

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

n°19

juin 2016

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

Sa Majesté Le Roi Mohammed VI.

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

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



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

n°19

juin 2016

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

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

Publié par :

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

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

Site internet : www.academiesciences.ma

Directeur de la publication : Omar FASSI-FEHRI

Rédacteur en Chef : Mohamed AIT KADI

Comité de rédaction:

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

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

Réalisation : AGRI-BYS S.A.R.L (A.U)

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



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

Sommaire

Editorial 9

La science dans tous ses états..... 11

- Discours du secrétaire perpétuel à l'ouverture de la 11^{ème} session plénière solennelle 13
- Synthèse des travaux de la session plénière solennelle 2016 16
- Résumés des Conférences..... 19
- Origine et évolution de la famille humaine - Nous sommes tous des africains..., M. BRUNET..... 27

Activités de l'Académie..... 35

- Sciences et technologies : levier majeur d'un partenariat Sud-Sud pour le développement industriel et agricole de l'Afrique 37
 - Allocution du secrétaire perpétuel lors de la rencontre des Académies Africaines des Sciences (AAS)..... 37
 - Rapport de la rencontre des Académies Africaines des Sciences (AAS) 39
- Le changement climatique et ses effets sur l'Afrique..... 44
 - Extraits de l'allocution du secrétaire perpétuel lors de la session anniversaire de l'Académie 44
 - L'Afrique face au réchauffement climatique, J. JOUZEL 46
 - L'Afrique face aux défis du réchauffement climatique: quelles priorités scientifiques et technologiques? T. CHKILI..... 59
- Environnement et développement dans les Régions du Sud du Royaume, A. EL HASSANI..... 65
- Place et fonctions des sciences humaines et sociales dans l'enseignement des sciences et technologies, A. BOUKHARI, M. ZIYAD, M. SMANI 71
- Restauration de la fertilité des sols : un défi mondial, une nécessité pour le Maroc, A. FILALI-MALTOUF, M. MISSBAH EL IDRISSEI..... 74
- Océanographie biologique - Ressources biologiques marines, A. EL HASSANI 78
- Modélisation et prospective économique 89

Les Conférences de l'Académie..... 91

- Ce que nous devons à Einstein, S. HAROCHE 93
- Les avancées de la génétique : quels bénéfices pour les patients? A. MUNNICH 99
- Climat : y voir clair pour agir, S. BALIBAR..... 101
- Les trous noirs gloutons, F. COMBES..... 102
- 13,8 milliards d'années racontés par la mission Planck, C. RENAULT 102
- Les Big Data et l'industrie, E. BACRY..... 103
- Les origines africaines de l'homme moderne: une perspective maghrébine, J-J. HUBLIN..... 103

Appui à la recherche scientifique et technique 105

- Etude de la variabilité génomique du chêne-liège (*Quercus suber* L.) et multiplication clonale par embryogenèse somatique, A. LAMARTI 107

Focus 115

- Impacts du tremblement de terre de 1755 au Maroc: histoire, société et religion, T. CHERKAOUI, A. EL HASSANI & M. AZAOUM..... 117

Nouvelles des académiciens 135

- R. EL AOUAD, membre du «Committee on Improving Scientific Input to Global Policymaking : Strategies for Attaining the Sustainable Development Goals» 137
- M. AIT KADI représente l'Académie à la 8^{ème} Assemblée Générale du Partenariat Inter-Académies des Sciences (IAP) 138
- Participation de A. BENYOUSSEF à la Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques d'Expression Française (CIRUISEF) 139
- Participation de E. M. ESSASSI au programme «Science for Peace and Security» de l'OTAN 141

Editorial

Le dixième anniversaire de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques lui a offert une occasion appropriée pour apprécier le chemin qu'elle a parcouru dans la réalisation de ses missions et de jeter un regard prospectif sur les avancées de la science. Elle a également mis à profit cette occasion pour offrir, tout le long de l'année, et en plus de ses activités habituelles, une large palette de manifestations scientifiques dans différentes régions du Royaume

Qu'il nous soit permis de constater que notre Académie a parcouru un long chemin dans la réalisation de l'objectif cardinal que lui a fixé son Protecteur Sa Majesté le Roi Mohammed VI, Que Dieu Le Garde, celui de «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale» En plus de ses activités statutaires, le nombre croissant de manifestations scientifiques, les projets de recherche financés, ses publications et son engagement actif dans la coopération internationale notamment dans le cadre du Partenariat Inter-Académies (IAP) et du Réseau Africain des Académies des Sciences (NASAC), dont elle assure la présidence, attestent l'activité suivie et méthodique qu'elle poursuit depuis dix années.

