qubba, grasses dominate the foreground

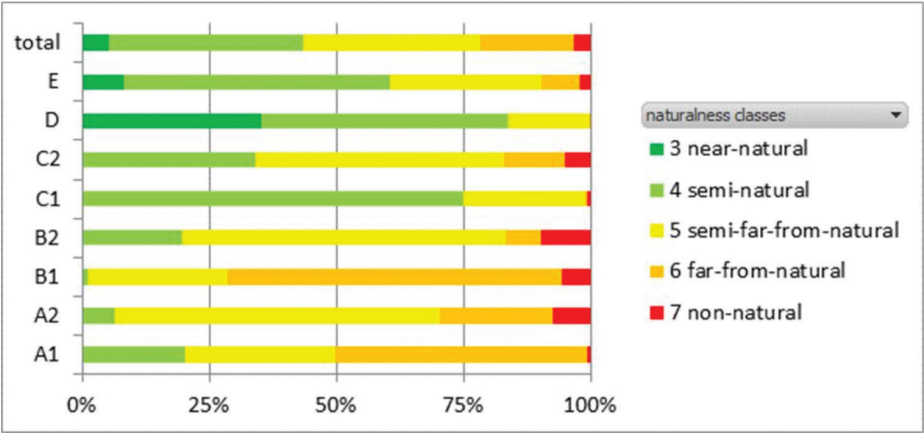


Figure 7: Pattern of naturalness of the SNS vegetation in the landscape sections A to E (from Jäckle, 2017)

However: Near-natural and semi-natural vegetation covers less than 50% of the surface of the 86 SNS mapped by Jäckle (2017). Anthropo-zoogenic impact (burial activities, burning, grazing) on SNS can create a fine scale vegetation mosaic (see Figure 4 in Deil, 2001 and vegetation maps in Deil et al. 2005). Many forests on SNS have an overaged tree layer like on Jabal Habib (Figure 8). Regeneration of the dominating tree species is missing for decades due to overgrazing. The tree canopy is “sub-fossil”. In sacred groves with Wild Olive, located near villages or in Cork Oak groves submitted to strong pilgrimage activities (both are sites with high nutrient input), the typical forest floor vegetation has disappeared and is replaced by nitrophilous and ruderal annuals in the process of therophytisation and ruderalisation (Figure 9). About half of the SNS are strongly degraded and far from natural conditions. A greater conservation effort with exclosures of pasturing livestock is necessary to ensure the conservation of these forests.



Figure 8: Over-aged Cork Oak forest of Sidi Habib. Grazing, trampling and camping during the annual pilgrimage period prevented any regeneration of *Quercus suber* in the last few decades



Figure 9: Sacred site ‘Sidi Amour Al Hadi’ in Douar Swahal with Wild Olive trees. The forest floor under the overaged tree layer is ruderalised by heavy grazing, by defaecation of resting animals and by seasonal pilgrimage activities

Species diversity at the habitat level (alpha-diversity): The example of arable land

This parameter was studied by the example of weed communities in arable land. Winter crops on black cotton soil (tirs = vertisols) are characterized on both sides of the Gibraltar Straits by weed communities with *Ridolfia segetum*. They shelter rare and also endemic species like the Bindweed of the Gharb (*Convolvulus gharbensis*). Based on 112 randomly distributed samples on both peninsulas, we stated a mean species number of 48 per field in the Tangier region, 22 in the Campo de Gibraltar. Modern tilling techniques, the application of herbicides and artificial nutrients halve species diversity. But not all species are affected in a similar way. The rhizomes of perennial herbs and shrubs such as *Dittrichia viscosa* and the rosettes of biennial weeds like *Ammi visnaga* are not completely eliminated by the traditional ploughing methods. A focus upon grasses in agricultural land gives the following result: Some annual weedy grasses like *Avena sterilis* and *Hainardia cylindrica* resist the modern agricultural practices and occur in similar frequency on both sides. Perennial grasses like *Cynodon dactylon* and *Phalaris caerulea* become rare in arable land under modern agriculture practises (Sundermeier & Deil, 1992; Deil & Sundermeier, 1992, Figure 7 in Deil, 2003). The high species number in Morocco results from the additional appearance of annual pasture grasses and of oldfield species whose seed bank is filled up during the fallow land period.

Between-stand diversity and landscape diversity are enhanced in Moroccan agricultural areas by three effects: 1) *Chamaerops humilis*-patches as the last remnants of the original vegetation are scattered all over the arable land. These hummocks shelter maquis species inside the dwarf palm and are surrounded by a tall forb edge community. 2) A broader spectrum of soil types is used for agriculture. 3) The shifting cultivation system creates a considerable variety of succession stages, so gamma-diversity increases.

In the 70ies small holder farmers in the Campo de Gibraltar used the same traditional tilling methods as they are used at the moment in marginalized regions of the Outer Rif Ranges, where self-sustaining agriculture is still applied. Nowadays Rifean weed communities represent former Spanish ones which have been transformed to pure weed communities. The anthropogenetic transformation of the weed communities has a similar tendency in both countries, with a time lag of some decades in Morocco. At the moment, the pattern of Dwarf palm tufts scattered over traditional managed arable land is disappearing by modern tilling methods. The transition to „modern“ weed communities happened already in the Rharb plain and in the Saïs around Meknes. In the surroundings of Tangier (Les Fahs de Tanger), where large properties occur (Guich ownership), tendencies towards agro-industrial land management (cattle breeding for fresh milk production) can be observed. Grazed fallow land has been transformed to hay meadows. In general, high soil productivity, good accessibility to the fields and big ownership speed up modernisation.

Species diversity at the habitat level (alpha-diversity): The example of grazed heathland

Heathland vegetation in Morocco is submitted to a higher fire frequency and a stronger pasture pressure than in Spain. The effects on *Erica umbellata*-communities have been studied in the Sierra del Aljibe and in the Western Rif Mountains. Mean species number for all heathland types is 29 in Spain, 18 in Morocco (see Figure 9 in Deil, 2003). The stronger anthropo-zoogenic stress in Morocco results in a lower floristic diversity and in mono-dominated stands. The higher burning pressure in Morocco favours Cistaceae. In Spain, the heathlands are dominated by Ericaceae and Genisteae.

When we compare species diversity of heathland and arable land, we find an inverse situation: In Spain human pressure is very high and uniformising in arable land and less intensive in forests and shrubland. In Morocco anthropo-zoogenetic pressure is constantly high in maquis and lower (intercalated fallow periods!) in cultivated land. Alpha-diversity in weed communities and in heathland reflects this situation very well. The results are in accordance with the intermediate disturbance hypothesis (Grime, 1993).

Human impact on age structure in *Drosophyllum lusitanicum* populations

Apart from the analysis of diameter classes (as proxy for age structure) in the common tree species, there are only very few studies from the Gibraltar region available which analyse how different land use and human impact affects the regeneration of plant species. One exception is the study of the population structure of *Drosophyllum lusitanicum* (Figure 2) by Garrido et al., (2003). The authors studied age classes of this SW-Mediterranean endemic species in Portugal, Spain and Morocco. The Portuguese Sundew is a character species of dwarf *Erica umbellata* heathland (*Drosophyllo-Stauracanthetum*). It regenerates after fire, needs open patches and has a mean life span of about 10 years. Its strategy is stress tolerance. It can resist high surface temperatures, cope with low nutrient content (by carnivory), shallow soil, and it uses dew as additional water supply. It is a slow growing species. The competition of higher growing shrubs in its surroundings must be reduced from time to time by fire or mechanical disturbance. Populations in SW Andalusia have

a balanced structure, due to fires of mean frequency. Populations in *Eucalyptus* forests in Portugal are overaged except on fire strips, where mechanical disturbance is stimulating regeneration. On the Tangier Peninsula, populations are regressing due to strong grazing and trampling.

Discussion

Land use change (from forest and maquis to arable land) and increasing intensity of land management (from rainfed agriculture to irrigation e.g.), are the main threats for biodiversity in the Mediterranean (Blondel & Médail, 2009). Landscape transformation is going on stepwise and is linked to economic and social changes. The comparison of the Peninsulas on both sides of the Straits of Gibraltar confirms in principal the model of Berglund (1991) (Figure 1): In agricultural land we can state a similar tendency in both countries. A transformation and modernisation from self-sustaining via market oriented agriculture to agro-industrial management. Trends are parallel, with a time lag in Morocco.

Some important modifications respectively alternatives from the Berglund model however are obvious in the study area:

- 1) Trends can be divergent between countries of different economic conditions. This is obvious in forests and maquis in Morocco and Spain. At a finer regional scale, trends can also be divergent within the same country. This was documented in a Portuguese mountain area, the Serra de Monchique in the Hinterland of the Algarve, where vegetation and land use changes of easy accessible valleys differ considerably from remote valleys (Krohmer & Deil, 2003). Triggering socio-economic factors are ownership, infrastructure, accessibility, and productivity. On the Tangier Peninsula, the marginalized mountainous areas of the Outer Rif Ranges are conservative (= traditional) landscapes: They have relicts of self-sustaining agriculture and shifting cultivation. The contrast between traditional Hinterlands and marginalized mountainous areas on the one side and “modern” and productive lowland and coastal areas on the other side is a general pattern in many Mediterranean countries (Mazzoleni et al., 2004). Regional disparities increase by abandonment of farmland and declining population in the mountains, and intensification of farming and urbanisation by population growth in the lowlands.
- 2) Trends in landscape transformation are scale dependent. International political framework, national economic conditions, regional development and local social constraints affect the decisions of the landowner: A Spanish farmer, who has access to the subsidies of the EU, can pursue the aim of maximum economic profit from his land. A small-holding Moroccan farmer has to minimize the ecological risk of crop failure. These farmers are more depending on the natural resources than the big landowners in Spain. Vulnerability to climate change effects is therefore higher in Morocco (Aldul Malak et al., 2017).
3. Innovations are not applied and implemented to a “landscape as a tabula rasa”, but to a landscape with physical, biotic and social structures (e.g. ownership) dating from

historical times. Landscapes of the past are important for processes in the future (Antrop, 2005). Landscape is more like a palimpsest, conserving some memories of past land use. In Spain for example long distance farming systems evolved after the Reconquista and have been fixed by the Royal Mesta rules. The transhumance is no longer practised in the Campo de Gibraltar, but the pasture routes, the Cañadas and their vegetation complex, do still exist. This is one example of a historical component in the vegetation cover. The vegetation cover is an important element of the cultural heritage and one of the factors that make landscapes unique (Deil, 2001).

4. Landscape elements can exist and persist, which are more or less independent from the economic development of a country, but linked to specific cultural tradition: SNS and their biotic and cultural values are linked to the traditions of Maraboutism in Morocco.

The divergent tendencies in forests and shrublands, as described by Barbero et al. (1990) and by Quézel & Barbero (1990) for the Northern and Southern rims of the Mediterranean Basin, are confirmed by the detailed studies focussing on the Gibraltar areas (Benzler et al., 1998, Marañón et al. 1999, Deil 2001, 2003). In Spain, stocking rate and browsing intensity have decreased in all non-agricultural areas, while tree densities and tree cover value have increased in the last decades. The general tendencies are diverging in both areas (Tab. 1): 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. On the Tangier Peninsula, the tendencies in oak forests are similar to Moroccan forests in general (UICN, 2015): 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 and a therophytisation of the ground flora. Maquis are reduced by clearing and shifting cultivation or degraded by cutting of firewood and browsing. The higher slashing and browsing pressure and higher fire frequency in Morocco results also in a shift of species composition in the understorey of oak woodlands, with a dominance of Cistaceae in Morocco, and of Ericaceae and Genisteae in Spain (Benzler et al. 1998). Species richness, endemic species richness and taxonomic singularity are higher in Spain. Morocco has a greater abundance of widespread generalist species (Marañón et al., 1999).

The diverging tendencies in both Peninsulas are also visible in fossil pollen record of the last 400 years (Muller et al. 2014). The actual degradation processes in Moroccan forests and maquis by local people (illegal cutting, clearing and fruit tree planting to create and establish private ownership, overgrazing on communal and governmental ground) are similar to those carried out by the Spanish rural population during the “Ordenación de los Montes” in Andalusia in the 18th and 19th century (Ortega Santos, 2000).

Tab 1: Tendencies in forests and maquis in Morocco and Spain

Morocco	Spain
Woodland reduction of forest area by illegal clearing inner exploitation of remaining forests therophytisation by intensive pasturing over-aging of tree layer Exception: Sacred Natural Sites = well conserved Marabout forests	Woodland timber exploitation decreasing increasing stem density and tree cover moderate pasture intensity by game regeneration of tree species increasing fire risk (<i>Pinus</i> , <i>Eucalyptus</i> plantations)
Maquis reduction by clearing, shifting cultivation degradation by cutting and browsing	Maquis abandonment and succession to forests clearing, transformation into herbaceous pastures

The forests on SNS in Morocco are an exception from this general pattern, sheltering – at least in some of the sites – well conserved stands in near natural conditions (Figure 7). Such Marabout forests are relevant for the protection of intact forests and for plants, vulnerable to opening of the tree layer and to intense grazing. Certain formerly widespread plant communities like Kermes Oak forests survived exclusively on sacred sites (Figure 6). Naturalness and occurrence of vulnerable plants are positively correlated (Frosch et al. 2016). Wild Olive trees on SNS in the Rif and Prerif Mountains can serve as a valuable genetic resource for Olive breeding (Aumeeruddy-Thomas et al. 2017).

Modernisation of the society is linked to a declining respect vis-à-vis the protection of SNS (Taiqui et al. 2009, Ben Salah et al. 2018). Many SNS are threatened by overgrazing, resulting in over-aging of the tree layer or direct destruction of the plant cover (Figure 8, Figure 9).

The SNS around Marabouts and on rural cemeteries are a very important element of the natural and cultural heritage of Morocco. The sites are important for the identity of the local population and are a characteristic feature of the landscape and of high aesthetic value (Figure 10). They are threatened by population growth, land use pressure and decreasing spiritual value. Reduction in size and total destruction occur. A national inventory is urgent. Only known and documented SNS can be protected and monitored.

To guarantee the regeneration and persistence of Marabout forests in the long run, they should be included into the national program CFACG compensating local communities when forest and maquis areas are closed to grazing (Moukrim et al. 2019a, 2019b). This program must be modified to fit to the small size of SNS.



Figure 10: Sacred grove with Dwarf Palm (*Chamaerops humilis*) in arborescent form on a cemetery near Basra, Province Ouezzane, NW Morocco.

Within-habitat diversity is reflecting the intensity of human impact. It has its maximum under intermediate disturbance regimes. Intensification as well as abandonment can result in a decline of habitat diversity. On the European side human impact is strongest in arable land. Other land use types are submitted to extensification, to set aside programs, or dedicated to nature conservation, a post-industrial “non-land-use” type (e.g. dunes in the Campo de Gibraltar). On the Moroccan coast the perennial dune vegetation – sensitive to trampling - will be destroyed in the near future by not-regulated camping activities, practised by “modern” social groups.

In the landscape dimension every technological and economic level creates a specific vegetation mosaic. Characteristic vegetation types exist for Northern Africa respectively Southern Europe (see Tab. 1 in Deil 2001). Culturally indifferent vegetation units are roadside verges and other ruderal communities. “Modernisation” of vegetation landscapes results in a more trivial plant canopy (see Figure 3 in Deil 2001) and in mono-functional land units, following the segregation model of land use. Land use types of post-industrial urban societies (tourism and recreation, nature conservation, wind park installations) lead to re-evaluations of land polygons and can be similar in Morocco and Spain.

When evaluating the land use changes for their sustainability, this must be done separately for several parameters. Just to mention three: 1) External energy input is to be evaluate differently when based on fossil carbon or on green energy from wind power. 2) External

nutrient input increases productivity and food supply for the population, but has the risk of groundwater pollution when applied too intensely. 3) Beside production of timber and conservation of biodiversity, the ecosystem services of forests (e.g. water retention and prevention of soil erosion) must be taken into consideration. In the Outer Rif Ranges, soil erosion increases from 4.5 tons/ha/y under forest to 18-36 tons/ha/y in arable land (Cheddadi et al. 2015).

Acknowledgements

I want to express my deep thanks to the population of the study area and to the local authorities for allowing us to enter the sacred sites. I am also very indebted to the Moroccan administration for research permission. Without the immense help of my colleagues and co-workers Allal Mhamdi, Ahmed Achhal (†), Holger Jäckle, Birgit Frosch and Vlad Tataru this presentation could never have been written. Financial support by the German Research Foundation (DFG) and by the German Federal Ministry of Economic Cooperation and Development (BMZ) is greatly acknowledged (Az. DE 402/6-1,2).

References

- Abdul Malak DA., McGlade K., Pascual D. & Pla E. (2017).- The Intercontinental Biosphere Reserve of the Mediterranean. In: Adapting to climate change, Springer Briefs in Environmental Science, Cham, pp: 7-12.
- Álvarez de Sotomayor M.C. (2000).- Análisis del inventario forestal nacional de la provincia de Cádiz: Consideraciones para el Parque Natural de Los Alcornocales y para el Campo de Gibraltar. *Almoraima*, 23, pp: 115-122.
- Álvarez de Sotomayor M.C. (2002).- Régimen de propiedad forestal en el Parque Natural Los Alcornocales y en el Campo de Gibraltar. *Almoraima*, 27, pp: 273-280.
- André A. (1971).- Introduction à la géographie physique de la péninsule tingitane. *Revue Géogr. Maroc*, 19, pp: 57-76.
- Antrop M. (2005).- Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning*, 70, pp: 21-34.
- Arroyo J. (1997).- Plant diversity in the region of the Straits of Gibraltar: A multilevel approach. *Lagascalia*, 19, pp: 393-404.
- Aumeeruddy-Thomas Y., Moukhli A., Haounane H. & Khadari B. (2017).- Ongoing domestication and diversification in grafted olive-oleaster agroecosystems in Northern Morocco. *Regional Environmental Change*, 17, pp: 1315-1328.
- Barbero M., Bonin G., Loisel R. & Quézel P. (1990).- Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean basin. *Vegetatio*, 87, pp: 151-173.
- Benabid A. (1991).- La préservation des forêts au Maroc. In: Rejdali M. & Heywood V.H. (eds.).- Conservation des ressources végétales = Proceedings I.A.V. pp: 97-104. Rabat.
- Ben Salah H., Bombin RE. & Taiqui L. (2018).- Natural sacred sites as indicators of social-ecological system change in traditional landscapes in Northern Morocco. *Landscape and Ecological Engineering*, 14 (3), DOI: 10.1007/s11355-017-0338-6

- Benzler, A., Deil U. & Jung Ch. (1998).- Eichenwälder in der Sierra del Aljibe (Andalusien) im Vergleich zu Wäldern im Westrif (Nordmarokko). Documents Phytosociologiques N.S., 18, pp: 1-22.
- Berglund B.E. (ed.) (1991).- The cultural landscape during 6000 years in Southern Sweden. Ecological Bull., 41. Copenhagen.
- Berriane M. (1989).- Tourisme national et migrations de loisirs au Maroc – Étude Géographique. Thesis, Tours.
- Berriane M. & Laouina A. (eds.) (1998).- Le développement du Maroc septentrional: points de vue de géographes. Gotha.
- Blondel J. & Médail F. (2009).- Biodiversity and conservation. In: Woodward J.C. (ed.).- The Physical Geography of the Mediterranean, pp: 615-650. Oxford.
- Chabbi A. (1994).- Conditions écologiques et dynamiques de la végétation. Basses montagnes du Rif occidental au Maroc. Thèse Univ. Bordeaux III. Bordeaux.
- Cheddadi R., Nourelbait M., Bouaissa O., Tabel J., Rhoujjati A. ... & Lamb H. (2015).- A history of human impact on Moroccan mountain landscapes. African Archaeological Review, 32, pp: 233-248.
- Deil U. (2001).- Land-use changes and its effects on biodiversity and vegetation cover – The situation of Morocco in the West Mediterranean context. In: Berriane M. & Kagermeier A. (eds.).- Le Maroc à la veille du troisième millénaire – Défis, chances et risques d'un développement durable. Maghreb-Studien, 14, pp: 107-124.
- Deil U. (2003).- Characters of “traditional” and “modern” vegetation landscapes – a comparison of northern Morocco and southern Spain. Phytocoenologia, 33, pp: 819-860.
- Deil U., Culmsee H. & Berriane M. (2005).- Sacred groves in Morocco – a society's conservation of nature for spiritual reasons. Silva Carelica, 49, pp: 185-201.
- Deil U., Frosch B., Jäckle H., Mhamdi A. & Achhal El Kadmiri, A. (2009).- A geobotanical analysis of forest patches on sacred sites in Northern Morocco. Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges., 21, pp :174-195.
- Deil U. & Mhamdi A. (2015).- Les sites maraboutiques – un patrimoine naturel et culturel du Maroc. In: El Fasskaoui B. & Kagermeier A. (eds.).- Patrimoine et tourisme culturel au Maroc. Actes du 9^{ème} colloque maroco-allemand de Meknes 2014 = Public. Fac. Lettr. et Sciences Humaines, Université Moulay Ismail, Série Actes de Colloques, 43, pp: 171-178.
- Deil U. & Sundermeier A. (1992).- L'influence du système agraire sur les groupements messicoles des deux rives du détroit de Gibraltar. 9^{ème} Coll. Int. Biol. Mauvaises Herbes Dijon 1992, Ann. A.N.N.P.P., pp: 207-212.
- Demdam H., Taiqui L. & Seva E. (2008).- Vers une base de données spatiales des sites sacrés de la province de Tétouan (N du Maroc). Apport de la cartographie officielle. Mediterranea, 19, pp: 9-68.
- Didon J., Durand-Delga M. & Kornprobst J. (1973).- Homologies géologiques entre les deux rives du détroit de Gibraltar. G.S.G.F., 15, pp: 78-105.
- Fennane M. & Rejdali M. (2015).- The world largest cork oak Maamora forests: challenges and the way ahead. – Flora Medit., 25 (spec issue), pp: 277-285.

- Frosch B. (2010).- Characteristics of the vegetation of tree stands on sacred sites in comparison to well-preserved forests in northwestern Morocco. *Ecologia Mediterranea*, 36, pp: 83-95.
- Frosch B. & Deil U. (2011).- Forest vegetation on sacred sites of the Tangier Peninsula (NW Morocco) – discussed in a SW-Mediterranean context. *Phytocoenologia*, 41, pp: 150-179.
- Frosch B., Jäckle H., Mhamdi A., El Kadmiri A. Rudner M. & Deil U. (2016).- Sacred sites in north-western Morocco – naturalness of their vegetation and conservation value for vulnerable plant species. *Feddes Repertorium*, 127, pp: 83-103.
- Galán de Mera A. & Vicente Orellana J.A. (1997).- Phytogeographical characterization of SW Cadiz (Spain) and its relationship with the Tingitanian Peninsula (Morocco). *Lagascalia*, 19, pp: 609-616.
- Garrido B., Hampe A., Marañón T. & Arroyo J. (2003).- Regional differences in land use affect population performance of the threatened insectivorous plant *Drosophyllum lusitanicum* (Droseraceae). *Diversity & Distributions*, 9, pp: 335-350.
- Gatchui HC., Smektala G., Solano D., Taiqui L. & Ngomeni AF. (2014).- Cannabis cultivation and deforestation in the Site of Bio Ecological Interest (SIBE) of Bouhachem, Morocco. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8, pp: 1179-1191.
- Grime J.P. (1993).- Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*, 242, pp: 344-347.
- Jäckle H. (2017).- Conservation status of the vegetation of sacred natural sites in north-western Morocco. *Ecologia Mediterranea*, 43, pp: 65-83.
- Jäckle H., Rudner M. & Deil U. (2013).- Density, spatial pattern and relief features of Sacred Sites in northern Morocco. *Landscape Online*, 32, pp: 1-16.
- Jurado V. (2002a).- Los bosques de la Sierras del Aljibe y del Campo de Gibraltar (Cádiz-Málaga). *Ecología, transformaciones históricas y gestión forestal*. Junta de Andalucía, Consejo de Medio Ambiente, Sevilla 222pp.
- Jurado V. (2002b) : Composición et estructura de los bosques del Parque Natural Los Alcornocales. *Almoraima*, 27, pp: 245-252.
- Krohmer J. & Deil U. (2003).- Paysages dynamique et conservateurs? Couvert végétal actuel et changements de l'occupation du sol dans la Serra de Monchique (Portugal). *Phytocoenologia*, 33, pp: 767-799.
- Linares JC., Carreira JA. & Ochoa V. (2011).- Human impact drive forest structure and diversity. Insights from the Mediterranean mountain forest dominated by *Abies pinsapo* (Boiss.). *Eur. J. Forest Res.*, 130, pp: 533-542.
- Marañón T. & Ojeda F. (1998).- Ecology and history of a wooded landscape in southern Spain. In: Kirby K.J. & Watkins C. (eds.).- *The ecological history of European forests*, pp 107-116. Oxon.
- Marañón T., Ajbilou R., Ojeda F. & Arroyo J. (1999).- Biodiversity of wooded species on oak woodlands in southern Spain and northern Morocco. *Forest Ecology and Management*, 115, pp: 147-156.
- Mazzoleni S., Di Pasquale G., Mulligan M., Di Martino P. & Rego F. (2004) (eds.).- *Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape*. Chichester.

- Médail F. & Quézel P. (1997).- Hot-spot analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean basin. *Annals Missouri Bot. Garden*, 84, pp: 112-127.
- Molina-Venegas R., Aparicido A., Pina FJ., Valdés B. & Arroyo J. (2013).- Disentangling environmental correlates of vascular plant biodiversity in a Mediterranean hotspot. *Ecol. Evol.*, 3, pp: 3879-3894.
- Moukrim S., Lahssini S., Naggar M., Lahlaoui H. ... & Rhazi L. (2019a). - Local community involvement in forest rangeland management: a case study of compensation on forest area closed to grazing in Morocco. *The Rangeland Journal*, 41, pp: 43-53.
- Moukrim S., Lahssini S., Mustapha N. & Rhazi L (2019b).- Compensation pour mises en défens forestières et rehabilitation des écosystèmes par l'implication de la population. *Alternatives Rurales* 7, 16pp.
- Muller SG., Rhazi L., Andrieux B., Bottolier-Curtet M., Fauquette S., Saber E., Rifai N. & Daoud-Bonattour A. (2014).- Vegetation history of the western Rif mountains (NW Morocco): origin, late-holocene dynamics and human impact. *Vegetation History and Archaeology*, DOI 16.1007/s00334-014-0504-9.
- Ortega Santos A. (2000).- Common woodlands in Mediterranean societies: commercial management versus forms of peasant resistance in Andalusia (Spain), 1750-1930. In: Angioletti M. & Anderson S. (eds.).- *Forest history*, pp: 223-235.
- Prados de la Escosura L. & Sanchez-Alonso B. (2020).- Economic development in Spain, 1815-2017. DOI 10.1093/acrefore/9781906259.013.523, 25pp.
- Quézel P. & Barbero M. (1990).- Les forêts méditerranéennes - problèmes posés par leur signification historique, écologique et leur conservation. *Acta Bot. Malacitana*, 15, pp: 145-178.
- Rejdali M. (2004).- Forest cover changes in the Maghreb countries with special references to Morocco. In: Mazzoleni S., Di Pasquale G., Mulligan M., Di Martino P. & Rego F. (eds.).- *Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape*, pp: 23-31. Chichester.
- Sundermeier A. & Deil U. (1992).- Die Ackerflora auf Vertisolen beiderseits der Straße von Gibraltar - der Einfluß traditioneller und moderner Bewirtschaftung. *Z. Pfl. Krankh. Pfl.Schutz Sonderh.*, 13, pp:69-77.
- Taiqui L. (2005).- Mutation des milieux ruraux dans les montagnes rifaines (Maroc). G.R.G., Tetouan, pp 2-17.
- Taiqui L., Martin J. & Seva E. (2008).- Structure, diversité et dynamique des subéraies du paysage rurale de Chefchaouen. *Anal. Rech. Forest. Maroc*, 39, pp: 43-57.
- Taiqui L., Bensalah H. & Seva E. (2009).- La conservation des sites naturels sacrés an Maroc: est-elle incompatible avec le développement socio-economique? *Mediterranea, Serie de estudios biológicos*, 20, pp: 106-142.
- UICN (ed.) (2015).- *Libro rojo de los ecosistemas forestales de Marruecos*. Gland, 164pp.
- Valdés B. (1991).- Andalusia and the Rif. Floristic links and a common flora. *Bot. Chron.*, 10, pp: 117-124.

L'ARGANERAIE, UNE FORÊT ENDÉMIQUE SINGULIÈRE (PROTECTION, DÉVELOPPEMENT, PLANTATIONS) *

Abderrahmane AITLHAJ

*Agence Nationale de Développement des Zones
Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA)*



Introduction

L'Arganeraie (Figure 1), qui s'étend sur une superficie d'environ 830 000 ha, occupe une place importante, compte tenu de ses rôles multiples, interdépendants et déterminants pour le développement socio-économique dans le sud-ouest du Maroc. C'est, d'une part, 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; et 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 liée 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 mesures 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.

* Contribution compilée par les soins du Comité d'organisation, à partir de la présentation orale (PPT) et de l'enregistrement vidéo de la conférence de l'auteur.



Figure 1 : Un exemple d'arganeraie de la région d'Ait Baha (au SE d'Agadir)

Cette image, reflétant un espace au cœur de l'arganeraie dans le cercle d'Ait Baha, donne une idée sur cette forêt unique, à l'intérieur de laquelle il y a beaucoup de douars où vivent beaucoup de personnes et y pratiquent des activités agricoles et/ou d'élevage. C'est, donc, un espace avec une symbiose entre l'Homme et cet espace naturel, avec un certain nombre de particularités et de spécificités. Il est unique, d'abord parce que l'espèce *arganier* est endémique au Maroc, avec des reliquats qui existent encore au Sud l'Algérie et au Nord du Maroc. C'est aussi un écosystème avec une activité agricole, une filière importante et complexe, un espace de symbiose qui lie l'homme à son activité. Cet espèce présente des particularités physiques uniques, grâce à une morphologie qui présente un certain nombre de caractères, et qui font que c'est une espèce très adaptée à son milieu d'évolution, particulièrement son système racinaire, qui lui permet d'accéder à l'eau à des profondeurs importantes.

L'Arganier, un symbole de diversité

L'autre élément très marquant de cette forêt, c'est la diversité qu'on peut observer en parcourant les différents espaces très diversifiés; et on remarque actuellement avec la sécheresse, il y'a pratiquement 70% des arbres qui n'ont plus de feuilles, et ne subsistent que quelques pieds qui ont encore des feuilles. En cas de pluie, il y a un certain pourcentage d'arganier qui émet des feuilles la première semaine et puis le développement de ces feuilles continue sur au moins 3 à 4 mois (Figure 2).

Cette diversité lui donne une élasticité pour pouvoir vivre dans cet espace un peu difficile, et comme on le sait, c'est un arbre à usages multiples. Pratiquement tous les coproduits (Figure 3) de cet arbre sont utilisés. Divers produits sont traditionnellement tirés du fruit de l'arganier, la pulpe pour l'alimentation du bétail, la coque pour l'énergie puis l'huile tiré des amandes pour divers usages alimentaire et/ou cosmétique. Cependant, la recherche scientifique a permis beaucoup d'évolutions, grâce notamment à même la pulpe dont on peut en tirer actuellement plusieurs autres produits, de sorte à ce que dans le futur, la pulpe ne sera plus un aliment pour le bétail uniquement.

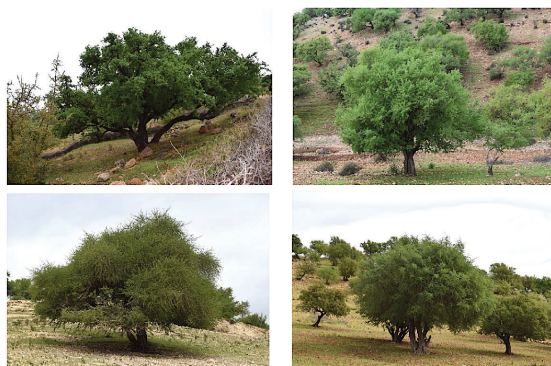
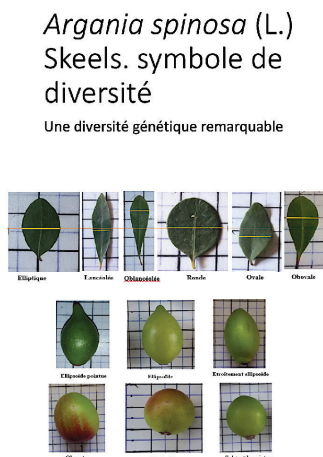


Figure 2 : Photos montrant une diversité génétique remarquable des feuilles et différents aspects de l'arganier

Pour ce qui est de la coque, il y a beaucoup de travaux de recherche scientifique qui l'utilisent comme des polluants industriels, ou comme bio-composites qu'on peut intégrer dans des piles pour stocker de l'énergie etc...; même les restes de l'amande ont également d'autres usages. Le tourteau au lieu d'être un aliment pour le bétail et aussi utilisé pour produire des produits cosmétiques. Le bois aussi et les feuilles, qui traditionnellement sont utilisées pour le fourrage, sont maintenant exportées sous une forme séchée, pour d'autres usages en cosmétique etc... C'est un élément clé pour penser la thématique de l'atelier qui sera organisé sur «le patrimoine naturel pour la préservation et la valorisation» où sera pris en compte toutes ces nouveautés et les éléments de cette évolution pour proposer une stratégie d'anticipation. L'arganeraie, selon les chiffres officiels : c'est 830.000 hectares dans une réserve de biosphère qui fait 2,5 millions d'hectares qui occupe des altitudes depuis le littoral jusqu'à 1400 à 1500 mètres, sur un grand territoire au niveau national. En parcourant l'arganeraie, depuis Essaouira jusqu'à Guelmim, il y'a une diversité biogéographique d'associations et d'espèces accompagnatrices de l'arganier (Figure 4).

Arbre aux usages multiples

culinaire
Huile à base d'amendons (torréfié, non torréfié)
Santé et Cosmétique
Huile, tourteau
Energie
Bois et coque du fruit
Alimentation animale
Feuille, pulpe et tourteau
Construction
Bois
Outils

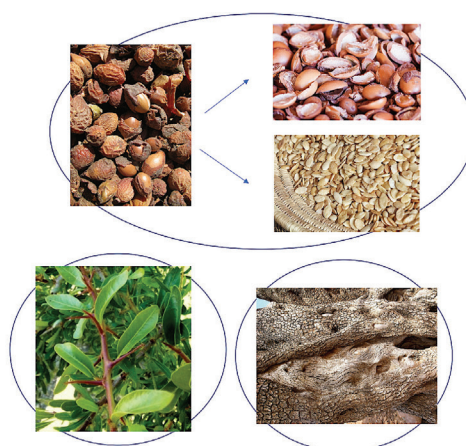


Figure 3 : Différents usages de l'arganier et de son fruit

Pivot de l'écosystème arganeraie

Une forêt sur 830000 ha

Entre 0 et 1500 m en altitude

Du sud de Safi à Guelmim vers le sud et
Taroudant vers l'Est

(% par rapport à la surface du domaine boisé sans les nappes alluviales)

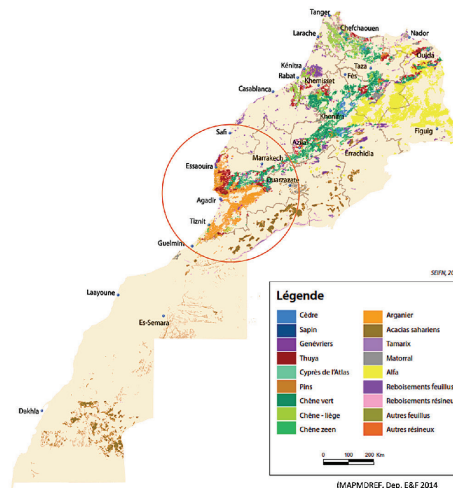
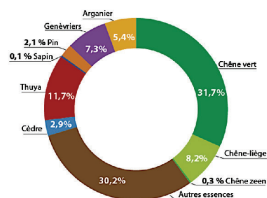


Figure 4 : Pivot de l'écosystème arganeraie

L'espace arganeraie comprend un nombre important d'espèces (plus de 1200), dont 140 sont des espèces endémiques; une cinquantaine d'espèces sont spécifiques à l'espace arganeraie; donc c'est une richesse très importante, répartie sur un ensemble éco-géographique, qui va du Nord de ce territoire jusqu'à Guelmim, au Sud. Il y a donc une diversité d'associations avec différentes espèces; ce qui se reflète sur les exploitations et les usages qui sont aujourd'hui faits par les populations (Figure 5). Beaucoup d'auteurs disent qu'il n'y a pas une arganeraie, mais des arganeraies, donc pratiquement des écosystèmes qui sont différents et une dimension importante qui est, à mon sens, l'élément central de toute réflexion pour travailler sur ce patrimoine naturel. L'interaction entre cette forêt et la pratique de l'agriculture et de l'élevage représente un atout majeur (Figure 6).

Pivot d'associations diversifiées

L'Arganier couvre 25% de la zone de la Réserve de biosphère Arganeraie (RBA) qui compte 2,5 M ha

Dans l'Arganeraie:

1240 espèces et s-espèces (24% de la flore du Maroc)

142 espèces et s-esp endémiques

50 esp et s-esp spécifiques au secteur de l'arganier (Petit, 1982)

Une flore unique d'origines biogéographiques variées: sur 11 Ensembles

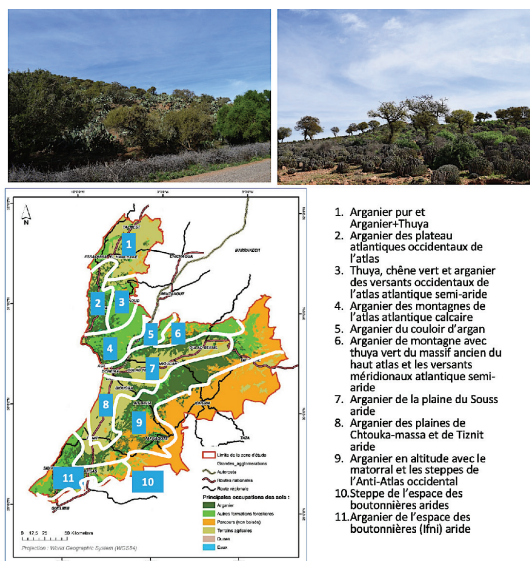


Figure 5 : Diversité des associations floristiques de la forêt de l'arganier

Système agro-sylvo-pastoral

Une "forêt façonnée" aménagée, exploitée collectivement selon les besoins pour optimiser l'exploitation et la gestion des ressources :

1. Une forêt naturelle
2. Culture sous arganier en terrasse
3. Organisation



Figure 6 : Le système agro-sylvo-pastoral, photos qui montrent des terrasses agricoles d'une forêt naturelle dans la région de Ait Baha, où la culture de l'orge, mais l'arganier est toujours présent et au fond de la photo c'est la forêt naturelle qui a un usage multiples et gérée par des organisations/associations locales

Ces images (Figure 6) montrent qu'à l'intérieur de l'arganeraie, les arbres de l'espace cultivé sont taillés pour une meilleure adaptation aux espaces cultivés et souvent la majorité des arbres sont mono-troncs avec une forme en parapluie, parce que les gens doivent cultiver sous l'arbre, donc il faut qu'ils aient une facilité d'accès. Généralement, ces espaces ne sont pas beaucoup utilisés pour l'élevage; mais dans les forêts naturelles, plus loin des espaces cultivés, les arbres sont souvent à multi-troncs et souvent inclinés. Cette autre diversité fait que, plusieurs auteurs pensent que ce mode de façonnement permet aux chèvres un accès facilité à la nourriture. Ces auteurs ont travaillé sur ce sujet, entre l'arbre à mono-tronc et celui à plusieurs troncs, et leur conclusion c'est qu'il y'a beaucoup de variantes en fonction même de l'espace pastorale qui se reflètent au niveau des formes de cette espèce.

L'autre élément important, en plus des terrasses de l'élevage, c'est l'existence d'organisations et d'institutions qui gèrent ces ressources de façon collective. La cueillette du parcours de l'arganier est faite d'une manière collective, chose qui se transmet à travers les générations. Les arbres sont transmis par héritage et au niveau de la forêt de l'arganier, il y'a des arbres appartenant à 4 ou 5 familles.

Donc, le pivot de ce système de production se transmettait en héritage et les gens exigeaient qu'au niveau de chaque arbre qu'ils puissent y avoir leur part, pour différentes raisons (soit parce que c'est facile à concasser, ou pour la différence des formes du fruit,...). Il y a donc plusieurs raisons qui font que cette ressource est très simple à l'utilisation. Une des institutions connues, c'est celle de l'*Agdal* qui, bien qu'elle existe ailleurs, est différente au niveau de l'arganeraie, car elle gère à la fois le pastoral, l'arbre, l'eau etc... pour pouvoir organiser la gestion de ces ressources collectives.

Un autre espace est celui aux alentours de la ville de Taroudante, où on note la même répartition de l'espace entre les habitations, les différents usages, la collecte des eaux pluviales et l'existence d'un certain nombre d'éléments du paysage; ce qui reflète des modes ingénieux de gestion, de la rareté de ces espaces qu'on appelle les égoudar (greniers), qui sont des structures de stockage (ou citernes) très répandues dans les espaces entre Ait Baha et Tafraoute, où on remarque des milliers de citernes présentes à usage pastorale et d'autres pour l'eau potable; d'autres sont destinées à des institutions comme les mosquées, et chacune d'elles a des modes de gestion et des techniques de construction différentes. Donc, cette richesse complète la richesse du patrimoine naturel, avec des arganiers dans différents espaces qui sont présents sur les terrains cultivés entre Sidi Ifni, Agadir et puis Ait Baha, et c'est pratiquement les mêmes formes au niveau de toutes ces régions (Figure 7).

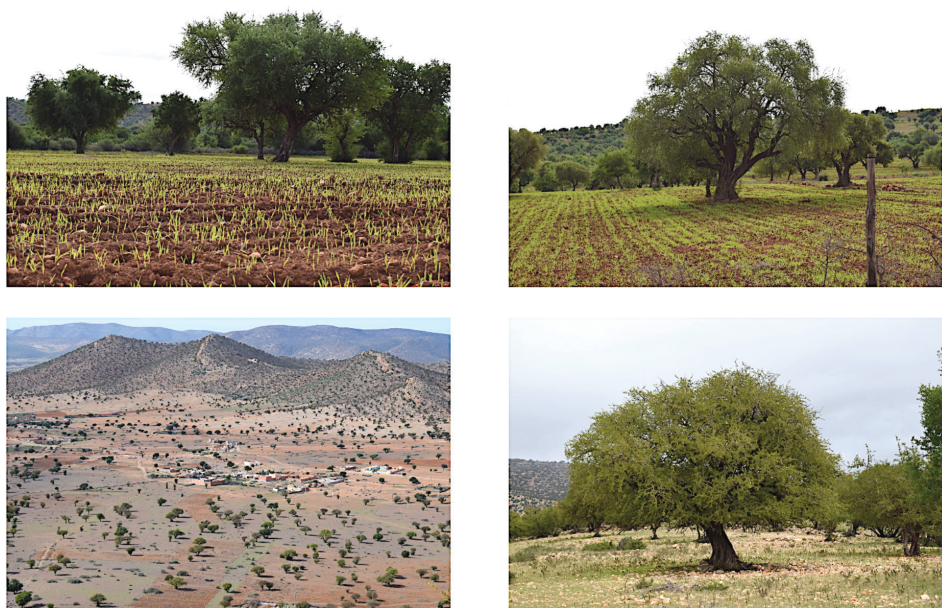


Figure 7 : Arganiers dans différents espaces qui sont présents sur les terrains cultivés entre Sidi Ifni, Agadir et puis Ait Baha, avec les mêmes formes au niveau de toutes ces régions

Un autre élément important pour lequel l'arganeraie joue un rôle clé, dans la mesure où les régions du Souss et du Souss-Massa sont dédiés essentiellement à l'agriculture aujourd'hui intensive dans ces territoires, est la présence de l'eau et les bonnes conditions climatiques. L'agriculture intensive laisse malheureusement peu de ressources en eau pour l'arganeraie et causera sans aucun doute beaucoup plus de problèmes pour son développement.

La carte (Figure 8), montre la répartition de l'arganeraie, avec en vert l'espace de la réserve de biosphère et les grandes rivières, en bleu le grand réseau hydrographique et son intensité. On remarque que l'arganeraie se place entre les zones de production de l'eau et les zones d'usage agricole, soit dans la plaine du Souss, celle du Souss-Massa, soit dans les plaines au niveau d'Essaouira qu'au niveau de Sidi Ifni et de Guelmim.

L'arganeraie joue un rôle clé pour la gestion de tous les usages et le transport de l'eau entre cette zone de production en altitude et la zone d'usage pour l'agriculture et même pour les villes et pour l'eau potable; ce qui est très important pour cet écosystème.

L'eau

L'arganeraie assure plusieurs services écosystémiques

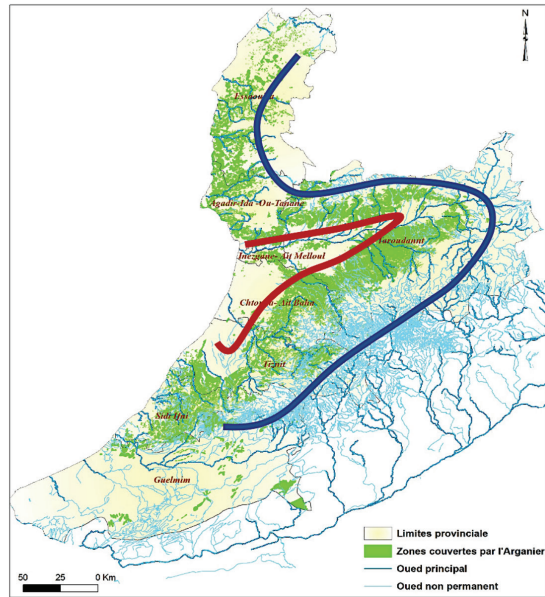


Figure 8 : Carte montrant la répartition de l'arganier et le réseau hydrographique

L'arganeraie, en plus d'être un espace naturel ou une forêt, est une filière qui pèse sur l'économie de cette réserve de biosphère; avec à peu près 320 000 tonnes de fruits, qui varient en fonction des conditions climatiques, donnent 4 000 à 5 000 tonnes d'huile; ce qui représente bien sûr une économie importante, avec une exportation qui évolue depuis la fin des années 90 (Figure 9). Nous sommes actuellement à 1 400 tonnes d'huile exportés (chiffres des services douaniers), sans oublier une partie importante de l'export illégale qui n'est pas comptabilisée. On note aussi sur cette carte que les coopératives (surtout des femmes) est pratiquement de 400 coopératives, réparties sur tout le territoire de l'arganeraie.

Pour cette filière de l'arganier, il est recommandé que toute discussion, tout travail sur ce patrimoine doivent être fait avec les populations et les organisations professionnelles. Depuis pratiquement les années 2000, 2005 et 2010 il y a eu développement du secteur privé, qui a connu un essor important dépassant même les coopératives (on dénombre aujourd'hui plus de 450 entreprises) qui travaillent principalement sur l'huile et les produits dérivés de l'huile. Pour l'anecdote, entre 2000 et 2005, les coopératives exportaient 80%, alors que les entreprises privées 20%; aujourd'hui c'est tout à fait le contraire, les coopératives sont à 13% et les entreprises privées à 87%; donc on doit nous poser des questions sur cette dynamique économique. Les entreprises privées auront-elles le même souci de mode de gestion durable que celui des populations et des coopératives? La réponse à ce questionnement aidera à traiter et travailler sur ce patrimoine.

C'est aussi une filière

320 000 tonne de fruit

Production 4 à 5000 tonne d'huile

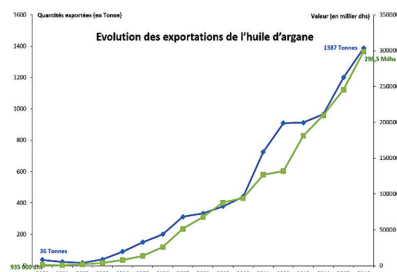
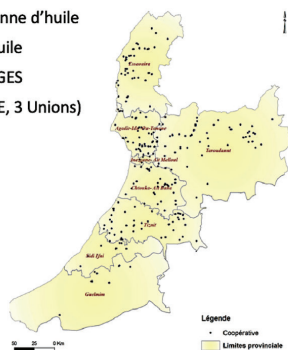
Export 1400 tonne d'huile

Plus de 150000 M2NAGES

375 coopératives (6 GIE, 3 Unions)

450 entreprises

Une interprofession



EACCE, 2017

Figure 9 : Carte montrant les filières de production de l'arganier et évolution des exportations de l'huile d'argane

L'écosystème de l'arganeraie évolue dans le temps, c'est pourquoi on parle de patrimoine et qu'il faut donc le conserver. Les recherches et les données dont on dispose montrent qu'il s'agit d'un système naturel qui doit (ou supposé) évoluer, depuis les périodes des glaciations jusqu'à un passé récent (Figure 10). Ceci oblige à travailler sur ce patrimoine en termes de climat, de changement climatique; et, à ce titre des paléontologues, ayant travaillé sur le pollen, ont constaté que l'arganeraie était il y'a environ 20 000 ans au niveau de Dakhla, de Smara, la frontière mauritanienne et a migré vers le Nord en fonction de l'évolution du climat.