Le thème scientifique général de la Session Plénière «La science dans tous ses états» a permis de rendre compte du bouillonnement que connaît la science dans tous ses champs disciplinaires. Cette effervescence est alimentée par l'accumulation d'un siècle de savoir universel fait de découvertes et d'inventions. Aujourd'hui la science constitue plus que jamais l'enjeu majeur des sociétés et le facteur décisif de leur évolution. Ceci étant, les progrès de la science doivent être appliqués dans des directions utiles à l'Homme et il convient, par conséquent, de s'interroger chaque fois sur leurs implications éthiques.

La célébration du dixième anniversaire de l'installation solennelle de l'Académie a été rehaussée par la participation de seize Académies des Sciences africaines et du co-président du Partenariat Inter-Académies (IAP) à la rencontre organisée conjointement avec le NASAC à Rabat sur le thème du changement climatique. Elle fut l'occasion d'un échange fructueux sur une vision africaine du réchauffement climatique prenant en compte les spécificités du continent et ses besoins notamment en matière d'adaptation. Des propositions et recommandations ont été formulées pour être transmises à la Conférence des Nations Unies sur le Climat, COP22, qui se tient à Marrakech en novembre 2016.

La rédaction



La science dans tous ses états

Discours du secrétaire perpétuel à l'ouverture de la 11^{ème} session plénière solennelle



**Excellences,
Honorables invités,
Mesdames, Messieurs,**

Il y a un peu moins de 10 ans, le 18 mai 2006, Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu Le protège, installait solennellement au Palais Royal d'Agadir l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Nous nous remémorons avec la plus vive émotion cet événement, à jamais gravé dans nos mémoires, ainsi que le Discours Royal prononcé à cette occasion; nous tenons aujourd'hui cette session plénière solennelle annuelle pour commémorer cet anniversaire et aussi pour traiter le thème scientifique général retenu avec la Haute Approbation de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI "**La Science dans tous ses états**". Qu'il me soit permis au nom de tous les académiciens de présenter à Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, l'expression de notre profonde reconnaissance et de notre déférente gratitude, en priant le Tout Puissant de nous aider à être dignes de la Sollicitude et de la Confiance Royales.

**Honorable assistance,
Mesdames, Messieurs,**

Je voudrais remercier toutes les personnalités, venues du Maroc et de l'étranger, qui ont répondu à notre invitation, et qui nous honorent aujourd'hui de leur présence.

A toutes et à tous nous souhaitons la bienvenue.

Mesdames, Messieurs,

Dans le cadre de cette allocution d'ouverture, je ne m'attarderai pas sur le bilan de l'année écoulée; j'aurai l'occasion de le détailler au cours de la séance du jeudi après-midi en présentant

le rapport d'activité correspondant à la période allant du 15 février 2015 au 15 février 2016.

Je ferai simplement remarquer que notre Académie, au cours de l'année écoulée, a maintenu le cap qu'elle s'est fixé dans le cadre des Orientations données par son Tuteur Sa Majesté Le Roi qui, dans le Discours d'installation, l'avait invitée à *«servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale», en insistant sur le «rôle que devront jouer les scientifiques en général et les membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en particulier afin de contribuer à relever les défis du développement et principalement ceux du développement humain»*. Dans ce cadre, nous avons essayé de remplir nos différentes missions:

- promouvoir la recherche scientifique,
- contribuer à la diffusion de la culture scientifique et au développement de l'enseignement des sciences dans notre pays,
- assurer la diffusion régulière des publications de l'Académie (les Actes, le Bulletin d'information, la Lettre de l'Académie, le Journal Frontiers in Science and Engineering),
- encourager en matière scientifique l'excellence à tous les niveaux (notamment en mettant en place le Programme de bourses d'excellence aux lauréats du Concours Général des Sciences et Techniques),
- apporter un appui aux projets de recherche,
- organiser tout au long de l'année un cycle de séminaires sur des questions scientifiques d'actualité ainsi qu'un cycle de conférences données par des personnalités scientifiques de réputation internationale,
- contribuer à l'intégration de la recherche scientifique et technique dans l'environnement socio-économique national et international (cas de l'industrie aéronautique et industrie automobile),
- assurer une présence de l'Académie à l'étranger sur les plans régional, continental (NASAC) et international (IAP).