Un système en évolution continue

Dans un contexte de CC

Les changements climatiques futurs ne devraient pas entraîner de changements sur la localisation de l'aire de répartition de l'arganier (latitude / altitude), mais plutôt son rétrécissement global. (Alba-Sanchez F et al 2015. Long-term climate forcings to assess vulnerability in North Africa dry argan woodlands. Applied Vegetation Science 18 (2015) 283-296.)



Fev. 2007



Fev. 2008

Figure 10 : L'arganeraie est un écosystème en continuelle évolution

Aujourd'hui, l'arganeraie est cantonnée dans cette soi-disant cuvette entre Essaouira et Guelmim, où on expérimente ces plantations malgré que le climat continu à changer.

Que va-t-il se passer alors ? les recherches nous disent qu'il n'y aura ni montée en altitude, ni un mouvement dans les latitudes, mais plutôt une stabilisation du rétrécissement de l'aire de répartition géographique, parce que le Nord est aujourd'hui occupé par l'agriculture, par les villes, etc... Donc, une avancée naturelle vers le Nord est exclue, d'où l'importance de préserver l'arganeraie pour l'avenir de ce patrimoine.

En termes d'évolution (Figure 11), on s'est intéressé aux données de recherche de paléontologues et aussi d'archéologues. L'un des paléontologiste est allé chercher des sédiments dans le bassin versant à côté d'Agadir. En travaillant sur une période de 2000 ans, il a observé qu'aux alentours de 650-850 (c'est à dire sur deux siècles), qu'il y a eu augmentation de particules fines dans ces carottes (qui ont été multipliés par trois), ce qui serait selon lui, lié à l'activité économique et à la démographie.

Usage ancien de l'arganier

Un système de production à base d'arganier et d'autres espèces végétales adaptées

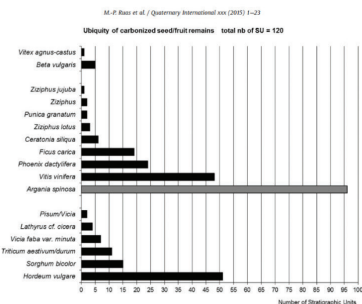


Fig. 10. Utility of carbonized seed and fruit remains in the 120 analyzed stratigraphic units.

Figure 11 : Usage ancien de l'arganier (étude réalisée sur 2000 ans)

La figure 11, montre une augmentation de la présence du pollen de l'arganier dans cette vase collectée pendant cette période de temps (cercle rouge sur la figure 11), ce qui démontre un niveau de dégradation plus rapide de cet espace. Un travail qui a été fait à Guéliz (Marrakech) par les archéologues sur une tranche de temps entre 1000-1100 ans, montre que le système de culture n'a pas beaucoup changé, basé sur l'arganier, l'orge, l'olivier etc..

Un autre défi c'est la démographie (Figure 12). En effet, on constate que la démographie au niveau de trois communes dans l'Anti Atlas (cercle bleu sur la figure 12) a enregistré une chute importante de cette démographie et des communes qui ont perdu 50% de leur population, pourquoi c'est important ? C'est ce lien entre l'homme et cet espace, particulièrement la zone cultivée.

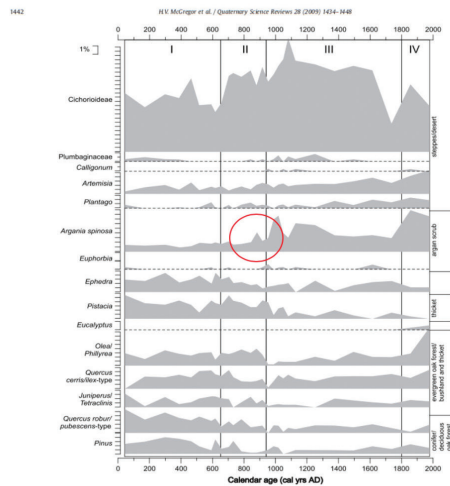
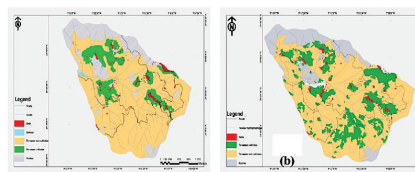
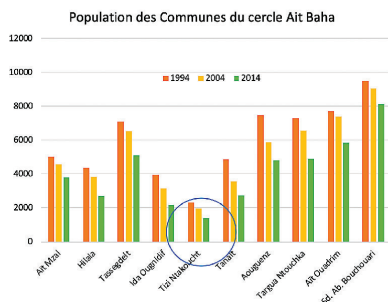


Fig. 11. Percentages of total pollen in core G08-0008-1 for selected taxa. Taxa have been grouped by their associated vegetation zones (right-hand side of figure) given in Table 1. The major tick interval is 1%. Numerals 1–6V represent distinct pollen zones discussed in Section 6.5.

Démographie



Abandon de la pratiques de la culture en terrasse: Changement superficie Terrasses cultivées dans le bassin versant Assgherkiss entre 2008(a) et 1984 (b)

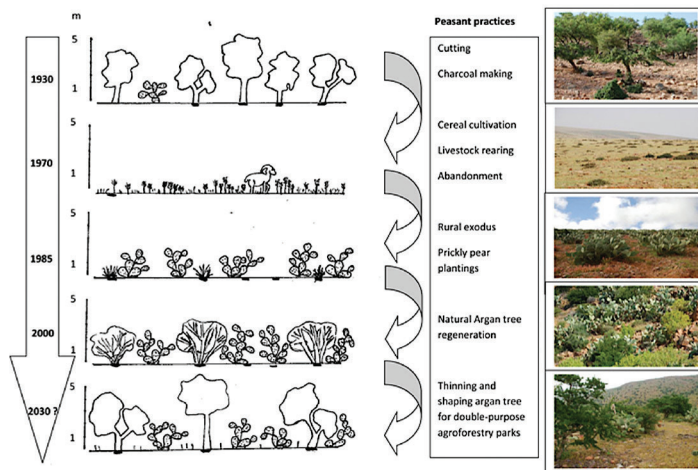


Figure 12 : Démographie de la communes d'Ait Baha

Une recherche a été faite, entre 1984 et 2008, sur un bassin versant de la région d'Ait Baha, on constate une perte des terrasses agricoles de presque 60%, parce qu'il n'y a plus personne pour les entretenir. On ne cultive plus d'orge, ce qui engendre une dégradation du sol (par érosion) et donc des pertes de couvert végétal, d'arganier, de cactus etc...

Le changement de l'occupation (Figure 13), ou bien l'évolution des écosystèmes et du sol peuvent être aussi des éléments positifs. Une recherche effectuée au niveau de Sidi Ifni, après la plantation du cactus et de l'abandon de l'orge, montre que malgré la diminution de la population, et grâce aux cactus il y a eu une régénération naturelle de l'arganier sur une période pratiquement de 70 ans ce qui est positif.

L'occupation du sol



Changement de l'occupation du sol peut être bénéfique

Genin M., Alifriqui M., Fakhech A., Hafidi M., Ouahmane L., (2017). Back to forests in pre-Saharan Morocco? When prickly pear cultivation and traditional agropastoralism reduction promote argan tree regeneration. *Silva Fennica* vol. 51 no. 1B

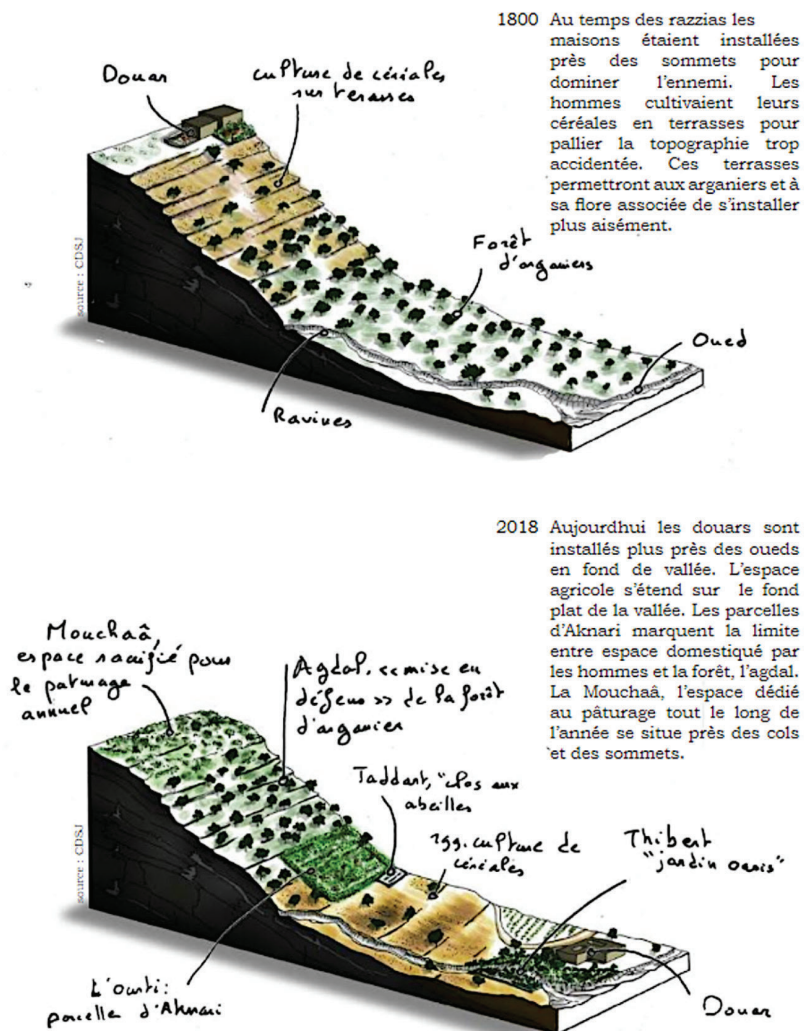


Figure 13 : Changement de l'occupation des sols dans le temps

Un autre exemple de notre recherche au niveau de Sidi Ifni, c'est un changement de l'habitat de l'arganier entre les années 1900 et 2000, 2010, 2018. Avant, il était en hauteur peut-être pour des raisons de sécurité, mais après c'est pratiquement une évolution inversée, qu'il faut aussi prendre en considération à ce niveau. La population n'a donc plus la possibilité de cultiver et entretenir ces espaces, alors qu'ailleurs dans d'autres communes la population continue à le faire dans d'autres espaces.

Que faire? Qu'est ce qui se fait? Quelles sont les initiatives (Figure 14). Il y a donc la réhabilitation qui évolue positivement avec plusieurs plantations de l'espace arganeraie. Un projet important a été mis en œuvre; il consiste à mettre à la disposition des populations des plantations d'arganier sur leurs terrains privés, ce qui diminue bien sûr la pression exercée aujourd'hui sur la forêt naturelle (Figure 15).

Réhabilitation de la forêt naturelle

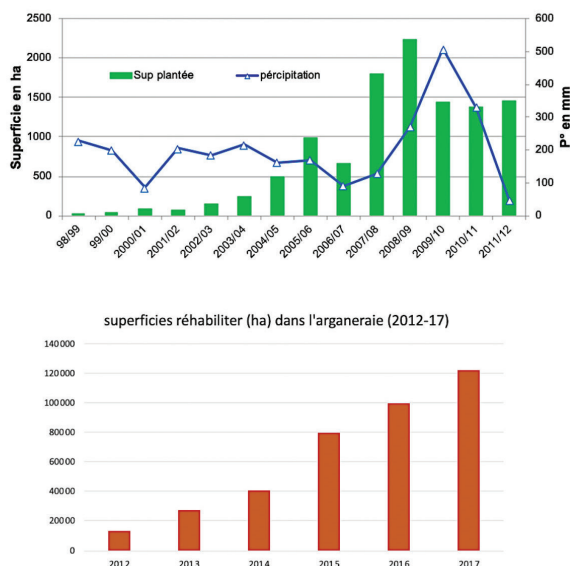


Figure 14 : Diagrammes mont les statistiques de la réhabilitation de l'arganier

Arganiculture

Pour gérer la pression sur la forêt naturelle:

Plantation de 10 000 ha sur des terrains privés avec 2000 ha PAM en intercalaire



Figure 15 : L'arganiculture sur les terrains privés de la population comme moyen de réhabilitation de l'arganeraie

Actuellement, il y a un projet de plantation de 10 000 ha d'arganier. Nous sommes, aujourd'hui, à presque 2000 ha et le reste est en cours; ce qui permettra de produire du fruit, de la feuille, ...; mais à condition de s'engager dans des programmes de cogestion/ gestion durable de la forêt naturelle. La figure 15 montre des images des plantations au niveau de Essaouira, Guelmim, et dans d'autres dans d'autres zones.

Perspectives

L'autre dimension importante c'est la recherche scientifique et les problématiques auxquelles on fait face. Il va falloir les confronter par des innovations, par la recherche; et d'ailleurs nous organisons un congrès chaque deux ans ; nous en sommes à la 5^{ème} édition, organisé en novembre 2019, sur le thème était **capital nature et de l'arganeraie, la valeur de ce capital et sa valorisation**. L'espace arganeraie a connu une évolution intéressante sur le plan juridique, sur le plan initiative aussi, depuis la reconnaissance de la RBA, depuis la reconnaissance du patrimoine immatériel, la reconnaissance de l'agriculture dans l'arganeraie comme système ingénieux du patrimoine agricole mondiale, et aussi un label de la FAO, puis une nouveauté ce qu'on a initié un travail avec le Nations Unies pour organiser une journée internationale de l'arganier. Il avait donc une présentation (il y a une semaine) aux nations unies sur ce projet je crois qu'il y a un feedback positif. Il y a beaucoup de projets aussi de partenariat

En termes de perspectives, l'arganeraie offre, grâce à son patrimoine, toute la dynamique tout le savoir toute l'expérience d'organisation institutionnelle, un espace où l'on peut lire et apprendre à développer des options pour mieux valoriser le patrimoine naturel au niveau national mais en priorité au niveau de cet espace naturel (Figure 16).

Perspectives

L'arganeraie offre un patrimoine naturel riche et diversifié qui évolue

L'interaction entre cette "forêt rurale" et ses habitants a généré un modèle qui reste valable

Mais il y a des défis

Innover pour maintenir la contribution de ce patrimoine dans le développement durable



Figure 16 : Image montrant l'interaction entre la «forêt rurale» et ses habitants

En conclusion

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 000ha. 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



Résumé

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'agro-écosystèmes 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 des arbres et des cultures ou de l'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 (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 du khemmassa et 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, la 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 agro-écosystèmes 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 insuffler, 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.

Introduction

Les oasis au Maroc sont adossées aux montagnes du haut atlas et de l'Anti-Atlas, sources d'eau et se trouvent en milieu subdésertique. Toutes sont le fruit du travail de l'homme qui a contribué à leur développement au fil des ans. Il les a organisées autour de ressources en eau pour devenir de véritables jardins cultivés plus ou moins luxuriants et des vergers de palmiers ou d'autres espèces cultivées. Le palmier dattier constitue l'ossature principale des oasis présahariennes (Sedra, 2003). Cet arbre joue plusieurs au sein de ces territoires : i) rôle écologique d'adoucissement du climat pour les cultures intercalaires (oasis à deux ou trois étages), l'homme ou les animaux, rôle économique par le revenu des dattes et rôle énergétique (bois de feu) et architectural dans les constructions des toits des maisons dans les oasis, Au Maghreb, la distribution des oasis), prend la forme de chapelets de globules foncés, qui soulignent les Atlas (Haut et Saharien), et s'enfoncent vers le sud-est pour rejoindre le massif du Hoggar (Fassi, 2001).

I. Terminologie

Une oasis (du grec ancien ὄασις / óasis) désigne, en géographie, une zone de végétation isolée dans un désert, créée et entretenue par l'homme. On parle aussi d'un agro-écosystème anthropisés et géré par l'homme. On est donc en présence d'un système écologique et un acteur, qui est l'Homme (Bouaziz, 2000). Le mot oasis peut être aussi assez souvent utilisé pour désigner des palmeraies (Sedra, 2003) bien qu'il existe des oasis froides qui ne comportent pas de palmier dattier. C'est le cas des oasis de montagne au Maroc, comme dans la zone d'Imilchil-Amellago, d'Ait Boguemmaz ou Msemrir. L'agroforesterie est un mode d'exploitation des terres agricoles associant des arbres et des cultures ou de l'élevage.

II. Contexte et enjeux des oasis

Le concept de «**développement durable**» qui est devenu la clé même de pérennité de l'humanité, devrait donc s'inspirer du modèle oasien, en tant qu'étalon pratique de base. L'histoire globale des civilisations semble montrer qu'il s'agit d'une référence perpétuelle, qui a souvent su se rendre utile (Ibn Khaldoun, 1377 cité par Fassi, 2017).

Dans le monde, les zones arides abritent près de 2 milliards d'habitants. Les zones arides les plus peuplées se situent dans les régions du Moyen-Orient, du Maghreb et du Sahel.

Les zones oasiennes sont des espaces spécifiques des zones arides, essentiellement localisées en Afrique du Nord et au Moyen-Orient (Idrissi-Ammari, 2019, voir carte jointe en figure 1).

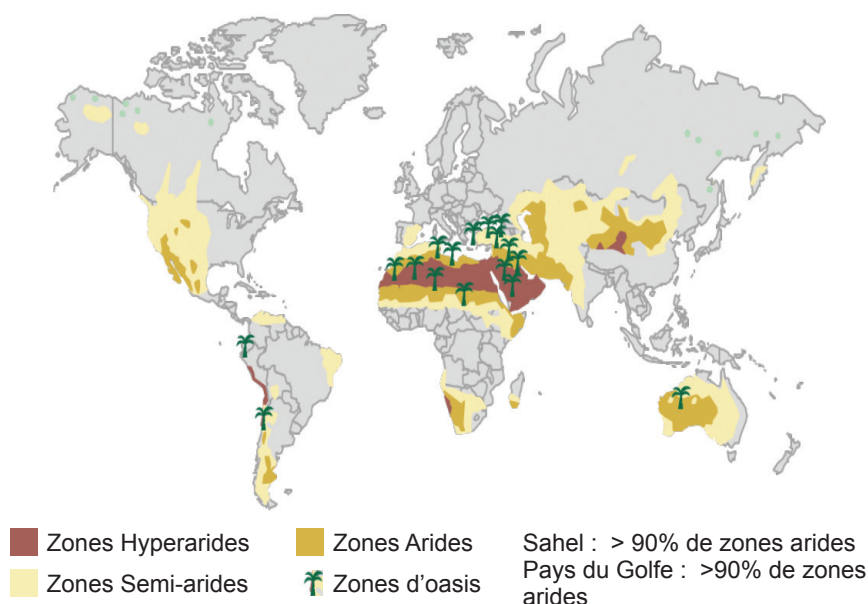


Figure 1: Carte de localisation des oasis dans le monde

Ces dernières années, il y a eu beaucoup d'apports de connaissances concernant les oasis qui avaient pour objet de mieux gérer ces milieux. Les travaux de recherche sur les oasis ont été réalisés au sein de différentes disciplines scientifiques (INRA, 2005). Les dernières synthèses ont été réalisées lors de l'atelier international à Zagora en 2016 et au sein du numéro spécial des cahiers agricultures (Bouaziz et al. 2018). Les recherches que nous réalisons actuellement concernent les axes suivants :

- i) Besoins en eau des cultures et irrigation dans le contexte oasien, cet axe est très important vu la rareté de l'eau dans ces milieux et la nécessité de son utilisation optimale. Les premiers résultats concernent la détermination des besoins en eau du palmier dattier en collaboration avec l'INRA d'Errachidia (Sabri et al., 2017). Par ailleurs, d'autres travaux sont en cours sur les besoins en eau du cumin et du quinoa, etc;

- ii) compostage et fertilisation organique des cultures, qui ont pour objectifs de valoriser les déchets solides et les feuilles sèches de palmier dattier qui, avec le non entretien des oasis traditionnelles, l'émigration (Ait Hamza et al., 2010), la négligence de l'agriculture par les jeunes sont parmi les causes des feux de palmeraies, aggravés par la sécheresse et le changement climatique;
- iii) développement de l'agriculture BIO, notamment la filière 'datte', de l'aspect, production, à la valorisation et à la commercialisation.

Par ailleurs, depuis 2017, dans le cadre de la convention IAV-ANDZOA, nous participons avec d'autres collègues à un projet startup Oasis, qui correspond à un programme de recherche-développement qui consiste en l'accompagnement et la formation des jeunes et des femmes rurales dans l'identification de leurs projets, les études techniques, économiques, la formulation de leur business plan, jusqu'à la recherche de financement. Ce projet est une sorte d'embryon du plan génération GREEN (ADA, 2020). Les objectifs de cette présentation sont de faire un bilan et une synthèse sur «le diagnostic des réalités actuelles des oasis et de se poser des questions sur l'avenir des agro-écosystèmes oasiens et présahariens au Maroc».

III. Réalités des systèmes oasiens

Les zones oasiennes connaissent ces cinquante dernières années une forte croissance urbaine et rurale liée à l'essor démographique, à l'émigration et aux effets de la scolarisation. La mobilité horizontale des populations est souvent citée comme une réaction à des déséquilibres socio-économiques, spatiaux ou politiques (Ait Hamza et al., 2010). Mais la part des facteurs environnementaux reste à définir. Car les modifications de l'environnement suscitent tout autant le désir de partir que des stratégies inédites d'adaptation. L'habitat dans les oasis est caractérisé par des constructions à l'intérieur même des oasis malgré les lois en vigueur qui les interdisent. Ceci a conduit à des extensions des villes et villages en surface au détriment de leur environnement et des espaces cultivés. Un dynamisme réel a été constaté, aussi bien, au sein des extensions limitrophes aux zones d'agriculture traditionnelle, que des nouveaux vergers de palmiers dattiers ou d'oliviers installés, dans le cadre du plan Maroc Vert, par des investisseurs sur des terrains collectifs. L'un et l'autre, bouleversent les systèmes oasiens traditionnels. Néanmoins, les effets de ces phénomènes diffèrent largement selon les oasis considérées.

Les oasis, selon la terminologie moderne, sont des systèmes agro-forestiers, donc des associations de cultures arboricoles, de cultures annuelles ou des élevages. Ces territoires sont plus ou moins dégradés et plus ou moins diversifiés (Figure 2abc).

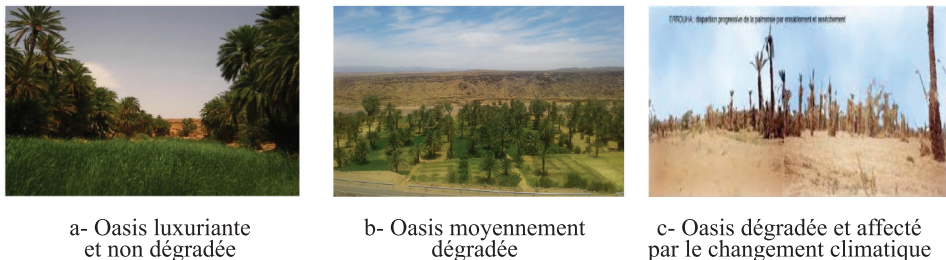


Figure 2a, b et c: Oasis plus ou moins dégradées

Les agro écosystèmes oasiens marocains couvrent une superficie totale de 115 600 km² (15% de la surface du pays), abritent plus de 1,7 millions de personnes (5% de la population) et sont un refuge pour une importante biodiversité (végétale et animale), dont certaines espèces sont endémiques. Les oasis, à palmier dattier, se situent dans des zones arides subdésertiques (60-150 mm par an). Toutefois, ces zones se caractérisent par une vulnérabilité sociale marquée, qui devrait être exacerbée à l'avenir par les effets du changement climatique (Ait El Mokhtar et al., 2019). Ainsi, du fait des revenus limités des activités agricoles de ces régions, et face aux aspirations de mieux-être de leur population, l'émigration est fréquente (de Haas, 2006 ; Ait Hamza et al. 2010). Par les revenus qu'elle procure, elle permet des changements perceptibles au sein des habitats et des systèmes agricoles pratiqués. Les oasis jouent un certain nombre de rôles et ont des fonctions qui sont précisées dans le tableau 1 ci-dessous. Les indicateurs et actions à prévoir permettent d'augmenter l'efficacité d'utilisation des ressources, d'aboutir à une diversification des systèmes de production pour mitiger les effets des changements climatiques.

Tableau 1: Fonctions des oasis, indicateurs et actions pour favoriser la résilience

Fonctions des oasis	Indicateurs et actions à prévoir
* Elles assurent un rôle régulateur du climat en milieu désertique: Un système avec un deux ou trois étages;	Utilisation plus efficace des ressources: Rayonnement solaire, CO ₂ , eau, nutriments
* Elles fournissent des produits agricoles très appréciés (dattes, safran, rose à parfum, henné, miel, cumin, etc);	Des filières et des systèmes de production diversifiés et durables sur le plan économique, social et environnemental
* Elles constituent la dernière ligne de défense contre la progression du désert du Sahara;	Prévoir des actions pour la mitigation des effets des changements climatiques
* Leur environnement pastoral et forestier doit aussi faire l'objet d'aménagement pastoral et des points d'eau	Prévoir des actions de plantation surtout d'arbustes fourragers (atriplex, médicago,...) et d'arbres forestiers adaptés (accacia radiana, ...)

Les oasis sont localisées dans des agro écosystèmes binaires:



- D'une part les oasis traditionnelles, fondées autour d'un point d'eau (Seguia, khattara, etc) qui abritent une population nombreuse pratiquant des cultures vivrières et marchandes, habitant dans des ksours qui constituent un habitat adapté;
- D'autre part des systèmes de nomadisme en déperdition sur les parcours dégradés et peu productifs; Ces éleveurs transhumants sont en permanente à la recherche de l'herbe pour leur troupeaux ovin, caprin et camelin.

Sur les terres collectives, zones de parcours, il y a eu introduction de systèmes soit disant «modernes» de vergers mono spécifiques de palmiers dattiers, ou dans une moindre

mesure d’oliviers, irrigués au goutte à goutte, dont la durabilité n’est pas certaine. Les changements en cours sont contraignants et non équitables pour le développement des agro-écosystèmes oasiens: agriculture minière qui risque d’épuiser la ressource hydrique. Partout dans ces territoires sahariens, des phénomènes de dégradation biophysiques sont observés; on constate ainsi l’ensablement des parcelles cultivées ou les palmiers sont attaqués par le Bayoud, des habitats et des infrastructures aggravés par les phénomènes de changements climatiques, qui se matérialisent surtout par la diminution de la pluviométrie et l’augmentation de la température. Les oasis, havres de paix, pâaissent donc d’innombrables problèmes liés à des facteurs naturels et anthropiques qui les transforment en zones victimes d’une crise patente aux origines diverses et leur fait perdre de leur dynamisme et rayonnement initial. Le déficit hydrique, lié à des sécheresses récurrentes, le morcellement des terres, la dégradation et la pressions sur les ressources naturelles, adossés à une poussée démographique galopante, sont autant de raisons pour que ces espaces reçoivent une attention particulière afin d’assurer leur survie.

En résumé, les oasis traditionnelles sont des écosystèmes, socio-agro-écologiques en dégradation (Tableau 2) et qui fournissent des services économiques, écologiques, sociaux et culturels dans les zones subdésertiques.

Tableau 2: Evolution sociale et économique des territoires

Constats de dégradation		Conséquences et impacts
* Au sein des oasis: - Désintégration sociale et pertes de solidarité et des valeurs sociétales: ex. instituteur, Imam ou visiteur pris en charge à tour de rôle et respecté;	➔	Changement des rapports Sociaux (khammassa (association au 1/5), qui a évolué vers 1/3 ou 1/2
- Introduction de l’économie de marché, individualisme;	➔	Tout se vend et s’achète
- Eclatement des anciens ksours et détérioration des l’habitat: un patrimoine en ruine; - Apparition et multiplication de maisons construites en béton armé.	 ➔ 	
* A l’extérieur des oasis: - Le nomadisme et les activités pastorales sont en train d’être remplacés par des vergers de palmier dattier ou de cactus exploités par des investisseurs		

Il a résulté de la prise de conscience par les pouvoirs publics que le Maroc a fait de la protection et du développement des oasis une des priorités de ses politiques publiques. Dans ce sens, il y a eu création de l’Agence Nationale pour le Développement des Zones

Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA). Ces efforts au niveau institutionnel sont relayés localement au niveau de la société civile. Plusieurs plans, initiatives et programmes ont été mis en place :

- Plan Maroc Vert (PMV);
- IOD; Initiative oasis durable, présentée lors de la COP22 à Marrakech;
- Programmes intégrés (Exemple PDRME-FIDA) et projets sectoriels;
- Réserve de la biosphère des oasis du Sud du Maroc, UNESCO;
- Système ingénieux du patrimoine agricole mondial (SIPAM, FAO);
- Diverses manifestations et interventions de la société civile;
- Coopération avec les organisations internationales: UNESCO, FAO, PNUD, UICN et les bailleurs de fonds (FA, GCF FIDA, FEM, FFEM, la Banque Mondiale, ...).

L'ANDZOA, institution de tutelle des oasis, a développé l'Initiative Oasis Durable (IOD) basée sur les trois piliers suivants (Figure 3):

- * Les parties **reconnaissent** officiellement la nécessité de protéger les écosystèmes les plus vulnérables;
- * **S'engagent à préserver le patrimoine oasien** et à encourager un traitement de ces enjeux par des actions d'adaptation respectant les spécificités de chaque écosystème...
- * tout en appelant à une forte coopération internationale, pour **entamer et poursuivre des actions de développement** durable, au profit de ces zones, notamment les plus vulnérables.

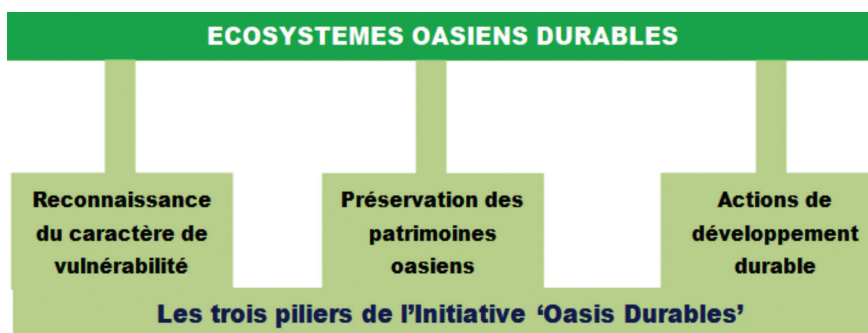


Figure 3: Les piliers de l'initiative oasis durable

Cette initiative correspond à une stratégie de développement des oasis, qui a initié et mis en place un programme d'actions pratiques à entreprendre au Maroc pour (i) aboutir à une meilleure reconnaissance des spécificités agro-écologiques du paysage oasien, (ii) définir les priorités d'un plan d'action pour le préserver, et (iii) en assurer un développement durable inclusif. Ensuite, il faudra capitaliser sur les efforts déployés à ce jour et une évaluation des acquis.

III. Avenir des agro-écosystèmes oasiens et présahariens

Pour assurer l'avenir des agro-écosystèmes oasiens et présahariens et aboutir à des systèmes durables et résilients, les trois composantes suivantes sont indispensables :

- Des Hommes (hommes et femmes) bien formés, qui maîtrisent bien le savoir-faire local et qui sont ouverts sur les connaissances et les technologies modernes. L'objectif est d'insuffler une dynamique qui se base sur les femmes rurales et les jeunes bien formés. Cette idée a été testée dans le cadre du programme startup oasis, objet du partenariat ANDZOA-IAV Hassan II et de l'initiative Génération Green lancée par SM le roi, que dieu l'assiste en 2020 (ADA, 2020), pour créer des emplois et générer des revenus supplémentaires, gage de durabilité de ces systèmes;
- Une maîtrise de la gestion de l'eau est vitale, en passant par l'aspect ressources hydriques et incluant aussi l'aspect usages et pratiques d'irrigation. Beaucoup d'efforts ont été faits dans ce sens, mais il y a un risque d'épuisement des nappes souterraines vues les tendances actuelles, notamment des investisseurs sur les terrains collectifs, qui pratiquent une sorte d'agriculture minière. Vues les spécificités de la zone, il faudra être prudent et favoriser les études techniques pour mieux connaître les potentialités et les possibilités d'améliorer la recharge des nappes, notamment par la mise en place et le financement de barrages écrêteurs de crue;
- Une gestion durable des sols (lutte contre l'érosion, augmentation de leur teneur en matière organique,...) et des parcours (aménagements pastoraux et gestion) doit bénéficier d'incitations au même titre que le secteur de l'irrigation (subvention du goutte à goutte).

En conclusion, pour agir de manière concrète sur la durabilité et la résilience de ces systèmes, il faudra agir sur les trois piliers suivants de la durabilité:

i) la composante environnementale, par l'installation d'infrastructure de lutte contre l'érosion et de recharge de la nappe. Il n'est pas indispensable de mettre en place des grandes infrastructures hydrauliques, en termes de barrages, mais la stratégie doit être basée plus sur l'infiltration et le stockage de l'eau dans la nappe à l'abri de l'évaporation. C'est dans ce sens que nos ingénieurs doivent innover pour mettre en place des infrastructures petites à moyenne telles que les barrages écrêteurs de crues pour la recharge de la nappe, notamment au Tafilalet (Ziz, Rhris,...) et dans le bassin du Maider et du Draa. L'effort des forestiers, dans la conservation des eaux et des Sols, et d'un grand intérêt dans la recharge de la nappe, par la mise en place des digues, diguettes ou gabion pour la protection des berges des oueds et des murettes (voir photos de la figure 4 ci-dessous) pour conserver l'eau et pratiques des associations de cultures, ou systèmes agro forestiers, à base de palmiers dattiers, d'oliviers, de caroubiers ou autres arbres ou arbustes adaptés avec des cultures intercalaires. Par ailleurs, les pouvoirs publics doivent mettre en place des subventions et incitations pour les cultures en terrasses ou en bandes. Ainsi, les petits agriculteurs vivriers, qui après chaque crue dévastatrices, qui ramènent des galets et des pierres sur leurs parcelles, ou d'autres victimes de l'ensablement peuvent continuer à entretenir leur parcellaire en toute quiétude.



Gabion de protection des berges



Murettes pour lutter contre l'érosion



Diguette sur talweg



Barrage écrêteur de crue à Alnif

Figure 4: Aménagement pour la recharge de la nappe et la conservation des sols

Par ailleurs, les problèmes récents de pollution doivent être résolus de manière urgente. Ils sont liés soit au non traitement des eaux usées et soit aux rejets des eaux de lessive dans les canaux d'irrigation. Le traitement des déchets solides est aussi très rare et, ces dernières années, des feux de palmeraies ont été observés dans plusieurs oasis marocaines. Ils sont liés au manque d'entretien des palmeraies. Les déchets solides, notamment les feuilles sèches de palmier sont laissées sur les palmiers ou sur place au champ après la récolte. La confection du compost à base de palmes broyées est une alternative à prospecter, mais il faudra veiller à ce qu'il soit indemne de la maladie du Bayoud (*Fusarium oxysporum f.sp. albedinis*) par le traitement thermique par exemple et la désinfection avant l'usage. Les acteurs des territoires doivent être sensibilisés, mobilisés et incités à entreprendre des actions concrètes pour la sauvegarde de l'environnement. C'est aussi le rôle des institutions étatiques.

Parmi les indicateurs de la durabilité environnementale appelée aussi agro-écologique, lorsqu'on parle des exploitations agricoles on peut citer d'après Briquel et al. (2001):

- **Le maintien de la diversité** des espaces animales, ou de races différentes par espèce, à côté de la diversité des cultures annuelles et pérennes (avec différentes variétés ou semis des mélanges) est un gage de réussite. Les études réalisées sur le palmier dattier montrent que dans les oasis traditionnelles une grande diversité variétale est observée (Martin et al., 2001). La valorisation des races et espèces végétales régionales et le maintien des cultures rares, pour en tirer des produits de terroir, peuvent permettre de sauvegarder le patrimoine culinaire, immatériel d'augmenter les revenus des agriculteurs. Des usages très différents peuvent être réalisés selon les caractéristiques variétales : dattes sèches, pour la poudre de dattes, dattes molles pour la pâte de dattes ou le sirop et dattes semi molles pour la consommation humaine en tant que dattes fraîches et conservées après un séchage adéquat. Les travaux réalisés sur l'agrobiodiversité dans la réserve de biosphère des Oasis du Sud marocain (RBOSM) montrent qu'il y a

une très grande richesse en diversité végétale et animale (dattes, huile, safran, rose à parfum, henné, cumin, miel, viandes, ovins, bovins, caprins, camelin, etc.) (Bouaziz, 2000) et la sauvegarde de celle-ci ne peut se faire que via la valorisation des produits en tenant compte de leurs caractéristiques.

- **L'Organisation de l'espace**, la répartition de l'assolement par culture, la dimension des parcelles, la présence de zones de régulation écologique, la présence d'actions en faveur du patrimoine naturel, le taux de chargement animal et le mode de gestion des surfaces fourragères;
- **Pratiques agricoles**, le bilan de fertilisation azotée, le traitement des effluents animaux, la pression polluante des pesticides, le bien-être animal, les techniques de protection des sols, l'irrigation et la dépendance énergétique.

ii) La composante socio-territoriale

L'opinion de la société sur les fonctions de son agriculture, son artisanat et son tourisme se fonde sur un certain nombre de valeurs, comme le développement humain, la qualité de vie, la citoyenneté, le développement local ou l'emploi. Les indicateurs proposés ne constituent pas une liste exhaustive et définitive de la dimension sociale de l'agriculture et des autres activités humaines (artisanat, tourisme,...) et des dimensions territoriales qui leurs sont étroitement liées, mais tentent de donner un contenu concret à la notion d'équité sociale. Parmi les indicateurs, on peut citer :

- **La qualité des produits et du territoire** : Qualité des aliments produits, valorisation du patrimoine bâti et du paysage, accessibilité de l'espace aux utilisateurs, implication dans des structures associatives;
- **L'emploi et services au territoire** : Valorisation des produits par des filières courtes qui vont jusqu'au consommateur final, services marchands et pluriactivité, niveau de l'emploi, formes de travail collectif, pérennité prévue et durabilité des agroécosystèmes;
- **L'éthique et développement humain** : Contribution à l'équilibre alimentaire mondial, actions de formation, points de travail, auto-estimation de la qualité de la vie, auto-estimation de l'isolement.

iii) La composante économique

Cette dernière dimension aborde les pratiques et les comportements des acteurs évalués dans les échelles précédentes, sous un angle économique. Dans les conditions du marché, les différents acteurs (agriculteurs, artisans, acteurs du tourisme, etc) doivent dégager un revenu courant suffisant pour assurer une certaine autonomie dans leurs choix pour leurs permettre de s'orienter vers une démarche de durabilité. Les indicateurs retenus résument les aspects essentiels de la durabilité économique :

- **La viabilité** évaluée à travers: i) l'excédent d'exploitation net les besoins de financement et ii) le taux de spécialisation économique des productions;
- **L'indépendance**, quantifiée et estimée par l'autonomie financière et la sensibilité aux aides directes;

- **La transmissibilité** notamment du capital d'exploitation
- **L'efficience**, qui mesure la part des charges opérationnelles dans le produit.

A titre de recommandations, on peut conclure que les espaces oasiens présentent des grandes potentialités, notamment en terme de :

- **énergie solaire**, cependant jusqu'à présent il y a encore des difficultés juridiques, concrétisées dans l'absence de lois pour les investisseurs individuels ou en groupe (Coopératives, sociétés privées,...) pour vendre l'électricité solaire à l'ONEE, organisme étatique chargé de la gestion du secteur;
- Il faudra aussi encourager et inciter le privé à investir **la gestion des déchets solides et l'assainissement liquide**;
- Soutenir le **développement des filières agricoles rentables, équitables et qui valorisent les ressources en eau, en sol, en énergie et en main d'œuvre** pour limiter l'exode rural: dattes, BIO et cultures alternatives;
- **L'artisanat spécifique à la région** et qui fait partie du patrimoine, tout en la modernisant et en l'adaptant aux besoins du marché;
- **Le tourisme social et solidaire** (gîtes, auberges, B&B chez l'habitant, etc.; on peut parler aussi d'agrotourisme ou d'écotourisme, non consommateur de beaucoup des ressources et créateur d'emploi;
- La mise en pace d'un **système de monitoring** des ressources en eau et en sol...) 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;
- Une meilleure coordination des programmes sectoriels, notamment les secteurs sociaux et productifs.

Les oasis sont donc un patrimoine national et même mondial de l'humanité 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:

- Des actions de recherche pour produire des connaissances adaptées dans différents domaines:
 - Energies renouvelables et mines;
 - Gestion de l'eau, Systèmes de production agricole et filières;
 - Tourisme écologique;
 - Artisanat des oasis et du désert;
 - Niveau de développement économique et social des différents secteurs.
- 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 dans le cadre du plan génération green.

Références bibliographiques

- ADA-MAPMDREF. 2020. Raod show régional pour l'opérationnalisation de la nouvelle stratégie «Génération Green 2020-2030». <https://www.ada.gov.ma/fr/actualites/raod-show-regional-pour-loperationnalisation-de-la-nouvelle-strategie-generation-green>.
- Aït Hamza M., B. El Faskaoui et A. M. E. Fermin. 2010. Les oasis du Drâa au Maroc. Rupture des équilibres environnementaux et stratégies migratoires. Hommes & migrations: January 2010.
- Ait El Mokhtar M., R. Ben-Laouane, M. Anli, A. Boutasknit, Wahi S. and A. Meddich. 2019. Climate Change and Its Impacts on Oases Ecosystem in Morocco. In book: Climate Change and Its Impact on Ecosystem Services and Biodiversity in Arid and Semi-Arid Zones. Publisher: IGI Global. Project: Climate change and Impacts on Ecosystems in arid and semi arid areas. DOI: 10.4018/978-1-5225-7387-6.ch012
- Bouaziz A. 2000. L'agrodiversité dans la réserve de biosphère des Oasis du Sud marocain. In: Dossier de candidature de la RBOSM. Paris: Unesco, Divis. Sc. Ecolo. Terre. [Google Scholar]
- Bouaziz A., A. Hammani et M. Kuper. 2018. Les oasis en Afrique du Nord : dynamiques territoriales et durabilité des systèmes de production agricole. Cah. Agric. 2018, 27, 14001
- Briquel V., L. Vilain, J.L. Bourdais, P. Girardin, C. Mouchet et P. Viaux. 2001. La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles): une démarche pédagogique. Ingénieries 25 : 29-39, <https://www.researchgate.net/publication/42093331>
- Fassi D. 2001. Contraintes et potentialités de l'agriculture maghrébine. Présentation des milieux physique et humain. *C R Acad Agric Fr* 87 (2): 129–145. [Google Scholar]
- FAO. 2002. Des oasis marocaines au patrimoine mondial agri-culturel. Doc FAO.
- Fassi, D. 2017. Les oasis du Monde, carrefour des civilisations et modèle fondamental de durabilité. Cah. Agric. 2017, 26, 46001. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017037>
- Idrissi-Ammari, A. 2019. Les oasis au Maroc ; Communication orale (Diaporama). FAO-Institut Servantes. Ambassade de l'Esapagne, Rabat
- INRA. 2005. Actes du symposium international sur le développement durable des systemes oasiens. 08-10 mars 2005. Erfoud, Maroc.
- Martin, G.J., Bouaziz, A., Benlhabib O., Zirari, A., Eyzaguirre P. et Barrow S. 2001. Etude de la diversité du Palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans l'oasis d'Aoufous par la méthode participative. In Séminaire National sur «La conservation in situ de la biodiversité agricole: un défi pour une agriculture durable», IAV Hassan II, INRA-Maroc, IPGRI, 21 et 22 Fev.2001.
- Sabri, A., Bouaziz A., Hammani, A., Kuper, M. Douaik, A. et Badraoui M. 2017. Effet de l'irrigation déficitaire contrôlée sur la croissance et le développement foliaire du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Cahiers Agricultures 26(5):55005. DOI: 10.1051/cagri/2017033
- Sedra M. H. 2003. Le palmier dattier base de la mise ase de la mise en valeur des oasis au Maroc. Techniques phoenicoles et création d'oasis. ISBN : 9981-1994-3-5 N° du dépôt légal: 2003/1973 INRA-Editions
- Unesco. 2000. Réserve de biosphère des Oasis du Sud marocain (RBOSM). Dossier de candidature de la RBOSM. Paris: Unesco, Divis. Sc. Ecolo. Terre. Supervisé par Fassi D. [Google Scholar]

DISCUSSION :

INTRODUCTION À LA DISCUSSION DE LA SESSION 4 «ESPACES BOISÉS ET EXPLOITATION DURABLE»

Abdellatif KHATTABI

Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc



Je tiens d'abord à remercier l'Académie Hassan II des sciences et techniques de m'avoir associé à cette session et à sa discussion. Je suis heureux d'être ici pour lancer la discussion sur cette session et qui concerne les espaces boisés et leur exploitation durable. Nous avons eu le plaisir d'écouter trois présentations, une qui concernait les espaces boisés d'une manière générale, la seconde portait sur les écosystèmes d'arganier et la troisième traitait des agroécosystèmes oasiens. Je tiens à remercier et à féliciter nos trois orateurs, qui ont bien voulu partager avec nous leurs connaissances et leurs savoirs, avec beaucoup d'illustrations et d'exemples concrets de la réalité du terrain.

Les espaces boisés, d'une manière générale, et les espaces forestiers, d'une manière particulière, jouent plusieurs rôles et fonctions. Ils sont intrinsèquement productifs et assurent une fonction économique en produisant différentes catégories et assortiments de bois et de produits forestiers non ligneux; une fonction environnementale en protégeant la biodiversité et séquestrant le carbone de l'atmosphère; une fonction sociale en agrémentant le paysage et en améliorant la production de l'eau en termes de quantité et de qualité; et une fonction de protection contre les risques naturels et l'érosion du sol. Les forêts sont considérées comme un patrimoine qui est l'œuvre de l'homme et de la nature. Elles sont cependant soumises à de nombreuses pressions, certaines font partie intégrante de la dynamique forestière comme les incendies et les attaques pathogènes et d'autres sont exogènes et liées à l'action anthropique.

Au Maroc, les pressions sur les forêts sont principalement liées au prélèvement du bois de feu et au surpâturage. Les écosystèmes d'arganier, fragiles et vulnérables par leur position géographique qui est naturellement aride, sont actuellement soumis à de nombreuses

pressions anthropiques (exploitation du bois, surpâturage, défrichement, agriculture sous arbres, etc.) et naturelles (changement climatique et événements extrêmes). L'arganier, espèce endémique du Maroc, est un arbre remarquable par ses caractéristiques intrinsèques et par ses usages multiples et ses fonctions écologiques. Son rôle social a été reconnu depuis longtemps, raison pour laquelle une législation particulière lui a été associée. Il est actuellement à la base du développement d'une économie sociale et solidaire basée sur le développement de coopératives féminines de valorisation de la ressource. Il contribue de ce fait, comme il en a été dans le passé, à l'économie locale d'une manière significative surtout pour les franges sociales les plus déshéritées.

Les oasis sont définies comme étant des espaces désertiques ou fortement arides cultivés d'une manière intensive; abritant une civilisation millénaire et un savoir-faire traditionnel pour la gestion des ressources naturelles, plus particulièrement les ressources hydriques. Leurs diversités culturelles et architecturales nous offrent des paysages exceptionnellement riches et variés. Elles abritent des potentialités pour le développement d'une agriculture de subsistance, pour le parcours, pour le tourisme à flux limité et pour l'artisanat. Cependant, ce sont des milieux hautement fragiles et vulnérables à cause de leurs conditions climatiques arides, de la rareté de l'eau et de la faible disponibilité de terres arables. Même si l'Homme a toujours vécu en harmonie avec ces milieux dans le passé, aujourd'hui on assiste à un certain dysfonctionnement des systèmes oasiens causé par la salinisation du sol, l'augmentation de la pénurie d'eau, l'ensablement, les incendies des palmiers, les maladies du Bayoud, etc.

Les trois présentations étaient à la fois distinctes mais complémentaires, et possèdent des points en commun. Le caractère distinctif de chacune des présentations, entre elles, est reflété par la thématique traitée, d'un côté les écosystèmes naturels forestiers et de l'autre côté des agroécosystèmes spécifiques; et la complémentarité réside dans le fait que les trois présentations se complètent que ça soit en termes d'approche géographique (nationale et régionale) qu'en termes de modèles d'exploitation du milieu naturel pratiqués par l'Homme.

Un point commun concerne l'objet des études qui est le capital naturel, concept qui a gagné en popularité ces dernières années. Ce capital naturel, composé de nombreux actifs, notamment les sols et les espaces boisés naturels et artificiels, désigne les éléments de l'environnement qui fournissent des biens et des services écosystémiques précieux à l'Homme. C'est un système complexe et dynamique, composé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et d'un environnement non vivant qui interagissent comme une unité fonctionnelle. Les promoteurs du concept du capital naturel y voient un moyen de faire reconnaître l'environnement et la façon dont il sous-tend toute activité économique. L'objectif est de garantir le maintien non seulement les flux de ces services mais également la capacité de les produire d'une manière durable.