Voilà très succinctement les points forts de l'action que nous avons menée durant l'année écoulée. Nous aurons l'occasion donc d'en discuter après demain et surtout d'examiner comment on peut améliorer l'action de l'Académie Hassan II et la corriger si nécessaire.

Mesdames, Messieurs,

La tenue de cette session plénière solennelle constitue l'évènement central d'un programme d'ensemble, qui commémore le 10^{ème} anniversaire, et qui est constitué par des manifestations scientifiques régionales, organisées avec l'aide des autorités universitaires locales - ce dont nous les remercions très sincèrement - et qui se dérouleront tout au long de l'année 2016 notamment à Rabat, Marrakech, Fès, Casablanca, Tanger, Dakhla et El Jadida. Une rencontre entre l'Académie Hassan II et les Académies des Sciences Africaines est également prévue au mois de mai 2016 à Rabat; enfin différentes activités sont également prévues dans le cadre de la COP22.

Mesdames, Messieurs,

Maintenant, si vous le voulez bien, un mot sur le thème scientifique général de cette session plénière "**La Science dans tous ses états**".

La science en ébullition, car elle fait chaque jour de nouvelles découvertes et de nouvelles inventions, et elle le fait aujourd'hui de plus en plus vite et en quantité de plus en plus grande; chaque jour aussi, on s'aperçoit combien reste grande notre ignorance. C'est, je crois, Einstein qui disait: *«plus je connais de choses et plus je m'aperçois combien je suis ignorant»*. Avant lui, James Clerk Maxwell avait dit: *«sans une conscience profonde de notre ignorance, il ne peut y avoir de réelle avancée en science»*.

Au XV^{ème} siècle, avec l'invention de l'imprimerie par Gutenberg, la quantité d'informations disponibles avait doublé en 50 ans; aujourd'hui, avec les nouvelles technologies, c'est tous les trois ans qu'elle est multipliée par deux. L'humanité a produit au cours des 30 dernières années plus d'informations qu'en 2000 ans d'histoire, et ce volume d'informations double tous les 4 ans.

La dernière grande découverte nous est arrivée la semaine dernière avec l'observation des ondes gravitationnelles par une équipe américaine (LIGO) confirmant ainsi une prédiction faite un siècle plutôt par Einstein; et c'est avec beaucoup d'intérêt que l'on écoutera demain matin la présentation de notre collègue Mme Catherine Brechignac qui ne manquera pas d'en parler.

A la fin du XIX^{ème} siècle, un illustre physicien anglais, Lord Kelvin, n'avait pas hésité à dire: *«Il n'y a plus rien à découvrir en physique aujourd'hui. Tout ce qui reste à faire, c'est d'améliorer la précision des mesures»*. Et pourtant, quelques années plus tard, la physique connaissait deux grandes révolutions, la physique quantique et la relativité,

qui ont bouleversé toutes nos connaissances et les concepts qui avaient prévalu pendant des siècles sur l'espace, le temps, la masse, l'énergie, la lumière, le monde de l'infiniment petit et celui de l'infiniment grand.

Aujourd'hui encore, de grandes questions restent ouvertes dans toutes les disciplines scientifiques; au cours des deux prochaines journées, en tout cas au moins dans quelques disciplines phares comme la paléanthropologie, dans les sciences de la matière, en physique, en chimie, dans les sciences du vivant, dans les sciences de l'ingénieur, dans les sciences économiques, dans les sciences agricoles, nous aurons l'occasion d'avoir une idée sur les attentes, les progrès, les défis et l'avenir de la science contemporaine; nous pourrions en débattre avec les éminentes personnalités scientifiques qui ont bien voulu faire des présentations au cours de cette session et que nous remercions chaleureusement.