Un autre point commun réside dans l'approche intégrée d'analyse, adoptée par chacune des études, qui considère les écosystèmes comme le cœur de la gestion environnementale. Ces études ont utilisé des méthodes de travail qui intègrent la prise en compte des sciences naturelles, économiques et sociales dans un cadre méthodologique adapté. Ceci a permis de mettre en exergue les enjeux de l'interaction entre l'Homme et son environnement naturel

en reconnaissant que les personnes et la société font partie intégrante des écosystèmes, de leur gestion et de leur conservation. En fait, les trois présentations ont considéré les milieux étudiés comme des socio écosystème qui permettent d'analyser les relations entre les humains et la nature. Ces socio-écosystèmes renferment une composante écologique, une composante économique, et enfin un système socio-anthropologique. Ces socio-écosystèmes ont été déclinés à deux échelles spatiales différentes, à l'échelle de la biosphère (pour l'arganier et les oasis) et à des échelles locales spécifiques (cas de la forêt).

Nous avons constaté à travers les présentations que le type d'interaction que l'Homme entretient avec son environnement naturel peuvent être de trois catégories. Les activités anthropiques peuvent affecter négativement ou positivement le milieu environnemental ou les services écosystémiques que ça soit à travers l'exploitation ou à travers des rejets. La qualité du système environnemental peut de son côté affecter le système social, par exemple, la dégradation des milieux naturels peuvent affecter l'économie et la santé humaine. Des relations de réciprocité avec des boucles de rétroaction peuvent aussi se produire entre les deux systèmes social et environnemental. Dans les trois cas, les moyens d'existence de l'Homme se trouvent intimement liés à la santé des milieux naturels.

Cette interaction directe d'exploitation entre l'Homme et l'environnement naturel est beaucoup plus importante dans les pays à revenus réduits et elle est moins forte dans des pays plus développés. Nous avons constaté, à travers la présentation sur les milieux boisés qui a traité l'évolution comparative du couvert végétal entre le nord de la méditerranée (Espagne) et le sud de la méditerranée (Maroc), que la réhabilitation des écosystèmes se fait là où la diminution de la pression pastorale diminue (cas de l'Espagne). En effet, on pourra déduire, explicitement ou implicitement, à partir des conclusions des trois présentations que le bien-être de l'Homme et les progrès vers le développement durable sont intimement liés aux méthodes de gestion des écosystèmes et de leur utilisation durable.

Le bien-être des populations dépend directement ou indirectement des biens de services écosystémiques liés aux domaines économiques, écologiques et sociaux. Ce sont des bénéfices variés que les hommes tirent des écosystèmes. Les ressources naturelles et les services qu'elles fournissent sont depuis longtemps utilisés comme base de l'activité économique et jouent, par conséquent, un rôle important dans la définition de la qualité de vie. De plus, les ressources naturelles constituent le fondement des loisirs et d'aspects «d'agrément». Les services écosystémiques existent donc dans un ensemble de valeurs sociales, économiques et environnementales très divergentes. Ils peuvent être catégorisés en services d'approvisionnement, services de soutien, services de régulation, et services culturels et sociaux.

Les services d'approvisionnement comprennent des produits tels que la nourriture, le combustible, l'eau, les ressources génétiques et les fibres. Les services de régulation concernent le maintien de la qualité de l'air, le contrôle de l'érosion, la régulation des maladies humaines, la purification de l'eau et la régulation d'autres milieux ou de processus environnementaux. Les services culturels sont les avantages non matériels que les gens tirent des écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion, les loisirs et les expériences esthétiques. Les services de soutien portent sur les processus et fonctions des écosystèmes qui sous-tendent les trois autres

types de services, tels que la production primaire, la production d'oxygène et la formation des sols. La demande de services écosystémiques est aujourd'hui si importante que les compromis entre les services sont devenus une nécessité.

La croissance démographique rapide et l'amélioration des conditions de vie et des moyens techniques de production que nous connaissons actuellement sont parmi les forces motrices de changement qui sont à l'origine du dysfonctionnement observés sur les écosystèmes. En effet, les demandes pour les services écosystémiques, tels que la nourriture et l'eau potable, augmentent avec l'accroissement démographique constituant une pression pouvant mettre à risque la capacité de nombreux écosystèmes à répondre à ces demandes.

Le problème posé par la demande croissante de services écosystémiques, à travers le monde, est aggravé par la dégradation de plus en plus importante de la capacité des écosystèmes à fournir ces services. Cette combinaison de demandes, toujours croissantes, imposées à des écosystèmes de plus en plus dégradés, diminue sérieusement les perspectives de développement durable. L'évaluation des écosystèmes pour le millénaire commandité par l'Organisation des Nations Unies en l'an 2000, lors de son sommet du millénaire, a abouti à la publication de son rapport en 2005. Cette évaluation intégrée a porté sur l'état de santé des écosystèmes et sur les conséquences de leurs évolutions sur le Bien-être de l'Homme. Les oasis de Tafilalet au Maroc, une composante des oasis marocains constituent, avec les oasis d'Assir en Arabie Saoudite et les oasis du Sinaï en Égypte, l'objet d'une étude subrégionale représentant les écosystèmes arides dans cette évaluation des écosystèmes pour le Millénaire.

Le rapport de l'évaluation a tiré la sonnette d'alarme sur la dégradation des écosystèmes en concluant que deux tiers des écosystèmes du monde, allant des zones humides et des zones côtières aux forêts et aux sols, sont soit dégradés soit gérés de manière non durable. Il a aussi conclu qu'au cours des 50 dernières années du siècle dernier, l'Homme a modifié les écosystèmes plus rapidement et plus profondément qu'au cours de toute autre période de l'histoire de l'humanité. Cela a entraîné une perte substantielle et largement irréversible de la diversité de la vie sur Terre. On estime aussi qu'avec l'augmentation de la population mondiale et le développement économique prévus, il y aurait une forte augmentation de la demande et de la consommation des ressources biologiques et physiques avec des impacts croissants sur les écosystèmes et les services qu'ils fournissent.

Les externalités (positives ou négatives) engendrées par l'interaction de l'Homme avec son environnement ne sont généralement pas prises en compte dans les calculs économiques. On parle d'externalité négative lorsqu'une action induit des coûts sur une partie tierce qui n'est pas compensée sur le coût qu'elle a subi; et d'externalité positive lorsque l'action génère un bénéfice utilisé par des parties tierces sans le rétribuer à celui qui l'a produit. Les externalités environnementales surgissent à cause de trois raisons principales: ressources communes; Biens publics; et équité inter générations. L'existence d'externalités entraîne une inefficience économique en l'absence d'un équilibre social optimal qui tient compte de tous les coûts et de tous les bénéfices.

Le capital naturel n'est pas totalement pris en considération dans les systèmes de comptabilité du pays qui est une méthode établie et cohérente de collecte, d'organisation et de communication d'informations sur l'activité économique. Telle que pratiquée, cette comptabilité n'évalue pas de manière exhaustive les impacts de l'activité économique sur l'environnement. La manière dont laquelle le capital naturel pourrait être intégré dans les comptes nationaux est une question de choix qui exige un certain pragmatisme afin de permettre l'expérimentation et l'intégration dans le processus de décision. Des initiatives menées, suite à l'adoption par les Nations Unies d'un cadre central du système de comptabilité économique et environnementale, sont menées par plusieurs pays parallèlement au développement d'autres modèles conceptuels et approches de comptabilité environnementale des écosystèmes.

Il faudrait reconnaître que la difficulté de prendre en considération le capital naturel dans les décisions et dans les choix et les compromis économiques, ainsi que la faible gestion dont il est l'objet, sont dues à l'ignorance de sa valeur économique totale et aux caractéristiques inhérentes à certains de ses éléments. Les aspects tels que la biodiversité, la quantité/qualité de l'eau qui sont limités, sensibles et vulnérables; l'impossibilité de remplacer le capital naturel par d'autres formes de capitaux à cause de la complexité des écosystèmes, leur multifonctionnalité et l'irréversibilité de nombreux changements environnementaux sont des exemples de spécifiés particulières du capital naturel qui le rendent difficile à appréhender.

Une autre difficulté associer au capital naturel est comment associer des valeurs monétaires aux différentes alternatives concurrentes de son utilisation en vue de procéder à des compromis et des arbitrages entre elles. Par exemples, quelle valeur accordons-nous à: i) la non-utilisation des écosystèmes intacts et biodiversité; ii) la qualité de l'eau et à la stabilité du sol; iii) la restauration de la faune et de l'habitat; iv) la séquestration et au stockage du carbone; v) paysages productifs; vi) biens et services qui ne possèdent pas d'usages actuels mais pourraient avoir des usages potentiels futurs ou des biens et services qui ne possèdent pas de valeur d'usage direct ou indirect, ni actuelle ni future.

Bien que l'évaluation ne soit pas seulement une question d'argent, de nombreuses personnes s'intéressent de plus en plus à la recherche de moyens de refléter la valeur de l'environnement dans les décisions qui ont une dimension économique. A cet effet, les économistes ont développé des approches pour évaluer les fonctions écosystémiques non utilisées en vue de capturer leurs valeurs dans nos décisions de gestion. La disponibilité de l'information pourrait éclairer la prise de décision pour des interventions politiques et de gestion judicieuses de l'espace qui pourraient potentiellement inverser la dégradation des écosystèmes et renforcer les contributions des écosystèmes à l'environnement humain. Certes, la disponibilité de l'information et la facilité d'y avoir accès ne peuvent pas garantir à elles seules l'amélioration des décisions, mais elles sont une condition préalable à une prise de décision adéquate.

SÉANCE V

**PANEL : QUEL AVENIR POUR
L'EXPLOITATION ET LE DÉVELOPPEMENT
DURABLES DU PATRIMOINE NATUREL
DU MAROC?**

Modérateur : Albert Sasson

Académie Hassan II des Sciences et Techniques

**Rapporteur : Omar Assobhei**

Académie Hassan II des Sciences et Techniques

**Membres du panel :**

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

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



- **Avenir et développement durable du patrimoine forestier**

Abderrahim Houmy, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Secrétaire Général, Maroc



- **Perspectives du développement durable des écosystèmes présahariens**

Mohamed Bachri, Agence nationale du développement des zones oasiennes et de l'arganier (ANDZOA)



- **Rôle de l'éducation à l'environnement pour le développement durable (exemple de la palmeraie de Marrakech)**

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



- **Débat**

Panel :
**Quel avenir pour l'exploitation et
le développement durable du patrimoine naturel du Maroc**

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 1:500.000^{ème}). 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).

SÉANCE VI
SYNTHÈSE DES TRAVAUX
ET DÉBAT GÉNÉRAL

Modérateur : Mohamed BERRIANE
Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Rapporteur : Abdelkarim FILALI-MALTOUF
Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Synthèse des travaux

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 complète 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 hotspot 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 2ème 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 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 international 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».

COMMUNICATIONS AFFICHÉES

VALORISATION DES GEOMATERIAUX ET DES GEOSITES DE LA PROVINCE VOCALIQUE MIOCENE-PLIO-QUATERNAIRE DU RIF ORIENTAL (MAROC) ¹

*Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI¹,
Toufik REMMAL², Abderrahman ALBIZANE³ et Ali AZDIMOUA⁴*

1 : Institut Scientifique, centre de recherche GEOPAC, Université Mohammed V de Rabat

2 : Faculté des Sciences de Casablanca-Aïn Chock, Université Hassan II de Casablanca

3 : Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, Université Hassan II de Casablanca

4 : Faculté pluridisciplinaire de Nador, Université Mohammed premier d'Oujda

Résumé

Les journées «les Jeunes et la Science au service du développement» organisées par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques à Nador les 6 et 7 décembre 2019 furent une opportunité pour notre équipe de recherche V2GV de présenter ses résultats de recherche scientifique réalisés avec le concours de l'Académie sur la province volcanique de Nador. Aussi les responsables de l'équipe de recherche et leurs doctorants ont participé activement à l'animation de ces Journées par des exposés et des posters qui résument d'une manière simple et accessible les résultats de leurs travaux sur la valorisation des géomatériaux et la promotion des géosites volcaniques de la région de Nador. Le principal message qui a été adressée aux lycéens et à leurs encadrants, qui ont assisté massivement à ces journées, c'est que la recherche scientifique constitue un levier essentiel pour tout développement socio-économique. Par ailleurs, notre équipe a participé à la discussion de la fin des Journées pour éclairer les jeunes sur les démarches à entreprendre pour s'orienter vers la voie de la recherche scientifique.

1- Synthèse des travaux de l'équipe du Projet V2GV, financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

I. INTRODUCTION

Un projet de recherche scientifique (acronyme V2GV) a été lancé en 2012 avec le concours de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques (AH2ST). Ce projet, qui vise principalement la valorisation des géomatériaux et des géosites des deux provinces volcaniques du Moyen Atlas central (MAC) et du Rif oriental (RO), a été monté en réseau entre l'Institut Scientifique de l'Université Mohammed V de Rabat (ISR-UM5), la Faculté des Science d'Aïn Chock de Casablanca et la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia de l'Université Hassan II de Casablanca (FSC et FSTM-UH2) et un partenaire français de la région de l'Auvergne composé du Laboratoire Magmas et Volcans de l'Université de Blaise Pascal de Clermont-Ferrand (LMV-CNRS), le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA), le Centre Permanent d'Initiative à l'Environnement (CPIE) et le Parc européen des volcans (Vulcania). Après son lancement, le réseau du projet a intégré la Faculté des Sciences d'Oujda de l'Université Mohammed premier (FSO-UMP) en 2014. Par ailleurs une quinzaine de doctorants et d'étudiants de Master ont été inscrits avec les chercheurs de l'équipe sur des sujets de thèse et de mémoire de fin d'étude se rapportant directement aux thématiques du projet V2GV.

Parallèlement aux travaux de recherches scientifiques, l'équipe du projet V2GV a toujours profité des rencontres qui visent la médiation scientifique auprès jeunes et du grand public telles que «les Journées Portes Ouvertes» organisées par l'UM5, «les Jeunes et la Science» de l'AH2ST et d'autres manifestations du même genre initiées par des associations et institution à but éducatif et culturel. Ainsi, l'équipe du projet V2GV avait organisé lors de l'édition 2013 des Journées «Les Jeunes et la Science» une manifestation au profit des lycéens de la ville d'Azrou. Le programme de cette manifestation, tenue au siège du Parc National d'Ifrane à Azrou, comporte : deux conférences sur les potentialités hydriques, minérales et géotouristiques de la région du MAC, la présentation des posters sur les travaux de recherches des doctorants de l'équipe V2GV et une excursion d'une journée à travers les lacs et volcans de la région d'Azrou-Timahdite.

Fidèle à ses engagements, l'équipe V2GV a répondu favorablement à l'appel de l'AH2ST pour participer aux journées «les Jeunes et la Sciences au service du développement» de 2019. Aussi a-t-elle proposé l'organisation, en partenariat avec d'autres chercheurs marocains, d'une manifestation à caractère éducatif et culturel à Nador. La contribution de notre équipe au programme de cette manifestation comporte : deux présentations orales des professeurs El Amrani (ISR-UM5) et Remmal (FSC-UH2) sur les géomatériaux et les géosites de la province volcanique du RO; Sept Posters résumant les résultats des principaux travaux de recherche des doctorants et Master de l'équipe sur des actions concernant la région de Nador et : une excursion de terrain à travers les mines et carrières d'extraction des géoressources (fer, bentonite et perlite) de la région de Nador.

L'objectif de cette note et de rapporter le contenu des présentations orales des Professeurs El Amrani et Remmal puis de rappeler d'une manière sommaire la nature de la recherche et les résultats obtenus par les Doctorants et Masters de l'équipe V2GV, sur les géomatériaux et les géosites de la région de Nador et qui ont fait l'objet des Posters ayant été exposés lors de ces Journée de Nador. Ces posters sont présentés en annexe de cette note.

Selon cette définition et classification, qui sont les plus largement adoptées par plusieurs équipes de recherche à travers le monde, les géomatériaux regroupent aussi bien les minéraux (éléments à composition chimique et structure bien définies) que les roches (matériaux composites à structure hétérogènes) mais qui présentent des propriétés physiques, mécaniques, chimiques, optiques,... particulières et qui les rendent utiles comme matière première pour diverses industries (électronique, automobile, chimie, céramique, verrerie, construction, pharmaceutique, cosmétique, etc.).

Selon leurs propriétés et leurs domaines d'utilisation, les géomatériaux sont, à leur tour, subdivisés en trois groupes :

- 1/ **Les matériaux de construction (MC)** qui sont des matériaux ordinaires, à faible valeur marchande et dont l'utilisation ne demande pas une importante élaboration préalable; c'est le cas des sables, argiles, granulats, pierre de taille, etc.
- 2/ **Les roches ornementales (RO)**, matériaux cohérents, d'origine diverses (magmatique, sédimentaire ou métamorphique) et qui une fois taillés et polis montrant des structures et des couleurs attrayantes et appréciés pour la sculpture d'objets d'art et la préparation de plaques de revêtement des façades; c'est ce qui est largement désignée sous les termes de marbre et de granit (sans e).
- 3/ **Les roches et minéraux industriels (RMI)** regroupent un très large éventail de substances de nature, d'origine et de composition très diverses, qui sont parfois rares et très demandés et par conséquent assez chers. Selon leurs propriétés qui déterminent leurs domaines d'utilisation, les RMI peuvent être classés en neuf sous-groupes (**Tableau I**).

Tableau I : Classification des roches et minéraux industriels selon leurs propriétés

<i>Sous-groupe de RMI</i>	<i>Exemples</i>
1- Les fondants	Feldspaths, calcite, dolomite
2- Les réfractaires et isolants thermiques	Graphite, andalousite
3- Les halogénures	Chlorures, fluorures
4- Les phosphates	Apatite, phosphosidérite
5- Les diélectriques	Muscovite, phlogopite
6- Les optiques	Quartz, fluorine, calcite
7- Les piézoélectriques	Quartz, tourmaline
8- Les abrasifs	Corindon, diamant, grenat
9- Les produits pour céramique et verrerie	Argile, kaolin, sable siliceux
10- Les pierres précieuses et semi-précieuses	Diamant, rubis, zircon

Ces définitions et classifications des substances minérales ont été précisées dès le lancement de notre projet pour permettre aux différents membres de notre équipe et de nos partenaires de bien entendre et comprendre la même chose lorsqu'on parle de «**Géomatériaux**».

II.2. Notion de valorisation en recherche scientifique

Selon le dictionnaire de français Larousse, le terme «**Valorisation**», peut avoir quatre sens possibles :

- ✓ hausse de la valeur marchande d'un produit ou d'un service, provoquée au moyen de manœuvres volontaires ou, éventuellement, par une mesure légale;
- ✓ ensemble des actions menées pour donner plus de valeur à quelque chose ou à quelqu'un ; fait de valoriser par exemple certaines idées nouvelles;
- ✓ transformation d'un déchet en vue d'une utilisation plus noble;
- ✓ ensemble de mesures prises pour provoquer le relèvement du cours d'une monnaie dépréciée ou des rentes d'État tombées au-dessous du pair.

Dans le domaine de la recherche scientifique on entend par valorisation des géomatériaux (**Figure 2**) l'ensemble des actions de recherche scientifique et technique, notamment les essais et les expériences effectués au Laboratoire ou dans les Unités-pilotes, permettant de :

- ✓ Développer des méthodes et/ou techniques appropriées pour rendre une substance minérale naturelle donnée plus concentrée et plus pure afin d'optimiser son utilisation industrielle.
- ✓ Trouver de nouvelles applications à plus grande valeur ajoutée pour une substance minérale utilisée généralement pour la fabrication d'objets à faible valeur marchande.
- ✓ Mettre au point des processus de recyclage des rejets industriels permettant soit de récupérer les substances utiles de ces rejets soit d'incorporer et fixer ces rejets dans la structure d'un nouveau matériau.

Concernant le recyclage des rejets industriels, plus particulièrement, l'un des aspects de la valorisation le plus intéressant est de trouver des process permettant l'interaction entre ce rejet et les autres constituants du mélange pour améliorer la qualité du produit final ou aboutir à un produit innovant.

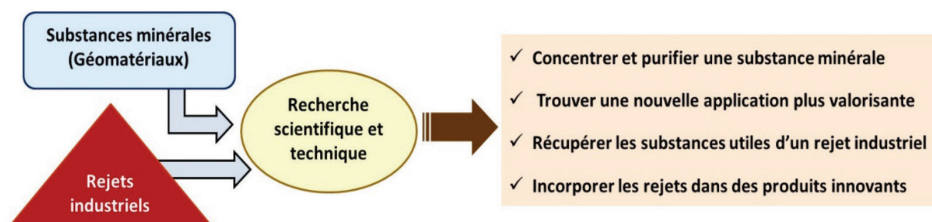


Figure 2 : Schéma directeur du processus de valorisation des géomatériaux

I.3. Actions de valorisation des géomatériaux du Rif oriental

Les premiers travaux géologiques menés sur le Rif oriental remontent aux années 60 (Jeannette et Hamel 1961, Rhoden et Ereno 1962). Puis, c'est à partir des années 70 que de nombreux travaux spécialisés ont pu compléter les connaissances structurales, pétrographiques, géochimiques et géochronologique sur cette partie de la chaîne rifaine (Viland 1966, 1977, Bellon & Brousse 1977, Kerchaoui et Morel 1984, Frizon de Lamotte 1985, Faure-Muret 1996, Hernandez & Bellon 1985, Kerchaoui 1985, 1994, Jabrane 1993, El Bakkali et *al.* 1995, 1998, Roger et *al.* 2000, Azdimoussa et *al.* 2013, Bouabdellah et *al.* 2013, Poujol 2014, Romagny 2014).

Bien avant ces travaux géologiques, la région du Nador (Massif de Bou Ifrouh) fut bien connue par ses gisements de fer d'Ouixane, Axara-Imnassen et Bokoya-Setolazar dont le début de l'exploitation par la Compagnie Espagnole des Mines du Rif (CEMR) remonta à 1914. Durant leur exploitation, entre 1915 et 1976, les différentes mines de la région produisirent 60 Mt de minerai à teneurs moyennes en fer de 45 et 60% (Viland 1966).

Par ailleurs, la région du Rif oriental fut connue également par ses grandes potentialités en substances minérales utiles non-métalliques (géomatériaux), telles que : la bentonite, la perlite, la diatomite, la pouzzolane, etc. La genèse des gisements de ces géomatériaux est étroitement liée aux activités volcaniques d'âge néogène à plio-quaternaire, bien exprimées dans cette partie orientale de la chaîne rifaine. En raison de leur intérêt économique, ces géomatériaux ont bénéficié d'un programme de recherche géologique et technologique très intéressant et dont les principaux résultats sont publiés en 1981 dans la revue Mines et Géologie du Maroc par le Ministère de l'Energie et des Mines (Numéro 49 spécial Roches et Minéraux Industriels du Maroc). Aussi, une bonne connaissance de base sur les géomatériaux d'origine volcaniques du Rif oriental (bentonite, halloysite, perlite, pouzzolane, diatomites, etc.) existe-t-il dans les articles publiés dans ce numéro par divers auteurs (Bouhaouli et Hilali 1981, Hilali et Jeannette 1981a et b, ...).

Dans le cadre des actions menées par notre équipe de recherche V2GV sur la valorisation de ces mêmes géomatériaux d'origine volcanique du Rif oriental, nous avons essayé de :

- Actualiser et compléter les connaissances d'ordre minéralogique, géochimique et technologique de ces géomatériaux en faisant appel aux techniques d'analyse et de caractérisation les plus récentes (DRX, FX, IF, MEB, ATD, ATG, etc.).
- Synthétiser divers matériaux nouveaux (céramiques, réfractaire, béton, mortiers, support membranaire pour filtration, etc.) à base des géomatériaux du Rif oriental.

Les résultats détaillés des principales actions seront présentés dans le chapitre IV. Ci-dessous, on se limite juste d'énumérer ces principales actions :

- Valorisation de la bentonite dans la préparation des membranes de filtration.
- Valorisation de l'halloysite dans la synthèse des céramiques et réfractaires.
- Valorisation de l'halloysite dans la synthèse des céramiques dentaires.

- Valorisation de la perlite expansée et la diatomite dans la synthèse de céramique légère.
- Valorisation de la perlite dans la synthèse des géopolymères.
- Valorisation de la perlite dans la synthèse des nanocomposites légers.
- Valorisation des skarns dans le domaine de la construction.

Ces différentes actions de recherche ont abouti la soutenance de thèses de Doctorat et de mémoire de Master (Sadik 2014, Arrazouki 2015, Bouhoche 2019), et des publications dans des revues indexés (Sadik et *al.* 2014, 2016, El Haddar et *al.* 2018, 2019, Ouaddari et *al.* 2018, 2019, Aziz et *al.* 2019, Raji et *al.* 2019).

III. VALORISATION DES GEOSITES VOLCANIQUES DE LA REGION DE NADOR

(Contenu de l'exposé du Professeur Toufik Remmal - FSC)

La présentation du professeur Remmal, coordonnateur projet V2GV à la Faculté des Sciences d'Aïn Chock-Casablanca (FS-C), s'intitule «Les potentialités géotouristiques du Rif nord-oriental : plan d'action de valorisation des géosites volcaniques rifains» (**Figure 3**). Elle vise, dans un premier temps, à dresser la liste des principaux géosites de l'ensemble de la province volcanique du rif oriental tout en rappelant leurs grands traits géologiques et leurs particularités, puis de proposer, dans un deuxième temps, un plan cohérent de mise en valeur et de promotion de ce géopatrimoine volcanique.

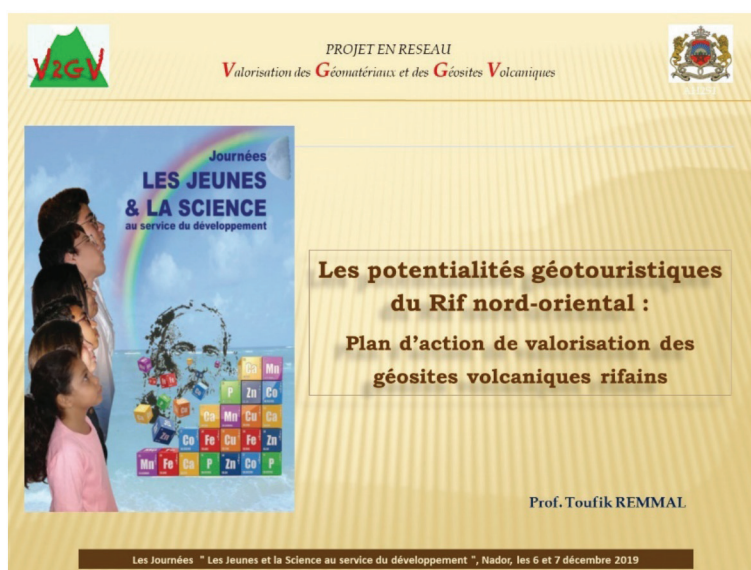


Figure 3 : Affiche de l'exposé oral du professeur Remmal

III.1. Principaux géosites volcaniques du Rif oriental

La géologie du Rif oriental est marquée par une importante activité volcanique intervenu durant le Miocène et le Plio-Quaternaire. De nombreux travaux de recherche, d'ordre pétrologique, géochimique et géochronologique ont été consacrés à ce volcanisme rifain (Hernandez et Bellon 1985, Hernandez et *al* 1987, El Bakkali 1995, El Bakkali et *al.* 1998, 2003, El Azouzi et *al.* 1999). Les manifestations éruptives liées à cette activité volcanique ont transformé profondément la morphostructure de la région en donnant naissance à Trois massifs volcaniques : le stratovolcan de Gourougou entouré par ses appareils satellitaires ; le Cap des Trois Fourches et le petit massif volcanique de Ras Tarf (Figure 4).

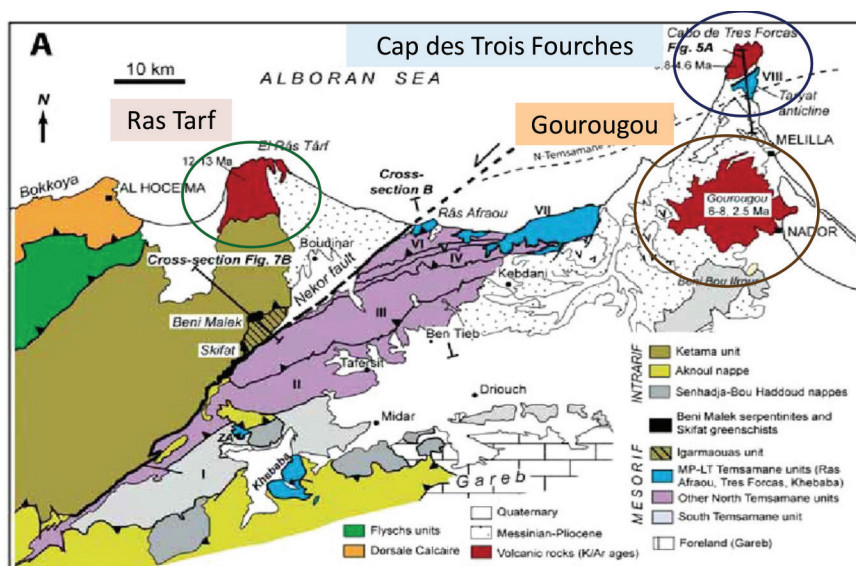


Figure 4 : Principales stations d'intérêt géotouristiques sur le schéma structural du Rif oriental (Frizon de Lamotte 1985, Negro et *al.* 2007)

Les trois massifs volcaniques constituent des stations d'une grande potentialité géotouristique. En effet chaque station offre de nombreux géosites à morphostructures et à produits volcaniques remarquables par leur état de conservation et leur qualité didactique. L'étude menée par Mssadi en 2017, dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude de Master a permis de faire l'inventaire des principaux géosites de la région et de proposer un circuit passant par les trois massifs volcaniques (voir § IV-8 et Poster en annexe).

III.2. Modèle de gestion des géosites volcaniques d'Auvergne

Bien que les paysages volcaniques du Rif oriental soient admirables et présentent de nombreux avantages, notamment leur proximité par rapport aux axes routiers et leur accès assez facile, ... très peu d'actions leur ont été consacrées pour les promouvoir sur le plan géotouristique.

Par comparaison avec d'autres pays européens voisins (Espagne, France, Italie, Portugal, ...), les sites volcaniques récents, équivalents à ceux du Maroc central, du Moyen Atlas, du Rif oriental, ... bénéficient d'une grande attention de la part des responsables sur le secteur touristique. Aussi des collaborations étroites existent entre ces derniers et les chercheurs pour promouvoir ces sites volcaniques à travers le développement de programmes et de stratégies ciblés et bien efficaces.

En choisissant l'exemple de la province volcanique de l'Auvergne (France), qui présente de nombreuses similitudes avec les provinces volcaniques marocaines (Moyen Atlas central et du Rif oriental) sur le plan âge géologique, morphostructures et produits volcaniques, on note que toute une infrastructure est mise en place pour la mise en valeur du patrimoine volcanique de la région auvergnaise. Cette infrastructure implique plusieurs organismes étatiques et privés, notamment le Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA), le Centre Permanent d'Initiative à l'Environnement (CPIE) et le Parc européen des volcans (Vulcania) qui travaillent de concert avec les chercheurs du Laboratoire Magmas et Volcans de l'Université de Blaise Pascal de Clermont-Ferrand (LMV-CNRS). Aussi de nombreuses actions ont-elles été réalisées sur le terrain (établissement de pancartes explicatives et de tables d'orientations sur site, balisage des voies d'accès aux géosites volcaniques, ...). Par ailleurs, une documentation abondante et variée (livres, brochures, guides, atlas, cartes postales, ...) existe sur la vulgarisation scientifique de ce volcanisme de l'Auvergne (Lavina et Monestier 1996, Lavina 2002, Aubert et *al.* 2003, Besson et *al.* 2004). Parallèlement à cela, des formations de guides géotouristiques ainsi que des campagnes de sensibilisation de la population locale sont entretenues et assurées régulièrement par le PNRVA et le CPIE pour assurer une bonne gestion de ces espaces volcaniques. Plus récemment, tout un travail de longue haleine impliquant tout un consortium d'organismes nationaux et étrangers, dont la structure du projet V2GV, et plusieurs campagnes publicitaires (**Figure 5**) a abouti en 2018 au classement de la Chaîne des Puys et la Faille de la Limagne, comme site naturel et culturel de l'UNESCO.

Dans le cadre des échanges scientifiques entre les chercheurs marocains du Projet V2GV et leurs partenaires Français, deux membres du Laboratoire Magmas et Volcans de l'Université de Clermont-Ferrand (les Professeurs Pierre Boivin et Benjamin Van Wyk De Vries) ont été invités pour une mission de terrain qui s'est déroulée entre le 14 et le 16 mai 2014 dans la région volcanique du Moyen Atlas central, entre Azrou et Timahdite. Lors de cette mission, qui avait pour but d'échanger les points de vue et les connaissances sur les problèmes de genèse et de mise en place du volcanisme marocain, une campagne de publicité sur le volcanisme de l'Auvergne a été menée à travers le port, par les doctorants de notre équipe, de Tee-shirts verts frappés du logo de Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne (PNRVA) (**Figure 5**). Cette campagne faisait partie de la contribution de l'équipe marocaine du Projet V2GV à appuyer le dossier de candidature l'équipe Clermontoise pour le classement de son volcanisme au patrimoine mondial de l'UNESCO.



Figure 5 : Participation de l'Equipe du Projet V2GV à la campagne de promotion du dossier des volcans d'Auvergne pour son classement au patrimoine de l'UNESCO

Finalement, le volcanisme de l'Auvergne a été classé patrimoine mondial de l'Unesco en 2018. En voici le lien du et le contenu du communiqué de presse annonçant cet évènement (<https://www.capital.fr/economie-politique/>) : **«Patrimoine de l'Unesco : les volcans d'Auvergne deviennent le 44^e site français classé. La troisième fois fut la bonne! Après deux tentatives infructueuses en 2014 et 2016, l'inscription de la Chaîne des Puys et de la faille de Limagne au patrimoine mondial de l'Unesco vient aujourd'hui d'être actée. Une reconnaissance pour ce chapelet de volcans «endormis» depuis au moins 8.000 ans en Auvergne. Outre ses 80 volcans âgés de 8.400 à 95.000 ans, dont l'emblématique puy de Dôme, le classement comprend également la faille de Limagne, vieille de 35 millions d'années et profonde jusqu'à 3.000 mètres. Ce sont désormais 44 sites français qui figurent au patrimoine mondial de l'Unesco».**

Actuellement, le patrimoine géologique de l'Auvergne, bien mis en valeur, et portant le label «Patrimoine de l'UNESCO» draine chaque année, plusieurs milliers de touristes et contribue d'une manière substantielle au développement durable de l'ensemble de la région.

III.3. Proposition d'un plan d'action

Dans le but de contribuer à la valorisation et la promotion des sites volcanique du Rif oriental, deuxième axe du projet V2GV, et en s'inspirant du modèle de nos partenaires français, un plan d'action approprié est proposé. Ce plan d'action stipule une démarche à deux niveaux : 1/ Analyse du marché potentiel et ; 2/ Mise en valeur du géopatrimoine volcanique, avec la réalisation d'un certain nombre de tâches à chaque niveau.

1/ Analyse du marché potentiel

- *Recensement des circuits des Tours Opérateurs*
- *Type de clientèles traversant ces territoires et leurs attentes potentielles*
- *Quantification des visiteurs traversant et ceux découvrant sur place*
- *Capacités de restauration et d'hébergement*
- *Sites déjà aménagés et pour quelles thématiques*
- *Nombres nécessaire de guides ou animateurs locaux*

2/ Mise en valeur du géopatrimoine volcanique

- *Développement par les scientifiques des connaissances sur la région*
- *Sélection des meilleurs sites d'intérêt scientifique et culturel*
 - + *Sites aux formes préservés et dont les objets géologiques sont didactiques*
 - + *Sites sécurisés et d'accès facile depuis la route*
- *Elaboration d'outils d'aide à la compréhension du géosite*
 - + *Création de fiches descriptives des géosites et des panneaux explicatifs*
 - + *Traçage des circuits et balisage des voies d'accès aux géosites.*
- *Formation des prestataires géotouristiques.*
- *Sensibilisation de la population, des associations et des élus locaux*

A travers ce plan d'action et avec la fédération des efforts de l'ensemble des forces vives de la région (chercheurs, population, associations, autorités, élus locaux, etc.), le patrimoine géologique du Rif oriental, d'une exceptionnelle richesse scientifique et culturelle et qui se trouve en très bon état de conservation, pourrait contribuer essentiellement au développement durable de l'ensemble de la partie nord oriental du Maroc.

IV. RESULTATS DE LA RECHERCHE MENEES SUR LA REGION DE NADOR

IV.1. Présentation

Le projet de recherche V2GV implique dans sa structure de base une équipe de recherche pluridisciplinaire qui reste ouverte sur des jeunes étudiants du niveau Master et Doctorat. Aussi le montage financier du projet prévoyait-il des bourses d'encouragement pour ces étudiants. En effet, l'intégration des jeunes apporte une dynamique de groupe et permet en même temps de renforcer les relations que la structure universitaire et les unités industrielles du secteur privé. En outre, la formation des jeunes par la recherche constitue un objectif fondamental du projet, car, en fin de compte, ce sont les jeunes doctorants de l'équipe qui vont assurer la pérennité des actions de ce projet. Ainsi, plusieurs axes de recherche en rapport avec la thématique du projet ont été définis comme sujets de recherche pour les doctorants et étudiants de Master de l'équipe.

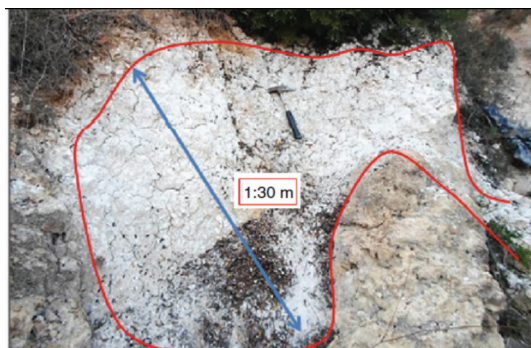


Figure 7 : Conditions d’affleurement sur le terrain de l’halloysite de Maazza

Dans le cadre de cette étude, un travail de terrain et de laboratoire détaillé été menée sur l’halloysite de Maazza afin d’actualiser et compléter l’état de connaissance sur ses modes de gisement et ses réserves, puis sur ses propriétés chimico-minéralogiques, et enfin de réaliser des essais de laboratoire sur la possibilité de son utilisation en industrie céramique.

Une formulation de mélange (M6) à proportions bien définies d’halloysite (50%), marne (25%), diatomite (5%) et sable siliceux (20%) a permis d’aboutir à la synthèse vers 1500°C d’une céramique de bonne qualité technologique (Porosité = 21,75% ; Masse volumique = 1,94 g / cm³ ; Retrait thermique = 2,7% ; Résistance à la flexion = 29,05 MPa). L’ajout à la formulation M6 de 25% de rejet de briques réfractaires alumineuses (Rec-Al), a permis d’améliorer davantage la performance, notamment mécaniques (Rf = 45,08 MPa) de la céramique à base d’halloysite de Maazza (**Figures 8 et 9**).



Figure 8 : Aspect de la céramique réfractaire obtenue par cuisson à 1500 du Mélange M6

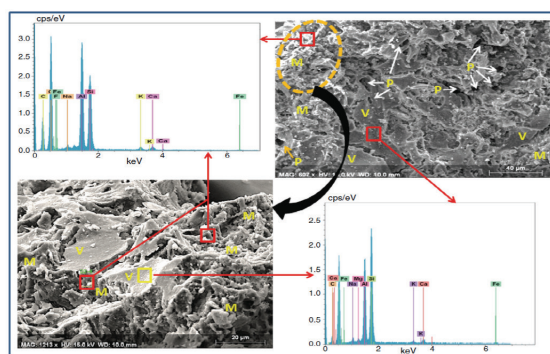


Figure 9 : Images MEB et spectres EDS de la brique M6 (P: Porosité, V: Phase vitreuse, M: Mullite)

En guise de conclusion, une formulation à base d’halloysite de Nador et d’autres adjuvants locaux (marne, diatomite et sable siliceux) a permis de synthétiser à haute température (1300 à 1500 °C) une céramique de bonne qualité technologique. La qualité de cette céramique a pu être améliorée avec l’ajout de rejets industriels riches en alumine. Ainsi, les résultats de cette étude contribuent à la promotion des géomatériaux d’origine volcanique de la région du Nador et permettent d’apporter une solution partielle au problème écologique, lié au stockage de certains rejets industriels.

IV.3. Valorisation de l'Halloysite dans le domaine de la céramique dentaire

(Contenu du Poster présenté par Ichraq Bouhouch et al. – Master – FMDR, **Annexe I-2**)

Titre du Poster : «Synthèse et caractérisation de céramiques à base d'halloysite de Nador (Maroc) pour application en dentaire»

Auteurs : Bouhouche I., El haddar A., Aziz A., Manni A. et El Amrani El Hassani I.

Référence : Mémoire de fin d'étude de Master soutenu à la Faculté de Médecine Dentaire - Rabat le 27 septembre 2019, 89 p. (Encadrant : Prof. El Amrani El Hassani I.)

Le sujet de recherche du mémoire de fin d'étude de Master, confié à Mlle Ichraq Bouhouche (étudiante à la Faculté de Médecine Dentaire de Rabat) consiste à tester la possibilité d'utilisation de l'argile kaolinique d'Oulmès et de l'halloysite de Nador pour la synthèse de céramiques dentaires.

Après la phase de caractérisation chimico-minéralogique et structurale détaillée de l'halloysite de Nador (**Figures 10 et 11**), un travail expérimental de synthèse de céramique a été réalisé au Laboratoire de Géomatériaux et Géoenvironnement de l'Institut scientifique (GeoM&E).

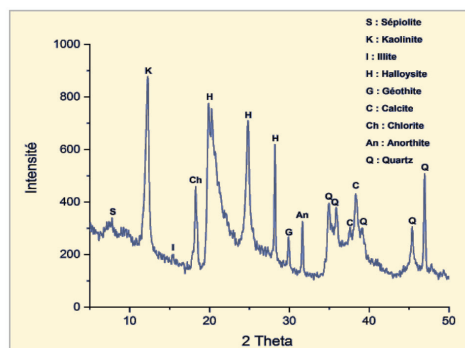


Figure 10 : Diffractogramme des rayons X de l'halloysite de Maazza (Région de Nador)

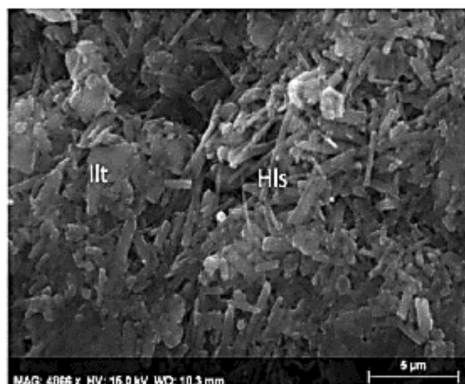


Figure 11 : Image au MEB d'un échantillon d'halloysite de Nador

Les résultats préliminaires de cette étude montrent que l'halloysite correspond à un géomatériau potentiellement intéressant pour la préparation d'une bonne céramique à condition de lui ajouter des adjuvants appropriés. La formulation M8 (80% Halloysite + 10% Sable siliceux + 5% Feldspath potassique + 5% Alumine de recyclage) s'avère optimale pour la synthèse d'une céramique performante (**Figures 12 à 15**) de couleur blanche et d'une bonne qualité technologique (Densité = 1,75, Porosité = 22%, Absorption d'eau = 18%, Résistance à la compression = 31 MPa et Vitesse de propagation des ondes P = 1.813 m/s).



Figure 12 : Aspect macroscopique des céramiques préparées à base d’Halloysite

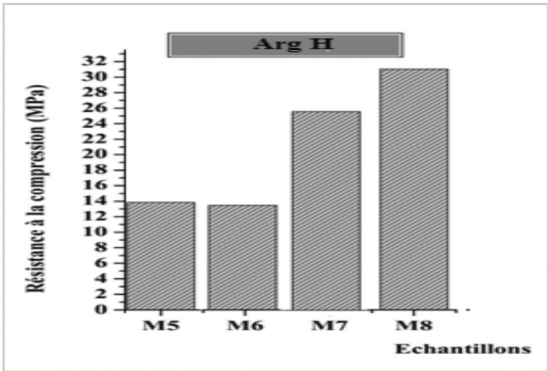


Figure 13 : Résistance à la compression Vs formulations (M5 à M8)

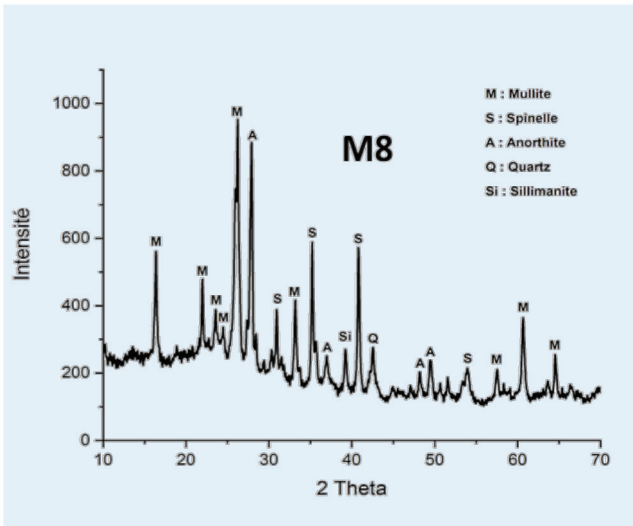


Figure 14 : Diffractogramme de RX de la céramique de formulation M8

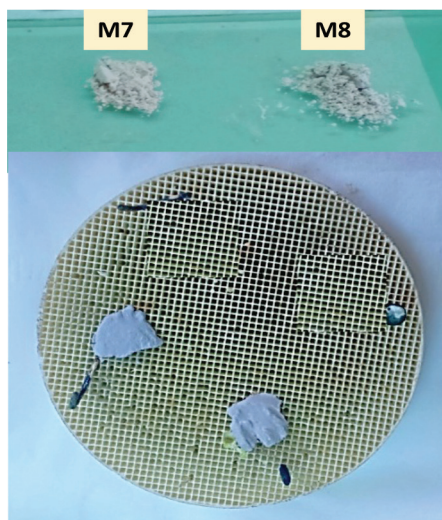


Figure 15 : Test au niveau du laboratoire dentaire avant et après caisson

En guise de conclusion, le travail mené sur l'halloysite de Nador s'avère prometteur. Toutefois, des recherches complémentaires restent encore nécessaires, dans le cadre d'une thèse de doctorat, pour arriver à des formulations optimales de céramiques dentaires à base de cette argile kaolinique rifaine.

IV.4. Valorisation de la bentonite dans le domaine de la filtration

(Contenu du Poster présenté par Hanae Ouaddari et al. Doctorante – FSTM, **Annexe I-3**)

Titre du Poster : «Valorisation de la bentonite de Nador : technologies d'adsorption et de membrane dans le traitement des eaux usées et de teinture synthétique»

Auteurs : Ouaddari H., Karim A., Achiou B., Aaddane A., Bennazha J., El Amrani El Hassani I., Ouammou M. et Albizane A.

Référence : Article publié dans la revue : Journal of Environmental Chemical Engineering 7 (2019) 103-268.

Le problème de la pollution des eaux usées s'aggrave avec l'accélération du rythme de l'industrialisation. Certaines activités de fabrication du textile, papier, plastique, etc. génèrent une quantité considérable d'eaux usées, notamment colorées (Salleh et al. 2011, Achiou et al. 2016, Elomari et al. 2017, Alami Younsi et al. 2018, Benkhaya et al. 2019). Aussi la présente étude s'inscrit dans le sillage des travaux menés par de nombreuses équipes de recherche à travers le monde pour trouver des solutions de la décoloration des eaux usées. Elle vise principalement à mettre au point un processus combinant les traitements physico-chimiques et les technologies membranaires pour éliminer les solutions de teintures synthétiques par ultrafiltration sur des membranes céramiques. La recherche de matériaux de synthèse des céramiques membranaires à faible coût reste également un objectif prioritaire.

Aussi le choix du matériau d'étude a-t-il porté sur la bentonite de Nador pour tester 1/ sa capacité, à l'état brute, d'adsorber le colorant cationique du bleu de méthylène et 2/ sa possibilité d'utilisation, après purification, pour la synthèse de membrane d'ultrafiltration à faible coût.

La première étape consistait à bien caractériser la bentonite de Nador (**Figure 16**) sur le plan minéralogique (**Figure 17**).



Figure 16 : Aspect macroscopique de la bentonite brute de Nador

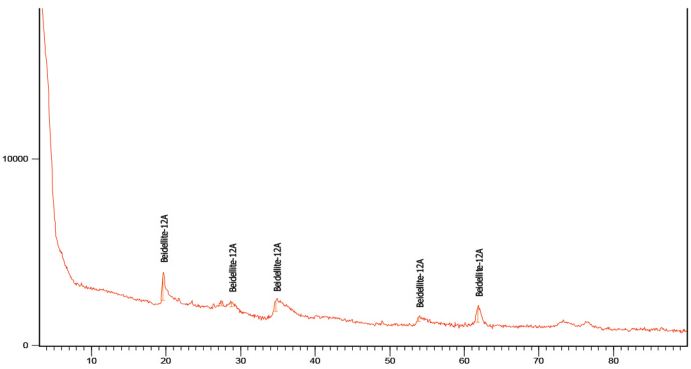


Figure 17 : Diffractogramme de RX de la bentonite de Nador (smectite à beidellite)

Du point de vue chimique, la bentonite de Nador affiche une composition essentiellement silico-alumineuse, relativement plus sodique que potassique (**Tableau II**).

Tableau II : Composition chimique (par FX) en éléments majeurs de la bentonite de Nador.

Poids d'Oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PF	Total
(%)	56,6	24,1	2,23	2,93	1,01	3,12	0,47	9,00	99,46

Les principaux résultats de l'adsorption du bleu de méthylène (BM) sur la bentonite brute de Nador sont exprimés sur les graphes de la **figure 18**.

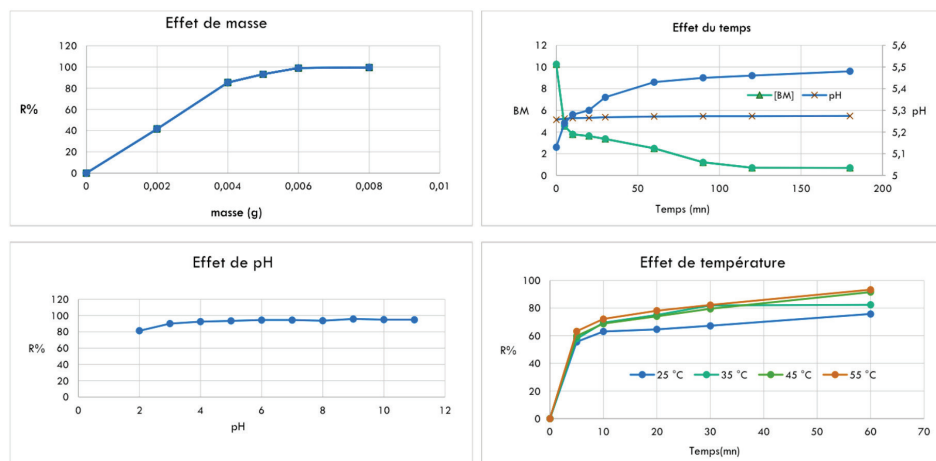


Figure 18 : Variation du taux de rétention du BM par la bentonite en fonction de la masse, du pH, du temps et de la température.

A noter essentiellement l'effet positif de la masse (rapport solide/liquide) et de la température sur la rétention du BM.

Concernant la filtration, des céramiques ont été synthétisées à partir de la bentonite de Nador purifiée et selon un protocole et un cycle de cuisson bien précis (**Figure 19**).

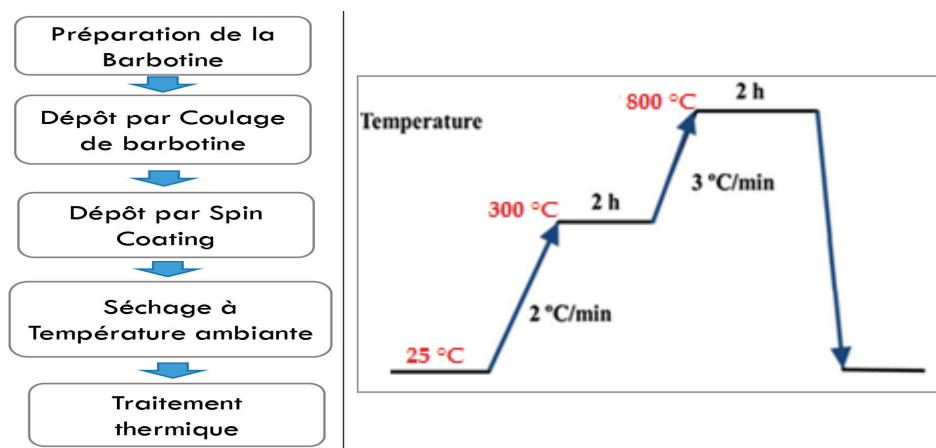
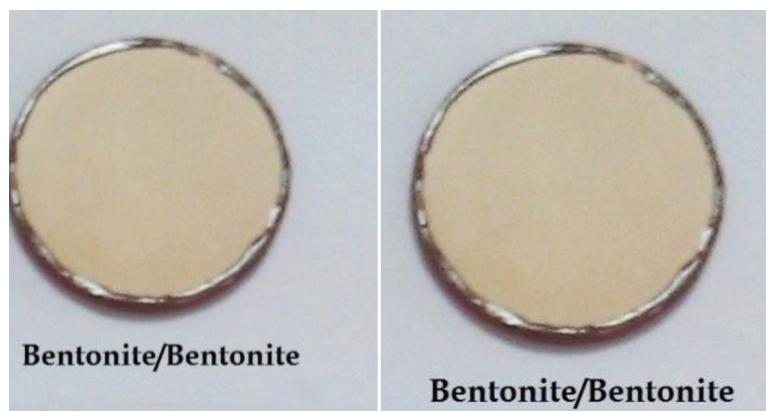
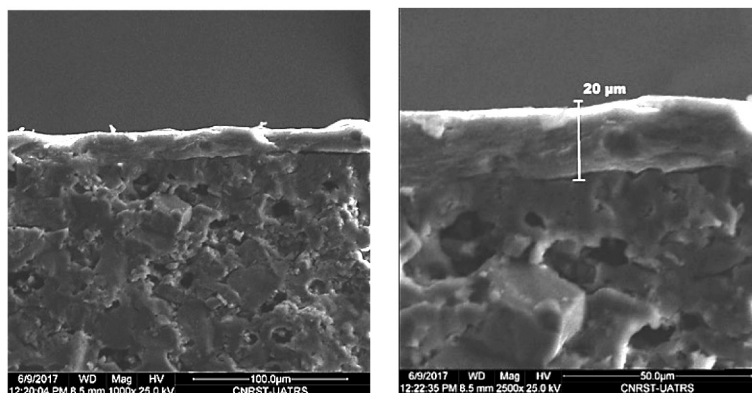


Figure 19 : Protocole et cycle de cuisson des membranes de céramiques synthétisées

Les membres céramiques synthétisées ont été observées au Microscope Electronique à Balayage (MEB) pour analyser leur structure à l'échelle micrométrique (**Figure 20**).



Vue macroscopique



Observation au MEB

Figure 20 : Supports de filtration céramiques synthétisés à partir de la bentonite de Nador

L'observation au MEB montre que la couche supérieure de microfiltration est légèrement incrustée dans le support et présente une épaisseur régulière d'environ 20 μm . Les dimensions de ses pores sont de l'ordre du nanomètre.

La membrane d'ultrafiltration est testée par la filtration tangentielle de Red 80 concentration de 20 ppm. Le taux de rétention du colorant de l'ordre de 98.44% et ce, grâce à la couche d'ultrafiltration à structure dense et à porosité nanométrique (**Figure 21**).



Figure 21 : Résultat du test d'ultrafiltration sur membrane bentonite/bentonite

En guise de conclusion, la bentonite brute de Nador s'avère une excellente biomasse à faible coût pour éliminer, par adsorption, les molécules organiques des solutions aqueuses. Purifiée, cette même bentonite serait appropriée pour la synthèse de céramique servant à la fois de support de filtration et de couches d'ultrafiltration. Cette dernière à structure dense et à porosité nanométrique permet une rétention du colorant Red 80 qui dépasse les 90%. Ainsi les membres à base de la bentonite de Nador, proposées dans cette étude, pourront être utilisées avec succès pour le traitement des eaux usées.

IV.5. Valorisation de la perlite expansée dans le domaine de la céramique légère

(Contenu du Poster du professeur Chawki Sadik et al. FSC-Benmsik, **Annexe I-4**)

Titre du Poster : «Effects of expanded perlite addition in mullite matrix on the thermal characteristics of ceramics»

Auteurs : Sadik C., El Amrani El Hassani I. & Albizane A.

Référence : Travaux de recherche de thèse de doctorat de C. Sadik, soutenue à la Faculté des Sciences et Technique de Mohammedia en 2014 et publiée dans la revue : Journal of Asian Ceramic Societies (2014 et 2016).

Les techniques de production de la céramique ne cessent de se développer et cherchent toujours à mettre sur le marché des produits innovants, notamment en matière de légèreté et de confort thermique (Sadik et al., 2014, 2016, Manni, 2017) Aussi notre équipe de recherche V2GV s'attèle-elle à cette tendance vers l'amélioration de la qualité de la céramique en cherchant d'incorporer au mélange argileux classique des ingrédients non conventionnels, tels que la perlite expansée, l'andalousite, des rejets industriels, etc.

L'objectif de cette étude est de synthétiser une céramique poreuse, légère et qui présente en même temps une bonne performance mécanique et thermique. La technique classique de production des céramiques légères se base sur l'augmentation de sa porosité par incorporant au mélange argileux de teneurs élevés en carbonates ou tout autres matériaux (amidon, sciures de bois, etc.) susceptibles de se dégrader à haute température. Sauf que cette approche produit une céramique de faible résistance mécanique et souvent plein

de défauts (fissures et déformations). C'est ainsi que nous avons cherché à créer de la porosité dans notre céramique en incorporant dans le mélange argileux de la perlite expansée.

L'argile de base utilisée pour la synthèse de notre céramique correspond à une argile kaolinique provenant d'une petite carrière de la région d'Oulmès (**Figure 22 A**).

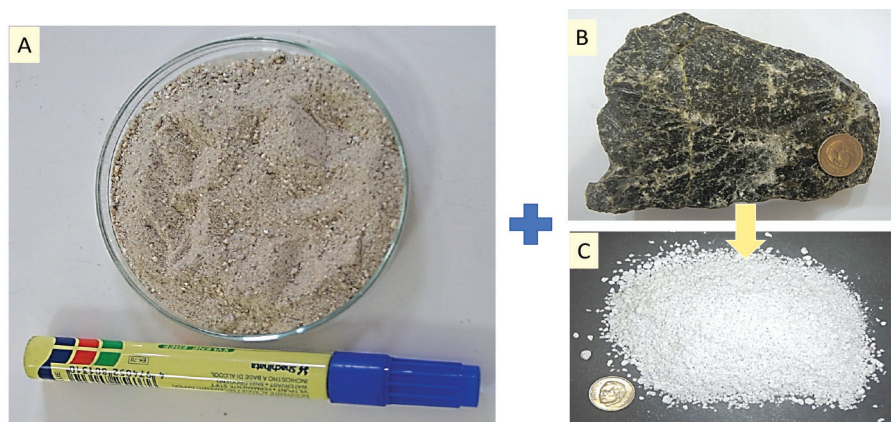


Figure 22 : Géomatériaux naturels utilisés dans la préparation des céramiques légères.
A : Argile kaolinique d'Oulmès ; B : Perlite brute de Nador C : Perlite expansée

Il s'agit d'un produit d'altération météorique de la bordure du pluton granitique alcalin d'Oulmès appartenant au socle paléozoïque du Maroc central (Hilali et Jeannette 1981a, El Amrani et Sadik 2016). Il se présente sous forme de matériau meuble, de teinte blanc-grisâtre à jaunâtre et se compose d'une poudre argileuse (kaolin résultant de l'hydrolyse du feldspaths potassique) parsemée de grains millimétriques de quartz et de paillettes de micas (biotite et muscovite). L'argile d'Oulmès est utilisé après broyage et tamisage très fin.

La perlite est une roche volcanique à texture vitreuse de composition rhyolitique hydratée (lave riche silice et eau). Elle se présente sous forme de coulées assez épaisses, de teinte grise à vert-foncé (**Figure 22B**). Localement, la roche montre une forte fracturation ou un débit en boules ou petites sphères rappelant des perles, d'où l'appellation « perlite ». Broyée en poudre grossière et portée à haute température (900 à 1000°C), la poudre de perlite subit une expansion pour donner un produit blanc de très faible masse volumique (**Figure 22C**). D'importants gisements de perlite existent dans la région de Nador (Jbel Tidiennite) et sont étroitement liés à l'activité volcanique miocène et plio-quaternaire du Rif oriental (Bouhaoui et Hilali 1981, Hilali et Jeannette 1981b, El Amrani et *al.* 2003, El Bekkali et *al.* 1998, 2003).

Les essais de mélanges impliquant l'ajout à l'argile kaolinique d'Oulmès, de divers ingrédients (sable siliceux, andalousite, marne, etc.) et de la perlite expansée à taux variables ont permis d'aboutir à une formulation (F6) de briquettes céramiques de qualité technologique optimale et pratiquement sans défauts (**Figure 23 A**).

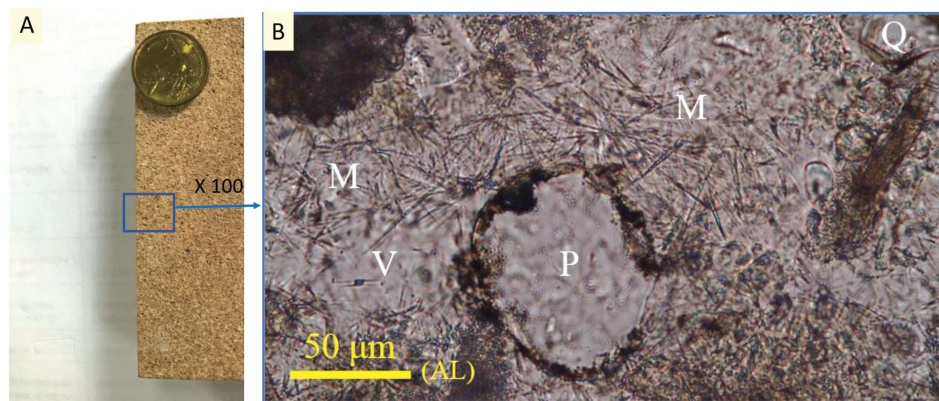


Figure 22 : Briquette de céramique synthétisée à partir d'e la formulation F6.

A- Aspect macroscopique de la briquette de dimension 100 x 50 x 10 mm.

**B- Observation au microscope polarisant montrant un fond riche en aiguilles de mullite.
(M : mullite, V : verre ; Q : quartz ; P : pore)**

Les résultats de la caractérisation pétrophysique, effectués sur les briquettes synthétisées avec des teneurs variables d perlite expansée (0 à 30%) sont présentés sur le **tableau III**. Ce dernier montre que la briquette à 30% d'ajout de perlite expansée, traitée à très haute température (1600°C) affiche une performance technologique optimale avec une faible densité ($M_v = 1,55 \text{ g/cm}^3$), une conductivité thermique réduite ($C_t = 0,87 \text{ W/mK}$) et une bonne résistance à la flexion ($R_f = 1,69 \text{ MPa}$).

Tableau III : Paramètres physico-mécaniques des briquettes de céramiques synthétisées avec des taux variables d'ajout de perlite expansée

Paramètres physico-mécaniques	Taux volumiques de perlite expansée ajoutée au mélange			
	0%	10%	20%	30%
Conductivité thermique (W/mK)	1,39	1,21	1,09	0,87
Masse volumique (g/cm^3) - ASTM C373-88)	2.15	1.95	1.72	1.55
Porosité apparente (%) - ASTM C373-88	9.8	51.5	57.5	65.8
Absorption d'eau (%) - ASTM C373-88	6.2	28.7	31.8	35.1
Retrait à la cuisson (%) ASTM C326-03	5.5	5.6	5.8	6.1
Resistance à la flexion (MPa)	55.41	44.8	35.6	29.7
Dureté K_{IC} ($\text{MPa m}^{1/2}$)	1.82	1.81	1.75	1.69

A bien noter que, lors de la cuisson à haute température, la perlite expansée subit une fusion partielle qui permet la création d'une certaine porosité dont le volume est proportionnel au taux de la perlite ajoutée au mélange argileux. Par ailleurs, la fusion de la perlite (matériaux siliceux) contribue au développement de la porosité avec le dépôt d'une fine couche de verre sur les parois des pores (**Figure 23**). La porosité ainsi créée est donc en grande partie fermée, ce qui donne une céramique d'une assez bonne résistance mécanique d'une haute capacité d'isolation thermique et phonique.

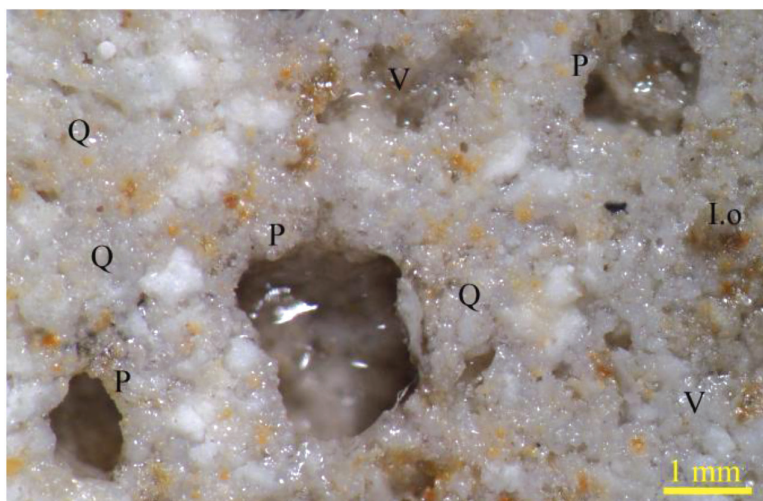


Figure 23 : Observation à la binoculaire optique montrant une porosité à paroi tapissée de verre.
(Q : quartz ; V : verre ; Lo : oxyde de fer ; P : pore)

En guise de conclusion, les résultats de cette étude contribuent au développement des sciences et techniques de synthèse des céramiques innovantes, légères et isolantes. A l'échelle nationale, ce travail contribuera à la promotion des géomatériaux marocains (argile, andalousite, perlite, sable siliceux, etc.) bien inventoriés et étudiés par les géologues depuis très longtemps, mais qui restent encore très peu connus par les investisseurs et les utilisateurs de matériaux minéraux. L'exploitation des carrières de ces géomatériaux marocains pourront contribuer d'une part au développement durable des régions où ils se trouvent et d'autre part économiser la devise utilisée pour l'importation de matériaux équivalents.

IV.6. Valorisation de la perlite dans le domaine des géopolymères

(Contenu du Poster de Aziz et al. – Doctorant ISR, **Annexe I-5**)

Titre du Poster : «Synthèse de nouveaux ciments géopolymères à base de perlite et d'argile kaolinique naturelles d'origine marocaine»

Auteurs : Aziz A., El Amrani El Hassani I., El Khadiri A., El Bouari A., Sadik C. et El Haddar A.

Référence : Doctorat et publications en cours, (Co-encadrement : Profs El Amrani El Hassani I. et El Bouari A.)

Rappelant tout d'abord que les géopolymères sont des matériaux de synthèse élaborés à partir de matière minérale naturelle de nature aluminosilicatée. Le processus de géopolymérisation consiste en une activation chimique à température ambiante ou légèrement élevée des oxydes de silice et d'alumine amorphes en milieu basique (sodique ou potassique) pour former des édifices tridimensionnels, cohérents et chimiquement et structurellement comparables à ceux des roches naturelles (Davidovits, 1993, Davidovits et al. 1999).

Les géomatériaux présentent des propriétés très intéressantes, notamment une prise rapide à température ambiante, une bonne résistance mécanique, un faible retrait, une grande résistance aux acides avec une très faible émission de CO_2 au cours de leur synthèse. Par leurs avantages, les géopolymères constituent des matériaux prometteurs qui pourront concurrencer les matériaux de construction classiques (briques en terre cuite et en ciment portland) dont la fabrication consomme beaucoup d'énergie et dégage de grandes quantités de gaz à effet de serre (Davidovic 1999, Aziz et al. 2019).

La présente étude cherche à synthétiser des géopolymères à base de géomatériaux marocains, notamment la perlite naturelle de Nador (PN) et l'argile kaolinique calcinée d'Oulmès (AKC). Les deux principaux objectifs fixés sont :

- 1- **la mise au point d'un ciment géopolymérique**, ce qui pourrait contribuer à la réduction de l'utilisation du ciment portland (intérêt économique) ;
- 2- **la valoriser et la promouvoir des géomatériaux marocains**, ce qui pourrait contribuer au développement durable régional (intérêt socio-économique).

La première phase de cette recherche consistait à faire une caractérisation chimico-minéralogique approfondie des deux géomatériaux de base de notre étude : la perlite naturelle de Nador (PN) et l'argile kaolinique calcinée d'Oulmès (AKC).

Les analyses chimiques en éléments majeurs révèlent la nature essentiellement silico-alumineuse des deux géomatériaux (tableau IV). La perlite reste cependant nettement plus calcique et potassique que l'argile kaolinique.

Tableau IV : Analyses chimiques (FX) en éléments majeurs de la perlite de Nador (PN) et Argile Kaolinique d'Oulmès (AK)

Matériaux	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	L.O.I	TOTAL
PN	73,46	13,15	1,53	2,72	3,02	0,05	0,31	0,02	0,03	0,11	5,31	99,71
AK	55,14	28,52	1,37	1,75	1,88	0,17	0,25	0,06	0,02	0,28	10,36	99,80

Les techniques de caractérisation minéralogiques (DRX, IR, ATD-ATG) rend compte du degré de cristallisation de la perlite et de l'argile kaolinique, avant et après sa calcination (Figures 24 à 28).

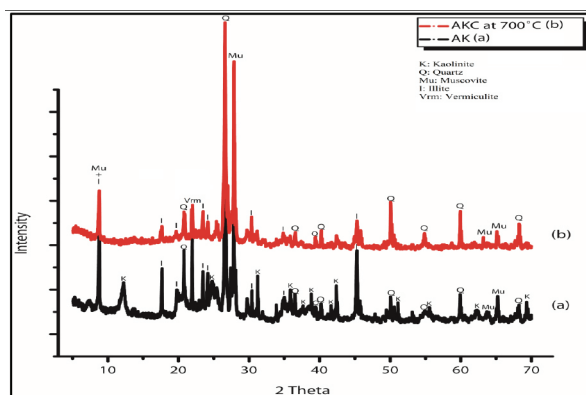


Figure 24 : Diffractogramme de RX de l'argile kaolinique brute et calcinée

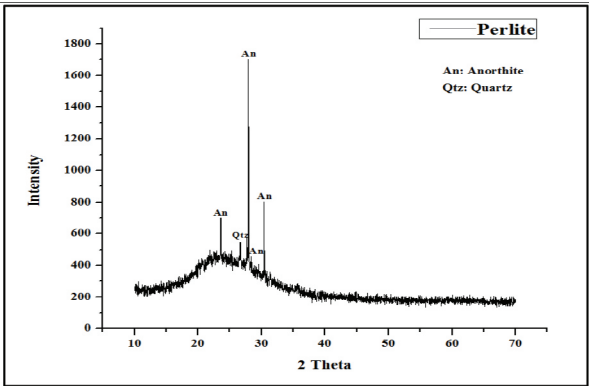


Figure 25 : Diffractogramme de RX de de la perlite naturelle de Nador

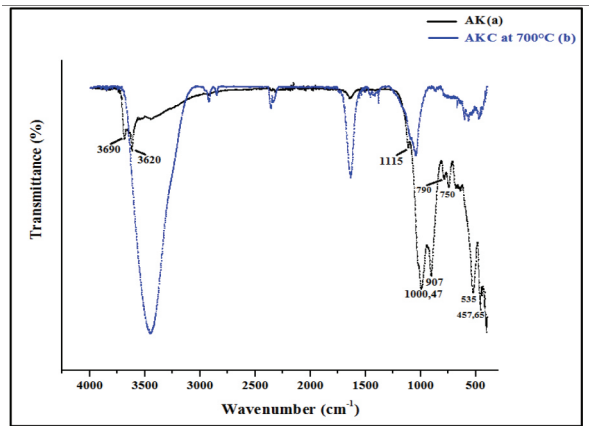


Figure 26 : Spectre IR de AK naturelle et calcinée

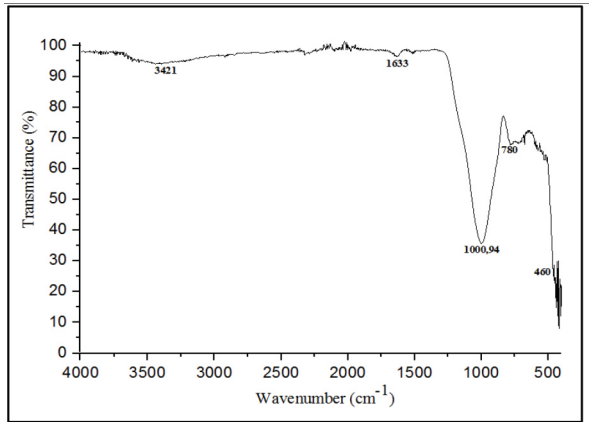


Figure 27 : Spectre IR de de la perlite naturelle de Nador

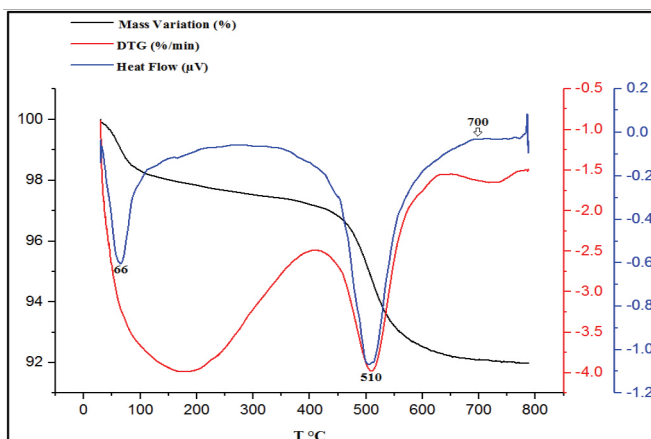


Figure 28 : Courbes ATD-TG de l'AK d'Oulmès

Ces connaissances de base de la chimie et de la minéralogie de la PN et de l'AKC est étant fondamentales pour comprendre et maîtriser le processus de la géopolymérisation. En effet, ce processus étant très sensible à la nature cristalochimique de la matière silico-alumineuse et de son rapport Si/Al. Sachant également que la géopolymérisation dépend d'une manière étroite de la quantité et de la concentration molaire de la solution alcaline activatrice.

Une fois la matière première (perlite et argile kaolinique) préparée (calcination, broyage, tamisage) et les solutions activatrices dosées, plusieurs essais de mélanges à différentes proportions ont été réalisés au Laboratoire des Géomatériaux et Géoenvironnement (GeoM&E) de l'Institut Scientifique. Les mélanges coulés dans des tubes cylindriques en PVC de 20 mm de diamètre sont démoulés après géopolymérisation puis placés dans une étuve pour séchage (Figure 29).

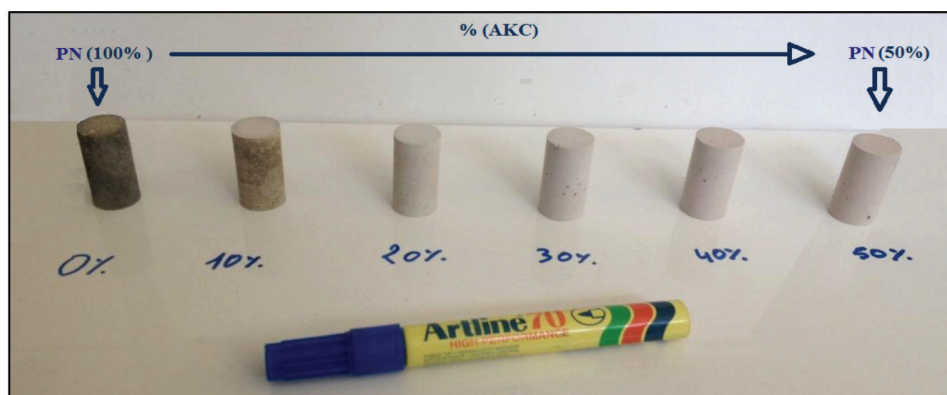


Figure 29 : Série d'éprouvettes de géopolymères synthétisées à partir de la perlite de Nador et de l'ajout d'argile kaolinique calciné d'Oulmès (0 à 50 %)

Après séchage complet (7 jours à l'étuve), les éprouvettes de géopolymères sont examinés à l'échelle macroscopique et microscopique pour bien voir leur structure interne et comprendre les types d'interactions et de transformations minéralogiques intervenues lors de la géopolymérisation (**Figure 30**).

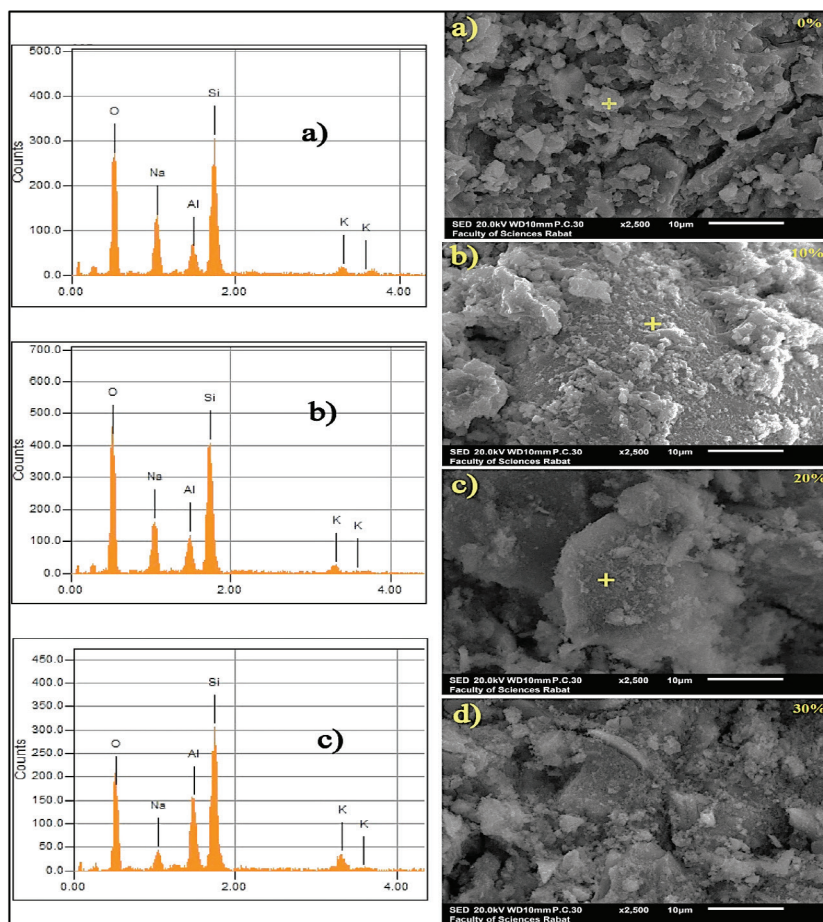


Figure 30 : Observations aux MEB-EDX de géopolymères synthétisés a base PN et 0% (a), 10% (b), 15% (c) et 30% (d) de AKC

Par la suite, les différentes éprouvettes ont été soumises à des tests physico-mécaniques pour définir leurs paramètres technologiques (**Figures 31 et 32**).

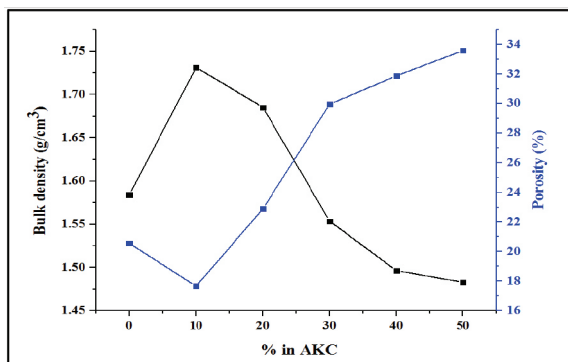


Figure 31 : Evolution de la masse volumique et de la porosité des géopolymères en fonction du taux d'ajout de AKC

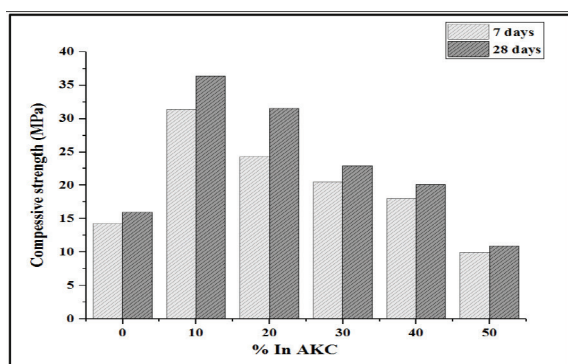


Figure 32 : Evolution de la résistance à la compression des géopolymères après 7 et 28 jours en fonction du taux d'ajout de AKC

Ainsi, cette étude a permis de montrer clairement qu'il est possible de synthétiser des géopolymères à base de perlite et d'argiles kaoliniques d'origine marocaine. Les géopolymères synthétisés à base de 90% de PN + 10% d'AKC affichent une bonne performance physico-mécanique (Masse volumique = 1732 kg/cm³ ; Résistance à la compression = 36 MPa) et répondent aux normes des matériaux de construction porteurs. Les géopolymères préparés à partir 50% de PN et 50% d'AKC, présentent une plus faible densité et une résistance mécanique moyenne (respectivement 1483 kg/cm³ et 10 MPa) et sont plutôt plus appropriés pour une utilisation comme matériaux d'isolation thermique et phonique.

En guise de conclusion, il importe de préciser que l'utilisation de la perlite naturelle de Nador avec ajout d'argile kaolinique calcinée, selon un protocole et un dosage précis, a permis d'obtenir des géopolymères répondant aux normes marocaines des matériaux de construction. Ces géopolymères pourront constituer de bons candidats pour se substituer aux matériaux de construction conventionnels (briques rouges en terre cuite et briques grises en ciment portland) dont la fabrication est énergivore et polluante. Ainsi, les résultats de cette étude encouragent l'investissement dans l'exploitation des carrières de perlites et des argiles kaoliniques, ce qui pourrait contribuer, par conséquent, au développement durable des régions contenant ces géomatériaux.

IV.7. Valorisation des skarns dans le domaine de la construction

(Contenu du Poster de Somaya Arrazouki et al. Master ISR, **Annexe I-6**)

Titre du Poster : «Les skarns de l'environnement de la mine de fer d'Ouixane (Rif oriental, Maroc) : caractérisation pétro-physique»

Auteurs : Arrazouki S., Hilla R., El Amrani El Hassani I. et El Haddar A.

Référence : Mémoire de fin d'étude de S. Arrazouki, soutenu à la Faculté des Sciences de Rabat le 13 juillet 2015, 77 p. (Encadrant : Prof. El Amrani El Hassani I.)

D'importants gisements de fer se trouvent associés au magmatisme plio-quaternaire de la région de Nador (Ouixane, Axara-Imnassen et Bokoya-Setolazar). La genèse de ces gisements serait directement liée à la circulation des fluides hydrothermaux issus d'injections magmatiques granodioritiques affleurant dans la région (Jeannette 1956, El Bakkali et *al.* 1998, El Amrani et *al.* 2003 Boabdellah et *al.* 2013). L'encaissant Jurassique-Crétacé inférieur de ces granodiorites, de nature essentiellement calcaire, a été affecté par l'action des fluides hydrothermaux et s'est transformé en un éventail de faciès métasomatiques : marbres, cipolins, skarns à reliques calcaires, skarns rubanées, et cornéennes.

Vue l'intérêt scientifique porté, depuis plusieurs décennies aux conditions de genèse des karns et les minéralisations qui s'y trouvent associées (El Amrani 1984), un sujet de mémoire de fin d'étude de Master a été confié en 2014 à Melle Somaya Arrazouki. Outre l'intérêt scientifique, le sujet proposé vise à mener une étude technologique sur les skarns d'Ouixane en vue de les promouvoir dans le domaine de la construction.

Dans le cadre de cette étude, un travail bibliographique et des missions de terrain ont permis de bien cerner le contexte géologique de formation des skarns ainsi que leur distribution spatiale en bandes parallèles au contact avec l'intrusion granodioritique (**Figure 33 et 34**).

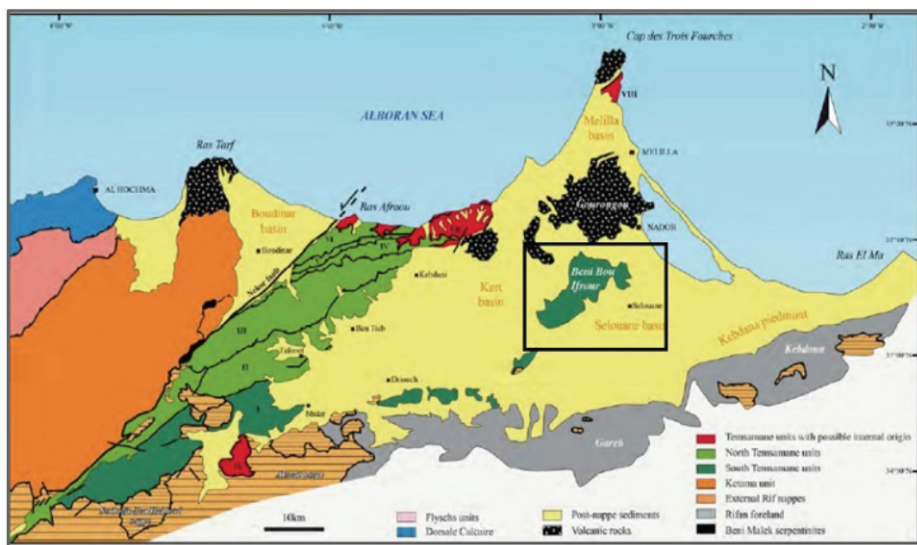


Figure 33 : Carte géologique du Rif Nord oriental (Lebret, 2014)

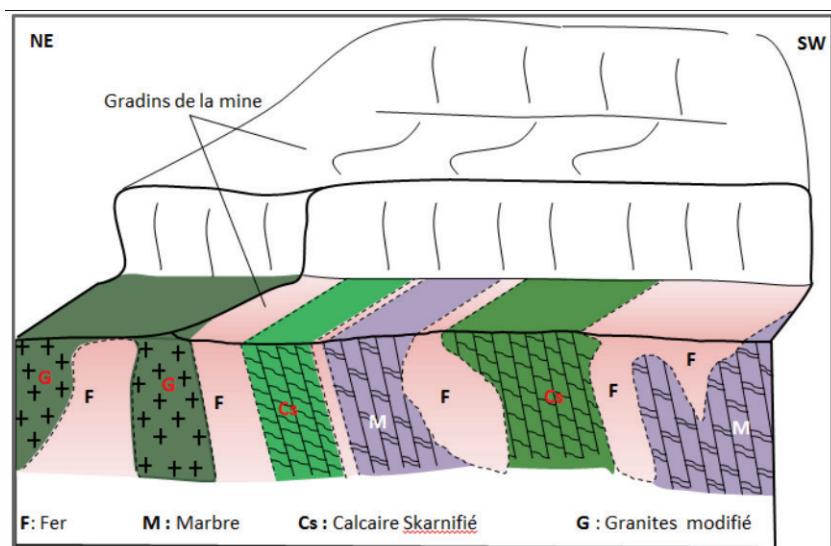


Figure 34 : Coupe de l'encaissant du granite au niveau de la mine d'Ouixane

L'étude pétrographique sur lames minces a pu apporter des éclaircissements sur les transformations métasomatiques intervenues entre les fluides hydrothermaux provenant de la granodiorite et la roche calcaire encaissante et qui ont conduit à la recristallisation des silicates calciques (pyroxènes, amphiboles, grenat, etc.). Cette étude pétrographique a permis ainsi de distinguer un ensemble de faciès de transformation métamorphique et métasomatique de la roche encaissante : marbres, cipolins, skarns rubanés et cornéennes.

Concernant le deuxième volet de cette étude, six faciès de roches skarnifiées de l'environnement de la mine d'Ouixane, à structure massive et de couleurs évoluant du gris-beige au vert foncé ont été taillées en sections polies (Figure 35) et en éprouvettes de dimensions (30 x 30 x 30 et 40 x 40 x 150 mm³) pour la réalisation des tests technologiques (Figure 36).

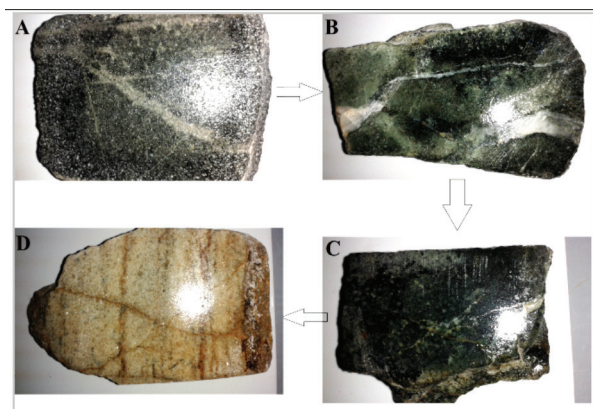


Figure 35 : Sections polies des faciès skarnifiés de la région d'Ouixane

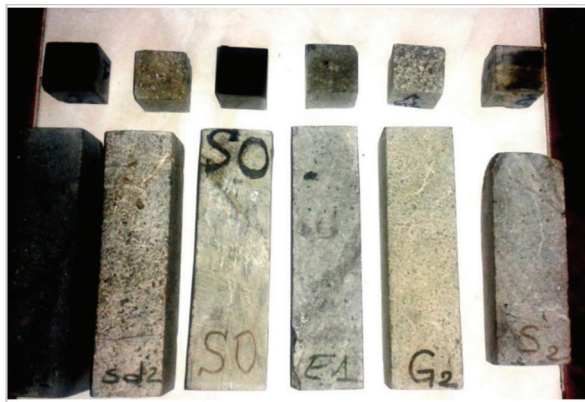


Figure 36 : Epreuves de roches skarnifiées massives de la région d'Ouixane

Différents tests physico-mécaniques ont été réalisés sur les épreuves des roches massives provenant de l'environnement de la mine de fer d'Ouixane dans le Laboratoire des Géomatériaux et Géoenvironnement (GeoM&E) de l'Institut Scientifique (**Figures 37 et 38**).



Figure 37 : Mesure de la vitesse des ondes ultrasoniques (P) des roches d'Ouixane à l'aide du Tic0 du Laboratoire GeoM&E

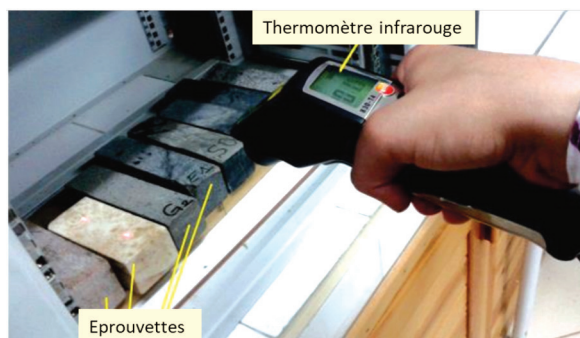


Figure 38 : Mesure du temps de restitution de la température des skars d'Ouixane à l'aide du thermomètre IR du Laboratoire GeoM&E

Les résultats des essais physico-mécaniques et thermiques menés sur les roches skarnifiées de la région d'Ouixane suivant la norme ASTM et en prenant comme matériaux de référence le marbre blanc de Carrare (Italie) sont résumés ci-dessous :

- 1/ Les différentes éprouvettes de skarns montrent des densités moyennes (2,7) à l'exception de l'exoskarn (Cm.vs) qui affiche une densité relativement plus faible (2,5).
- 2/ Les skarns d'Ouixane sont à porosité 2 fois supérieure à celle du marbre de Carrare (0,8 contre 0,4 %), avec un taux d'absorption d'eau plus élevé (0,3% contre 0,1%).
- 3/ Les endoskarns sont nettement plus durs que les exoskarns et le marbre de Carrare en raison de leur nature plus siliceuse que carbonatée.
- 4/ Les différents skarns, à l'exception de (Sk.vr), ont une bonne cohésion interne traduite par leurs grandes vitesses de propagation des ondes ultrasoniques ($VP > 5,6$ km/s).
- 5/ La résistance à la compression, déduite à partir de l'indice de rebond du scléromètre (IRb) et de la vitesse des ondes ultrasoniques (Vp), indique pour l'ensemble des skarns une grande résistance mécanique, variable entre 70 à 90 MPa.
- 6/ Le taux de restitution de la chaleur, après 60 mn, qui est de l'ordre de 66 %, indique que les skarns de Nador ont une bonne aptitude à diffuser la chaleur emmagasinée d'une manière lente et progressive.

En guise de conclusion, la présente étude confirme que l'environnement géologique de la mine de fer d'Ouixane offre des affleurements didactiques pour l'observation du développement des endo et exoskarns en rubans parallèles aux intrusions magmatiques. Ces mêmes affleurements se prêtent à une analyse pétrologique fine du processus de skarnification (transformations minéralogiques et calculs de bilans). L'étude technologique des roches skarnifiées de cette même région révèlent leur bonne qualité physico-mécanique (densité, porosité, résistance et cohésion interne) et par conséquent la possibilité de leur exploitation comme pierre de construction et d'ornementation. Certaines roches, parmi ces skarns, montrent une bonne capacité de stocker puis de restituer lentement et progressivement la chaleur emmagasinée, ce qui permet d'envisager leur utilisation pour le stockage de l'énergie solaire (Grirate et al., 2014).

IV.8. Valorisation des sites géotouristiques de la province volcanique de Nador

(Contenu du Poster de Lina Msaadi et al. – Master ISR, **Annexe I-7**)

Titre du Poster : «Potentialités géotouristiques de la province volcanique néogène et plio-quadernaire du rif nord-oriental»

Auteurs : Msaadi L., Asebriy L., Azdimousa A., Remmal T. et El Amrani El Hassani I.

Référence : Mémoire de fin d'étude de Master, soutenu à la Faculté des Science de Rabat le 30 octobre 2017, 87 p. (Encadrants : Profs. Asebriy L. et El Amrani El Hassani I.)

Actuellement, tout le monde admis que le tourisme culturel et les activités qui en découlent ont un impact économique et social de premier ordre et peuvent contribuer d'une manière substantielle au développement durables, locale et régionale (UNESCO

1972, De Wever 1977, Billet 2002, Reynard 2008, Sellier 2009, André et al. 2013, Bétard 2015, El Wartiti et al. 2016, Eddif et al. 2017). Cela n'étant possible que dans la mesure ou des efforts de valorisation et de promotion des potentialités touristiques et culturels des régions concernées soient bien valorisées et suffisamment promues.

Le Rif oriental en est un bon exemple de région qui regorge de potentialités très diverses (côte méditerranéenne, faune, flore, montagnes, histoire, sites préhistoriques, art culinaire, etc...). Avec, en outre, une géologie dominée par un volcanisme qui donne à la région un cachet très particulier. Toutefois, ces potentialités géotouristiques sont très loin d'être suffisamment bien valorisées à la manière de ce qui se passe dans les provinces volcaniques des pays voisins (Italie, Espagne France, etc.). Ce sujet de valorisation des géosites volcaniques a été abordée dans le paragraphe II de cette note, correspondant au sujet de l'intervention du Professeur Remmal).

Dans le cadre du développement du deuxième volet du Projet V2GV, un sujet de mémoire de fin d'étude de Master sur la valorisation des géosites volcaniques de la région de Nador a été proposé à Mlle Lina Msaadi, en 2017. L'objectif principal de ce travail de recherche est de repérer les meilleurs géosites volcaniques de la région, de les décrire d'une manière accessible au grand-public puis de proposer un circuit géotouristique. Les résultats de ce travail se voulaient un document de base, destiné aux opérateurs du secteur de tourisme (Office du tourisme, Agence de voyage, Guides touristiques, etc.).

Rappelant que la diversité lithologique et structurale du Rif oriental est étroitement liée à son histoire géologique très particulière. Après les événements tectoniques, métamorphiques et magmatique qui ont marquées l'évolution géodynamique de la chaîne rifaine et la mise en place de leurs nappes sédimentaires, au Néogène, plusieurs bassins sédimentaires d'obédience, généralement, méditerranéenne et d'âges de remplissage variés, se sont formés (Hernandez et al. 1987, Chotan et Ait Brahim 1988). Par la suite et plus précisément au cours du Miocène et du Plio-Quaternaire, une intense activité volcanique s'est exprimée dans le Rif oriental (Région de Nador-El Houceima) ainsi que dans d'autres régions domaines structuraux Maroc (Moyen Atlas central, Maroc central et Anti-Atlas) (El Azzouzi, et al. 1999). Les éruptions volcaniques du Rif nord-orientale ont donné naissance à deux événements volcaniques d'inégale importance : le stratovolcan de Gourougou et ses appareils satellitaires (Cap des Trois Fourches, Bou Touil Tidiennit, Beni Bou Ifrou, Amjar, ...) et le petit massif volcanique de Ras Tarf (Hernandez et al. 1987, El Bakkali et al. 1998, 2003).

Le travail de de Master de Msaadi consistait à puiser dans l'abondante littérature géologique existant sur le Rif oriental et d'effectuer des missions de terrain afin de repérer les meilleurs géosites volcaniques de cette région et d'en faire une description simple et concise de leur nature pétrographique et de leur mode de formation. Cela l'amènera à proposer un circuit géotouristique commenté sur cette partie du Rif oriental.

Aussi trois stations principales, présentant chacune des caractéristiques géologiques et morphostructurales particulières ont-elles été distinguées. Ce sont celles de Gourougou, du Cap des Trois Fourches et de Ras Tarf (**Figure 39**).