Mesdames, Messieurs,

Depuis plus d'un siècle, la science a connu une évolution et des bouleversements profonds dont l'ampleur n'a pas encore été perçue de tous, y compris au sein de la communauté scientifique. Elle constitue plus que jamais l'enjeu majeur de nos sociétés et le facteur décisif de leur évolution. Grâce à la science, nous avons beaucoup appris au cours des dernières décennies, nous en savons plus sur le comportement des particules fondamentales, nous découvrons toujours davantage d'objets cosmiques lointains, nous connaissons mieux le génome de nombreuses espèces, dont la nôtre. Aujourd'hui, la science est en transition, se trouve à la croisée des chemins et les prémices d'une nouvelle science mondialisée sont de plus en plus évidentes. Elle est devenue multidisciplinaire, intégrant les sciences sociales et les sciences naturelles.

Par le passé, les méthodes scientifiques ont valorisé l'étude des processus naturels individuels plutôt que des systèmes, l'analyse plutôt que la synthèse, et la compréhension de la nature plutôt que la prévision de son comportement. Et dans de nombreux cas, la science a focalisé son attention sur des problèmes à court terme et de petite échelle, souvent selon un mode «monodisciplinaire», plutôt que sur des problèmes à plus long terme et de plus grande échelle, et selon une approche multidisciplinaire et plus holistique de la science.

En ce début du troisième millénaire, la science connaît une vive effervescence ("dans tous ses

états") alimentée par l'accumulation d'un siècle de savoir universel fait de découvertes et d'inventions, et tous les indices concordent pour penser que nous sommes à l'aube d'une nouvelle ère scientifique comparable à celle de la découverte d'un nouveau monde avec tout ce que cela comporte comme mystères et spéculations, comparable aussi à celle du début du siècle dernier, témoin, comme nous l'avons rappelé tout à l'heure, de la naissance de la physique quantique et de la relativité, des sciences qui ont changé notre vie quotidienne.

D'ici la fin du XXI^{ème} siècle, les sujets de débats scientifiques ne devraient pas manquer. Les nanotechnologies devraient devenir une réalité, tout comme la biologie synthétique, la robotique humanoïde, la biothérapie, la thérapie génique; déjà des microrobots, de la taille d'une bactérie, sont capables de se propulser dans les fluides biologiques pour réaliser des actes médicaux à l'échelle cellulaire,... Le réchauffement climatique, déjà sensible aujourd'hui au moins aux pôles, aura modifié les conditions de vie de nombreuses régions de monde, sans parler de l'épuisement de certaines ressources naturelles.

Certains considèrent même qu'une ère géologique a déjà commencé et qui est façonnée par l'homme, l'Anthropogène qui aurait débuté avec la révolution industrielle.

Face au réchauffement climatique, certains vont jusqu'à penser à dompter le climat, à agir sur le climat en inventant un système d'extraction du CO₂ de l'atmosphère, ou encore à réduire l'ensoleillement de la surface terrestre en injectant du soufre dans la haute atmosphère.

La rapidité des progrès réalisées par les sciences et les technologies est fascinante, et remet sans cesse en question notre imagination et nos attentes, mais il est impératif qu'au fur et à mesure de ces avancées, nous continuions de nous interroger sur leurs implications éthiques. Les sciences et les technologies peuvent aussi être des sources de crainte et de risques. Les menaces qu'elles font peser sur l'environnement et la santé humaine et animale soulèvent des interrogations non seulement sur le plan scientifique et technologique, mais aussi en termes socio-économiques et éthiques. Les découvertes scientifiques doivent être appliquées dans des directions utiles à l'Homme. Pour ces raisons, nous avons jugé utile d'intégrer dans le programme de cette session un panel qui abordera et traitera la question de l'éthique en science.



Signature d'une convention de partenariat avec l'Académie des Sciences du Benin

Mesdames, Messieurs,

Qu'en est-il du Maroc?

Sachant que toute politique scientifique réelle et efficace doit reposer d'abord sur un système éducatif performant qui assure un enseignement des sciences de qualité et qui forme des cadres compétents, la recherche scientifique marocaine doit certes d'abord répondre aux besoins urgents et prioritaires du pays, c-à-d améliorer les conditions de vie des citoyens, et contribuer à la modernisation du pays et à son développement sur tous les plans; ceci étant, elle se doit aussi de prendre part à la recherche scientifique mondiale dite de pointe, qui est en train de révolutionner notre vision du monde.