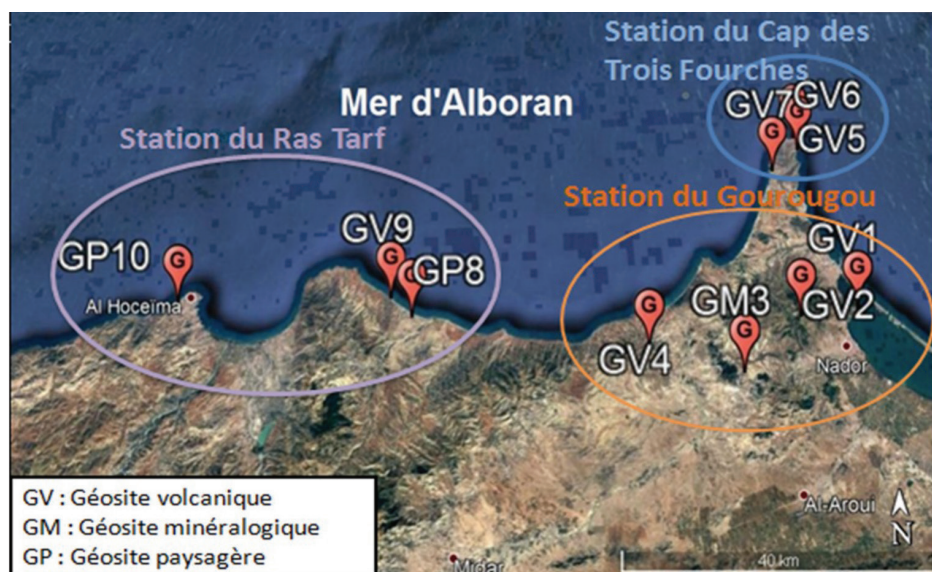


Figure 39 : Localisation des 3 stations géotouristiques sur fond satellitaire Google Earth

1- La station de Gourougou est caractérisée par le stratovolcan de Gourougou (Figure 40), situé au NW de Nador, qui se compose d'un massif central d'environ 15 km de diamètre et qui culmine à 900 m d'altitude. Ce grand massif s'entoure de plusieurs appareils satellitaires : Cap des Trois Fourches, Bou Touil Tidiennit, Beni Bou Ifrou, Amjar, etc.



Figure 40 : Cadre géologique et vue vers le SE du stratovolcan de Gourougou

2- Le Cap des Trois Fourches correspond à un massif volcanique satellite du stratovolcan de Gourougou. Il se situe à l'extrémité nord de la Province de Nador et de Melilla et constitue un promontoire de roches volcaniques qui pénètre la mer méditerranée sur une vingtaine de kilomètres (Figure 41).



Figure 41 : Vue générale du Cap des Trois Fourche pénétrant la mer méditerranée sur une vingtaine de kilomètres

3- Ras Tarf correspond par contre à un petit massif d'une dizaine de km de diamètre bordant la côte méditerranéenne et se localise à 20 km à l'est d'Al Hoceima. Sur le plan structural, il se situe au voisinage d'une grande zone de faille (faille de Nekor) limitant le bassin post-nappes de Boudinar (**Figure 42**).



Figure 42 : Vue générale de la côte méditerranéenne au niveau de la station du massif volcanique de Ras Tarf

Différents géosites ont été ensuite repérés au niveau de chaque station et décrits selon leur nature (Géosite Volcanique : GV ; Géosite Minéralogique : GM ; Géosite Paysagère : GP). Quelques exemples de vues de ces géosites sont présentés sur les **figures 43 à 46**.



Figure 43 : Géosite GM3 : Carrières de bentonite de Jbel Tidiennite (Gourougou)



Figure 44 : Géosite GV4 : Coulée de basalte prismée d'Amjar (Gourougou)



Figure 45 : Géosite GV5 : falaise de tufs volcaniques de Tibouda (Cap des 3 Fourches)



Figure 46 : Géosite GV9 : Basalte débité en boules (Ras Tarf)

Un circuit géotouristique, comportant douze arrêts, a été ainsi proposé pour visiter les principaux géosites d'intérêt volcanique de la région de Nador (Figure 47).

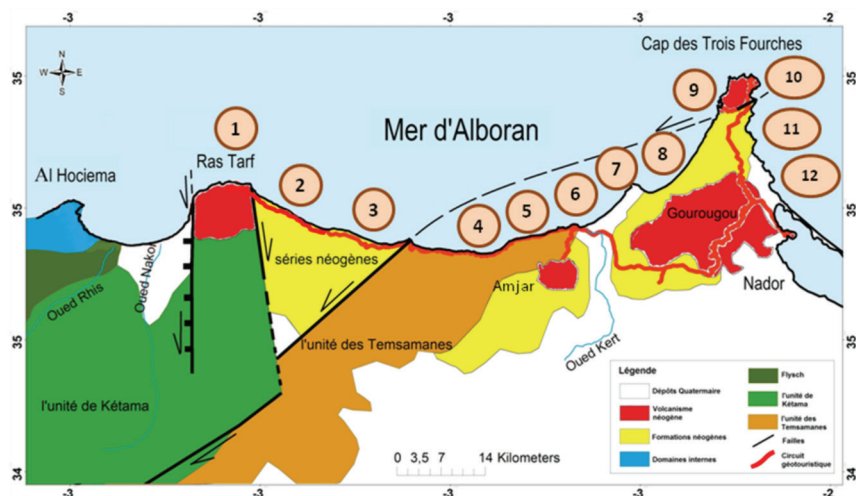


Figure 47 : Circuit géotouristique à 12 arrêts proposé pour la visite des principaux géosites volcaniques de la région de Nador

Des informations utiles et pratiques ainsi qu'un descriptif simple et accessible aux jeunes et au grand public sur la nature, la composition et le mode de genèse des formations géologiques sont fournis sur chacun des géosites du circuit (**Tableau VI**).

Tableau VI : Modèle de descriptif présenté sur chaque géosite du circuit géotouristique

Réf. du géosite	GM3 – Station : Gourougou
Désignation	Carrière de Bentonite
Coordonnées GPS	X : 35°08'36.1''N ; Y : 3°05'30.0''W
Intérêt	Condition de genèse et mode d'exploitation des argiles smectiques (Bentonite) issues de l'altération des produits d'origine volcanique.
Accès	Facile par la route N16
Description	Epaisse série de bentonite (argile smectique d'origine volcanique) située au pied du au massif rhyolitique de Tidiennit. La mise en place de cette formation est datée de 7,2 Ma (Tortonien-Messinien inférieur). La genèse de cette bentonite est liée aux premières manifestations volcaniques de type explosif et sous-marines qui deviennent progressivement aérienne et effusives. La bentonite est exploitée en carrière à ciel-ouvert et commercialisée pour ses nombreuses utilisations dans plusieurs domaines industriels : Cosmétique, Catalyse, Pharmacie, Travaux publics, ...

En guise de conclusion, le travail réalisé dans le cadre du Master de Msaadi confirme les énormes potentialités géotouristiques de la Province volcanique du Rif oriental. Aussi propose-il un circuit à 12 géosites, traversant les 3 stations volcaniques de la région (Gourougou, Cap des Trois Fourches et Ras Tarf) et qui permet aux touristes et plus particulièrement aux amateurs du volcanisme, de découvrir les différentes morphostructures (Cônes volcaniques, basaltes en boules, coulées prismées, ...) et formations lithologiques (andésite, basalte, bentonite, rhyolites, perlite, tufs, ...) tout en ayant un ensemble d'informations utiles et pratiques sur leur nature, leur origine, leur mode de formation et leurs intérêts scientifique et économique.

V. CONCLUSION

Conformément aux objectifs fixés par le projet V2GV, mené avec le concours de l'AH2ST, diverses actions de recherche scientifique et technique ont été entreprises sur la valorisation des géomatériaux et des géosites des deux Provinces volcaniques d'âge miocène à plio-quaternaire du Moyen Atlas central et du Rif oriental. La présente note se veut une synthèse des résultats qui ont été obtenus à nos jours, exclusivement, sur la région du Rif oriental et qui ont été présentés lors des Journées «Les Jeunes et la Science au service du développement» tenus les 6 et 7 décembre 2019 à Nador.

Le premier axe de recherche qui concerne la valorisation des géomatériaux volcaniques a focalisé sur la réalisation d'actions concrètes sur la bentonite, la perlite, l'halloysite et la diatomite; géomatériaux volcaniques qui se trouvent dans la région en quantité exploitable.

Des sujets de recherches sur la caractérisation physico-mécanique et thermique de ces géomatériaux rifains puis leur valorisation dans divers domaines industriels ont été confiés par les professeurs de l'équipe V2GV à leurs doctorants. Ainsi cette double approche du développement de la recherche à travers la formation et la formation par la recherche, adoptée par notre équipe de recherche, a-t-elle permis d'aboutir à des résultats probants qui ont été publiés dans diverses revues indexées. Parmi les principaux résultats obtenus, on cite : la valorisation de la perlite expansée et de l'halloysite dans le domaine de la céramique légère, réfractaire et isolante ainsi que la céramique technique (dentaire) ; la valorisation de la bentonite dans le domaine de la filtration des eaux usées ; la valorisation de la perlite naturelle et de l'argile kaolinique dans le domaine de la synthèse des géopolymères.

Concernant le second axe de recherche sur la valorisation des géosites volcaniques, un circuit géotouristique, allant du stratovolcan de Gourougou (près de Nador) jusqu'à Rars Tarf en passant par le Cap des Trois fourche, a été proposé. Le long de ce circuit, 12 arrêts d'un grand intérêt scientifique et géotouristique ont été repérés. Aussi des informations utiles et pratiques ont-elles été fournies d'une manière simple et accessible aux jeunes et aux touristes amateurs de la nature sur les morphostructures (cônes volcaniques, dykes, coulées prismées, basalte en boules, etc.) et formations géologiques (andésite, basalte, bentonite, rhyolites, perlite, tufs, ...) des différents arrêts du circuit géotouristique proposé. A noter que notre action sur cet axe de recherche reste jusqu'à présent très limitée, car son développement ne dépend pas uniquement de nous, mais de toute la chaîne des opérateurs du secteurs du tourisme (Office du tourisme, Agences de voyages, Tours opérateurs, Guides touristiques, etc.). Toutefois, nous avons déjà beaucoup de données géologiques sur les principaux les géosites de la région ainsi qu'un plan d'actions complet et viable (voir § III) que nous sommes disponibles à mettre au service du développement durable de la région du Rif oriental.

Références bibliographiques

- Achiou B., Elomari H., Ouammou M., Albizane A., Bennazha J, Alami Younssi S, El Amrani El Hassani I. and Aaddane A. (2016). Elaboration and characterization of flat ceramic microfiltration membrane made from natural Moroccan pozzolan (Central Middle Atlas), *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) (2016) : 196-204.
- Alami Younssi S., Breida M., Achiou B. (2018). Alumina membranes for desalination and Water treatment, in: M. Eyvaz, E. Yüksel (Eds.), *Desalination Water Treat, In Tech*, 2018.
- André, M.F. Ambert M., Delannoy J. J., Hobléa F. & Reynard, E. (2013). Géomorphologie et patrimoine. Dans D. Mercier (dir.) *Géomorphologie de la France*, Dunod, Paris, pp. 201-214.
- Arrazouki S. (2015). Les skarns de l'environnement de la mine de fer d'Ouixane (Rif oriental, Maroc) : caractérisation pétro-physique. Mémoire de Master, Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V, 77 p.
- Aubert M., Borget J.N., Bril H., de Goer de Hervé A., de Larouzière F-D, Lavina P., et Mossand P. (2003). *Le volcanisme en Auvergne*. Editions Chamina, 143p.

- Azdimousa, A., Bourgois, J., Poupeau, G., Vázquez, M., Asebriy, L., Labrin, E., (2013). Fission track thermochronology of the Beni Bousera peridotite massif (Internal Rif Morocco) and the exhumation of ultramafic rocks in the Gibraltar Arc. *Arabian Journal of Geosciences*, <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-0130924-933>
- Aziz A., El Amrani El Hassani I., El Khadiri A., Sadik C. El Bouari A., Ballil A., El Haddar A. (2019). Effect of slaked lime on the geopolymers synthesis of natural pozzolan from Moroccan Middle Atlas. *Journal of the Australian Ceramic Society*. <https://doi.org/10.1007/s41779-019-00361-3>
- Bellon N. & Brousse R. (1977). Le magmatisme péri méditerranéen occidental. Essai de synthèse. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 469-480.
- Benkhaya S., Achiou B., Ouammou M., Bennazha J. Alami Younssi S., M'rabet S. and El Harfi, A. (2019). Preparation of low-cost composite membrane made of polysulfone / polyetherimide ultrafiltration layer and ceramic pozzolan support for dyes removal, *Mater. Today Commun.* 19 (2019), 212–219.
- Besson J-C., Boivin P., Briot D., Gourgaud A., Labazuy Ph., de Larouzière F-D., Livet M., Mergoïl J., Miallier D., Morel J-M., Vernet G. et Vincent P. (2004). *Volcanologie de la Chaîne des Pys*. Edition PNRVA, 4ème édition.
- Bétard F. (2015). Protection et valorisation du patrimoine géomorphologique en Île-de-France (Bassin de Paris, France). Vol 15, n° 1.
- Billet P. (2002). La protection du patrimoine géologique. Guide juridique, *Cahiers techniques de l'ATEN*, 76, 148 p.
- Bouabdellah M., Lebreton N., Marcoux E. et Sadequi M. (2013). Les mines des Beni Bou Ifrouf-Ouixane (Rif Oriental): un district ferrugineux néogène de type skarns. HAL Id: insu-00812110 <https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00812110>
- Bouhaoui A. et Hilali E A. (1981). Perlite. *Mines et Géologie du Maroc*, n°49, pp. 90-101 (numéro spécial sur les Roches et Minéraux Industriels).
- Bouhouche I. (2019). Caractérisation et élaboration des céramiques à partir d'argile marocaine pour application dentaire. Mémoire de Master, Faculté de Médecine Dentaire de Rabat, 89 p.
- Chotin P. & Aït Brahim L. (1988). Transpression et magmatisme au Néogène-Quaternaire dans le Maroc oriental. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 306, Série II, pp. 1479-1485
- Davidovits J. (1993). Geopolymer cements to minimize carbon-dioxide greenhouse-warming. In: M. Moukwa, S.L Sarkar, K. Luke, editors. *Ceramic transactions cement-based materials: present, future and environmental aspects*. Westerville: Journal of the American Ceramic Society (1993) 165-181.
- Davidovits J., Davidovits R. and James C (1999). Geopolymer '99, *Proceedings 2nd European Conference on Geopolymer*, Geopolymer Institute and I.N.S.S.E.T., Saint-Quentin, France (1999) 32p.
- De Wever P. (2009). Un inventaire du patrimoine géologique pour la France, *La Lettre de l'OCIM* n° 121, pp. 12-18.


- Eddif A., Ouazzani H., Sadkaoui D., Tajd A., Aghbal A. et Hamid H. (2017). Les Volcans Eteints Du Maroc: Patrimoine Geologique Encore Peu Connu «Etude De Cas». *European Scientific Journal*, Vol.13, No.33 : 90-103.
- El Amrani El Hassani I. (1984). Contribution à l'étude pétrologique, minéralogique, métallogénique et de pétrologie structurale des formations de la région d'Azgour (Haut Atlas occidental- Maroc). Thèse 3ème cycle. Université de Nancy, 192p.
- El Amrani El Hassani I. & Sadik C. (2016). Geology and mineralogy of clays for nanocomposites: state of knowledge and methodology. Pp. 85–113. In: *Nanoclay Reinforced Polymer Composites*. Springer, Singapore.
- El Amrani El Hassani. I., El Bakkali S. Haimeur J. Asebriy L. Bourdier J-L., Gourgaud A. et Vincent P.M. (2003). Genèse des gisements de fer, bentonite et perlite associés au volcanisme néogène du rif nord-oriental. *Trav. Inst. Sci. Rabat, Série Géol & Géogr. Phys.*, n° 21, 185-188.
- El Azzouzi, M. H., Griffiths, B., Bellon, H., Maury, R. C., Pique, A., Fourcade, S., Cotten, J. et Hernandez, J. (1999). Evolution des sources du volcanisme marocain au cours du Néogène. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 329, pp. 95-102.
- El Bakkali S. (1995). Volcanologie et magmatologie du systeme du gourougou (rif oriental, maroc). Thèse de l'Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand 2, France). 256 p.
- El Bakkali S., Gourgaud A., Bourdier J-L. et El Amrani El Hassani.I. (2003). Evolution magmatologique du Rif nord-oriental (Maroc). (2003). *Trav. Inst. Sci. Rabat, Série Géol & Géogr. Phys.*, n° 21, 175-184.
- El Bakkali S., Gourgaud A., Bourdier J-L., Bellon H. & Gundogdu N. (1998). Post-collision Neogene volcanism of the eastern Rif (Morocco) : magmatic evolution through time. *Lithos*, 45, 523-543.
- El Haddar A., E. Gharibi E., Azdimousa A., Fagel N., El Amrani El Hassani I. & El Ouahabi M. (2018). Characterization of halloysite (North East Rif, Morocco): evaluation of its suitability for the ceramics industry. *Clay Minerals* 53 (1), 65-78.
- El Haddar A., Manni A., Azdimousa A., El Amrani El Hassani I., Belle A., Sadik C., Fagel N., El Ouahabi M. (2019). Elaboration of a high mechanical performance refractory from halloysite and recycled alumina. *Nathalie Fagel, Meriam El Ouahabi. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2019.08.002>.
- El Wartiti M., Malaki A., El Mahmoudi N., Azelmad R., Sadki R., & Berred S. (2016). Les géomorphosites du causse moyen atlasique marocain : un circuit géotouristique à développer. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 18 no. 3, pp. 773783.
- Elomari H., Achiou B., Karim A., Ouammou M., Albizane A., Bennazha J., Alami Younssi S., El Amrani El Hassani I. (2017). Influence of starch content on the properties of low-cost microfiltration membranes. *J. Asian Ceram. Soc.* 5 (2017): 313–319.
- Faure-Muret A. (1996). Carte géologique du Maroc au 1/50000, feuille de Zeghanghane. *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, n° 370.

- Frizon De Lamotte D., (1985). La structure du Rif Oriental (Maroc): rôle de la tectonique longitudinale et importance des fluides. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie (Paris), 436 p.
- Grirate H., Zari N., El Amrani El Hassani I., Couturier R., Elmchaouri A., Belcadi S. et Tochon P. (2014). Characterization of several Moroccan rocks used as filler material for thermal energy storage in CSP power plants. *Energy Procedia* 49 (2014): 810-819.
- Hernandez J. & Bellon H. (1985). Chronologie K-Ar du volcanisme Miocène du Rif oriental (Maroc): Implications tectoniques et magmatologiques. *Rev. Géol. dyn. & Géogr. phys.*, 26, pp 85-94.
- Hernandez J., De Larouzière F.D., Bolze J., Bordet P. (1987). Le magmatisme néogène bético-rifain et le couloir de décrochement trans-Alboran, *Bull. Soc. Géol. Fr.* (8) 3, pp 257–267.
- Hilali E. A. et Jeannette A. (1981a). Bentonite. *Mines et Géologie du Maroc*, n°49, pp. 102-137 (numéro spécial sur les Roches et Minéraux Industriels).
- Hilali E.A. & Jeannette A. (1981b). Kaolin et argiles céramiques. *Mines et Géologie du Maroc*, n°49, pp. 30-58 (numéro spécial sur les Roches et Minéraux Industriels).
- Hilali E. A., Jeannette A. et Nataf M. (1981). *Mines et Géologie du Maroc*, n°49, pp195-208 (numéro spécial sur les Roches et Minéraux Industriels).
- Jabrane R. (1993). Etudes génétiques de la minéralisation en fer de Nador (Maroc nord oriental). Thèse de doctorat, Université Libre Bruxelles, 566 p.
- Jeannette A., (1956). Les ressources minérales du Rif nord oriental. *Mines & Géol.*, n° 14, pp 44-65.
- Jeannette A. & Hamel C. (1961). Présentation géologique et structurale du Rif Oriental. *Mines et Géologie*, Rabat, 14, 7-16.
- Jeannette A., Monition A. & Ortelli L. (1958). Présence d'halloysite à 10 Å dans les niveaux bentonitiques Pliocènes du gîte de Maazza (Rif Oriental). *Notes Serv. Geol. Maroc*, 16, 242–249.
- Kerchaoui S. (1985). Etude géologique et structurale du massif des Beni Bou Ifrou (Rif oriental, Maroc). Thèse 3ème cycle. Univ. Paris Sud, Orsay, 193 p.
- Kerchaoui S., (1994). Pétrologie, géochimie et âges des roches magmatiques, leur place dans l'évolution structurale du massif des Beni Bou Ifrou et du Rif oriental, Maroc. Thèse de doctorat, Université de Laval (Québec), 296 p.
- Kerchaoui S. et Morel J-L. (1984). Tectonique compressive intra-messinienne dans le Rif oriental (Maroc). *C R Acad. Sc Paris*, 299, no18, 1279-1282. MEM : Panorama de l'Industrie Minière, Tome 2. Mine et géologie No 14, 1961.
- Lavina P. (2002). *Volcans d'Auvergne et du Massif Central*. Edition Artis.
- Lavina P. et Monestier H (1996). *La chaîne des Puys, itinéraires découvertes géologiques*. Editions AEDIS


- Lebret N. (2014). Contexte structural et métallogénique des skarns à magnétite des Béni Bou Ifrou (Rif oriental, Maroc) Apport à l'évolution géodynamique de la Méditerranée occidentale. Tectonics. Université d'Orléans, 2014, French. HAL Id, submittes on 13 Jan 2015, 476p.
- Manni A., El Haddar A., El Bouari A., El Amrani El Hassani I. et Chaouki S. (2017). Complete characterization of Berrechid clays (Morocco) and manufacturing of new ceramic using minimal amounts of feldspars: Economic implication. Case Studies in Construction Materials, 7 (2017): 144-153.
- Martin Vivaldi J.L. & Gírela Vilchez F. (1958). A study of the halloysite from Maazza. Silicates Industriel, 24, 380–385.
- Msaadi L. (2017). Potentialités géotouristiques de la province volcanique néogène et plio-quaternaire du rif nord-oriental. Mémoire de Master, Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V., 87 p.
- Negro, F., Agard, P., Goffé, B., Saddiqi, O. (2007). Tectonic and metamorphic evolution of the Tamsamani units, External Rif (northern Morocco): implications for the evolution of the Rif and the Betic–Rif arc. J. Geol. Soc. London 164, 829–842.
- Ouaddari H., Beqqour D., Bennazha J., El Amrani El Hassani I., Albizane A., Solhy A., Rajender Varma S. (2018). Natural Moroccan clays: Comparative study of their application as recyclable catalysts in Knoevenagel condensation. Sustainable Chemistry and Pharmacy 10 (2018) : 1-8.
- Ouaddari H., Karim A., Achiou B., Aaddane A., Bennazha J., El Amrani El Hassani I., Ouammou M. et Albizane A. (2019). New low-cost ultrafiltration membrane made from purified natural clays for direct Red 80 dye removal. Journal of Environmental Chemical Engineering 7 (2019) 103-268.
- Poujol A. (2014). Analyse des déformations actuelles dans le Rif (Maroc) : approche morphotectonique. Thèse de l'Université de Montpellier2 (France). 284 p.
- Raji M., Nekhlaoui S., El Amrani El Hassani i., El Mokhtar Essassi E., Essabir H., Denis Rodrigue D. Bouhfid R., Qaissa A. (2019). Utilization of volcanic amorphous aluminosilicate rocks (perlite) as alternative materials in lightweight composites. Composites Part B 165 (2019) 47–54.
- Reynard E. (2008). Scientific research and tourist promotion of geomorphological heritage. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 31, pp. 225-230.
- Rhoden H. et Ereno I (1961). Magnetite ores of Northern Morocco. Trans. Inst. Mining Metal., 71, 629-661
- Roger S., Münch P., Cornée J.J., Saintmartin J-P., Feraud G., Pestrea S., Conesa G. & Benmoussa A. (2000) : $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the pre-evaporitic Messinian marine sequences of the Melilla basin (Morocco): a proposal for some biosedimentary events as isochrones around the Alboran sea. Earth Planet. Sci. Lett., 179, 101-113.
- Romagny (2014). Evolution des mouvements verticaux néogènes de la chaîne du Rif (nord-Maroc) : apports d'une analyse structurale et thermochronologique. Thèse de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, France, 274 p.

- Sadik C. (2014). Elaboration et caractérisation des réfractaires silico-alumineux à partir des géomatériaux Marocains. Thèse d'Université Hassan II, Faculté des Sciences et Techniques Mohammedia. 180 p.
- Sadik C., El Amrani El Hassani I., Albizane A. (2014). Recent advances in silica-alumina refractory: A Review. *Journal of Asian Ceramics Societies*. 2 (2014): 83-96.
- Sadik C., El Amrani El Hassani I., Moudden O., El Bouari A. (2016). Review on the elaboration and characterization of ceramics refractories based on magnesite and dolomite. *Journal of Asian Ceramics Societies*. 4 (2016): 219-233.
- Salleh M.A.M., Mahmoud D.K., Karim A. and Idris A. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review, *Desalination*. 280 (2011), 1–13.
- Sellier D. (2009). La vulgarisation du patrimoine géomorphologique : objets, moyens et perspectives. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 86, 1, pp. 67-81.
- UNESCO (1972). Convention concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel. 17^e conférence générale de l'UNESCO. Paris, 16p.
- Viland J-C. (1966). Etude pétrographique dans le Beni Bou Ifrou, Maroc Nord oriental. Rapport inédit BRPM, Rabat, n°24, 102 p.
- Viland J-C. (1977). Les roches éruptives et métamorphiques associées, d'âge néogène, de la zone nord des Beni Bou Ifrou. *Notes Serv. Géol. Maroc*, 37, n°267, 27-84.

Annexe I-1 : Poster El Haddar *et al.* / Journée J & S - Nador (2019)



PROJET EN RESEAU
Valorisation des Géomatériaux et des Géosites Volcaniques



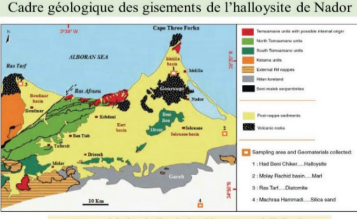
CARACTÉRISATION ET APPLICATION DE L'HALLOYSITE DE LA RÉGION DE NADOR (RIF ORIENTAL-MAROC) DANS LE DOMAINE DE LA CÉRAMIQUE

A. EL HADDAR⁽¹⁾, E. GHARIBI⁽²⁾, A. AZDIMOUSSA⁽¹⁾, N. FAGEL⁽³⁾, M. EL OUAHABI⁽³⁾ & I. EL AMRANI EL HASSANI⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Laboratory of Applied Geosciences, Faculty of Sciences, University of Mohammed I, Oujda, Morocco
⁽²⁾ Laboratory of Mineral and Analytical Solid Chemistry, Faculty of Sciences, University of Mohammed I, Oujda, Morocco
⁽³⁾ I.R. Ingénierie Géochimie et Environnement sédimentaire (IGES), Département de Géologie, Quartier Agora, Bâtiment B18, Allée du 6 Août, 14, Sart Tilman, Université de Liège, B-4000, Belgium
⁽⁴⁾ Geomaterial & Geoenvironment Team (GeoMAE), GEOPAC Centre, Scientific Institute, Mohammed V, University of Rabat, Morocco

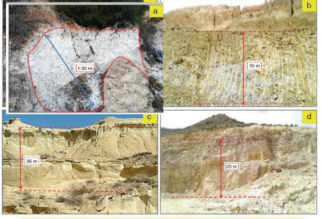
ABSTRACT. La présente étude est une contribution à la valorisation de l'halloysite de la région du Rif nord-oriental (Maroc) dans le domaine de la céramique silico-alumineux. Six mélanges (M1 à M6) à base d'halloysite et d'ajout de différents géomatériaux marocains naturels marocains (marne, diatomite et sable siliceux, ...) ont été testés afin d'aboutir à la synthèse d'une céramique à haute température jusqu'à 1300 °C (réfractaire silico-alumineux). Parmi les différents mélange, M6 révèle une bonne qualité technologique : porosité (P = 21,75%) ; masse volumique (d = 1,94 g / cm³) ; retrait thermique (R = 2,7%) et résistance à la flexion (Rf = 29,05 MPa). L'ajout au mélange M6 de 25% d'alumine recyclée «Rec-Al», a permis d'améliorer davantage la performance, notamment mécaniques du réfractaire silico-alumineux (Rf = 45,08 MPa).

Cadre géologique des gisements de l'halloysite de Nador



Contexte géologique du rif nord-oriental de provenance d'Halloysite

Conditions d'affleurement de l'Halloysite du Rif utilisée dans cette étude



L'halloysite échantillonnée pour cette étude provient de la partie sud du bassin néogène de Melilla (NE du Maroc) et se trouve au pied du volcan du Gourougou. Le gisement d'halloysite exploitable se présente en couches ou lentilles de teinte blanche, de 25 à 130 cm d'épaisseur, en contact avec des calcaires récifaux, à la base, et des niveaux de sables volcaniques en dessous. Assez souvent l'halloysite se trouve associée à de l'alunite grise

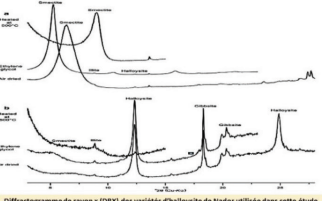
Compositions chimiques et minéralogiques de la matière première

	Halloysite	Marl	Diatomite	Silica sand	Rec-Al
SiO ₂	37.0	43.44	71.5	96.06	28.25
Al ₂ O ₃	37.4	13.07	5.28	2.22	65.13
TiO ₂	0.1	0.67	0.12	0.15	1.02
Fe ₂ O ₃	0.5	10.71	2.05	0.51	2.04
CaO	0.6	8.68	9.21	0.09	0.98
MgO	1.0	2.66	1.23	0.17	—
K ₂ O	0.5	1.43	0.57	0.20	1.83
Na ₂ O	1.9	1.89	1.34	0.06	—
SiO ₂	1.6	0.36	0.03	—	—
Mn ₂ O ₃	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅	—	0.28	0.04	0.02	—
L.O.I	1.8	17.31	8.61	0.49	0.24
Total	98.6	99.99	99.98	99.97	99.49

Compositions chimiques par fluorescence X (FX) des matériaux utilisés (halloysite, marne, diatomite, sable siliceux et alumine de recyclage)

Synthèse et caractérisation des céramiques

Les différents géomatériaux utilisés dans cette étude (halloysite, marne, diatomite, sable siliceux et alumine de recyclage) ont fait l'objet d'analyses chimiques et minéralogiques détaillées (FX, DRX, IR, ATD, ATG...)



Diffractogramme de rayons X (DRX) des variétés d'halloysite de Nador utilisées dans cette étude

Proportions de mélanges des six briquettes synthétiques

Mixtures	Halloysite (%)	Marl (%)	Diatomite (%)	Silica sand (%)
M1	65	—	—	35
M2	80	—	20	—
M3	80	20	—	—
M4	50	—	25	25
M5	50	25	—	25
M6	50	25	5	20

Aspect macroscopique de la briquette M6 cuite à 1300 °C

Diffractogramme des céramiques synthétisées à 1300°C à base d'halloysite de Nador

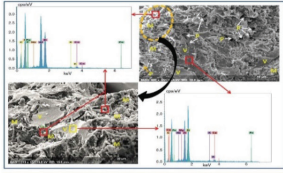
Sample	Weight (%)	Residual strength (MPa)	Porosity (%)	Absorption (%)	Density (g/cm ³)
M1	2	18.8	27.8	118	1.8
M2	10	21.8	25.4	127	1.8
M3	10	20.6	20.6	7.4	1.7
M4	5	21.8	20.2	111	1.6
M5	10	20.2	21.0	131	1.6
M6	22	20.6	20.2	122	1.8
M6	10	20.6	20.2	111	1.7
M6	2	18.8	27.8	7.4	1.6
Average	10	20.6	21.0	111	1.8

Propriétés technologiques des échantillons de céramique préparés à 1300 °C


Conclusion

La présente étude montre que l'halloysite de Nador constitue un bon géomatériau pour la synthèse d'une céramique de bonne qualité technologique. L'ajout à cette halloysite de proportions précises d'autres matériaux locaux (marne, sable siliceux, diatomite, ...) et même des rejets industriels (alumine de recyclage) permet d'améliorer la performance mécanique de ces céramiques. Les résultats de cette étude contribuent à la promotion des géomatériaux de la région du Nador et permettent de résoudre partiellement les problèmes écologiques, liés au stockage des rejets industriels de nature aluminieuse.

Images au MER de la briquette M6 cuite à 1300 °C et spectres EDS associés. (P: Porosité, V: Phase vitreuse, M: Mullite)




Les différents tests technologiques révèlent que c'est le mélange M6 qui donne, à température de 1300°C une meilleure céramique.




Journées "Les Jeunes et la Science au service du développement", Nador les 6 et 7 décembre 2019

Annexe I-2 : Poster Bouhouche et *al.* / Journée J & S - Nador (2019)



PROJET EN RESEAU
Valorisation des Géomatériaux et des Géosites Volcaniques



AH2ST

SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DE CÉRAMIQUES À BASE D'HALLOYSITE DE NADOR (MAROC) POUR APPLICATION EN DENTAIRE


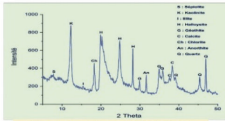
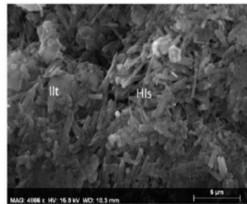
Ichraq BOUHOUCHE⁽¹⁾, Abdelilah EL HADDAR⁽²⁾, Ayoub AZIZ⁽¹⁾, Ahmed MANNI⁽³⁾, Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI⁽¹⁾

⁽¹⁾ Équipe Géo-matériaux et Géo-environnementale (GeoM&E), Centre de recherche GEOPAC, Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat - Maroc
⁽²⁾ Laboratoire de Géosciences Appliquées, Faculté des Sciences, Université Sidi Mohammed Ier, Oujda, Maroc
⁽³⁾ Département de chimie, laboratoire de physico-chimie des matériaux appliqués (LPCMA), Faculté des sciences Ben Misk Université Hassan II de Casablanca - Maroc

Résumé. Un travail de recherche appliqué a été réalisé au laboratoire de Géomatériaux et Géo-environnement (GeoM&E) de l'Institut Scientifique afin de tester l'intérêt de l'utilisation de l'argile kaolinique d'Oulmès et l'halloysite de Nador pour la préparation de céramiques dentaires. Les résultats préliminaires se sont avérés prometteurs, notamment pour l'halloysite de Nador. La céramique synthétisée à partir de cette dernière, à laquelle on a ajouté des quantités bien déterminées de sable siliceux, feldspath potassique et alumine de recyclage présente une couleur blanche et une bonne performance physico-mécanique : Densité = 1,75 ; Porosité = 22% ; Absorption d'eau = 18 %, Résistance à la compression = 31 MPa et Vitesse des ondes P = 1.813 m/s.

Characterization of the raw material

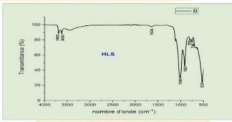
L'échantillon d'halloysite utilisé dans cette étude provient de la région de Nador. Le gisement de Maazza, d'où provient l'échantillon se trouve au sud du bassin néogène de Melilla au pied du volcan néogène-quaternaire de Gourougou.

Aspect macroscopique de l'halloysite de Nador (A) : naturelle et (B) : broyée

Diffractogramme des rayons X de l'halloysite

Image au MEB d'un échantillon d'halloysite



Spectre IR de l'halloysite de Nador.

Travail expérimental de synthèse de céramique

Argile + surcharge

Rau

Homogénéisation

Mélange

Pressage

Déformage

Séchage


Verrouillage

Thermotraitement

Protocole de synthèse de la céramique


Nomenclature	ArgH (%)	Sab (%)	Feld (%)	Al (%)
M5	100			
M6	90	10		
M7	85	10	5	
M8	80	10	5	5
M9	50	15	10	5

Tableau des mélanges et leur nomenclature :
 ArgH : Halloysite ; Sab : Sable siliceux ; Feld : Feldspath ;
 Al : Alumine de recyclage.




Aspect macroscopique des éprouvettes cylindriques des céramiques synthétisées

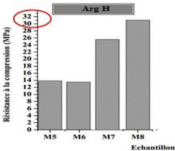
Caractérisation des céramiques synthétisées



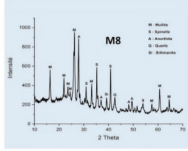
Dispositif pour mesure de densité, porosité et absorption d'eau.




Presse pour détermination de la résistance à la compression (Rc).



Variation de la résistance à la compression des céramiques synthétisées selon les mélanges



Analyse minéralogique par DRX de la céramique synthétisée (mélange M8)




Test au niveau du laboratoire dentaire avant et après cuisson

Conclusion


Un mélange approprié d'halloysite de Nador avec ajout de sable siliceux, feldspath potassique et alumine de recyclage (M8) a permis d'obtenir une céramique de très bonne qualité physico-mécanique, pouvant être utilisée en dentaire.

Des travaux de recherche complémentaires restent encore nécessaires pour élaborer les mélanges et obtenir des céramiques encore plus performantes pour leurs applications en dentaire.




Journées "Les Jeunes et la Science au service du développement", Nador les 6 et 7 décembre 2019

Annexe I-3 : Poster Ouaddari et al. / Journée J & S - Nador (2019)



PROJET EN RESEAU
Valorisation des Géomatériaux et des Géosites Volcaniques



VALORISATION DE LA BENTONITE DE NADOR : TECHNOLOGIES D'ADSORPTION ET DE MEMBRANE DANS LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET DE TEINTURE SYNTHÉTIQUE

Hanae Ouaddari^{1,2*}, Abdelali Karim¹, Brahim Achlou¹, A. Aaddane¹, Jamal Bennazha¹, Le-Eddine El Amrani El Hassani¹, Mohamed Ouammou¹ et Abderrahmane Albizane²

¹ Laboratoire Membranes et environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Mohammed VI Université Hassan II Mohammed VI - Maroc.
² Plateforme Chimie, UAFRS, Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST)
³ Equipe Géo-matériaux et Géo-environnementale (GeoMAE), Centre de recherche GEOPAC, Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat - Maroc

Résumé : Le problème de l'élimination des polluants dans l'eau et les eaux usées s'est accru avec l'industrialisation rapide. Les industries telles que le textile, le papier, le plastique, etc. génèrent une quantité considérable d'eaux usées colorées. À cette fin, plusieurs méthodes physiques, chimiques et combinées ont été utilisées. Toutes ces méthodes ont des capacités différentes d'élimination de la couleur, des coûts en capital et des taux d'exploitation différents. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'applicabilité de processus combinés tels que les traitements physico-chimiques et les technologies membranaires pour l'élimination des solutions de teinture synthétique. L'adsorption sur des matériaux à faible coût et l'ultrafiltration à l'aide d'une membrane céramique ont été testées. La bentonite de Nador a été étudiée dans son état brut en tant qu'adsorbant du colorant cationique méthylene bleu « MB », elle a été aussi testée dans son état purifiée pour l'élaboration d'une membrane d'ultrafiltration à faible coût. Les résultats obtenus ont montré que les deux méthodes « adsorption et filtration sur membrane » sont considérées comme traitement prometteur et efficace pour le traitement des effluents textiles.

Caractérisation de la Bentonite

Aspect macroscopique de la bentonite brute


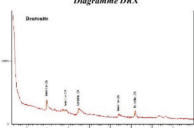


Diagramme DRX



Composition chimique

Oxydes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Concentration (%)	56,6	24,1	1,01	2,23	2,93	0,47	3,12

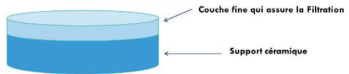
Protocole de traitement des argiles

```

    graph TD
      A[Broyage et séchage] --> B[Homogénéisation]
      B --> C[Décoloration < 3µm]
      C --> D[Decarbonylation]
      D --> E[Dissolution des hydroxydes]
      E --> F[Oxydation des matières organiques]
      F --> G[Dissolution de la silice]
      G --> H[Recupération fraction fine]
      H --> I[Élimination impuretés]
      I --> J[Produit final]
      
```

Etudes d'ultrafiltration

Elaboration et caractérisation des supports



Préparation de la barbotine

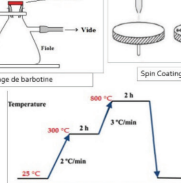
Dépôt par Coulage de barbotine

Dépôt par Spin Coating


Séchage 6 Température ambiante

Tranchement Barbotine

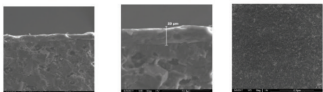
Cycle de traitement thermique



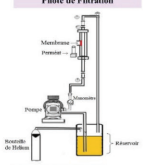
Les essais des dépôts



Membrane ultrafiltration : bentonite / bentonite



Pilote de Filtration



Résultats de test d'ultrafiltration la membrane (AP = 2 bar)

Colorant	Filtrat	Eau
Colorant	Filtrat	Eau

Membrane	Rétention de Red 80
Bentonite / Bentonite	98.44 %

La membrane d'ultrafiltration est testée par la filtration tangentielle de Red 80 concentration de 20 ppm. Le taux de rétention pour le colorant Red 80 est de l'ordre de 98.44%, grâce à la structure dense de la couche actif (le diamètre de pores de la couche est d'ordre de nanomètre).

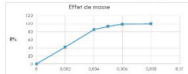
Etudes d'adsorption

➤ L'adsorbant utilisé dans cette étude est la Bentonite de Nador. Le bleu de méthylène un colorant cationique, a été choisi dans cette étude en raison de sa forte adsorption connue sur les solides et de son utilité reconnue pour la caractérisation du matériau adsorbant.

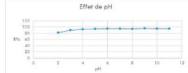
➤ Les expériences d'adsorption ont été effectuées à la température ambiante. On a agité pendant 1 heure, temps qui était plus que suffisant pour atteindre l'équilibre. À la fin de la période d'équilibre, le suragant a ensuite été analysé pour déterminer la concentration résiduelle de bleu de méthylène. La quantité de q_a adsorbée au bleu de méthylène ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) a été obtenue comme suit :

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{W}$$

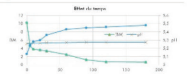
Effet de la dose



Effet du pH



Effet de la température



➤ Rapport solide/liquide influe positivement sur la rétention du MB: probabilité de la rencontre d'un cation avec un site devient plus importante.

➤ Diminution de la concentration résiduelle avec l'augmentation du temps de contact et du pH. Le colorant s'adsorbe en premier lieu sur les sites facilement accessibles, une diffusion de co-cv vers les sites d'adsorption moins accessibles se fait au fur et à mesure de l'agitation jusqu'à atteindre un équilibre d'adsorption.

➤ L'augmentation de la température augmente la capacité d'adsorption: ce paramètre affecte positivement le processus d'adsorption par une forte contribution énergétique, permettant de vaincre les forces de répulsion localisées au niveau des interfaces des milieux liquides et solides.



UM5



IS-R



UH2-C



UH2-M



PNI



CPIE




VULCANIA




Cerf

Annexe I-4 : Poster Sadik et *al.* / Journée J & S - Nador (2019)



PROJET EN RESEAU
Valorisation des Géomatériaux et des Géosites Volcaniques




EFFECTS OF EXPANDED PERLITE ADDITION IN MULLITE MATRIX ON THE THERMAL CHARACTERISTICS OF CERAMICS

Chawki SADIK ^(1,2), Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI ⁽¹⁾ & Abderrahman ALBIZANE ⁽²⁾

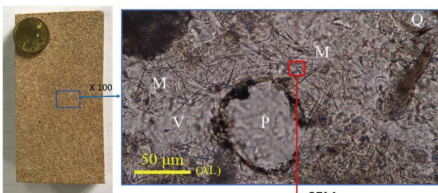
⁽¹⁾ Équipe Géomatériaux et Géoenvironnementale (GeoMAE), Centre de recherche GEOPAC, Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat - Maroc
⁽²⁾ Faculté des Sciences et Techniques, Mohammed VI, Université Hassan II Mohammed VI - Casablanca, B.P.146, Avenue Hassan II, C.P.20659, Mohammed VI - Maroc.

ABSTRACT. Production of porous and lightweight ceramics with acceptable flexural strength and thermal conductivity is accomplished. Expanded perlite was used as an additive to an earthenware sample to produce the pores. Microstructural investigation was carried out by both natural light microscopy and polarized light microscopy. The results obtained showed that the samples tested here maintained their shape without undergoing any deformation up to 1600°C. The use of expanded perlite decreased the fired density of the bricks down to 1.55g/cm³. The formation of cracks decreases the velocity of ultrasonic pulses travelling in the ceramics. The thermal shock resistance shows the ability of the samples to withstand rapid changes in temperature.

Raw materials



Synthetic ceramics



SEM

Petrophysical characterization

Technological test results of the sample without and with expanded perlite fired at 1600°C/1h.

PHYSICAL PROPERTIES	Mass ratio of expanded perlite addition			
	0%	10%	20%	30%
Thermal conductivity (W/mK)	1.39	1.21	1.09	0.87
Bulk density (g/cm ³) ASTM C373-88	2.15	1.95	1.72	1.55
Apparent porosity (%) ASTM C373-88	9.8	51.5	57.5	65.8
Water absorption (%) ASTM C373-88	6.2	28.7	31.8	35.1
Shrinkage (%) ASTM C326-03	5.5	5.6	5.8	6.1
Flexural strength (MPa)	55.41	44.8	35.6	29.7
Toughness K _{IC} (MPa m ^{1/2})	1.82	1.81	1.75	1.69

SEM micrographs showing the highly porous structure and Mullite crystals of the ceramic with 30% of expanded perlite.


Effect of adding expanded perlite

Optical observations indicate that the inner walls of the pores are systematically covered with glassy products resulting from the fusion of perlite at high temperature. This indicates that the synthesized porous ceramic samples will have a good capacity of thermal and sound insulation.


Binocular optical observation (x 75)

Conclusion


The thermal treatment at 1600°C gives ceramics having good technological characteristics. The rate of 30% of expanded perlite seems to be optimal because it provides a highly porous briquette (P = 65.8 %, d = 1.55 g/cm³). The addition of more than 30 % of expanded perlite to the clay gives, after firing, ceramics characterized by a low flexural strength.




UM5




IS-R




UH2-C




UH2-M




PNI



CPIE



VULCANIA



Cerf

Journées "Les Jeunes et la Science au service du développement", Nador les 6 et 7 décembre 2019

Annexe I-5 : Poster Sadik et al. / Journée J & S - Nador (2019)



PROJET EN RESEAU
Valorisation des **G**éomatériaux et des **G**éosites **V**olcaniques



SYNTHÈSE DE NOUVEAUX CIMENTS GÉOPOLYMÈRES À BASE DE PERLITE ET D'ARGILE KAOLINIQUE NATURELLES D'ORIGINE MAROCAINE

A. AZIZ⁽¹⁻²⁾, I. EL AMRANI EL HASSANI¹, A. EL KHADIRI¹, A. EL BOUARI², C. SADIK² et A. EL HADDAR³

⁽¹⁾ Équipe Géomatériaux et Géoenvironnement (GeoM&E), Centre de recherche GEOPAC, Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat - Maroc

⁽²⁾ Département de chimie, laboratoire de physico-chimie des matériaux appliqués (LPCMA), Faculté des sciences Ben Misk, Université Hassan II de Casablanca - Maroc

⁽³⁾ Laboratoire de Géosciences Appliquées, Faculté des Sciences, Université Sidi Mohammed Ier, Oujda, Maroc.

ABSTRACT. La présente étude porte sur la synthèse de nouveaux géopolymères à base d'un mélange de poudre fine de perlite naturelle de Nador (PN) et d'argile kaolinique d'Oulmès calcinée (AKC). Les géopolymères synthétisés à base de 90 % de PN + 10 % d'AKC affichent une bonne performance physico-mécanique ($M_v = 1732 \text{ kg/cm}^3$; $R_c = 36 \text{ MPa}$) et répondent ainsi aux normes des matériaux de construction porteurs. Les géopolymères préparés à partir 50 % de PN et 50 % d'AKC, présentent une plus faible densité et une résistance mécanique moyenne ($M_v = 1483 \text{ kg/cm}^3$; $R_c = 10 \text{ MPa}$) sont plutôt plus appropriés pour une utilisation comme matériaux d'isolant thermo-acoustique.

Objectifs de l'étude

Les géopolymères sont une nouvelle classe des matériaux peuvent être utilisés comme matériaux de construction alternatifs aux briques à ciments et briques cuites en raison de ses nombreux avantages technico-économiques et environnementaux.

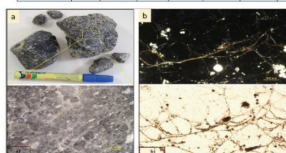
Ce travail consiste à élaborer des géopolymères à base de perlite naturelle de Nador (PN) par l'incorporation de l'argile kaolinique d'Oulmès (AKC).

- 1- Réduire l'utilisation des briques à ciments/ cuites, ce qui limite la consommation d'énergie et l'émission de CO_2 .
- 2- Valoriser et promouvoir les géomatériaux marocains : (Perlite de Nador et Argile kaolinique d'Oulmès)

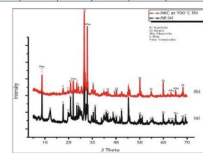
Caractérisation des matières premières

Composition chimique de la perlite (PN) et l'argile kaolinique (AK)

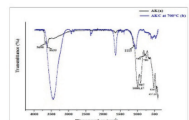
Matériau	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	MgO	Na_2O	P_2O_5	MnO	TiO_2	L.O.I	TOTAL
PN	73,46	13,15	1,53	2,72	3,02	0,05	0,31	0,02	0,03	0,11	5,31	99,71
AK	55,14	28,52	1,37	1,75	1,88	0,17	0,25	0,06	0,02	0,28	10,36	99,80



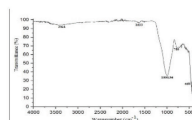
Aspect macroscopique (a) et microscopique (b) de perlite de Nador.



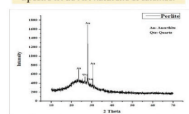
Différentiel de rayons X de l'AKN et calcinée



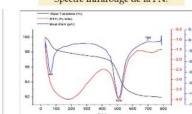
Spectre IR de AK naturelle et calcinée.



Spectre infrarouge de la PN.

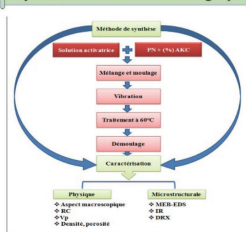


Différentiel de rayons X de la PN.

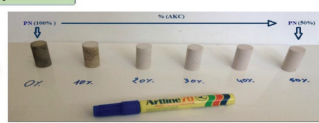


Courbes ATD-TG de l'AK d'Oulmès.

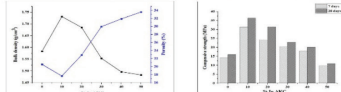
Synthèse et caractérisation des géopolymères synthétisés



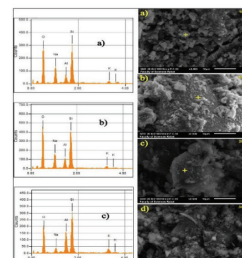
Protocole de synthèse des géopolymères à base de PN-AKC.



Aspect macroscopique des échantillons en fonction de la teneur en AKC.



Variations de la densité et de la résistance mécanique en fonction du % d'AKC.



Effet de AKC sur la microstructure des géopolymères

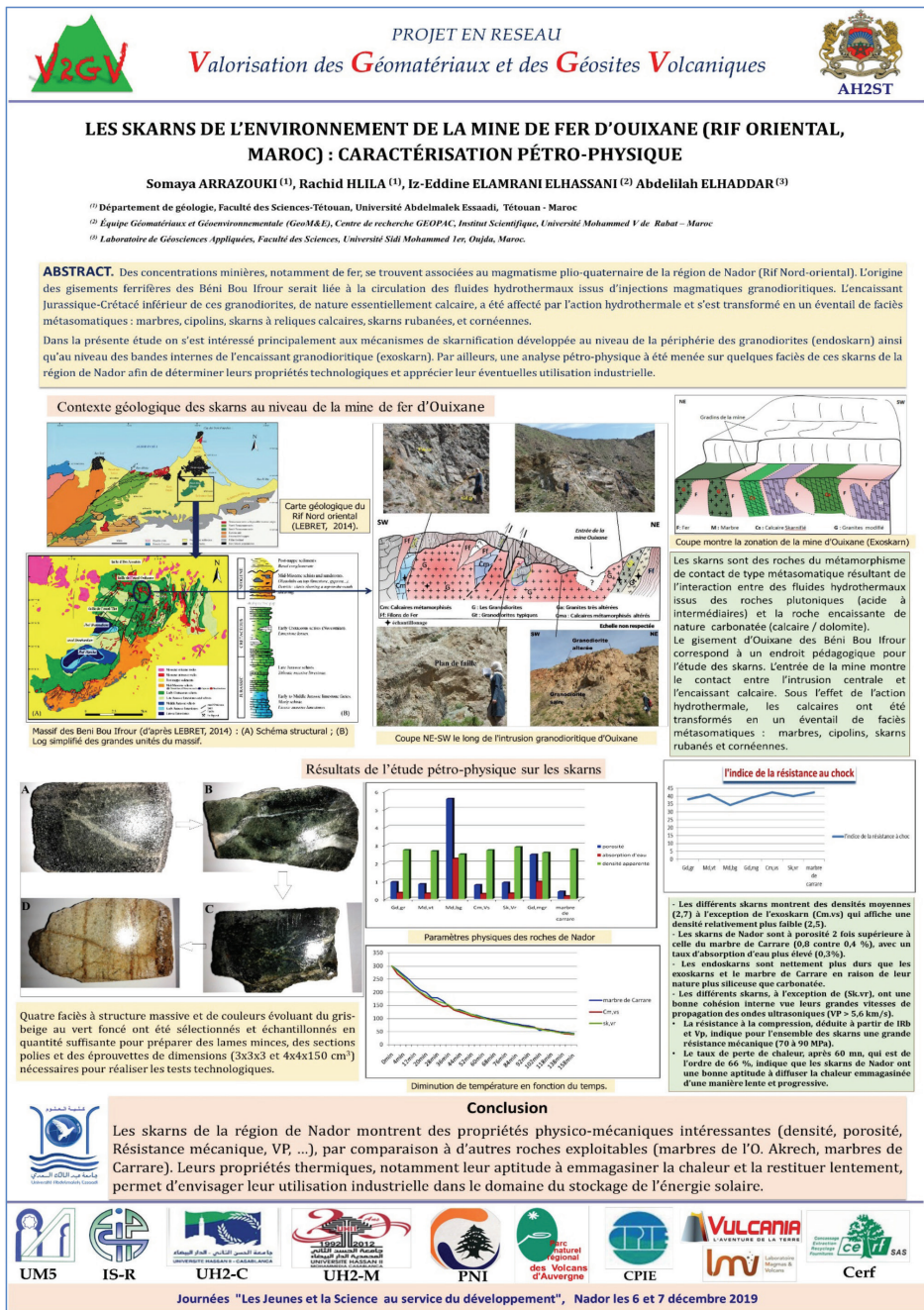
Conclusion

L'utilisation de la perlite naturelle de Nador avec ajout d'argile kaolinique calcinée, selon un protocole et un dosage précis, permet d'obtenir des géopolymères répondant aux normes marocaines des matériaux de construction portants et isolants.


Ces géopolymères constituent de bons candidats pour se substituer aux matériaux de construction conventionnelle, à base de ciment portland et de terre cuite, tout en présentant l'avantage d'être économiques (non-consommateurs d'énergie) et écologiques (non-polluants).



Journées "Les Jeunes et la Science au service du développement", Nador les 6 et 7 décembre 2019


Annexe I-6 : Poster Arrazouki et *al.* / Journée J & S - Nador (2019)

Annexe I-7 : Poster Msaadi et al. / Journée J & S - Nador (2019)



PROJET EN RESEAU

Valorisation des Géomatériaux et des Géosites Volcaniques



POTENTIALITÉS GÉOTOURISTIQUES DE LA PROVINCE VOLCANIQUE NÉOGÈNE ET PLIO-QUATÉNAIRE DU RIF NORD-ORIENTAL

Lina MSAADI⁽¹⁾, Lahcen ASEBRIY⁽²⁾, Ali AZDIMOUS⁽³⁾, Toufik REMMAL⁽⁴⁾ et Iz-Eddine EL AMRANI EL HASSANI⁽²⁾

⁽¹⁾ Département de Géologie, Faculté des Sciences - Rabat, Université Mohammed V de Rabat (Maroc)

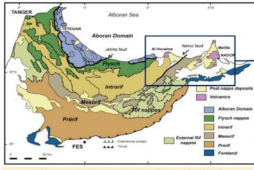
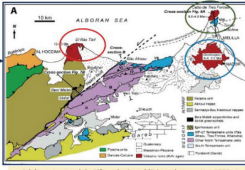
⁽²⁾ Équipe Géomatériaux et Géoenvironnementale (GeoM&E), Centre de recherche GEOPAC, Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat - Maroc

⁽³⁾ Laboratoire des Géosciences Appliquées, Faculté des Sciences, Université Mohammed VI, Oujda (Maroc)

⁽⁴⁾ Laboratoire de valorisation des géomatériaux, Faculté des Sciences de Ain Chock, Université Hassan II, Casablanca (Maroc)

ABSTRACT. Outre l'intérêt scientifique du volcanisme néogène et plio-quaternaire du Rif oriental, ses trois principaux complexes volcaniques (Gourougou, Cap des Trois Fourches et Ras Tarf) offrent des paysages très intéressants sur le plan géotouristique. En effet, ces complexes offrent de très beaux paysages et affleurement géologiques qui méritent d'être mis en valeur et promus auprès des amateurs de la nature et du volcanisme plus particulièrement. Aussi proposons-nous, dans ce travail, un circuit géotouristique et, passant par les plus intéressants géosites de cette province volcanique (dépôts de tufs, laves en coussins, basalte prismé, verre volcanique perlé, etc.). Des explications simples et concises seront apportées afin de permettre au visiteur profane de connaître la nature, la composition et le mode de genèse de l'objet géologique composant chaque géosite.

Cadre géologique du volcanisme du Rif nord-oriental





Après les événements tectoniques, métamorphiques et magmatique qui ont marquées l'évolution géodynamique de la chaîne rifaine et la mise en place de leurs nappes, au Néogène, plusieurs bassins sédimentaires d'obédience, généralement, méditerranéenne et d'âge de remplissage varié, se sont formés (Hernandez, 1987 ; Chotan et Alt Brahim 1988). Au cours du Miocène et le Plio-Quaternaire, une intense activité volcanique s'est installée au Maroc (El Azzouzi et al, 1999). Le volcanisme du Rif nord-oriental a donné naissance à deux Massifs volcaniques : le stratovolcan de Gourougou entouré par ces appareils satellitaires ; le Cap des Trois Fourches et le petit massif volcanique de Ras Tarf.

Stations volcaniques d'intérêt géotouristique


Trois principales stations volcaniques d'intérêt géotouristique peuvent être distinguées

Station I : Gourougou




Le stratovolcan de Gourougou, situé au NW de Nador, se compose d'un massif central d'environ 15 km de diamètre. Il culmine à 900 m d'altitude, et s'entoure d'appareils satellitaires (Cap des Trois Fourches, Bou Toul Tidennit, Beni Bou Ifrou, Amjar, ...)

Station II : Cap Des Trois Fourches



Le Cap des Trois Fourches correspond à un massif volcanique satellite du stratovolcan de Gourougou. Il se situe à l'extrémité nord de la Province de Nador et de Melilla. Il donne sur la mer méditerranéenne par trois façades : nord, est et ouest.

Station III : Ras Tarf




Le petit massif de Ras Tarf fait une dizaine de km de diamètre bordant la côte méditerranéenne et se situe à 20 km à l'est d'Al Hoceima. Il se localise au voisinage d'une grande zone de décrochement limitée par le bassin post-nappes de Boudinar.

Principaux géosites volcaniques du Rif nord-oriental

Localisation sur une carte satellitaire (Google Earth) des principaux géosites de la province volcanique du Rif nord-oriental, correspondant aux trois stations volcaniques :


- Massif volcanique de Gourougou (GV1, GV2, GV3, GV4, ...)
- Cap Des Trois Fourches (GV5, GV6, GV7) ; et ;
- Ras Tarf (GV9).

GV6 - Tufs réholitiques de Tibouda




Petite plage de péches artisanale montrant une falaise composée de tufs myolites blanc et friable.

GV2 - Dykes du Gourougou




Le sommet du Gourougou offre une vue panoramique sur le dyke trachy-andésitique.

GV4 - Basalte prismé d'Amjar




Appareil satellite du Gourougou montrant une coulée basaltique prismée (basalte en orgues)

GV9 - Laves en boules d'Agharabo Yarzani



Laves andésitiques en bord de la mer débris en boules et (pillow-lavs?) indiquant un écoulement sous-marin.











GV3 - Bentonite de Tidennit



Carrière de bentonite appartenant au massif myolitique de Tidennit, daté de 7.2 Ma

Conclusion

La Province volcanique du Rif nord-oriental offre trois stations géotouristiques avec une douzaine de géosites d'un grand intérêt scientifique et d'une extrême beauté pour les admirateurs de la nature. On y trouve différentes formations lithologiques (tufs, basalte, andésite, myolites, bentonite, perlite, ...) et structures géologiques (massives, litées, prismées, débit en boules, ...). Ces géosites présentent en outre l'avantage d'être sur les routes et donc facilement accessibles.

Journées "Les Jeunes et la Science au service du développement", Nador les 6 et 7 décembre 2019

THE TAZEMMOURT SECTION: FEATURING THE FIRST CAMBRIAN FOSSIL LAGERSTÄTTE KNOWN FROM AFRICA

**Gerd Geyer¹, Ed Landing², Miguel Caldera Pais³, Nasrddine Youbi^{4,5}
and Moulay Ahmed Boumehdi^{4,5}**

*1- Institut für Geographie und Geologie, Bayerische Julius-Maximilians-Universität
Würzburg, Germany*

2- New York State Museum, 222 Madison Avenue, Albany, NY, U.S.A.

3- Mediterranean Store, 7780-133 Castro Verde, Portugal

*4- Department of Geology, Faculty of Sciences Semlalia,
Cadi Ayyad University Marrakech, Morocco*

5- Instituto Dom Luiz, University of Lisbon, Portugal

The Tazemmourt section (Figure 1) is composed of lower Cambrian strata with a total thickness of ca. 350 m. It includes rocks of the Igoudine and Amouslek formations. The section is fairly well studied (e.g., [1]–[6]), but is particularly famous for its superbly preserved trilobites (extinct marine arthropods with dorsal skeletons mineralized by calcium carbonate). These trilobites are offered for sale on the global fossil market and find their way into numerous international museum collections (e.g., [7]). Many trilobite species were described from the Tazemmourt section for the first time and have their type localities here ([1], [8]). In addition, the vertical sequence of fossils seen in the section is the basis for the biostratigraphical subdivision in the Atlas Ranges. This fossil-based zonation is part of the most important relative time subdivisions of the Cambrian Period in the West Gondwana paleocontinent and globally (e.g., [1], [6], [9]–[11]).

Recent work has revealed that several horizons in the *Daguinaspis* Zone (based on trilobite fossils) of the Amouslek Formation yield animal remains with well preserved, internal soft-parts. These occurrences were termed the *Souss Lagerstätte*, and this is the first Cambrian fossil Lagerstätte known from Africa ([12], [13]). Accordingly, the Tazemmourt section certainly deserves a protected status and should be regarded as one of the key geotopes in Morocco.



**Figure 1 : Tazemmourt Main Section, view towards north from mid-section.
Typical shale-dominated middle and upper parts of the Amouslek Formation are visible**

The Tazemmourt section is located south of the village of Tazemmourt, about 10 km SSE of Taroudannt (Lambert coordinates 171.4/382.4, ca. N 30° 23' 45" W 8° 49' 30"). The rocks dip northward, and the top of the section at the southern rim of Tazemmourt is covered by the alluvial sediments of the Souss plain (Figure 1). The base of the section, about 2 km south of Tazemmourt, is in an east-west striking valley formed on the Igoudine Formation. The conspicuous transverse ridge to the north of that valley is formed by resistant limestones that lie about at the level of unit 17 in Jean Abadie's unpublished thesis (Figure 2).

The Igoudine Formation in the Tazemmourt section is dominated by massive limestones. The succession through the Tiout Member that forms the upper Igoudine Formation is the best example of that member, apart from the Tiout section, and includes numerous horizons with archaeocyaths (studied by F. Debrenne, [14]-[18]). Archaeocyaths are important for regional and intercontinental fossil-based correlation in ancient tropical marine rock successions. Associated fossiliferous limestones contain *Hupetina antiqua*, the oldest known trilobite that is described from Morocco ([19]).

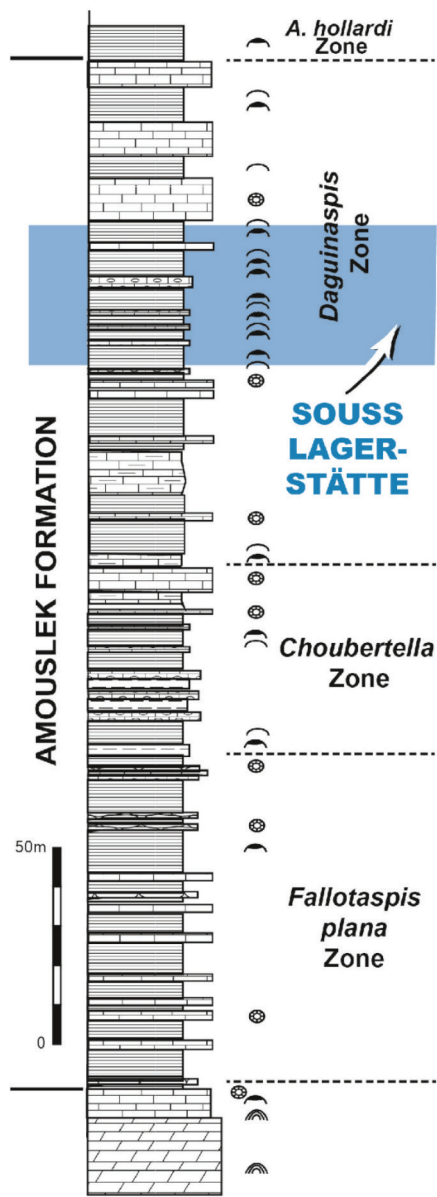


Figure 2 : Stratigraphic profile of the middle and upper part of the Tazemmourt main section showing known occurrences of trilobites, archaeocyaths, and other shelly fossils.
The stratigraphic range of the Souss Lagerstätte, with exceptional preservation of fossils, is shown.
Modified from [2] and based on unpublished data.

The Amouslek Formation in the Tazemmourt section is composed of cyclic alternations of rock dominated by green, grey and subordinate purple shales with intercalated marlstone and limestone beds that include some archaeocyath buildups. The formation includes the only known contact of the top of the *Choubertella* and base of the *Daguinaspis* zones (an interval which includes an unpublished important faunal association). The shales of the middle and higher *Daguinaspis* Zone are rich in trilobites, which are exploited in numerous small quarries in the main section. Eighteen different trilobite species were first described from the Amouslek Formation of this section ([1], [7], [11]), and this means this is one of the most important trilobite localities in Morocco and in West Gondwana (e.g., Figure 3). This part of the section was the basis for proposing the first sophisticated biostratigraphic zonation of the lower Cambrian for use on a global scale [1].

In addition, preservation of soft-part in various groups of fossils was recently described from the middle to upper part of the *Daguinaspis* Zone [13], and particularly well-preserved specimens were recovered from the Tazemmourt section, including the preservation of the digestive tract in several species of trilobites (Figure 4), but also from setae and parts of the visceral mass in brachiopods (Figure 5).

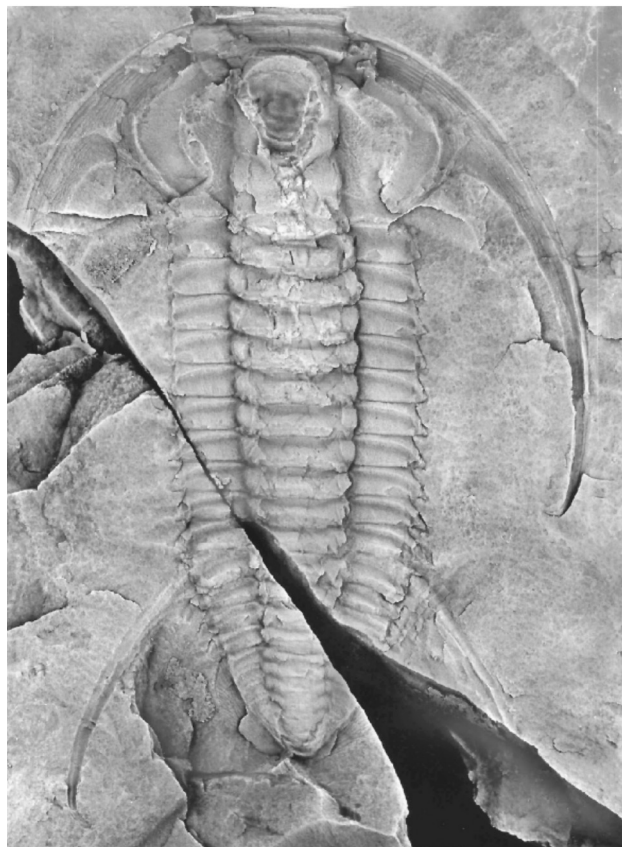


Figure 3 : Holotype of *Perrector falloti* (Hupé, 1953), with partly exposed ventral side of the exoskeleton (librigenae, hypostome, and rostral plate under the head region), collected in 1949 from the Amouslek Formation of the Tazemmourt section. Collection of the Muséum



Figure 4 : Exoskeleton of the trilobite species *Daguinaspis ambroggii* from the Tazemmourt section with paired parts of the digestive tract preserved in the cephalon and anterior part of the thorax. Collection Devoille DEV C4.2



Figure 5 : The unusual brachiopod *Microschedia amphitrite* from the Tazemmourt section with relict, poorly preserved setae (spine-like structures) near the margin of the valves (left) and dark staining of soft parts that impregnates the shell material (arrows).
Collection Barbe CGB 24b.

Acknowledgement and funding

The studies on the section was supported by funds of the Deutsche Forschungsgemeinschaft to GG (DFG grants GE 549/7-1, GE 549/13-1, GE 549/22-1), by funds of the National Science Foundation to EL, and by funds of the Academy Hassan II of Science and Technology of Morocco AcadHIIIST/SDU/2016-02 to A. El Albani and NY. The Academician Prof. Ahmed El Hassani is gratefully acknowledged for the handling of this manuscript, his patience and support.

References

- [1] P. Hupé, Contribution à l'étude du Cambrien inférieur et du Précambrien III de l'Anti-Atlas marocain. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc 103 (1953), 402 pp.
- [2] P. Hupé, Nouvelle contribution à l'étude du Cambrien marocain. Thèse Scientifique, Faculté des Sciences de l'Université de Paris (1959), 447 pp.
- [3] G. Choubert, A. Faure-Muret, et al., Livret-guide de l'excursion Anti-Atlas occidental et central. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc 229 (1970), 259 pp.
- [4] G. Choubert, A. Boudda, and A. Faure-Muret, Essai de stratigraphie de la couverture sédimentaire de l'Anti-Atlas: Adoudounien - Cambrien inférieur. Reunion de la Limite Cambrien-Précambrien, Agadir-Rabat 1975, Dok. I A, Texte (1975), 57 pp.
- [5] A. Boudda, G. Choubert, and A. Faure-Muret, Essai de stratigraphie de la couverture sédimentaire de l'Anti-Atlas: Adoudounien - Cambrien Inférieur. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc 271 (1979), 96 pp.
- [6] G. Geyer, E. Landing, and W. Heldmaier, Faunas and depositional environments of the Cambrian of the Moroccan Atlas regions. *Beringeria* Special Issue 2 (1995), 47-119.
- [7] P. Lebrun, Fossiles du Maroc. Tome I: Gisements emblématiques du Paléozoïque de l'Anti-Atlas. Les Editions du Piat, Saint-Julien-du-Pinet, 298 pp., 2019.
- [8] G. Geyer, The Moroccan fallotaspide trilobites revisited. *Beringeria* 18 (1996), 89–199.
- [9] G. Geyer, Late Precambrian to early Middle Cambrian lithostratigraphy of southern Morocco. *Beringeria* 1 (1989), 115–143.
- [10] G. Geyer, and E. Landing, The Cambrian of the Moroccan Atlas region. *Beringeria* Special Issue 2 (1995), 7-46.
- [11] G. Geyer, and E. Landing, Latest Ediacaran and Cambrian of the Moroccan Atlas regions. UCL Maghreb Petroleum Research Group, Infracambrian/Early Palaeozoic Field Guide Series 1 and *Beringeria* Special Issue 6 (2006), 47-120.

- [12] G. Geyer, A critical evaluation of the *Resserops* clade (Trilobita: Despujolsiidae, early Cambrian) with remarks on related redlichiacean families. *Freiburger Forschungshefte C556* (2020), 1-107.
- [13] G. Geyer, and E. Landing, The Souss lagerstätte of the Anti-Atlas, Morocco: discovery of the first Cambrian fossil lagerstätte from Africa. *Scientific Reports* (submitted).
- [14] F. Debrenne, Archaeocyatha des lentilles calcaires de Tazemmourt (Anti-Atlas). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc* 147 (1960), 7-37.
- [15] F. Debrenne, Archaeocyatha. Contribution à l'étude des faunes cambriennes du Maroc, de Sardaigne et de France. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc* 179 (1964), 371 pp.
- [16] F. Debrenne, Archaeocyatha du Maroc: Essai de synthèse. *Géologie Méditerranéenne* XVII (1992), 213-227.
- [17] F. Debrenne, M. Debrenne, and A. Faure-Muret, Faune d'Archéocyathes de l'Anti-Atlas occidental (bordures Nord et Sud) et du Haut Atlas occidental. *Cambrien inférieur, Maroc. Géologie Méditerranéenne* XVII (1992), 177-211.
- [18] F. Debrenne, and M. Debrenne, Archaeocyaths of the Lower Cambrian of Morocco. *Beringeria Special Issue 2* (1995), 121-145.
- [19] G. Geyer, The earliest known West Gondwanan trilobites from the Anti-Atlas of Morocco, with a revision of the Family Bigotinidae Hupé, 1953. *Fossils and Strata* 64 (2019), 55-153.

THE TIOUT SECTION: A RECORD OF EARLY CAMBRIAN RATES OF BIOTIC AND GEOLOGIC CHANGE

*Gerd Geyer*¹, *Ed Landing*², *Nasrddine Youbi*^{3,4}, *Kamal Mghzali*³,
*Nezha Lazreq*³ and *Moulay Ahmed Boumehdi*^{3,4}

*1- Institut für Geographie und Geologie, Bayerische Julius-Maximilians-Universität
Würzburg, Germany*

2- New York State Museum, 222 Madison Avenue, Albany, NY, U.S.A.

*3- Department of Geology, Faculty of Sciences Semailia,
Cadi Ayyad University Marrakech, Morocco*

4- Instituto Dom Luiz, University of Lisbon, Portugal

The Tiout section is composed of early Cambrian marine sedimentary rocks with a total thickness of ca. 1,700 m. It includes (from base to top) the Adoudou, Lie de vin, Igoudine and Amouslek formations (Figure 1). It is the best studied and most referenced section of both the Moroccan Cambrian and probably the entire West Gondwanan palaeocontinent (e.g., [1]–[17]). The section is exceptionally important because of its thorough documentation, excellent exposure, abundant fossils that range from cyanobacterial buildups to archaeocyaths and trilobites, recent U-Pb zircon dates on volcanic ashes, as well as easy accessibility. Accordingly, the Tiout section requires a protected status and should be regarded as one of the key geotopes in Morocco.

This type section of the Lie de vin Formation and the Igoudine Formation (including the Tiout Member) is an especially useful example of the very shallow marine, tropical environments that prevailed during the deposition of these units. Complex cyclicity and conspicuous development of finely layered, often dome-like stromatolitic buildups can be studied ([4], [7]). Shelly fossils are rare below the Tiout Member, but the trilobite and archaeocyath faunas of the Tiout Member ([13], [18]–[23]) are characteristic for the lower part of the lower Cambrian biostratigraphy of the Atlas region.



Figure 1: Tiout Section, view from near the base in the upper Adoudou Formation with typical exposures of the Lie de vin Formation and Igoudine Formation visible in the middle distance, followed by the lowlands of the Souss Plain

The Igoudine Formation (Figure 2) is dominated by massive limestones, but can be subdivided into two members, which differ in their lithologies ([4], [7]). The lower member consists of light and dark, thick-bedded micritic limestones and dolomitic limestones with large chert nodules and frequent columnar stromatolites (e.g., [2], [5], [24], [25]). The limestones are frequently laminated and grade into conspicuously laminated dolostones that locally have tepee-structures and chert nodules. This part of the formation features a strongly restricted, very shallow marine facies. The upper Tiout Member is characterized by oolitic, intraclast-bearing or fossil hash limestones that indicate considerable wave action during deposition. It contains the oldest known trilobites and the oldest shelly fossils formally known from Morocco ([1], [22]), e.g., the endemic trilobite *Hupetina antiqua* (Figure 3). Only a few metres above, the first archaeocyaths occur in dark limestones.

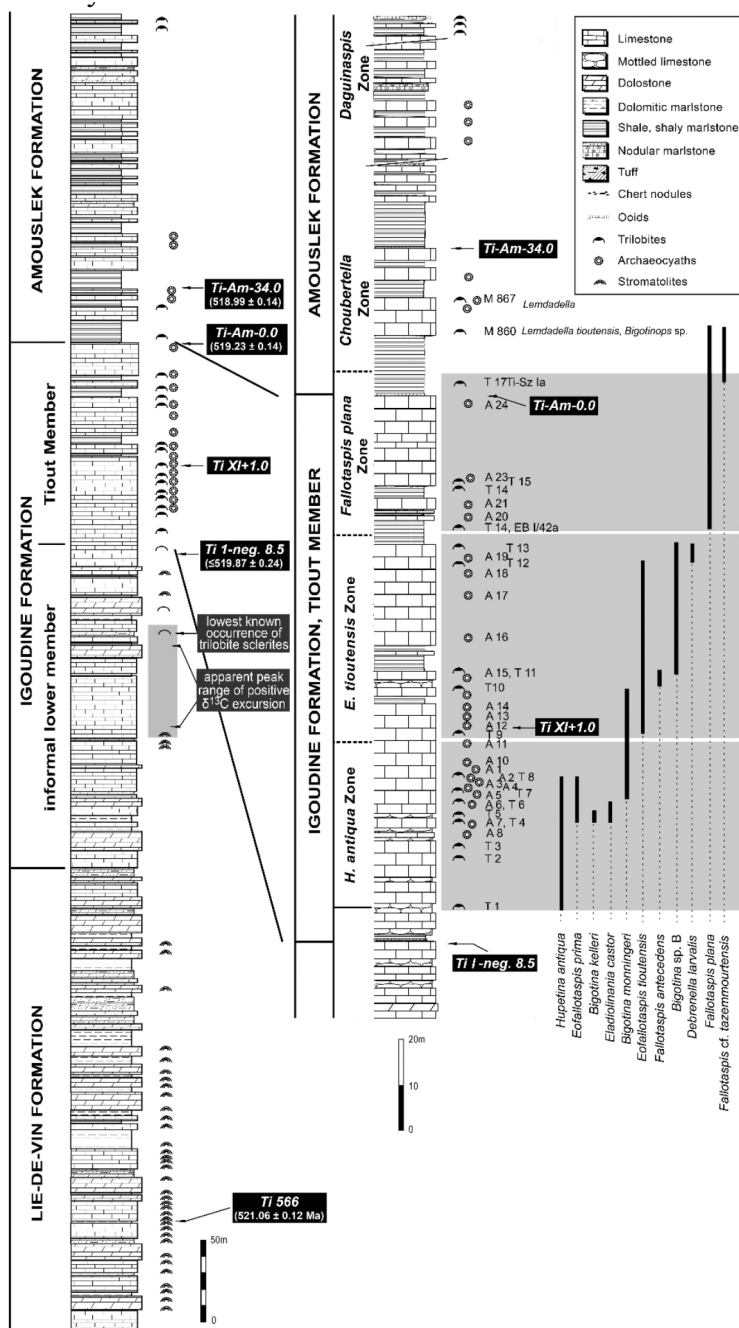


Figure 2: A number of thin (to a maximum of 10 cm) volcanic ash layers have been dated in the Tiout section; recent radiometric dating [17] provides some of the most precise age determinations of this time interval known in the world.

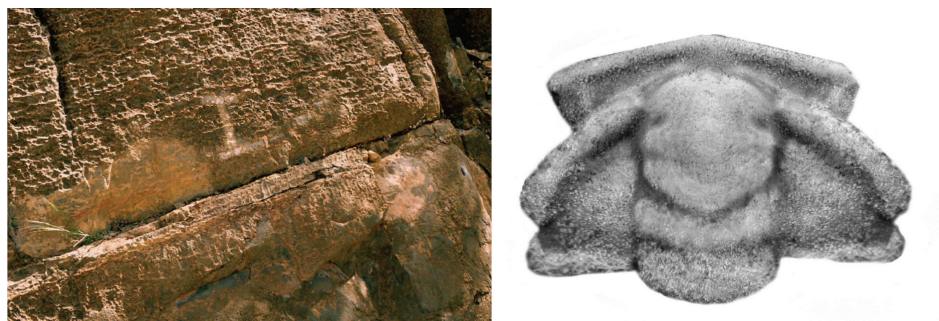


Figure 3: Left: Dolomitic limestones at the base of the Tiout Member, Igoudine Formation, with multiple microbial mats and lowest horizon of *Hupetina antiqua*. Right: *Hupetina antiqua*, cranidium, the oldest known trilobite species of Morocco and West Gondwana

The Amouslek Formation consists of dark, partly oolitic limestones that alternate with thick units of greenish or grey, rarely purple, shales. Archaeocyaths are frequently found in the limestone beds (Figure 4), especially in the lower part, and they form local bioherms. The uppermost part of the section is dominated by shales. The few limestones in this part form distinct marker beds in the shales. The shale-dominated strata are rich in trilobites that comprise a typical *Daguinaspis* Zone assemblage. Part of this *Daguinaspis* Zone features shales with fossils (trilobites, brachiopods, hyoliths) with remnants of soft-parts that represent the superb preservation of the newly described *Souss Lagerstätte* [26].

The Adoudou-Lie de vin-Igoudine-lower Amouslek succession records a long-term, regional change in ancient marine conditions in southern Morocco. This includes a deepening from the very shallow water Adoudou and Lie de vin formations, to less restricted but still shallow marine conditions of the Igoudine carbonate sediments, and then somewhat deeper water conditions of the “mixed” carbonates and shales of the Amouslek Formation [12].

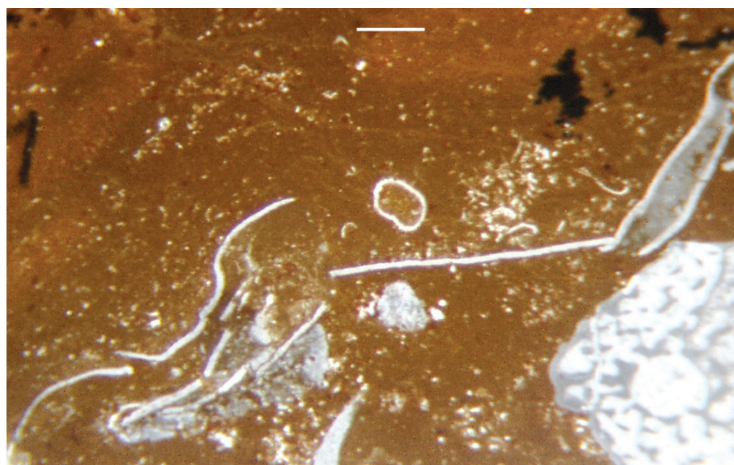


Figure 4: Thin section of typical limestone from the lower part of the Amouslek Formation, with transverse sections of archaeocyath (lower right corner), hyolith (on right above the archaeocyath), trilobite sclerites (straight to curved fragments) and numerous structures of calcimicrobes. Sale bar 1 mm

Acknowledgement and funding

The studies on the section was supported by funds of the Deutsche Forschungsgemeinschaft to GG (DFG grants GE 549/7-1, GE 549/13-1, GE 549/22-1), by funds of the National Science Foundation to EL, and by funds of the Academy Hassan II of Science and Technology of Morocco AcadHIST/SDU/2016-02 to A. El Albani and NY. The Academician Prof. Ahmed El Hassani is gratefully acknowledged for the handling of this manuscript, his patience and support.

References

- [1] K. Sdzuy, The Precambrian-Cambrian boundary beds in Morocco (Preliminary Report). *Geological Magazine* 115 (1978), 83-94.
- [2] M. Schmitt, 1978. Stromatolites from the Tiout section. Precambrian-Cambrian boundary beds, Anti-Atlas, Morocco. *Geological Magazine* 115 (1978), 95-99.
- [3] F. Debrenne, and M. Debrenne, Archaeocyathid fauna of the lowest fossiliferous levels of Tiout (Lower Cambrian, Southern Morocco). *Geological Magazine* 115 (1978), 1101-1109.
- [4] W. Monninger, The section of Tiout (Precambrian/Cambrian boundary beds, Anti-Atlas, Morocco): An environmental model. *Arbeiten aus dem Paläontologischen Institut der Universität Würzburg* 1 (1979), 289 pp.
- [5] M. Schmitt, The section of Tiout (Precambrian/Cambrian boundary beds, Anti-Atlas, Morocco): Stromatolites and their biostratigraphy. *Arbeiten aus dem Paläontologischen Institut der Universität Würzburg* 2 (1979), 188 pp.
- [6] A. Boudda, G. Choubert, and A. Faure-Muret, Essai de stratigraphie de la couverture sédimentaire de l'Anti-Atlas: Adoudounien - Cambrien Inférieur. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc* 271 (1979), 96 pp.
- [7] G. Geyer, Late Precambrian to early Middle Cambrian lithostratigraphy of southern Morocco. *Beringeria* 1 (1989), 115-143.
- [8] A. Latham, and R. Riding, Fossil evidence for the location of the Precambrian/Cambrian boundary in Morocco. *Nature* 344 (6268) (1990), 752-754.
- [9] J. L. Kirshvink, M. Magaritz, R. L. Ripperdan, A. Yu. Zhuravlev, and A. Yu. Rozanov, The Precambrian/Cambrian boundary: Magnetostratigraphy and carbon isotopes resolve correlation problems between Siberia, Morocco, and South China. *GSA Today* 1 (1991), 69-71, 87-88.
- [10] M. Magaritz, J. L. Kirshvink, A. J. Latham, A. Yu. Zhuravlev, and A. Yu. Rozanov, Precambrian/Cambrian boundary problem: Carbon isotope correlations for Vendian and Tommotian time between Siberia and Morocco. *Geology* 19 (1991), 847-850.
- [11] W. Compston, I. S. Williams, J. L. Kirschvink, Z. Ch. Zhang, and G. G. Ma, Zircon U-Pb ages from the Early Cambrian time-scale. *Journal of the Geological Society London* 149 (1992), 171-184.

- [12] G. Geyer, E. Landing, and W. Heldmaier, Faunas and depositional environments of the Cambrian of the Moroccan Atlas regions. *Beringeria* Special Issue 2 (1995), 47-119.
- [13] F. Debrenne, and M. Debrenne, Archaeocyaths of the Lower Cambrian of Morocco. *Beringeria* Special Issue 2 (1995), 121-145.
- [14] E. Landing, S. A. Bowring, K. L. Davidek, S. R. Westrop, G. Geyer, and W. Heldmaier, Duration of the Early Cambrian: U-Pb ages of volcanic ashes from Avalon and Gondwana. *Canadian Journal of Earth Sciences* 35 (1998), 329-338.
- [15] A. Maloof, A.C., Schrag, D.P., Crowley, J.L. & Bowring, S.A. 2005. An expanded record of Early Cambrian carbon recycling from the Anti-Atlas margin. *Canadian Journal of Earth Sciences* 42, 2195–2216.
- [16] G. Geyer, and E. Landing, Latest Ediacaran and Cambrian of the Moroccan Atlas regions. UCL Maghreb Petroleum Research Group, Infracambrian/Early Palaeozoic Field Guide Series 1 and *Beringeria* Special Issue 6 (2006), 47-120.
- [17] E. Landing, M. Schmitz, G. Geyer, R. B. Trayler, and S. A. Bowring, in press. Precise Early Cambrian U-Pb zircon dates bracket the oldest trilobites and archaeocyaths in Moroccan West Gondwana. *Geological Magazine* (2020).
- [18] K. Szdzyt, Der Beginn des Phanerozoikums – Paläobiologische und stratigraphische Probleme. *Natur und Museum* 111 (1981), 390-399.
- [19] E. Liñán, and K. Szdzyt, A trilobite from the Lower Cambrian of Córdoba (Spain) and its stratigraphical significance. *Senckenbergiana lethaea* 59 (1978), 378-399.
- [20] Geyer, G. 1990a. Revised Lower to lower Middle Cambrian biostratigraphy of Morocco. *Newsletters in Stratigraphy* 22 (1990), 53-70.
- [21] G. Geyer, The Moroccan fallotaspide trilobites revisited. *Beringeria* 18 (1996), 89–199.
- [22] G. Geyer, The earliest known West Gondwanan trilobites from the Anti-Atlas of Morocco, with a revision of the Family Bigotiniidae Hupé, 1953. *Fossils and Strata* 64 (2019), 55-153.
- [23] F. Debrenne, M. Debrenne, and A. Faure-Muret, Faune d'Archéocyathes de l'Anti-Atlas occidental (bordures Nord et Sud) et du Haut Atlas occidental. *Cambrien inférieur, Maroc. Géologie Méditerranéenne* XVII (1992), 177-211.
- [24] M. Schmitt, New stromatolites from the Late Precambrian of the Anti-Atlas and from the Lower Cambrian of the High Atlas, Morocco. *Senckenbergiana lethaea* 60 (1979), 39-49.
- [25] J. Bertrand-Sarfati, Problème de la limite Précambrien-Cambrien: la section de Tiout (Maroc); les stromatolites et leur biostratigraphie (SCHMITT 1979): critiques et observations. *Newsletters on Stratigraphy* 10 (1981), 20-26.
- [26] G. Geyer, and E. Landing, The Souss lagerstätte of the Anti-Atlas, Morocco: discovery of the first Cambrian fossil lagerstätte from Africa. *Scientific Reports* (submitted).

RAPPORT D'ACTIVITÉ
2019 - 2020

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2019 - 2020

Pr. Omar FASSI-FEHRI

*Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



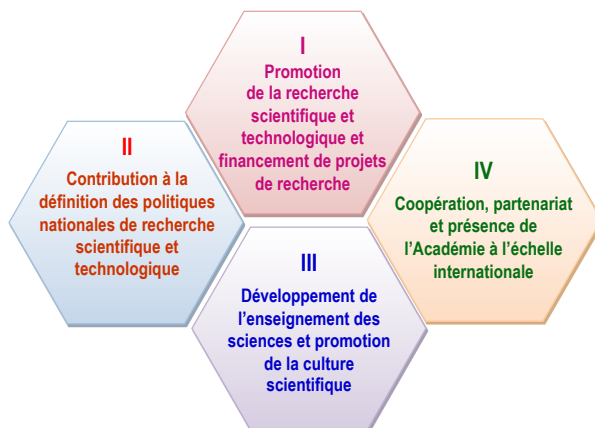
ROYAUME DU MAROC

ACADÉMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Session plénière solennelle 2020



Activités réalisées par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques durant l'année 2019-2020 dans le cadre de ses missions telles que fixées par la Loi l'instituant.

Rappel des missions principales de l'Académie



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020

2

Mission I. Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche

Activité I.1 : Réunions des organes directeurs de l'Académie

Organe directeur		Nombre de réunions
Conseil d'Académie		6
Commission des Travaux		6
Collèges Scientifiques	Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique	11
	Sciences Physiques et Chimiques	8
	Sciences et Techniques du Vivant	6
	Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer	6
	Etudes Stratégiques et Développement Economiques	5
Sciences de la Modélisation et de l'Information		1 + les réunions du groupe de mathématiciens pour l'excellence



Mission I. Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche

Activité I.2 : Sessions ordinaires

Thèmes traités	Date
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Actualisation du rapport sur l'expérience de l'Académie en matière d'appui à la recherche scientifique ✓ Suivi, procédures et modalités de sélection des projets de recherche 	08 juillet 2019
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Préparation de la session plénière 2020 et présentation du thème général de la session plénière 2021 ✓ Programme d'allocations d'excellence : bilan et perspectives 	27 septembre 2019
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lancement des journées «jeunes et sciences au service du développement» 	19 novembre 2019
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Discussion de deux initiatives : <ol style="list-style-type: none"> 1- Adresser à la Commission Spéciale sur le Modèle de Développement (CSMD), le document (2019) de l'Académie sur la recherche scientifique "Une politique scientifique, technologique et d'innovation pour accompagner le développement du Maroc" avec une lettre d'accompagnement, 2- Préparer un document mettant en lumière les orientations, actions et initiatives prises par sa Majesté le Roi que Dieu L'assiste, au cours de 20 années de Son règne, en matière de promotion et de développement de la recherche scientifique en particulier, et de la science en général. 	24 janvier 2020



Mission I. Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche

Activité I.3 : Préparation de la session plénière solennelle 2020

Thème général de la session plénière 2020 :
«Patrimoine naturel et développement durable»

Membres de la Commission
Préparatoire, validée par la Commission
des Travaux



Membre

Pr. Ahmed EL HASSANI
Pr. Albert SASSON
Pr. Mohamed AIT KADI
Pr. Omar ASSOBBEI
Pr. Driss OUAZAR
Pr. Mohamed BERRIANE
Pr. Abdelkarim FILALI-MALTOUF
Pr. Abdeslam HOUMMADA
Pr. Mohamed IBN MAJAH

Mission I. Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche

Activité I.3 : Préparation de la session plénière solennelle 2020 - Visite touristique et culturelle dans la région de Fès-Meknès

Visite aux villes de Meknès, d'Ifrane et de Fès

Comité d'organisation



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020



Membre

Pr. Omar Fassi-Fehri
Pr. Mostapha Bousmina
Pr. Ahmed El Hassani
Pr. Abdeslam Hoummada
Mme Ihsane Sibari
Mr. Lhou Mitali



6

Mission I. Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche

Activité I.4 : Appui aux projets de recherche

ENSEMBLE DE PROJETS SOUTENUS PAR L'ACADEMIE

	Nombre de projets soutenus
Appel d'offres 2007	17
Appel d'offres 2010	12
Appel d'offres 2017	07
Collaborations internationales (Brésil, Espagne et Sénégal)	04
Partenariat Public Privé: Académie, Ministère & Groupe SAFRAN	03
Hors appels d'offres	04
Total	47

Mission I.**Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche****Activité I.4 : Appui à la recherche****LIVRABLES OBTENUS**

Chercheurs/ Médecins	Postdoctorants	Etudiants	Autre personnel (Techniciens, attachés de recherche, etc.)	Doctorat	Master	Ingénieurs	Articles publiés/ Sous-presse	Conférences et communications orales données	Brevets déposés	Distinctions/Prix	
918	18	Doctorat 528 Master 279 Elèves Ingénieurs 61 Licence 93 Total 961	113	231	262	61	Directement associés au projet 707 Associés au thème du projet 309 Total 1 016	Internationales 841 Nationales 301 Total 1 142	5	Manifestations scientifiques organisées Collaborations internationales (47) et nationales (29) Financement de nouveaux projets Partenariats avec le secteur public/privé Construction de station pilote de traitement des eaux usées Conception d'un réacteur pour la transformation des huiles végétales en biodiesel Création d'une unité de production de ferments Construction d'une station pilote pour le traitement des eaux usées	12 340 76 17 11 1 1 1 1

Mission I. Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche**Activité I.4 : Appel à projets 2017-2018****ETAT ACTUEL**

- CONVENTIONS SIGNÉES
- PREMIÈRE TRANCHE VERSÉE
- UN RAPPORT D'ACTIVITÉS REÇU



Mission I.

Promotion de la recherche scientifique et technologique
et financement de projets de recherche

Activité I.4 : Appel à projets 2017-2018

PROJETS RETENUS (1)

Thématique: Sciences du climat

Titre du projet & Coordonnateur du projet et Domiciliation	Date de signature de la convention	Date du premier versement	Etat actuel
Changement et variabilité climatiques passés et actuels au Maroc: forçages, réponses, impacts et rétroactions - Bases pour la proposition de solutions d'adaptations "CHARISMA" Porteur de projet : BOUCHAOU Lhoussaine, Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences, Agadir	22 novembre 2018	04 décembre 2018	Rapport 1 en attente
Gestion conservatoire des eaux et des sols pour un développement agricole durable dans un contexte de changement climatique dans la région Nord du Maroc Porteur de projet : CHIKHAOUI Mohamed, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat	08 octobre 2018	16 octobre 2018	Rapport 1 reçu le 15 janvier 2020
Effets du réchauffement climatique sur le paysage désertique de l'Est et du Sud marocain (Merzouga, Dakhla). Analyse des données bioclimatiques, naturelles et anthropiques et modélisation de l'érosion éolienne Porteur de projet : LAHRACH Abderrahim, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques, Fès	13 novembre 2018	17 décembre 2018	Rapport 1 en attente

Mission I.

Promotion de la recherche scientifique et technologique
et financement de projets de recherche

Activité I.4 : Appel à projets 2017-2018

PROJETS RETENUS (2)

Thématique: Sciences des matériaux

Titre du projet & Coordonnateur du projet et Domiciliation	Date de signature de la convention	Date du premier versement	Etat actuel
Utilisation de la coque de noix d'arganier à l'échelle nanométrique pour le développement de Bio-nanocomposites à base de matrice thermoplastique Porteur de projet : BENSALAH Mohammed-Ouadi, Université Mohammed V de Rabat, Faculté des Sciences	22 octobre 2018	25 octobre 2018	Rapport 1 en attente
Effet du recyclage de la poudre AlSi7Mg0.6 sur les pièces fabriquées par SLM (Selective Laser Melting) Porteur de projet : VAUDREUIL Sébastien, Université Euro-Méditerranéenne de Fès	05 octobre 2018	12 octobre 2018	

Mission I.

Promotion de la recherche scientifique et technologique
et financement de projets de recherche

Activité I.4 : Appel à projets 2017-2018

PROJETS RETENUS (3)

Thématique: Physique statistique

Titre du projet & Coordonnateur du projet et Domiciliation	Date de signature de la convention	Date du premier versement	Etat actuel
Contribution à l'étude des phases de Dirac et topologique d'une classe de nouveaux matériaux Porteur de projet : DRISSI Lalla Btissam, Université Mohammed V de Rabat, Faculté des Sciences	27 décembre 2018	07 février 2019	Rapport 1 en attente

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2019-2020

Mission I.

Promotion de la recherche scientifique et technologique
et financement de projets de recherche

Activité I.4 : Appel à projets 2017-2018

PROJETS RETENUS (4)

Thématique: Masses de données

Titre du projet & Coordonnateur du projet et Domiciliation	Date de signature de la convention	Date du premier versement	Etat actuel
Imagerie satellite multispectrale, data mining et applications agricoles Porteur de projet : BOURZEIX Francois, Moroccan foundation for Advanced Science, Innovation and Research (MAScIR), Rabat	02 novembre 2018	19 novembre 2018	Rapport 1 en attente

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2019-2020

Mission I.**Promotion de la recherche scientifique et technologique
et financement de projets de recherche****Activité I.4 : Appel à projets 2017-2018****LIVRABLES OBTENUS**

Gestion conservatoire des eaux et des sols pour un développement agricole durable dans un contexte de changement climatique dans la région Nord du Maroc

Porteur de projet : CHIKHAOUI Mohamed
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat

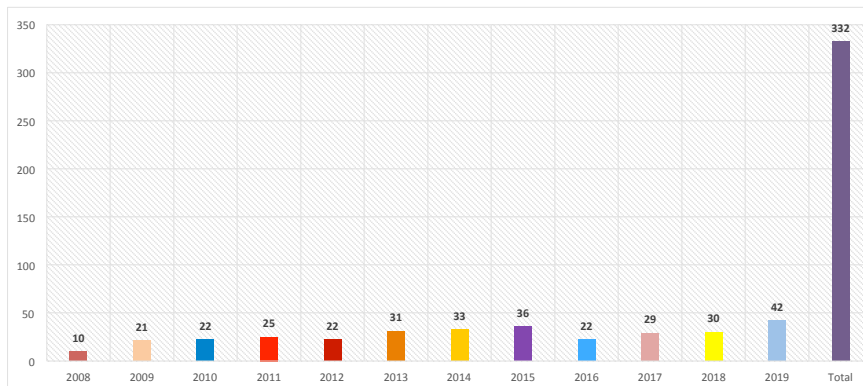
Chercheurs	Postdoctorants	Etudiants	Autre personnel (Techniciens, attachés de recherche, etc.)	Doctorat	Master	Ingénieurs	Articles publiés/ Sous-presse	Conférences et communications orales données	Brevets		
16	0	Doctorat 13 Elèves Ingénieurs 8 Total 21	5	0	0	8	Directement associés au projet 1 Associés au thème du projet 10 Total 11	Internationales 8 Nationales 1 Total 9	0	Manifestations scientifiques organisées	1

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2019-2020

Mission I.**Promotion de la recherche scientifique et technologique
et financement de projets de recherche****Activité I.5 : Soutien aux manifestations scientifiques entre 2019-2020**

<i>Nombre de demandes reçues</i>	<i>Nombre de manifestations soutenues</i>	<i>Nombre de doctorants soutenus</i>	<i>Budget total alloué</i>
48	42	176	241 821 DHs



Mission I.**Promotion de la recherche scientifique et technologique
et financement de projets de recherche****Évolution du nombre de manifestations scientifiques soutenues par l'Académie depuis 2008**

16

**Mission I. Promotion de la recherche scientifique et technologique
et financement de projets de recherche****Activité I.6 : Encouragement d'excellence****1- Allocations**

Pour la dixième année consécutive, des allocations d'excellence (édition 2019) ont été attribuées aux lauréats du concours général en sciences et techniques, organisé pour les meilleurs bacheliers des disciplines scientifiques et techniques, dans le cadre de la convention de partenariat signée avec le Ministère de l'Education Nationale.

Le 24 juillet 2019, une réunion en présence de M. le Ministre de l'Education Nationale a été organisée avec l'ensemble des lauréats y compris les lauréats de 2019,

Aujourd'hui, 44 étudiants bénéficient encore des allocations d'excellence, dont 16 en classes préparatoires aux grandes écoles ou dans les 2 premières années de Facultés de médecine et de pharmacie ou Faculté de médecine dentaire. Les autres sont inscrits à des niveaux de doctorat, de master ou d'écoles d'ingénieurs.

Deux soutenances de doctorat ont eu lieu en 2019:

- un normalien (rue d'ULM) à l'Université Paris Sud qui a soutenu un doctorat sur "l'existence des courbes rationnelles sur les surfaces K3",
- une diplômée de l'Ecole des Mines de Nancy qui a soutenu un doctorat à l'université de Grenoble Alpes (France) dans la spécialité «Matériaux, Mécanique, Génie civil, Electrochimie»,

Huit autres préparent des doctorats pour des soutenances en 2020 et 2021, l'un au Centre de Paris Saclay – INSTN (France), le second à MIT-USA, le troisième au Montréal Institute of Learning Algorithms (Canada), le quatrième à l'University of California-Berkeley, le cinquième à l'INSTN (CEA-France), le sixième à Columbia University (USA), le septième à l'Ecole polytechnique de Paris (France) et le huitième à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (Casablanca).

2- Mise en place d'équipes de chercheurs, enseignants-chercheurs performants (en Mathématiques)

Mission I. Promotion de la recherche scientifique et technologique et financement de projets de recherche

Activité I.7 : Autres actions de promotion de la recherche scientifique

Prix de thèse aux jeunes diplômés en sciences économiques	L'Académie continue d'apporter son appui à l'Association marocaine de sciences économiques en accordant des prix de thèse aux jeunes diplômés en sciences économiques. Résultat : éditions d'ouvrages sur l'économie marocaine
Prix Mohammed VI pour le Climat et le Développement Durable	Participation de l'Académie à la réunion consacrée au Prix Mohammed VI pour le Climat et le Développement Durable, le 19 avril 2019.
Comité de pilotage de l'enquête en cours sur la R&D dans les entreprises au Maroc	L'Académie participe aux réunions du Comité de pilotage de l'enquête en cours sur la R&D dans les entreprises au Maroc (Pr. Najib El Hatimi) <ul style="list-style-type: none"> - Signature de la convention le 24 décembre 2018 - Plusieurs réunions tenues au siège du CNRST - Appel d'offre ouvert - Adoption du rapport méthodologique le 05 février 2020
Trophées Ialla Hasna Littoral Durable	Participation de l'Académie au Jury et à la cérémonie de remise des trophées Ialla Hasna Littoral Durable, le 13 novembre 2019 (Pr. Abdeslam Hoummada)
«Falling Walls Lab-Morocco (Laboratoires sans murs)»	Activité visant l'encouragement des jeunes talents marocains à l'innovation, organisée le 06 juin 2019 à Fès.

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2019-2020

Mission II. Contribution à la définition des politiques de la recherche scientifique et technologique

«En matière de politique nationale de recherche scientifique et technique; l'Académie a pour mission d'émettre des recommandations sur les priorités et sur les moyens susceptibles d'assurer la réalisation des objectifs nationaux en matière de recherche.» (Loi, Art. 2)



Remise du document édité par l'Académie en janvier 2019 «**Une politique scientifique, technologique et d'innovation pour accompagner le développement du Maroc**» aux :

- Chef du Gouvernement,
- Président du Conseil Supérieur de l'Education, de la Formation et de la Recherche Scientifique,
- Président du Conseil Economique, Social et de l'Environnement,
- Ministre et Ministre Délégué de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
- Président de la commission spéciale sur le modèle de développement avec une présentation (5 pages) du document.

Mission II. Contribution à la définition des politiques de la recherche scientifique et technologique

Activité II.1 : Participation de l'Académie aux travaux d'instances nationales

- ▶ Commission Nationale de Coordination de l'Enseignement Supérieur (CNACES),
- ▶ Conseil Supérieur de l'Education, de la Formation et de la Recherche Scientifique (CSEFRS),
- ▶ Conseil d'Administration du Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST),
- ▶ Conseil d'Administration de l'Agence Nationale de l'Evaluation et de l'Assurance de la qualité de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique,



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020

20

Mission III. Développement de l'enseignement des sciences et promotion de la diffusion de la culture scientifique

- ▶ «L'Académie est chargée de proposer aux autorités concernées les voies et les moyens capables de développer l'esprit scientifique au sein de la société marocaine et d'entreprendre des actions de diffusion de la science par des colloques, des manifestations scientifiques, des publications et par la création des bibliothèques scientifiques» (Loi, art. 2)



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020

21

Mission III.**Développement de l'enseignement des sciences
et promotion de la diffusion de la culture scientifique**

- «L'Académie est chargée de :
 - proposer aux autorités concernées les voies et les moyens capables de développer l'esprit scientifique au sein de la société marocaine,
 - entreprendre des actions de diffusion de la science par des colloques, des manifestations scientifiques, des publications et par la création des bibliothèques scientifiques» (Loi, art. 2)

Activité III.1 : Développement de l'enseignement des sciences**Activités**

Suite au désistement de l'Académie des Sciences du Soudan de la présidence du «Comité de Développement de l'Enseignement des Sciences» de l'IAP, la présidence a été proposée à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, qui a nommé Pr. Wafae Skalli en tant que présidente de ce comité et Pr. Malik Ghallab son adjoint. Cette nomination a été validée par l'IAP au de Conférence sur l'enseignement des sciences tenue à Bangkok en août 2019.

Participation de l'Académie à la quatrième édition du Salon Maghrébin du Livre, organisée du 09 au 13 octobre 2019 à Oujda.

Participation à la journée pédagogique sur «Enseignement des mathématiques», organisée le 23 avril 2019 à Marrakech (Pr. Albert Sasson et Pr. Karim Filali-Maltouf)

Participation à la journée pédagogique sur «Enseignement des sciences de la vie», organisée le 26 novembre 2019 à Casablanca (Pr. Albert Sasson et Pr. Karim Filali-Maltouf)

Participation à la journée pédagogique sur «Enseignement des sciences physiques», organisée le 20 décembre 2019 à Tétouan (Pr. Albert Sasson et Pr. Karim Filali-Maltouf)

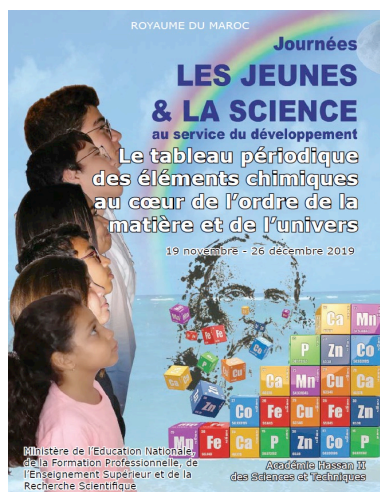
22

Mission III.**Développement de l'enseignement des sciences
et promotion de la diffusion de la culture scientifique****Activité III.2 : Promotion de la diffusion de la culture scientifique****Journées «les jeunes et la science au service du développement» (1/2)**

l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a organisé du 19 novembre au 26 décembre 2019, une nouvelle édition des journées «les jeunes et la science au service du développement» en partenariat avec le Ministère de l'Education Nationale. La thématique principale retenue pour cette édition est «le tableau périodique des éléments chimiques de Mendeleïeff au cœur de l'ordre de la matière et de l'univers».

Cette thématique s'inscrit dans le cadre de la décision prise par l'ONU et l'UNESCO de faire de l'Année 2019

«Année internationale du tableau périodique des éléments chimiques», année qui commémore l'une des réalisations les plus importantes de la science, capturant l'essence non seulement de la chimie, mais également de la physique et de la biologie.



Journées «les jeunes et la science au service du développement» (2/2)

- Pour illustrer cette thématique et sensibiliser les jeunes à l'importance du tableau périodique des éléments chimiques de Mendeleïeff, comme pour les éditions précédentes, des conférences, des ateliers, des visites de laboratoires, des sorties sur le terrain, des projections de films et de documentaires ainsi que des rencontres avec des élèves ont été programmés à travers les différentes régions du Royaume,
- A la cérémonie de lancement de ces journées, trois conférences ont été présentées par :
 - Pr. Omar Fassi-Fehri sur le thème «Genèse des éléments chimiques dans l'univers primordial»
 - Pr. El Mokhtar Essassi sur le thème «Sciences physiques et tableau périodique des éléments chimiques»
 - Pr. Ahmed Ennaoui sur le thème «Processing solar energy compounds from the periodic table and beyond»
- A cette édition, il y a eu une forte implication des AREF qui ont animé leurs propres manifestations en parallèle des activités, programmées par les collèges scientifiques de l'AH2ST suivantes :

Collège scientifique	Activité
Sciences physiques et chimiques	5 conférences et 1 atelier
Ingénierie, Transfert & Innovation Technologique	3 conférences et 1 visite
Sciences et techniques de l'environnement, de la terre et de la mer	4 conférences, 1 exposition, 1 table-ronde et 1 sortie sur le terrain
Sciences et techniques de la vie	4 conférences et 1 visite

- Ces journées ont vu également la participation de l'Université Euro-méditerranéenne de Fès, de l'Université Chouaib Doukkali d'El Jadida et l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès qui ont programmé des Conférences, des Rencontres avec les élèves, des Projections de films et des manipulations en laboratoire.
- Organisation des journées à Taza, Nador, Fkih Ben Salah et à Rabat,

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020


24

Mission III. Développement de l'enseignement des sciences et promotion de la diffusion de la culture scientifique

Activité III.3 : Organisation du cycle de conférences

«L'Académie est chargée d'assurer une communication de haut niveau entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale» (Loi, art.2).

Les Conférences organisées, avec l'aide du Service Culturel de l'Ambassade de France, sont les suivantes:

Titre de la Conférence	Conférencier	Date et lieu	
«Causes, mécanismes et approches thérapeutiques dans les maladies rares du vieillissement : retombées scientifiques, médicales et impacts sur le vieillissement naturel»	Pr. Nicolas Lévy	18 mars 2019	
«Histoire de l'épidémiologie : ses succès et ses limites»	Pr. Arnaud Fontanet	14 juin 2019	
«Instabilité génétique une nécessité biologique et une menace pour le système nerveux central»	Pr. Alain Prochiantz	19 juin 2019	
«La mécanique quantique : un regard épistémologique»	Pr. Maarouf El Bakkay	18 janvier 2020	
«Ombres et lumières, énergies renouvelables et développement durable»	Pr. Alain Gioda	10 février 2020	

Mission III.**Développement de l'enseignement des sciences
et promotion de la diffusion de la culture scientifique****Activité III.3 : Organisation des séminaires et rencontres scientifiques**

Titre de la rencontre	Date et lieu	Pilote de l'organisation
Ecole d'été sur «Variations dans le génome humain : applications en médecine et en identification génétique»	11-13 juillet 2019 - Ifrane	Collège des Sciences et Techniques du vivant
Rencontre nationale sur «Fabrication additive»	14-15 juillet 2019 - UEM-Fès	Collège des Sciences chimiques et physiques
Workshop sur «Soft Computing and Data mining for energy, environment and Health»	18 juillet 2019 Siège de l'Académie - Rabat	Collège Ingénierie, Transfert et innovation technologique
Journée d'étude sur le préscolaire	20 juillet 2019 Siège de l'Académie - Rabat	
First Mediterranean conference on Higgs physics	23-26 septembre 2019 - Tanger	Collège des Sciences chimiques et physiques
Conférence internationale sur «Emploi et développement : pour des politiques publiques centrées sur l'emploi», organisée avec l'Institut Royal des Etudes Stratégiques (IRES)	05 novembre 2019 Siège de l'Académie - Rabat	Collège Etudes Stratégiques et Dév. Economique
Séminaire sur le thème : «Relation université - entreprise : les clés de la réussite»	07 novembre 2019 Siège de l'Académie - Rabat	Collège Ingénierie, Transfert et innovation technologique
Journées sur le thème : «Défis et nouvelles perspectives en Mathématiques»	14-15 novembre 2019 Siège de l'Académie - Rabat	Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information
Workshop sur le thème «Les iniquités en santé au Maroc : une initiative vers une évaluation participative»	02 décembre 2019 Siège de l'Académie - Rabat	Collège des Sciences et Techniques du vivant
Workshop sur le thème «Les applications avancées des matériaux émergents»	04 décembre 2019 Siège de l'Académie - Rabat	Collège Ingénierie, Transfert et innovation technologique
Séminaire sur «Le système national d'information et de modélisation : fondements théoriques et enjeux de développement», organisé avec le Ministère de l'Economie et des Finances, Banque Al Maghrib, Haut Commissariat au Plan et l'ONDH	21 janvier 2020 Siège de l'Académie - Rabat	Collège Etudes Stratégiques et Dév. Economique
Journée de concertation sur «Résilience des agroécosystèmes oléicoles et l'adaptation de l'olivier au changement climatique»	28 janvier 2020 Siège de l'Académie - Rabat	Collège des Sciences et Techniques du vivant
Séminaire sur «les maladies émergentes selon le concept «On Health»»	07 février 2020 Siège de l'Académie - Rabat	Collège des Sciences et Techniques du vivant

Cérémonie d'hommage à la mémoire du Professeur Jean DERCOURT

L'Académie a organisé le vendredi 03 mai 2019 une cérémonie d'hommage à la mémoire du Professeur Jean Dercourt, membre de la Commission de Fondation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des Sciences de France, décédé le 22 mars 2019.

Programme de cette cérémonie :

- Observation d'une minute de silence à la mémoire du Professeur Jean Dercourt,
- Projection d'un documentaire sur le Pr. Jean Dercourt,
- Témoignage du Pr. Catherine Bréchnignac, Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des Sciences de France et membre associée de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,
- Témoignage du Pr. Philippe Taquet ancien Président de l'Académie des Sciences de France et membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,
- Témoignage du Pr. Albert Sasson, membre de la Commission de Fondation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,



Mission III. Développement de l'enseignement des sciences et promotion de la diffusion de la culture scientifique

Activité III.4 : Publications de l'Académie durant 2019-2020

- L'Académie a créé cette année sa fabrique d'édition sous le sigle :

«Hassan II Academy press»

- Publications :

- ✓ Actes de la session plénière solennelle 2019,
- ✓ Bulletin d'information de l'Académie (N°25, 26 et 27),
- ✓ Lettres de l'Académie (N°35, 36 et 37),
- ✓ Journal scientifique de l'Académie «Frontiers in Science and Engineering» (1 numéro),

- Séminaires et documents édités:

- ✓ Relation université-entreprise (recueil des résumés)
- ✓ Emploi et développement (synthèse)
- ✓ Les iniquités en santé au Maroc (synthèse)
- ✓ Document In memoriam (Jean Dercourt)
- ✓ Actualisation de l'Annuaire (2020).



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020

RAPPORT D'ACTIVITÉS 2019-2020

28

Mission III. Développement de l'enseignement des sciences et promotion de la diffusion de la culture scientifique

Activité III.5 : Bibliothèque de l'Académie



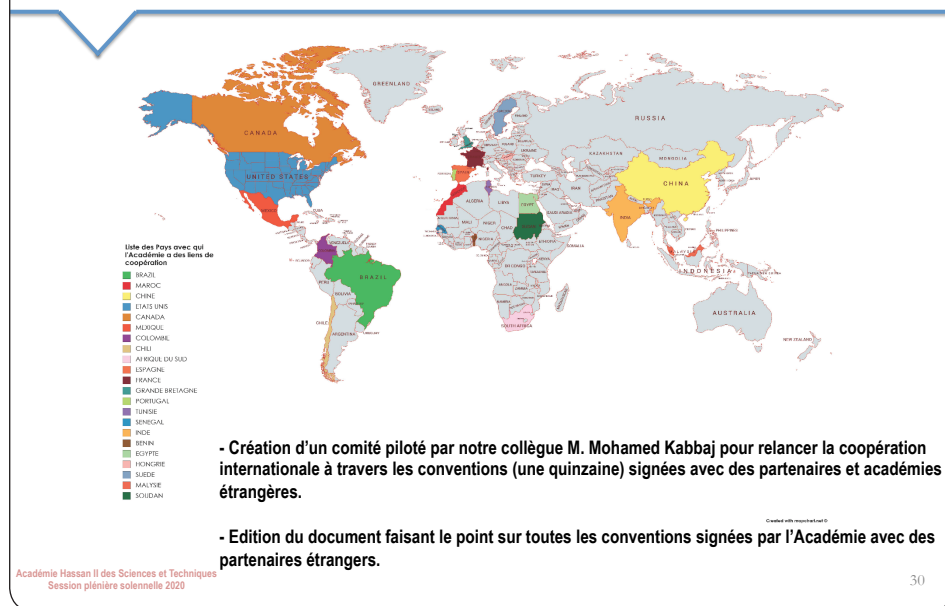
- ✓ Présentation des publications de l'Académie dans le cadre de la participation de notre Institution à plusieurs salons nationaux, notamment le Salon du Livre qui s'est tenu à Oujda en octobre 2019.
- ✓ Réception des Dons des Académiciens et des personnalités nationales et internationales.
- ✓ Traitement de documents achetés par l'Académie et/ou reçus en dons par des personnes, des institutions nationales et internationales.
- ✓ Visite de la bibliothèque de l'Académie de plusieurs personnalités et délégations d'institutions nationales et internationales.
- ✓ Réorganisation du stock des publications de l'Académie éditées depuis son installation en 2006.

Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020

29

Mission IV.

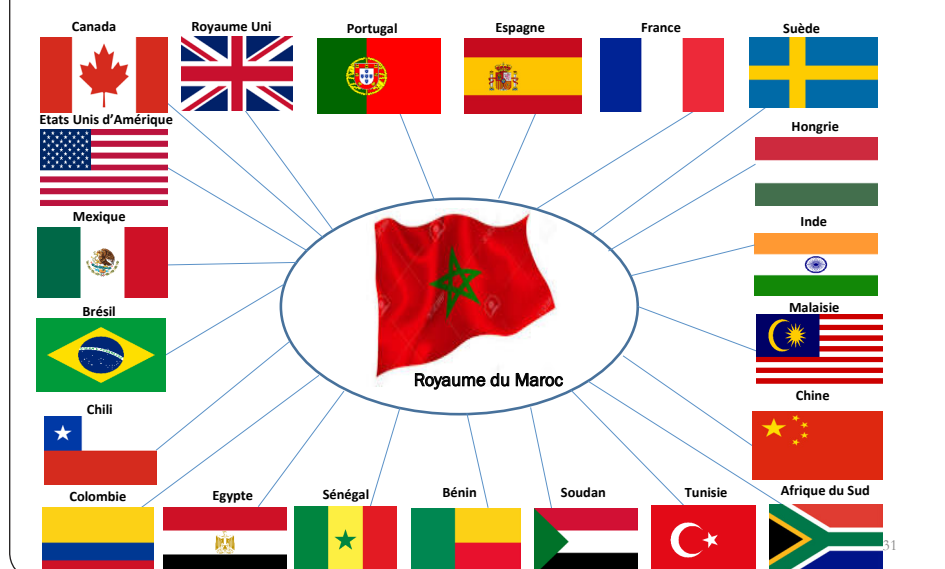
Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale



Mission IV.

Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale

Activité IV.1 : Coopération bilatérale



Mission IV. Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale

Activité IV.2 : Coopération multilatérale

Manifestation	Date	Lieu	Représentant de l'Académie
15 ^{ème} Rencontre annuelle du NASAC	06-11 mars 2019	Accra-Ghana	Pr. Rajaâ Cherkaoui
1 ^{ère} Réunion du Conseil Africain de la Recherche et de l'Innovation (CARSI)	06-11 mars 2019	Abuja-Nigeria	Pr. Driss Ouazar
Conférence de l'IAP	07-19 avril 2019	Séoul-Corée du Sud	Pr. Rajae El Aouad
Réunion du Conseil du NASAC et du Symposium SDG6	20-25 juillet 2019	Afrique du Sud	Pr. Driss Ouazar
Réunion du Conseil Africain de la Recherche et de l'Innovation (CARSI)	09-13 septembre 2019	Abuja-Nigeria	Pr. Driss Ouazar Pr. Abdeslam Hoummda
16 ^{ème} Rencontre annuelle du NASAC	12-16 novembre 2019	Accra-Ghana	Pr. Mostapha Bousmina
Réunion du Conseil Africain de la Recherche et de l'Innovation (CARSI)	18-25 novembre 2019	Abuja-Nigeria	Pr. Driss Ouazar Pr. Abdeslam Hoummda
Réunion du Conseil Africain de la Recherche et de l'Innovation (CARSI)	23-24-25 février 2020	Rabat-Maroc	Pr. Driss Ouazar Pr. Abdeslam Hoummda
Réunion du NASAC	25-26 février 2020	Cap-Town Afrique du Sud	Pr. Rajaâ Cherkaoui

iap SCIENCE
RESEARCH
HEALTH
the interacademy partnership




Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020



32

Mission IV. Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale

Activité IV.3 : Participation de l'Académie aux rencontres et manifestations scientifiques au niveau national et international

	Manifestation	Lieu	Date	Représentant de l'Académie
	Journée «Recherche et innovation de l'Université Chouaib Doukkali»	El Jadide-Maroc	06 mars 2019	Pr. Omar Fassi-Fehri Pr. Najib El Hatimi
	Forum «Repenser l'Afrique»	Rabat-Maroc	07 mars 2019	Pr. Omar Fassi-Fehri Pr. Najib El Hatimi
	Rencontre de présentation de l'application «géospatiale des cartes géotechniques nationales»	Rabat-Maroc	12 mars 2019	Pr. Najib El Hatimi
	Workshop «Propriété intellectuelle et transfert de technologie : promouvoir des pratiques exemplaires»	Rabat-Maroc	10 avril 2019	Pr. Abdelkader Yachou
	Réunion consacrée au Prix Mohammed VI pour le Climat et le Développement Durable	Fès-Maroc	23-25 avril 2019	Pr. Abdelkader Yachou
	Réunion à l'Académie des Sciences de l'Institut de France	Paris-France	23 avril 2019	Pr. Omar Fassi-Fehri
	Travaux des Tables Rondes de l'Arbois et du Conseil Scientifique et Industriel de l'Europôle de l'Arbois	Marseille-France	24-27 avril 2019	Pr. Omar Fassi-Fehri
	Rencontre nationale sur la fabrication additive	Fès-Maroc	14-15 juillet 2019	Pr. L. Btissam Driess
	Symposium sur les droits humains et l'éducation scientifique	Paris-France	9-12 septembre 2019	Pr. Omar Fassi-Fehri
	Workshop «Multidisciplinary research in epidemic preparedness and response»	Londres- GB	01-03 octobre 2019	Pr. Rajae El Aouad
	Séminaire «Grand Challenges Annual Meeting»	Adis Abeba Ethiopie	27-31 octobre 2019	Pr. Dris Ouazar
	Ecole Nationale sur la modélisation et la simulation à l'échelle nano	Rabat-Maroc	28-30 octobre 2019	Pr. L. Btissam Driess
	Journée nationale sur la pratique de l'ExAO en sciences expérimentales	Fès-Maroc	10 novembre 2019	Pr. L. Btissam Driess
	Travaux de l'Académie du Ghana des Arts et des Sciences	Accra-Ghana	10-17 novembre 2019	Pr. Dris Ouazar
	Jury du Programme africain Kuame Nkrumah pour l'excellence scientifique	Adis Abeba	07-14 décembre 2019	Pr. Dris Ouazar
	Atelier sur les programmes d'appels à projets et le capital risque	Rabat-Maroc	14 novembre 2019	Pr. Abdelkader Yachou
	Workshop «OtlMed»	Montpellier	05-06 décembre 2019	Pr. Karim Filali-Mahfouf
	Atelier international sur les matériaux émergents et applications technologiques	Rabat-Maroc	3-7 décembre 2019	Pr. L. Btissam Driess Pr. El Hassan Saidi
	Atelier de travail sur le baromètre national de la concurrence	Rabat-Maroc	18 février	Pr. Omar Fassi-Fehri
	2 ^{ème} Workshop «Web of Science Selection Process»	Rabat-Maroc	24 février 2020	Mr. Khalid Lameghazi

Mission IV. Coopération, partenariat et présence de l'Académie à l'échelle internationale

Activité IV.4 : Visites à l'Académie

- Dans le cadre de renforcement des relations de partenariat, de coopération et de collaboration entre l'Académie et les différents partenaires et institutions scientifiques, l'Académie continue à recevoir la visite de responsables, de personnalités et des délégations scientifiques, appartenant à différentes institutions nationales ou étrangères. Au cours de l'année 2017-2018, l'Académie a reçu la visite de :

Délégation	Date
Délégation du Collège Royal d'enseignement militaire supérieur – Présentation de l'Académie et de ses activités	11 juin 2019
Visite du Président de l'Académie de Chine	28 novembre 2019



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020

34

V. Organisation administrative de l'Académie

V.I: Les ressources humaines

- L'Académie a procédé au recrutement d'un cadre en 2019 qui viendra renforcer la Direction des Programmes ce qui fait que le nombre du personnel de l'Académie s'élève aujourd'hui à 30 personnes dont 16 cadres supérieurs (docteurs d'Etat ou ingénieurs). Il est composé du personnel statutaire, du personnel détaché, du personnel mis à disposition et de contractuels. Ce personnel est chargé de mettre en œuvre les différentes tâches et activités de l'Académie au sein des différents organes directeurs et administratifs de l'Académie.
- L'Académie a recruté courant 2019 une technicienne pour le service du Comptable Général.



Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Session plénière solennelle 2020

35

V. Organisation administrative de l'Académie

V.II: Budget de l'Académie en Dirhams

Dépenses	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Fonctionnement	10 700 000,00	10 884 000,00	8 667 067,47	11 286 577,44	20 012 064,81	18 323 174,80	20 492 587,80
Equipement	61 672 166,02	71 447 329,79	68102 317,92	74 786 115,78	75 719 223,49	78 957 143,49	71 787 650,49
TOTAL	72 372 166,02	82 331 329,79	76 769 385,39	86 072 693,22	95 731 288,30	97 280 288,29	92 280 238,29
Coût de la Session plénière	2 483 090,31	2 673 881,12	2 345 932,48	2 439 706,46	2 150 506,74	2 284 344,81	3 089 396,51
Coût Journée d'étude	30 000,00	119 287,40	-	37 939,00	33 712,00	22 492,00	117 772,50
Coût des Sessions ordinaires	99 385,00	149 998,00	-	438 777,16	353 295,00	347 529,75	189 942,90
Conventions de recherche	990 400,00	6 046 111,00	5 150 945,00	7 092 494,00	3 947 624,00	4 250 320,00	4 476 324,00
Soutien aux manifestations scientifiques	249 367,19	309 868,22	275 080,00	90 200,00	158 000,00	196 450,00	154 786,70

Conclusion



Au cours de l'année 2019-2020, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a poursuivi ses activités en essayant inlassablement de s'acquitter de ses missions telles que définies dans la Loi l'instituant en donnant à la science et à la recherche scientifique une place majeure dans l'échelle des valeurs nationales, en élargissant le rayonnement des sciences et du savoir et en tendant toujours vers l'objectif qui lui a été fixé par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le garde – lors de Son Discours d'installation de notre Institution, celui à la fois de «servir notre pays et de contribuer au développement de la science mondiale».

Merci pour votre attention

COMPTE RENDU DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE 2020

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a tenu sa session plénière solennelle 2020 à Rabat, les 25, 26 et 27 février 2020, sous le thème scientifique général «**Patrimoine naturel et développement durable**». Les travaux de cette session sont synthétisés dans le présent compte rendu.

Mardi 25 février 2020 (après-midi)

Séance interne de l'Académie

(Réunion des Collèges)

Cérémonie d'ouverture

Conférence inaugurale : *«Réflexions et actions concernant le patrimoine naturel et de développement durable»*

Le mardi 25 février 2020, de 14h à 16h, les six collèges scientifiques de l'Académie se sont réunis séparément dans les locaux de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, pour passer en revue le bilan des activités de l'année écoulée 2019, discuter leur plan d'action pour l'année en cours 2020 et renouveler leurs instances dirigeantes.

A 16h30, dans la grande salle de Conférences de l'Académie du Royaume du Maroc; l'Académie a commencé ses travaux par l'élection du nouveau Directeur des Séances, Pr. Mohamed Ait-Kadi. La cérémonie d'ouverture de la session plénière solennelle 2020 s'est déroulée en présence des académiciens, de plusieurs personnalités invitées, des enseignants-chercheurs, des chercheurs, des médecins, des ingénieurs et des doctorants; étaient également présents plusieurs représentants des médias (presse écrite, radios et chaînes de télévision). Étaient également présents MM le Chef du gouvernement, le Conseiller de Sa Majesté, le Ministre de l'Éducation Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, le Ministre délégué chargé de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique).

Au début de la cérémonie d'ouverture, la parole fut donnée au Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques pour prononcer le Discours d'ouverture, présenter le thème scientifique général de la session et souhaiter la bienvenue aux participants.

Après les remerciements et le mot de bienvenue adressés aux personnalités qui ont bien voulu répondre à l'invitation de l'Académie, le Secrétaire perpétuel a rappelé la Haute approbation de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu Le protège- pour que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques tienne sa session plénière solennelle

2020 sur le thème scientifique général «**Patrimoine naturel et développement durable**». A cet égard, le Secrétaire perpétuel a insisté sur l'importance du patrimoine naturel qui est un héritage commun précieux, qu'il faut d'abord inventorier, ensuite préserver et fortifier. Il a rappelé aussi que 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.

Il a également souligné que les travaux de cette session seront focalisés surtout 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.

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.

Après cette allocution, la parole fut donnée respectivement à Monsieur le Chef du Gouvernement, à Monsieur le Ministre de l'Education Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique et à Monsieur le Ministre délégué chargé de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique.

A la fin de ces allocutions, l'Académie a poursuivi ses travaux par une conférence inaugurale sur le thème «**Réflexions et actions concernant le patrimoine naturel et le développement durable**», présentée par Monsieur Hugo Alfonso Moran Fernandez, Secrétaire d'Etat à l'Environnement dans le Gouvernement Espagnol.

Une discussion a suivi cette conférence inaugurale, animée principalement par le Pr. Mohamed Ait-Kadi, Directeur des séances.

Mercredi 26 février 2020 (matin, première partie) **Séance plénière I : Valorisation du patrimoine géologique marocain.**

La matinée du mercredi 26 février 2020, fut consacrée à la première partie de la première séance plénière sur le thème «**valorisation du patrimoine géologique marocain**», et au cours de laquelle quatre exposés pléniers furent présentés, successivement par :

- Pr. Yves Coppens, Membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur «*Où, quand, pourquoi et comment est apparu l'Homme: les réponses du discours scientifique*»,
- Pr. Ahmed El Hassani, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur «*Différentes facettes du patrimoine géologique du Maroc*»,
- Pr. Ezzoura Errami, Professeur à l'Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc, sur «*Modalités d'inventaire du patrimoine géologique et sa protection*»,
- Pr. Khadija El Hariri, Professeur à l'Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, sur «*Exemple de protection urgente du patrimoine géologique dans l'AntiAtlas (faune de Fezouata)*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée par le Pr. Badia Bouab, Expert auprès de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc.

Mercredi 26 février 2020 (matin, deuxième partie)

Séance plénière I : Valorisation du patrimoine géologique marocain (suite)

Après la pause, la deuxième partie de séance de la matinée du mercredi 26 février 2020 fut consacrée à la suite du thème «**valorisation du patrimoine géologique marocain**», au cours de laquelle trois exposés pléniers furent présentés, successivement par :

- Pr. Juan Carols Gutiérrez-Marco, Membre de Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Instituto de Geociencias, Madrid, Espagne, sur «*Recherche géologique, géoconservation et exploitation commerciale des sites fossilifères*»,
- Pr. José Berliha, Professeur à l'Université de Minho, Escola de Ciências, Braga, Portugal, sur «*Geoparks and geological heritage as promoters of sustainable development*»,
- Pr. Philippe Taquet, Professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France et Membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc, sur «*Le Géoparc de Mgoun au Maroc*».

Mercredi 26 février 2020 (matin, séance 2)

Séance plénière II : Patrimoine minier et énergétique, et développement durable

La deuxième séance de la matinée du mercredi 26 février 2020 fut consacrée au thème «**patrimoine minier et énergétique, et développement durable**», au cours de laquelle un exposé plénier fut présenté par :

- Mr. Abdallah Moutaki, Secrétaire général de l'Office National des Hydrocarbures et Mines, Rabat, Maroc, sur «*Secteur minier et développement durable*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée par Mr. Ismail Akalay, Expert auprès de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc.

Mercredi 26 février 2020 (après-midi, première partie)
Séance plénière III : Patrimoine hydrique, patrimoine forestier
et exploitation durable

Après déjeuner, la première partie de l'après-midi du mercredi 26 février 2020 fut consacrée à la troisième séance plénière sur le sous-thème «**Patrimoine hydrique, patrimoine forestier et exploitation durable**», au cours de laquelle cinq exposés furent présentés, respectivement, par :

- Pr. Mohamed Aït Kadi, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur le thème : «*La dynamique eau et développement durable*»,
- Pr. Abdelhamid Khaldi, Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts, Tunisie, sur «*Analyse comparée de quelques écosystèmes forestiers méditerranéens et modalités de leur exploitation durable*»,
- Mr. Mohamed Benzyane, Ex-directeur du centre de recherches forestières, Rabat, Maroc sur «*Biogéographie des espaces boisés du Maroc*»,
- Mr. Omar Mhirit, Ex-directeur du centre de recherches forestières, Rabat, Maroc sur «*La cédraie marocaine : protection et développement durable*»,
- Pr. Frédéric Médail, Professeur à l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale, Université d'Aix-Marseille, France, sur le thème «*Les chênaies en Méditerranée et au Maroc, protection et développement durable*».

Une discussion a suivi ces exposés, animée par Mr. Francisco Garcia Garcia, membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Coordinador General Academico en Unie Las Americas Puebla Jenkins, Mexique.

Mercredi 26 février 2020 (après-midi, deuxième partie)
Séance plénière IV : Espaces boisés et exploitation durable

Après la pause, la deuxième partie de l'après-midi du mercredi 26 février 2020 fut consacrée à la quatrième séance plénière sur le sous-thème «**Espaces boisés et exploitation durable**» au cours de laquelle trois exposés furent présentés par :

- Pr. Ulrich Deil, Professeur à l'Université de Freiburg, Allemagne, sur le thème «*Vegetation and land use under different human impact – a comparison of Northern Morocco and Southern Spain*»,
- Mr. Abderrahmane Ait Lhaj, Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier, Maroc, sur «*L'arganeraie, une forêt endémique singulière (protection, développement, plantations)*»,
- Pr. Ahmed Bouaziz, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc sur «*Réalités et avenir des écosystèmes oasiens et présahariens*».

Une discussion a suivi ces interventions et fut animée par le Pr. Abdellatif Khattabi, Professeur à l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, salé, Maroc.

Jeudi 27 février 2020 (matin, première partie)
Panel : Quel avenir pour l'exploitation et le développement durables du patrimoine naturel du Maroc ?

La première partie de la matinée du jeudi 27 février 2020 fut consacrée au panel sur la question **«Quel avenir pour l'exploitation et le développement durables du patrimoine naturel du Maroc?»**, modéré par le Pr. Albert Sasson, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et rapporté par le Pr. Omar Assobhei, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Ce panel a donné lieu à quatre interventions présentées par :

- Mr. Ahmed Benlakhdim, Ministère de l'Energie et des Mines, sur le thème *«Patrimoine géologique du Maroc (Programme National de Cartographie Géologique)»*,
- Mr. Abderrahim Houmy, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Maroc, sur *«Avenir et développement durables du patrimoine forestier»*,
- Mr. Brahim Hafidi, Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA), Maroc, sur *«Perspectives du développement durable des écosystèmes présahariens»*,
- Mme Loubna Chaouni-Benabdellah, Fondation Mohammed VI pour la protection de l'Environnement, Maroc, sur *«Rôle de l'éducation à l'environnement pour le développement durable (exemple de la palmeraie de Marrakech)»*.

Jeudi 27 février 2020 (matin, deuxième partie)
Synthèse des travaux et débat général

La deuxième partie de la matinée du jeudi 27 février 2020 fut consacrée à la synthèse des travaux et à un débat général sur le thème de la session; la synthèse fut présentée par le Pr. Mohamed Berriane, Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et rapportée par le Pr. Abdelkarim Filali-Maltouf, Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Jeudi 27 février 2020 (après-midi)
Séance interne de l'Académie
Présentation du rapport d'activité 2019-2020
Renouvellement des instances de l'Académie
&
Clôture de la Session

La première partie de la séance interne du jeudi 27 février 2020 après-midi a été consacrée à la présentation et à la discussion du rapport d'activité de l'année précédente allant de février 2019 à février 2020.

Dans ce rapport, présenté par le Secrétaire perpétuel, ont été rappelées les différentes actions menées par l'Académie au cours de l'année écoulée conformément aux missions que le Dahir de sa création lui confère :

- *En matière de promotion, développement et financement de la recherche scientifique et technologique, les actions menées sont :*
 - Réunions des organes directeurs de l'Académie (Conseil d'Académie (6 réunions), Commission des Travaux (6 réunions), Collèges scientifiques (37 réunions), sessions ordinaires (4 sessions),
 - Réunion pour discuter la contribution de l'Académie à envoyer à la Commission Spéciale sur le Modèle de Développement (CSMD), sur la recherche scientifique,
 - Préparation d'un document mettant en lumière les orientations, actions et initiatives prises par sa Majesté le Roi que Dieu L'assiste, au cours de Son règne, en matière de promotion et de développement de la recherche scientifique en particulier, et de la science en général,
 - Adoption de l'avant-projet de la session plénière 2020,
 - Validation du programme de la session plénière 2020,
 - Activités de l'Académie sur le plan international,
 - Projet du thème général de la session plénière solennelle 2020 à soumettre à la Haute Appréciation de notre Protecteur Sa Majesté Le Roi,
 - Présentation des résultats de l'appel d'offre 2017-2018,
 - Soutien des manifestations scientifiques entre 2019-2020,
 - Allocations d'excellence.
- *En matière de Contribution à la politique nationale de la recherche scientifique et technologique par :*
 - Remise du document édité par l'Académie en janvier 2019 sur «**Une politique scientifique, technologique et d'innovation pour accompagner le développement du Maroc**» aux :
 - Chef du Gouvernement,
 - Président du Conseil Supérieur de l'Education, de la Formation et de la Recherche Scientifique,
 - Président du Conseil Economique, Social et Environnemental,
 - Ministre et Ministre Délégué de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche,
 - Président de la commission spéciale sur le modèle de développement avec une présentation (5 pages) du document.
 - Organisation et participation à des rencontres consacrées à la recherche scientifiques et technologique;
 - Participation de l'Académie aux travaux d'instances nationales :
 - Commission Nationale de Coordination de l'Enseignement Supérieur,
 - Conseil Supérieur de l'Education, de la Formation et de la Recherche Scientifique,
 - Conseil d'Administration du Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique,
 - Conseil d'Administration de l'Agence Nationale de l'Evaluation et de l'Assurance de la qualité de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique.

- *En matière de développement de l'enseignement des sciences et de promotion de la culture scientifique :*
 - Présidence de l'Académie du «Comité de développement de l'enseignement des sciences» de l'IAP en la personne du Pr. Wafa Skalli, Membre correspondant à l'Académie,
 - Participation à la deuxième édition du Salon Maghrébin du Livre, organisée du 09 au 13 octobre 2019 à Oujda,
 - Organisation avec le Ministère de l'Education Nationale des journées «les jeunes et la science au service du développement», du 19 au 26 novembre 2019 sur le thème «Le tableau périodique des éléments chimiques de D. Mendeleïev».
 - Participation de l'Académie à la journée pédagogique sur «Enseignement des mathématiques», organisée le 23 avril 2019 à Marrakech, à la journée pédagogique sur «Enseignement des sciences de la vie», organisée le 26 novembre 2019 à Casablanca et à la journée pédagogique sur «Enseignement des sciences physiques», organisée le 20 décembre 2019 à Tétouan (Pr. Albert Sasson et Pr. Karim Filali-Maltouf),
 - Organisation du cycle de conférences (cinq conférences).
- *L'Académie a organisé le vendredi 03 mai 2019 une cérémonie d'hommage à la mémoire du Professeur Jean Dercourt, membre de la Commission de Fondation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et Secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie des Sciences de France, décédé le 22 mars 2019.*
- *En matière de promotion de la coopération scientifique et du renforcement de la présence de l'Académie sur le plan international :*

L'Académie a participé aux manifestations suivantes :

- 15^{ème} réunion annuelle du NASAC (06-11 mars 2019) (réunion tenue à Accra-Ghana),
- Réunions du Conseil Africain de la Recherche et de l'Innovation (CARSI) tenues à Abuja (Nigeria) et à Rabat (Maroc),
- Conférence de l'IAP tenue du 07 au 19 avril 2019 à Séoul (Corée du Sud),
- 16^{ème} réunion annuelle du NASAC tenue à Accra (Ghana),
- Réunion du NASAC tenue à Cap Tawn (Afrique du Sud).

A la fin de la séance, le Secrétaire perpétuel a présenté un bilan succinct du budget de l'Académie et de son application.

Après cette présentation, les académiciens purent entamer une discussion sur le rapport d'activité 2019-2020 qui a permis de dégager les remarques et recommandations suivantes:

- Plusieurs intervenants se sont félicités de la réussite tant sur le plan scientifique que matériel de cette session plénière solennelle, et ont souligné l'importance de son thème général,

- Une discussion s'est engagé sur l'importance du Comité de développement de l'enseignement des sciences de l'IAP, présidé par le Pr. Wafa Skalli, membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,
- Réfléchir sur la possibilité de mettre en place un centre multi label par région pour l'enseignement des sciences qui sera connecté à la commission chargée des curricula pour assurer la pérennisation du projet.
- Procéder à la mise en place d'un comité de suivi des propositions issues des travaux de cette session plénière,
- Faire plus de lobbying pour faire connaître les documents édités par l'Académie, en impliquant les Institutions nationales dans le débat sur la science et la technologie au Maroc.

Suite à cette discussion et recommandations, le Secrétaire perpétuel a pris la parole pour apporter les précisions supplémentaires suivantes :

- Se féliciter de la réussite de la session plénière sur le plan organisationnel et sur le plan de l'équilibre entre les intervenants marocains et étrangers ainsi que sur le niveau de la discussion et du débat scientifique très riche qu'elle a suscité;
- Remercier le Pr. Mohamed Hassan, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, pour avoir proposé notre Académie à la présidence du «Comité de développement de l'enseignement des sciences» de l'IAP;
- Rappeler que l'objectif des allocations de recherche est d'encourager exclusivement l'excellence;
- Saluer la réussite de la transmission en direct des travaux de cette session, via le support YouTube, qui a permis de relayer les travaux de la session plénière;
- Inviter les instances de l'Académie et tous ses membres à redoubler d'efforts pour que nous soyons à la hauteur des attentes de notre Protecteur Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu le Garde.

Après cette discussion, l'Académie a poursuivi ses travaux par la présentation des résultats de l'élection des directeurs et des co-directeurs des collèges. Ces résultats, présentés par le Secrétaire perpétuel, sont les suivants :

Collège des Sciences et techniques du vivant

Directeur : Mme Sellama Nadiï (reconduite)

co-directeur : Mr. Karim Felali Maltouf (reconduit)

Collège des Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de la mer

Directeur : Mr. Driss Ouazar (élu)

co-directeur : Mr. Ahmed El Hassani (élu)

Collège des Sciences physiques et chimiques

Directeur : Mr. Abdelilah Benyoussef (reconduit)

co-directeur : Mr. Mokhtar Sassi (reconduit)

Collège des Sciences de la modélisation et de l'information

Directeur : Mr. Youssef Ouknine (reconduit)

co-directeur : Mr. Omar El Fallah (reconduit)

Collège des Ingénierie, Transfert et Innovation technologiques

Directeur : Mr. Ali Boukhari (élu)

co-directeur : Mr. Abderrahim Maazouz (reconduit)

Collège des Etudes stratégiques et Développement économique

Directeur : Mr. Noureddine El Aoufi (reconduit)

co-directeur : Mr. Redouane Taouil (reconduit)

Pour ce qui est du Conseil de l'Académie et de la Commission des travaux, les élections ont abouti aux résultats suivants :

Membres du Conseil d'Académie :

- Mr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel,
- Mr. Mostapha Bousmina, Chancelier,
- Mme. Sellama Nadifi,
- Mr. Ali Boukhari,
- Mr. Driss Ouazar.

Membres de la Commission des travaux :

Mr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel,
Mr. Mostapha Bousmina, Chancelier,
Mr. Mohamed Ait Kadi, Directeur des séances,
Mme Rajae El Aouad,
Mr. Ahmed El Hassani,
Mr. Youssef Ouknine,
Mr. Hassan Saidi,
Mr. Malik Ghellab (observateur),
Mr. Albert Sasson (observateur).

A la fin de cette séance, Monsieur le Secrétaire perpétuel a dégagé les principales conclusions tirées de cette session, en insistant sur sa richesse scientifique et sur la qualité des invités, des interventions et des débats ; il a également exprimé ses vifs remerciements à ses confrères et consœurs, aux enseignants-chercheurs, aux étudiants, à tout le personnel de l'Académie, aux interprètes ainsi que ses félicitations pour la réussite de cette session.

La clôture des travaux est intervenue à l'issue de cette séance, au cours de laquelle l'ensemble des académiciens ont adopté un message de loyauté, de gratitude et de déférence adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu L'assiste et Le protège – pour la Haute Sollicitude dont Il entoure l'ensemble de la communauté scientifique du Maroc, et Ses bienveillants encouragements, que Dieu perpétue Ses bienfaits.

LISTE DES PARTICIPANTS

LISTE DES PARTICIPANTS à la session plénière solennelle 25, 26 et 27 Février 2020

Membres de l'Académie

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
Zhor Sarah ABOUSSALAM	Membre correspondant Chercheur, Université Munster Allemagne	STETM
Daoud AIT-KADI	Membre résident Professeur, Université Laval, Canada	SMI
Mohamed AIT-KADI	Membre résident, Professeur, IAV Hassan II, Rabat	STETM
Omar ASSOBBHEI	Membre résident Professeur, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès	STETM
El Hassan BELARBI HAFTALLAOUI	Membre correspondant, Professeur, Université d'Almeria, Espagne	STV
Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH	Membre résident Professeur	ESDE
Ali BENOMAR	Membre correspondant Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STV
Abdelilah BENYOUSSEF	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Mohamed BERRIANE	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ESDE
Jean-Jacques BONNET	Membre associé Professeur, Université de Toulouse, France	SPC
Ali BOUKHARI	Membre résident, Professeur, Université Ibn Tofail de Kénitra	ITIT

Collèges (abréviations) :

- SPC : Sciences Physique et Chimiques
- STV : Sciences et Techniques du Vivant
- SMI : Sciences de la Modélisation et de l'Information
- ESDE : Etudes Stratégique et Développement Economique
- ITIT : Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
- STETM : Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
Tijani BOUNAHMIDI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ITIT
Mostapha BOUSMINA	Membre résident Professeur, Chancelier Académie Hassan II des Sciences et Techniques	SPC
Rajaa CHERKAOUI EL MOURSLI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Taïeb CHKILI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STV
Yves COPPENS	Membre associé Professeur honoraire au Collège de France	STETM
Silvio CRESTANA	Chercheur, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria «EMBRAPA», Brésil	STV
Robin CREWE	Membre associé Professeur, Université de Prétoria, Afrique du Sud	STV
Lalla Btissam DRISSI	Membre correspondant Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Rajae EL AOUAD	Membre résident Professeur, Institut National d'Hygiène Rabat	STV
Noureddine EL AOUIFI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ESDE
Omar EL FALLAH	Membre correspondant Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SMI
Ahmed EL HASSANI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STETM
Abdelhaq EL JAI	Membre résident, Professeur, Université Perpignan, France	SMI
Abdeslam EL KHAMLI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STV
Nadia EL KISSI	Membre correspondant, Directeur de Recherche - CNRS - France	SPC
Abdeljabbar EL MANIRA	Membre correspondant, Professeur, Karolinska Institute, Suède	STV
El Mokhtar ESSASSI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Omar FASSI-FEHRI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat Secrétaire Perpétuel, Académie Hassan II des Sciences et Techniques	SPC
Abdelkrim FILALI MALTOUF	Membre correspondant Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STV

Prénom et NOM	Qualité/Profession	Collège
Gerald G. FULLER	Membre associé Professeur, Université de Stanford, USA	SPC
Francisco GARCIA GARCIA	Membre associé	STV
Claude GRISCELLI	Membre associé Professeur, Université René Descartes – France	STV
Mohammed HASSAN	Membre associé Professeur, Université de Khartoum, Soudan	SMI
Mohamed KABBAJ	Membre résident Université Euro-Méditerranéenne de Fès	ESDE
Abderrahim MAAZOUZ	Membre résident Professeur – INSA, Lyon - France	ITIT
Sellama NADIFI	Membre résident, Professeur, Université Hassan II de Casablanca	STV
Driss OUAZAR	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	STETM
El Maati OUHABAZ	Membre correspondant, Professeur, Université de Bordeaux, France	SMI
Youssef OUKNINE	Membre résident, Professeur, Université Cadi Ayyad Marrakech	SMI
Valerinano RUIZ HERNANDEZ	Directeur Général du Centre Technologique Avancé des Energies Renouvelables, Séville, Espagne	ITIT
El Hassan SAIDI	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	SPC
Albert SASSON	Membre résident Professeur	STV
Abdelaziz SEFIANI	Membre résident Professeur, Institut National d'Hygiène Rabat	STV
Khalid SEKKAT	Membre résident Professeur, Université Libre de Bruxelles, Belgique	ESDE
Wafa SKALLI	Membre correspondant Professeur, ENSAM, Paris	ITIT
Mohamed SMANI	Membre correspondant R&D Maroc	ITIT
Philippe A. TANGUY	Membre associé Professeur, Ecole Polytechnique, Montréal, Canada	ITIT
Redouane TAOUIL	Membre correspondant Professeur, Centre de Recherche en Économie de Grenoble, France	ESDE
Philippe TAQUET	Membre associé Professeur, Muséum National d'Histoire naturelle Paris, France	STETM
Rachid YAZAMI	Membre correspondant Professeur, Nanyang Technological University - Singapour.	SPC
Mahfoud ZIYAD	Membre résident Professeur, Université Mohammed V de Rabat	ITIT

LISTE DES INVITÉS

ayant présenté une communication

Prénom et Nom	Affiliation
Abderrahmane AITLHAJ	Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA), Maroc
Ismail Akalay	Expert de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques; Directeur Général de la Société Nationale de Sidérurgie, Maroc
Mohammed BACHRI	Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA), Maroc
Samira BENABDELLAH	Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement, Maroc
Mohamed BENZYANE	Ex-directeur du Centre de Recherches Forestières, Rabat, Maroc
Badia BOUAB	Experte de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
Ahmed BOUAZIZ	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc
José BRILHA	Universidade do Minho, Escola de Ciências, Departamento de Ciências da Terra, Braga, Portugal
Ulrich DEIL	Université de Freiburg, Allemagne
Khadija EL HARIRI	Université Cadi Ayyad Marrakech, Maroc
Ezzoura ERRAMI	Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc
Juan Carlos GUTIÉRREZ-MARCO	Consejo Superior de Investigaciones Científicas, (CSIC) ; Instituto de Geociencias, Madrid, Espagne
Abderrahim HOUMY	Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Secrétaire Général, Maroc
Abdelhamid KHALDI	Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts, Tunisie et Président de l'Association Internationale des Forêts Méditerranéennes
Abdellatif KHATTABI	École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc
Ahmed MANAR	Ministère de l'Energie et des Mines, Direction de la Géologie, Maroc
Frédéric MÉDAIL	Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale, Université d'Aix-Marseille, France
Omar MHIRIT	Ex-directeur du Centre de Recherches Forestières, Rabat, Maroc
Hugo Alfonso MORÁN FERNÁNDEZ	Secrétaire d'État à l'Environnement, Espagne
Abdallah MOUTTAQI	Office National des Hydrocarbures et des Mines, Rabat, Maroc

INVITÉS

(Membres du Bureau ASRIC)

Michieka RATEMO WAYA	Président du Bureau ASRIC
Sammy CHUMBOW BEBAN	Vice-Président du Bureau ASRIC
Kalu Mosto ONUOHA	Vice-Président du Bureau ASRIC
James PHIRI	Vice-Président du Bureau ASRIC
Ahmed Mahmood Hamdy	Directeur Secrétariat du bureau ASRIC
Mohammed KHYARI	Staff Secrétariat du bureau ASRIC
Seble ALUME	Staff Secrétariat du bureau ASRIC
Marie Johnson	Staff Secrétariat du bureau ASRIC

Liste des doctorants pris en charge par l'Académie

Nom & Prénom	Établissement d'affiliation	Ville	Spécialité
AIT HADDOU Mohamed	Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr	Agadir	Géologie - Environnement
EL OUARITI Salem	Faculté des Sciences Ben M'sik, Université Hassan II de Casablanca	Casablanca	Géologie
EL KABOURI Jamal	Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali	El Jadida	Géologie
OUTAAOUI Omar	Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali	El Jadida	Géologie
EL KAICHI Aymane	Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali	El Jadida	Géologie
SALMI Saber	Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali	El Jadida	Géologie
SAIDI Omar	Faculté des Sciences et Techniques, Université Moulay Ismail	Er-Rachidia	Géologie
HATTAFI Youssef	Faculté Euromed de génies, Université Euro Med	Fès	Eau et Environnement
KABA Aboubacar	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	ER & EE
KOURTOUMOU Diallo	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	ER & EE
FADIL Ahmed Amine	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	ER & EE
HDYLI Hanae	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	ER & EE
BENBAOUALI Ikram	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie Civil
AGLAOU Imane	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie Civil
OUAZZANI TOUHAMI Soukayna	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie Civil
BOUMAIS Khaoula	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie Civil

EL-AMRAOUI Chaimae	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie Civil
EZZOUHRI Sanae	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie Civil
CHAHM Nouhaila	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie Civil
DARID Ghizlane	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie de l'Eau
Gharmili SEFRIOUI Mohamed ILIAS	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie de l'Eau
CHIG Amine	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie de l'Eau
BOUAGBA Farah	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie de l'Eau
ERBIB Marouan	Université Euro-Méditerranéenne de Fès	Fès	Génie de l'Eau
OUSSOU Ahmed	Faculté des Sciences, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah	Fès	Géologie
KOURAISS Khaoula	FST-Université Cadi Ayyad	Marrakech	Géologie- paléontologie
BENNANI Oumayma	FST-Université Cadi Ayyad	Marrakech	Géologie - Environnement
SEGAOUI Fatima	Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat	Rabat	Géologie
ELIO Pierre	Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdelmalek Essaâdi	Tanger	Aménagement du littoral et risques côtiers
ARRAZOUKI Somia	Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaâdi	Tétouan	Géologie
KADAOUI Khalil	Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaâdi	Tétouan	Biologie
KASSOUT Jalal	Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaâdi	Tétouan	Biologie (Botanique)
SAHLI Abdelouahab	Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaâdi	Tétouan	Biologie



صورة المشاركين في الدورة العامة الرسمية لسنة 2020
Photo des participants à la Session Plénière Solennelle 2020

أعضاء لجنة الأعمال:

- السيد عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم،
- السيد مصطفى بوسمينة، نائب أمين السر الدائم،
- السيد محمد آيت قاضي، مدير الجلسات،
- السيدة رجاء العواد،
- السيد أحمد الحسني،
- السيد يوسف أوكنين،
- السيد حسن السعيد،
- السيد ألبير ساسون (ملاحظ)،
- السيد مالك غلاب (ملاحظ).

عند نهاية هذه الجلسة، أعطيت الكلمة من جديد للسيد أمين السر الدائم حيث تطرق لأهم النتائج التي تم استخلاصها من هذه الدورة، وأكد على جودة وغناء المداخلات والمناقشات، كما جدد تشكراته لجميع المساهمين في هذه الدورة وخصوصا للشخصيات التي تقدمت بعروض أو مداخلات في الموضوع العلمي العام لهذه الدورة. كما تقدم بتشكراته إلى كافة أعضاء الأكاديمية، وإلى كل العاملين بها، وإلى طاقم الترجمة وهنئهم على إنجاح أشغال هذه الدورة.

بعد ذلك أعلن مدير الجلسات عن اختتام أشغال هذه الدورة بعد المصادقة على نص برقية الولاء والإخلاص المرفوعة إلى السدة العالية بالله صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله والمشفوعة بمشاعر التقدير والعرفان، وبعبارات الشكر والامتنان.

• هيئة علوم وتقنيات البيئة والأرض والبحر

- المدير: انتخاب السيد إدريس وزار
- نائب المدير: انتخاب السيد أحمد الحسني.

• هيئة علوم الفيزياء والكيمياء

- المدير: إعادة انتخاب السيد عبد الإله بن يوسف
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد مختار الساسي

• هيئة علوم التنظير والإعلام

- المدير: إعادة انتخاب السيد يوسف أوكنين
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد عمر الفلاح

• هيئة علوم الهندسة، الإبداع والنقل التكنولوجي

- المدير: انتخاب السيد علي البخاري
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد عبد الرحيم معروز

• هيئة الدراسات الإستراتيجية والتنمية الاقتصادية

- المدير: إعادة انتخاب السيد نور الدين العوفي
- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد رضوان الطويل.

فيما يتعلق بانتخاب أعضاء مجلس الأكاديمية، وأعضاء لجنة الأعمال، أسفرت النتائج على ما يلي:

أعضاء مجلس الأكاديمية :

- السيد عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم،
- السيد مصطفى بوسمينة، نائب أمين السر الدائم،
- السيدة سلامة الناضيفي،
- السيد علي البخاري،
- السيد إدريس وزار.

- تشكيل لجنة لمتابعة التوصيات والمقترحات الناتجة عن أشغال الدورة الرسمية لسنة 2020،
 - بذل المزيد من الجهود للدعاية والتعريف بالوثائق والتقارير التي تنشرها الأكاديمية، والعمل على إشراك المؤسسات الوطنية في النقاش حول العلوم والتكنولوجيا في المغرب.
- في نهاية هذه المناقشة، أعطيت الكلمة للسيد أمين السر الدائم لتقديم التوضيحات الإضافية التالية:
- الإصرار بالإشادة على نجاح الدورة الرسمية العامة لسنة 2020 على مستوى التنظيم وعلى مستوى التوازن بين المتدخلين المغاربة والأجانب وأيضا على مستوى العروض العلمية والمناقشة التي تلتها.
 - تقديم الشكر الجزيل للأستاذ محمد حسن الذي كان وراء تعيين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات على رأس لجنة تطوير تدريس العلوم، التابعة للشبكة العالمية لأكاديميات العلوم IAP، في شخص الأستاذة وفاء الصقلي، العضوة المراسلة بالأكاديمية.
 - التذكير بأن الهدف من وراء المنح البحثية التي تقدمها الأكاديمية ينحصر أساسا في تشجيع التميز،
 - ضرورة العمل على زيادة تحسين محتوى موقع الإلكتروني للأكاديمية ودعمه من طرف وكالة خاصة بالاتصال،
 - وضع نتائج هذه الدورة الرسمية رهن إشارة المؤسسات الوطنية في أقرب الآجال،
 - التنويه بنجاح البث المباشر لأشغال الدورة وذلك عبر YouTube، الشيء الذي مكن من نقل أشغال الدورة الرسمية عبر منصة الوسائط المتعددة الإلكترونية،
 - تجديد الدعوة إلى أجهزة الأكاديمية وجميع أعضائها لمضاعفة الجهود حتى نكون عند حسن ظن وتطلعات صاحب الجلالة الملك محمد السادس - حفظه الله -، راعي الأكاديمية.
- بعد تقديم هذه التوضيحات الإضافية، واصلت الأكاديمية أشغالها بتقديم نتائج انتخاب مدير ونائب مدير لكل هيئة التي تم خلال اجتماع الهيئات العلمية الذي انعقد يوم 25 فبراير 2020 قبل الجلسة الافتتاحية، وكذلك نتائج انتخاب ممثلي أعضاء الأكاديمية في مجلس الأكاديمية ولجنة الأعمال، حيث أسفرت هذه العملية على النتائج التالية:

مدير ونائب مدير الهيئات العلمية :

• هيئة علوم وتقنيات الأحياء

- المدير: إعادة انتخاب السيدة سلامة الناضيفي

- نائب المدير: إعادة انتخاب السيد كريم فيلاي ملطوف

- تعزيز أنشطة مكتبة الأكاديمية.
- مشاركة الأكاديمية في اليوم الدراسي حول «تدريس الرياضيات»، المنعقد يوم 23 أبريل 2019 بمراكش، وفي اليوم الدراسي حول «تدريس علوم الحياة»، الذي نظم يوم 26 نوفمبر 2019 في الدار البيضاء، وفي اليوم الدراسي حول «تدريس العلوم الفيزيائية»، المنعقد يوم 20 ديسمبر 2019 في تطوان (بحضور الأستاذ ألبير ساسون والأستاذ كريم فيلاي ملطوف).
- نظمت الأكاديمية يوم الجمعة 3 مايو 2019 لقاء تكريمي لإحياء ذكرى وفاة البروفيسور جون دركور Jean Dercourt، عضو اللجنة التأسيسية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، وأمين السر الدائم لأكاديمية العلوم بفرنسا، الذي وافته المنية يوم 22 مارس 2019.
- النهوض بالتعاون العلمي وتعزيز حضور الأكاديمية على مستوى الدولي من خلال:
 - المشاركة في أشغال اجتماعات المجلس الأفريقي للعلوم والبحوث والابتكار (أبوجا-نيجيريا، الرباط-المغرب)،
 - حضور اجتماع الهيئة التنفيذية للشبكة العالمية لأكاديميات العلوم IAP، التي انعقدت بسيول في كوريا الجنوبية،
 - المشاركة في اللقاء الإفريقي لإنشاء المكتب الجهوي الإفريقي التابع للمجلس العالمي للعلوم ISC المنعقد في إفريقيا الجنوبية،
 - حضور اجتماع لإنشاء التحالف الدولي للمنظمات العلمية (بكين)،
 - المشاركة في اجتماع شبكة أكاديميات العلوم الأفريقية (كاب تاون-إفريقيا الجنوبية).
- في نهاية هذا التقرير قدم السيد أمين السر الدائم لمحة مقتضبة لمكونات ميزانية الأكاديمية وتطبيقاتها خلال السنة المنصرمة.
- بعد تقديم هذا العرض، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين حول تقرير أنشطة الأكاديمية للسنة المنتهية، التي أسفرت على عدة ملاحظات وتوصيات يمكن تلخيصها فيما يلي:
- الإشادة بنجاح هذه الدورة وبأهمية موضوعها العلمي العام، وضرورة العمل على تشجيع التعاون بين مختلف الفاعلين لحماية التراث الطبيعي الوطني،
- الإشادة بأهمية رئاسة لجنة تطوير تعليم العلوم، التابعة للشبكة العالمية لأكاديميات العلوم IAP، برئاسة الأستاذة وفاء الصقلي،
- التفكير في إمكانية إنشاء مركز متعدد الروافد في كل جهة من جهات المملكة لتطوير تعليم العلوم وربطه بالهيئة المسؤولة بقيادة وتتبع مسألة تدريس العلوم والتكنولوجيات لضمان استدامة المشروع،

• المساهمة في تحديد السياسة الوطنية للبحث العلمي والتقني من خلال:

– تقديم نسخ من الوثيقة الجديدة التي أصدرتها الأكاديمية في يناير 2019 تحت عنوان «السياسة العلمية والتكنولوجية والابتكار لمواكبة تنمية المغرب» إلى:

رئيس الحكومة،

رئيس المجلس الأعلى للتربية والتكوين والبحث العلمي،

رئيس المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي،

وزير التربية الوطنية والتكوين المهني والتعليم العالي والبحث العلمي،

الوزير المنتدب المكلف بالتعليم العالي والبحث العلمي،

رئيس اللجنة الخاصة المكلفة بالنموذج التنموي الجديد (5 صفحات من الوثيقة).

– المساهمة في أشغال الهيئات الوطنية المكلفة بالبحث العلمي (المجلس الأعلى للتربية والتكوين والبحث العلمي، اللجنة الوطنية لتنسيق التعليم العالي، المجلس الإداري للمركز الوطني للبحث العلمي والتقني، المجلس الإداري للوكالة الوطنية لتقييم جودة التعليم العالي والبحث العلمي...).

• تطوير تدريس العلوم والنهوض بالتقافة العلمية من خلال:

– رئاسة «لجنة تطوير تدريس العلوم» التابعة للشبكة العالمية لأكاديميات العلوم IAP في شخص الأستاذة وفاء الصقلي، عضوة مراسلة بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات،

– المشاركة في أشغال اللجنة التي أنشأتها وزارة التربية الوطنية والتكوين المهني لقيادة وتتبع مسألة تدريس العلوم والتكنولوجيات، وتوجيه التلاميذ نحو هذه المسالك،

– المشاركة في الدورة الثالثة للمعرض المغاربي للكتاب التي نظمت بمدينة وجدة،

– تنظيم أيام «الشباب والعلم في خدمة التنمية» مع وزارة التربية الوطنية، في الفترة الممتدة من 19 إلى 26 نوفمبر 2019 حول موضوع «جدول دوري للعناصر الكيميائية – جدول ماندليف»

– تنظيم حلقة من المحاضرات، والمساهمة في تنظيم الندوات، واللقاءات، والمؤتمرات، والأيام الدراسية....

– نشر منشورات الأكاديمية (وقائع جلسات الدورة الرسمية 2019، النشرة العلمية رقم 25 و26 و27، رسالة الأكاديمية رقم 35 و36 و37 والمجلد 9 (رقم 1) من مجلة الأكاديمية «حدود في العلوم والهندسة»)،

– نشر عدد من المحاضرات التي نظمت من طرف الأكاديمية،

الخميس 27 فبراير 2020 زوالا

الجلسة المغلقة

تقديم ومناقشة تقرير أعمال ونشاط الأكاديمية خلال السنة المنتهية
تجديد أجهزة الأكاديمية

و

الجلسة الختامية

زوال يوم الخميس 27 فبراير 2020، واصلت الأكاديمية أشغالها في جلسة مغلقة، خصصت لتقديم ومناقشة التقرير السنوي لعمل وأنشطة الأكاديمية خلال سنة 2019-2020. في بداية هذه الجلسة، أعطيت الكلمة لأمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لتقديم التقرير عن أنشطة الأكاديمية خلال السنة المنتهية وذلك في سياق تفعيل المهام الرئيسية للأكاديمية المنصوص عليها في الظهير الشريف المحدث لها.

في هذا التقرير تم عرض مختلف الأنشطة التي قامت بها الأكاديمية خلال سنة 2019-2020 والتي تندرج في إطار المهام الأساسية المنصوص عليها في الظهير الشريف المحدث للأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، وهي كالتالي:

• النهوض وتنمية وتمويل البحث العلمي والتكنولوجي من خلال:

- اجتماعات الأجهزة المشرفة على إدارة أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات (مجلس الأكاديمية (6 اجتماعات)، لجنة الأعمال (6 اجتماعات)، الهيئات العلمية (37 اجتماع))،
- عقد دورة عادية خصصت لمناقشة مساهمة الأكاديمية في أشغال اللجنة الخاصة المكلفة بالنموذج التنموي الجديد حول موضوع البحث العلمي،
- إعداد وتهيئ الدورة الرسمية العامة لسنة 2020،
- إعداد وثيقة لإبراز أنشطة ومبادرات صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله المتعلقة بالنهوض بالبحث العلمي والابتكار التكنولوجي في بلادنا،
- مواصلة دعم الأكاديمية المتعلق بطلب العروض 2017-2018،
- عقد الدورة العادية للموافقة على برنامج الدورة الرسمية العامة لسنة 2020،
- المصادقة على أنشطة الأكاديمية على المستوى الدولي،
- مواصلة دعم التظاهرات العلمية التي تنظمها المجوعة العلمية الوطنية،
- تقديم منح التميز للفائزين في المباراة الوطنية في العلوم والتقنيات التي شارك فيها المتفوقون الأولون الحاصلون على شهادة البكالوريا لسنة 2019 في المسالك العلمية والتقنية.

- الأستاذ أحمد بوعزيز، أستاذ بمعهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة، الرباط، المغرب، حول «واقع ومستقبل النظم الإيكولوجية المحيطة بالمناطق الصحراوية».

بعد نهاية هذه العروض تم فتح مناقشة عامة أدارها الأستاذ عبد اللطيف الخطابي، أستاذ بالمدرسة الوطنية للغابوية للمهندسين - المغرب.

الخميس 27 فبراير 2020 صباحا (الجزء الأول) الجلسة العامة الخامسة حول «أي مستقبل للاستغلال والتنمية المستدامة للتراث الطبيعي للمغرب؟»

استأنفت أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات أشغال دورتها الرسمية يوم الخميس 27 فبراير صباحا بانعقاد الجلسة العامة الخامسة حول موضوع «أي مستقبل للاستغلال والتنمية المستدامة للتراث الطبيعي للمغرب؟» على شكل مائدة مستديرة، سيرها الأستاذ الكبير ساسون، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، تميزت بالاستماع إلى أربعة مداخلات قدمت من طرف كل من:

- السيد أحمد بن الخديم، وزارة الطاقة والمعادن والبيئة، المغرب، حول «التراث الوطني الخرائطي (البرنامج الوطني لوضع الخرائط الجيولوجية)»؛
- السيد عبد الرحيم هومي، المندوبية السامية للمياه والغابات ومكافحة التصحر، الرباط، حول «مستقبل وتنمية التراث الغابوي»؛
- السيد إبراهيم الحافضي، الوكالة الوطنية لتنمية مناطق الواحات وشجر الأركان، المغرب، حول «آفاق التنمية المستدامة للنظم الإيكولوجية في الأماكن المجاورة للمناطق الصحراوية»
- السيدة لبنى الشاواني بن عبد الله، مؤسسة محمد السادس لحماية البيئة، المغرب، حول «دور التربية على حماية البيئة من أجل التنمية المستدامة».

الخميس 27 فبراير 2020 صباحا (الجزء الثاني) خلاصة الأشغال ومناقشة عامة

خصص الجزء الثاني من صباح يوم الخميس 27 فبراير 2020 لخلاصة أشغال الدورة الرسمية حيث أشرف على إعدادها وتقديمها الأستاذ محمد بريان، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، تلتها مناقشة عامة.

الأربعاء 26 فبراير 2020 زوالا

الجلسة العامة الثالثة حول « التراث المائي والتراث الغابوي والاستغلال المستدام »

خصص زوال يوم الأربعاء 26 فبراير 2020 للجلسة العامة الثالثة حول موضوع «التراث المائي والتراث الغابوي والاستغلال المستدام»، حيث تم خلالها الاستماع إلى خمسة عروض قدمت من طرف:

- الأستاذ محمد آيت قاضي، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات حول «دينامية الماء والتنمية المستدامة»؛
- الأستاذ عبد الحميد الخالدي، المعهد الوطني للبحوث في الهندسة الريفية والمياه والغابات، تونس، حول «تحليل مقارن لبعض النظم الايكولوجية للغابات في البلدان المطلة على البحر الأبيض المتوسط وطرق استغلالها المستدام»؛
- السيد محمد بنزيان، مدير سابق لمركز الأبحاث الغابوية، الرباط، المغرب، حول «الجغرافية الحيوية للأراضي الغابوية في المغرب»؛
- السيد عمر محريت، مدير سابق لمركز الأبحاث الغابوية، الرباط، المغرب، حول «غابة الأرز المغربي: حماية وتنمية مستدامة»؛
- فريدريك مدايل Frédéric Médail، المعهد المتوسطي للتنوع البيولوجي والبيئة البحرية والقارية، جامعة إيكس مرسيليا، فرنسا، حول «غابات البلوط في البلدان المطلة على البحر الأبيض المتوسط»؛

عند نهاية هذه العروض تم فتح مناقشة عامة أدارها السيد فرانسيسكو غارسيا غارسيا، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

الأربعاء 26 فبراير 2020 زوالا

الجلسة العامة الرابعة حول « الغابات والاستغلال المستدام »

خصصت الجلسة العامة الرابعة لزوال يوم الأربعاء 26 فبراير 2020 لموضوع «الغابات والاستغلال المستدام»، حيث تم خلالها الاستماع إلى ثلاثة عروض علمية قدمت من طرف:

- الأستاذ أولريش دييل Ulrich Deil، جامعة فرايبورغ، ألمانيا، حول «التأثيرات البشرية الناتجة عن استغلال الغطاء النباتي والتربة، مقارنة بين شمال المغرب وجنوب إسبانيا»؛
- السيد عبد الرحمن آيت الحاج، من الوكالة الوطنية لتنمية مناطق الواحات وشجر الأركان، المغرب، حول «غابات الأركان، غابة مستوطنة فريدة من نوعها (حماية وتنمية المزارع)»؛

- الأستاذة الزهرة الرامي، أستاذة بجامعة شعيب الدكالي، الجديدة، المغرب، حول موضوع «تقنيات جرد التراث الجيولوجي وحمايته».
 - الأستاذة خديجة الحريري، جامعة القاضي عياض، مراكش، المغرب، حول «أمثلة للحماية المستعجلة للتراث الجيولوجي بالأطلس الصغير (موقع فزواتا الاحفوري)».
- بعد هذه العروض فتح باب المناقشة التي سيرتها الأستاذة بديعة بواب، خبيرة لدى أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

الأربعاء 26 فبراير 2020 صباحا الجلسة العامة الأولى حول «الترويج للتراث الجيولوجي المغربي» (الجزء الثاني)

- بعد الاستراحة، تابعت الأكاديمية أشغالها بانعقاد الجزء الثاني للجلسة العامة الأولى حول موضوع «الترويج للتراث الجيولوجي المغربي»، حيث تم خلالها الاستماع إلى ثلاثة عروض قدمها كل من:
- الأستاذ خوان كارلوس غوتيريز ماركو Juan Carlos Gutiérrez-Marco، عضو المجلس الأعلى للبحث العلمي، معهد علوم الأرض، مدريد، إسبانيا، حول موضوع «البحث الجيولوجي، الحفاظ ولاستغلال التجاري للمواقع الأحفورية»؛
 - الأستاذ خوسي بريلها José Brilha، أستاذ بجامعة دومينهو، البرتغال، حول «المنتزهات الجيولوجية مروجات للتنمية المستدامة»؛
 - الأستاذ فيليب طاكي Philippe Taquet، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أستاذ بالمتحف الوطني للتاريخ الطبيعي بباريس، فرنسا، حول «المنتزه الجيولوجي لمكونا Mgoun بالمغرب».

الأربعاء 26 فبراير 2020 صباحا الجلسة العامة الثانية حول «التراث المعدني والطاقي والتنمية المستدامة»

- خصصت الجلسة العامة الثانية من صباح يوم الأربعاء 26 فبراير 2020 لموضوع «التراث المعدني والطاقي والتنمية المستدامة»، حيث تم خلالها الاستماع إلى عرض علمي قدم من طرف:
- السيد عبد الله متقي، من المكتب الوطني للهيدروكربونات والمعادن، حول «قطاع التعدين والتنمية المستدامة»؛

بعد هذا العرض حصلت مناقشة عامة سيرها السيد إسماعيل أقلعي، خبير لدى أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، المدير العام للشركة الوطنية لصناعة الفولاذ، المغرب.

وفي هذا الصدد، أكد أمين السر الدائم على أهمية التراث الطبيعي الذي يعتبر تراثا ثميننا مشتركا، والذي يجب القيام بجرده أولا ثم الحفاظ عليه وتعزيزه ثانيا. كما ذكر أيضا بأن الحفاظ على التراث الطبيعي لا يجب أن يظل مصدر قلق بالنسبة لنساء ورجال العلم فقط، بل يجب أن يهتم المجتمع برمته؛ وفي هذا السياق، على العلماء القيام بالتعريف بالتراث الطبيعي وتحسيس عامة الناس بأهمية الحفاظ عليه وحمايته.

كما أشار إلى التنوع الكبير الذي يميز التراث الطبيعي وبأن هذه الدورة ستركز أشغالها أساسا على التراث الجيولوجي المتمثل في المواقع الأحفورية والجيولوجية والمعدنية الثمينة، وعلى التراث الغابوي الذي تزخر به بلادنا وأخيرا إشكالية الموارد المائية.

بعد الكلمة الافتتاحية لأمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أعطيت الكلمة على التوالي للسيد رئيس الحكومة، وللسيد وزير التربية الوطنية والتكوين المهني والتعليم العالي والبحث العلمي، والسيد الوزير المنتدب المكلف بالتعليم العالي والبحث العلمي.

مباشرة بعد هذه الكلمات، واصلت الأكاديمية أشغالها بالاستماع إلى المحاضرة الافتتاحية التي ألقاها السيد هوجو ألفونسو موران فيرنانديس Hugo Alfonso Moran Fernandez، كاتب الدولة المكلف بالبيئة في حكومة المملكة الإسبانية، حول موضوع «تأملات وإجراءات تتعلق بالتراث الطبيعي والتنمية المستدامة»، والتي ركز فيها على أهمية توطيد أو اصر التعاون بين المغرب وإسبانيا مع العمل على توسيعها لتشمل مختلف المجالات. بعد نهاية هذه المحاضرة فتح باب المناقشة سيرها الأستاذ محمد آيت قاضي مدير الجلسات.

الأربعاء 26 فبراير 2020 صباحا

الجلسة العامة الأولى حول «الترويج للتراث الجيولوجي المغربي» (الجزء الأول)

خصص الجزء الأول من صباح يوم الأربعاء 26 فبراير 2020 لأشغال الجلسة العامة الأولى حول موضوع «الترويج للتراث الجيولوجي المغربي»، حيث تم خلالها الاستماع إلى أربعة عروض قدمها كل من:

- الأستاذ إيف كوبانس Yves Coppens، فرنسا، عضو مشارك بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، حول موضوع «أين، متى، لماذا وكيف ظهر الإنسان؛ أجوبة الخُطاب العلمي»؛
- الأستاذ أحمد الحسني، أستاذ بجامعة محمد الخامس، الرباط، المغرب، عضو مقيم بأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، حول موضوع «جوانب مختلفة من التراث الجيولوجي المغربي».

انعقدت الدورة الرسمية العامة لسنة 2020 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بقاعة المحاضرات بمقر أكاديمية المملكة المغربية بالرباط أيام الثلاثاء 25 والأربعاء 26 والخميس 27 فبراير 2020، حول الموضوع العلمي العام «التراث الطبيعي والتنمية المستدامة».

الثلاثاء 25 فبراير 2020 زوالا

جلسة مغلقة للأكاديمية

(اجتماع الهيئات العلمية)

الجلسة الافتتاحية

انتخاب رئيس الجلسات

الكلمة الافتتاحية لأمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

المحاضرة الافتتاحية

حول موضوع «تأملات وإجراءات تتعلق بالتراث الطبيعي والتنمية المستدامة»

يوم الثلاثاء 25 فبراير 2020، على الساعة الثانية والنصف زوالا، اجتمعت الهيئات العلمية الستة للأكاديمية بشكل منفصل في قاعات أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لمناقشة حصيلة أنشطتها لسنة 2019 ودراسة خطة عملها لسنة 2020، وانتخاب ممثلي أعضاء الأكاديمية في الأجهزة المشرفة على إدارة أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

وفي الساعة الرابعة والنصف من زوال نفس اليوم، انطلقت أشغال الجلسة الافتتاحية للدورة العامة الرسمية لسنة 2020 لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات بالقاعة الكبرى للمحاضرات بمقر أكاديمية المملكة بالرباط، بحضور الأكاديميين وعدد من الشخصيات المدعوة، من بينهم السيد رئيس الحكومة، والسيد مستشار صاحب الجلالة، وعدد من الوزراء في الحكومة المغربية، وممثلي عدد من وسائل الإعلام السمعية البصرية والمكتوبة.

عند بداية الجلسة الافتتاحية تم انتخاب الأستاذ محمد آيت قاضي مديرا للجلسات خلفا للأستاذ محمد بريان الذي انتهت ولايته. مباشرة بعد ذلك أعطيت الكلمة للأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، لإلقاء الكلمة الافتتاحية لهذه الدورة للترحيب بالمدعوين وتقديم الموضوع العلمي العام لهذه الدورة الرسمية.

في بداية كلمته الافتتاحية، وبعد تقديم كلمات الشكر والترحيب للمدعوين، ذكر أمين السر الدائم بالموافقة السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس - حفظه الله - على أن تعقد أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات دورتها العامة الرسمية لسنة 2020 حول الموضوع العلمي العام «التراث الطبيعي والتنمية المستدامة».

محضر أشغال الدورة الرسمية العامة السنوية لأكاديمية
الحسن الثاني للعلوم والتقنيات
لسنة 1441 هجرية الموافق لسنة 2020 ميلادية

حول موضوع :

«التراث الطبيعي والتنمية المستدامة»

بين مختلف المتدخلين في مجال الحفاظ على التراث الطبيعي الوطني، أسفرت عن صدور اقتراحات وتوصيات مهمة من شأنها تعزيز التعاون بين العلماء والباحثين من أجل حماية هذا التراث الطبيعي الغني، ووضع برامج بحثية مشتركة يمكنها أن تساهم في التنمية المستدامة لبلادنا. ولقد ساهم في أشغال هذه الدورة ممثلو عدة مؤسسات وطنية تهتم بهذا المجال كمؤسسة محمد السادس لحماية البيئة، ووزارة الطاقة والمعادن والبيئة، والمندوبية السامية للمياه والغابات ومحاربة التصحر، والوكالة الوطنية لتنمية الواحات وشجر الأركان، وعدد من المؤسسات الجامعية.

كما حضر أشغال هذه الدورة أعضاء مكتب المجلس الإفريقي للبحث العلمي والابتكار التابع للاتحاد الإفريقي، بدعوة من الأكاديمية، إذ عقدوا يومي 23 و24 فبراير 2020، اجتماعات خصصت لتحضير مؤتمر هذا المجلس الذي سينعقد بالرباط في شهر نوفمبر 2020. كما أكدوا بهذه المناسبة على أهمية تطوير وتعزيز العلاقات العلمية مع إخوانهم الباحثين المغاربة.

وخلال هذه الدورة استحضر أعضاء الأكاديمية، بكل فخر واعتزاز، التوجيهات الملكية السديدة، التي ما فتئتم، أعز الله أمركم، تولونها للنهوض بالبحث العلمي والابتكار التكنولوجي في وطننا العزيز، وهي توجيهات ميمونة يستحضرها باستمرار أعضاء أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، التي تستظل برعايتكم السامية، آخذين الإصر على العمل بتعاليم جلالكم في تحقيق مقاصد أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات في أفق الارتقاء بمكانة البحث العلمي والتطور التكنولوجي في وطننا العزيز.

وفي ختام أشغال هذه الدورة، وقبل أن يتم انتخاب مسؤولي مختلف الهيئات العلمية التابعة للأكاديمية، تم تقديم التقرير السنوي لأنشطة الأكاديمية خلال السنة المنتهية، تلتها مناقشة من طرف أعضاء الأكاديمية الذين أوصوا بأن تقوم الأكاديمية بتعبئة أنجع الوسائل من أجل توسيع مجال إشعاع العلوم والمعرفة حتى تساهم في "خدمة الوطن وتنمية العلم بأبعاده الكونية".

حفظكم الله يا مولاي بما حفظ به الذكر الحكيم، وجعلكم منارا عاليا وسراجا هاديا لمسيرة مغرب الحداثة والتقدم، وأقر عينكم بولي عهدكم المحبوب صاحب السمو الملكي الأمير الجليل مولاي الحسن، وبشقيقته السعيدة صاحبة السمو الملكي الأميرة للآ خديجة، وشد أزركم بشقيقكم الأسعد صاحب السمو الملكي الأمير مولاي رشيد، وباقي أفراد الأسرة الملكية الكريمة.

والسلام على المقام العالي بالله. الله يبارك في عمر سيدي.

خديم الأعتاب الشريفة
عمر الفاسي الفهري

حرر بالرباط في يوم الخميس 03 رجب 1441 هجرية،

موافق ل 27 فبراير 2020 ميلادية

بسم الله الرحمن الرحيم، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

نعم سيدي أعزك الله

مولاي صاحب الجلالة

بعد تقديم ما يليق بمقام صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله وأعز أمره من أسمى آيات الطاعة والولاء، وأزكى فرائض الصدق والوفاء، وبعد انتهاء أشغال الدورة العامة الرسمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لسنة 2020، المنعقدة بعاصمة المملكة المغربية الشريفة، أيام الثلاثاء والأربعاء والخميس 01 و02 و03 رجب 1441 هجرية، الموافق لـ 25 و26 و27 فبراير 2020 ميلادية، يتشرف محب وخادم الأعتاب الشريفة، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أصالة عن نفسه ونيابة عن أعضاء الأكاديمية، أن يتقدم إلى سيدنا المنصور بالله، راعي الأكاديمية، بأصدق مشاعر التقدير والاحترام، المشفوعة بأعلى عبارات الامتنان والوقار، راجين من الله جلّت قدرته أن يعين جلالكم على السير قدما بهذا البلد الأمين نحو مزيد من التحديث والتطوير والرقي، ومزيد من الأمن والطمأنينة والاستقرار، وأن يقيقكم ملاذا للعلم وسندا للعلماء، ومنبعا للفكر والابتكار.

مولاي صاحب الجلالة

تمحورت أشغال هذه الدورة العامة الرسمية لهذه السنة حول الموضوع العلمي العام "التراث الطبيعي والتنمية المستدامة"، حيث تمت دراسة ومناقشة أوجه السبل لتشجيع البحث العلمي والتعريف بالتراث الطبيعي الوطني والحفاظ عليه، بالإضافة إلى دراسة ومناقشة الدور الاجتماعي المنوط برجال ونساء العلم في البحث والتنقيب عن التوازن بين الاحتياط الدائم للموارد الطبيعية وتخفيف الضغط عليه وتثمينه واستغلاله في مشاريع تنموية مستدامة.

فبعد الاستماع إلى المحاضرة الافتتاحية التي ألقاها السيد هوجو ألفونسو موران فيرنانديس Hugo Alfonso Moran Fernandez، كاتب الدولة المكلف بالبيئة في حكومة المملكة الإسبانية، حول موضوع "التأملات والإجراءات المتعلقة بالتراث الطبيعي والتنمية المستدامة"، والتي ركز فيها على أهمية توطيد أواصر التعاون بين البلدين الجارين مع العمل على توسيعها لتشمل مختلف المجالات، انعقدت عدة جلسات، تم خلالها الاستماع إلى عدة عروض ومداخلات ذات قيمة علمية رفيعة، قدمت من طرف عدد من أعضاء الأكاديمية، ومن قبل علماء باحثين متخصصين، وشخصيات علمية بارزة مدعوة من المغرب وخارجه (تونس، فرنسا، إسبانيا، البرتغال، ألمانيا، المكسيك)، تلتها مناقشة علمية مستفيضة همت بالخصوص موضوع التراث الطبيعي الوطني المتعلق بالتراث الجيولوجي المتمثل في المواقع الأحفورية والجيولوجية والمعدنية الثمينة، التي تزخر بها بلادنا الذي يعتبر بمثابة "جنة الجيولوجيين"، حيث تم التأكيد من خلالها على ضرورة حمايتها والمحافظة عليها في شكل منتزهات ومتاحف جيولوجية. كما تدارس المشاركون موضوع التراث المائي حيث أصبحت اليوم مسألة المحافظة عليه ضرورة حتمية التنمية المستدامة. كما انعقدت جلسة عامة حول التراث الوطني الغابوي، تناول فيها المشاركون عدة مواضيع همت غابة الأرز المغربي، وغابات البلوط والأركان، والواحات، وواقع ومستقبل النظم الإيكولوجية المحيطة بالمناطق الصحراوية المغربية. كما تم خلال هذه الدورة تخصيص إحدى الجلسات لدراسة ومناقشة موضوع تبادل التجارب والخبرات

**نص البرقية المرفوعة
إلى السدة العالفة بالله
صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله**

على إثر اختتام أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2020

• كيف العمل على تكتيف برامج البحث والتعليم والتوعية من أجل الاستغلال الأمثل للموارد الطبيعية لكل التراث وضروريا حيويا والتدبير العقلاني لها، وعلى رأسها الموارد المائية التي تعتبر موردا طبيعيا، ومن ثم النباتات والحيوانات.

• ماهي التدابير التي يمكن اقتراحها للحفاظ على النظم الإيكولوجية للغابات أو الفضاءات التي تمت إعادة تشجيرها واستغلالها بطريقة مستدامة لمواجهة خطر التدهور السريع الذي يهددها ؟

• ماذا يمكن القيام به من أجل وضع حد لهذا التدهور، الذي في بعض الأحيان، يكون لا رجعة فيه بالنسبة للثروات والموارد الطبيعية؟ وهل التدابير التنظيمية الجاري بها العمل كافية، فالحفريات والمعادن غالبا ما يتم نهبها وبيعها وتصديرها بصفة غير قانونية.

• ماهي أوجه السبل لتشجيع البحث العلمي في هذه الميادين والتعريف بهذه الثروات والحفاظ عليها واستغلالها بصفة مستدامة؟ وما هو الدور الاجتماعي لرجالات العلم في البحث عن التوازن المنطقي بين الاحتياط الدائم للموارد الطبيعية وعن وسائل تـثمينه واستغلاله في مشاريع تهم التنمية المستدامة؟ بـبب كيف الحصول على انخراط الساكنة وإشراكها في الحفاظ على التراث الطبيعي والعمل على مساهمته في التنمية المستدامة؟

إن هذه الإشكالية تستدعي مزيدا من العمل على مستوى البحث التنموي بالإضافة إلى القيام بالتنسيق الوطيد بين المتدخلين الرئيسيين (الباحثين، الساكنة المحلية، الوزارات القطاعية، السلطات المحلية، والمقاولات). علاوة على ذلك، يجب على جميع المتدخلين تحديد وتوجيه الإجراءات التي يتعين القيام بها والتي تشمل الأنشطة المتعلقة بالتعليم والتحسيس وخلق مصادر مـذرة للدخل وتوفير مناصب للشغل.

كما يجب في نهاية الأمر التركيز على الضرورة الملحة، ليس فقط للحفاظ على التراث الطبيعي المغربي فحسب، بل وبالخصوص الحفاظ على مواقع تراثية ذات أهمية عامة على الصعيد الجيولوجي والبيولوجي والإيكولوجي.

وفي الختام، تعد الدورة العامة الرسمية لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لسنة 2020، مناسبة سانحة لتحسيس صانعي القرار والرأي العام، بضرورة الحفاظ على التراث الطبيعي الوطني. كما يمكن لهذه الدورة أن تساعد كذلك على تحديد المواقع التي هي في حاجة إلى دراسة ومعارف علمية جديدة. كما تشكل هذه الدورة أيضا فرصة لتبادل التجارب والخبرات بين دول البحر الأبيض المتوسط في مجال البحث العلمي، مما سيؤدي إلى إقامة تعاون وطني ودولي وكذا برامج البحث العلمي من أجل الحفاظ على هذا التراث الطبيعي الغني وتثمينه، وذلك من خلال إنشاء مواقع جيولوجية وبيولوجية وإيكولوجية ذات أهمية كبيرة يمكن أن تساهم في التنمية المستدامة لبلادنا.

مقدمة

اعتباراً لأهمية جرد وحماية وتثمين التراث الطبيعي، حيث أصبح الحفاظ على هذا التراث في الوقت الراهن ضرورياً من أجل إدامة توازن النظم الإيكولوجية لكوكبنا الأرض والحفاظ على الحياة ذاتها، وتمشيا مع التوجيهات السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله التي جاءت على الخصوص في الرسالة الملكية الموجهة إلى المشاركين في الاجتماع الدولي حول تغير المناخ المنعقد في 16 أكتوبر 2009، والتي يؤكد فيها جلالته على :

إن تخفيف الضغط على الموارد الطبيعية، يعني بالأساس المحافظة على توازن الأنظمة البيئية ومن هذا المنطلق، انخرطت بلادنا بكل حزم في مجال تجديد مواردنا الغابوية، وحماية التنوع البيولوجي، ومحاربة تدهور التربة وانجرافها، والحد من زحف الرمال والتصحر، وذلك من أجل تحسين وتنمية قدراتنا على إنتاج مواردنا الطبيعية وتجديده.

ارتأت أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات أن تعقد دورتها العامة الرسمية لسنة 2020 حول الموضوع العلمي "التراث الطبيعي والتنمية المستدامة".

ويمكن تحديد تعريف التراث الطبيعي بالعملية التي يتم من خلالها إبراز قيمة عناصر الثقافة أو الطبيعة لتصبح في مرحلة محددة من تاريخ المجتمعات، ذات قيمة تراثية تستحق بموجبها أن تكون محمية، وأن يتم تثمينها لفائدة الأجيال الحالية ونقلها إلى الأجيال القادمة.

ونظرا لغناء وتنوع التراث الطبيعي، اختارت الأكاديمية التركيز في هذه الدورة فقط على بعض الجوانب المهمة من هذا التراث الطبيعي ويتعلق الأمر بالتراث الجيولوجي والتراث الغابوي بالإضافة إلى إشكالية الموارد المائية.

إن العلاقة بين الحفاظ على التراث الطبيعي والتنمية المستدامة في المغرب تعد بمثابة إشكالية معقدة وتطرح تساؤلات يمكن تلخيصها فيما يلي :

- كيف يمكن الحفاظ على التراث الجيولوجي في المغرب حتى يضل كما يذكر في الكثير من الأحيان «جنة الجيولوجيين»؟ في الحقيقة، يعتبر المغرب من الناحية الجيولوجية، واحد من البلدان التتاريخ الكرة الأرضية من العصر الأرخي (Archéen) إلى العصر الرباعي (Quaternaire) أي على فترة من الزمن تناهز 5.4 مليار سنة تقريبا. ويمكننا أن نذكر أيضا أن المغرب يحتوي على تنوع جيولوجي هائل، وعلى وجود طبقات جيولوجية.



المملكة المغربية
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2020

الموضوع

التراث الطبيعي والتنمية المستدامة

الرباط، 25 - 27 فبراير 2020



صاحب الجلالة الملك محمد السادس - نصره الله -

راعي أكاديمية الحسن الثاني

للعلوم والتقنيات



المملكة المغربية
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

أشغال الدورة العامة الرسمية لسنة 2020

الموضوع
التراث الطبيعي والتنمية المستدامة

الرباط، 25 - 27 فبراير 2020