Excellences, Mesdames, Messieurs,

A cette session participent d'éminents scientifiques venant du Maroc et de l'étranger (Etats-Unis, France, Espagne, Sénégal, Tunisie, Chili, Mexique, Brésil, Canada et Suède) qui présenteront des conférences et des communications et qui animeront la discussion et le débat sur la thématique de la session. Je les remercie très sincèrement.

Je voudrais, à la fin de cette allocution, remercier tout particulièrement mon ami le Professeur Abdeljalil Lahjomri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume et l'ensemble de son personnel pour l'aide qu'ils nous apportent, comme à l'accoutumée, dans l'organisation matérielle de notre session plénière.

Mes remerciements vont également aux membres du Conseil d'Académie, de la Commission des Travaux, des Collèges scientifiques, à tous les membres de l'Académie associés, résidents et correspondants, et à son équipe administrative pour leur contribution à la préparation de cette session; souhaitons-lui tout le succès qu'elle mérite.

Je vous remercie pour votre attention.

Synthèse des travaux de la session plénière solennelle 2016

L'ouverture, le 16 Février 2016, de la session plénière solennelle annuelle, fut marquée par le discours de Monsieur le Secrétaire Perpétuel dans lequel il a notamment :

- fait remarquer que la tenue de cette session plénière solennelle constitue l'événement central d'un programme de manifestations scientifiques qui se dérouleront, à l'occasion du 10^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie par Sa Majesté le Roi, tout au long de l'année et à travers l'ensemble des régions du Royaume,
- souhaité la bienvenue aux participants venant du Maroc et de l'étranger (France, USA, Espagne, Chili, Mexique, Canada, Sénégal, Tunisie) et les a remerciés pour leur présence et leur contribution aux débats sur le thème général choisi pour la session, "La science dans tous ses états".
- rappelé le bouillonnement vécu par la science, en ce début de siècle.

Au cours des deux journées (16 et 17 février) la participation d'éminents scientifiques et de jeunes Doctorants de différentes Universités Marocaines ont permis de faire un état des lieux en ce qui concerne les avancées scientifiques et technologiques, et des efforts déployés par les chercheurs, ainsi que les défis que doit relever la communauté scientifique pour faire de la science un outil de bien être pour l'homme et de paix mondiale. Cette session a couvert plusieurs domaines et disciplines scientifiques dont :

- les sciences de la matière particulièrement les nouveaux défis de la physique, l'interconnexion de la biologie et de la chimie ainsi que les promesses en terme d'innovation et de progrès technologique des nouveaux matériaux,

- les sciences et techniques du vivant notamment la diversité des gènes, le domaine de l'ingénierie des génomes et du CRISPR-cas9 (système immunitaire bactérien dirigé contre les acides nucléiques, notamment viraux et considéré comme un outil révolutionnaire d'ingénierie du génome), ainsi que les sciences neurologiques;
- les mathématiques et les sciences de l'univers avec des conférences sur les diverses applications des mathématiques au service des autres sciences, notamment les sciences économiques;
- les nouvelles technologies, les sciences de l'environnement, les énergies renouvelables. Ont été abordées aussi quelques applications notamment les nouvelles technologies des batteries, ainsi que le rôle de la recherche publique dans les nouveaux concepts de compétition et d'innovation collaboratives;
- les sciences économiques et l'agriculture; concernant les sciences économiques une des voies de recherche concerne les nouveaux consensus macroéconomiques avec des approches basées sur les concepts probabilistes de la théorie quantique. L'agriculture du futur a été présentée comme un condensé de défis scientifiques qui ne peuvent être relevés que par la recherche scientifique en biotechnologie et en s'appuyant sur les nouvelles technologies;
- la dernière journée a été consacrée à un panel avec la participation de plusieurs éminents chercheurs qui se sont penchés sur la question de l'éthique en sciences en général et particulièrement en sciences biologiques et en médecine, les nouvelles technologies de la communication et de l'information et les Big Data ainsi qu'à l'environnement.

La science a de plus en plus d'influence sur la vie des gens. Les avantages que l'humanité en a tirés sont sans précédent dans l'histoire de l'espèce humaine, même si dans certains cas les impacts ont été nuisibles ou leurs répercussions à long terme suscitent de nombreuses préoccupations. Jamais sans doute, n'a-t-on autant attendu de la science et de la technologie, du fait de l'interdépendance étroite des enjeux politiques, économiques, sociaux et environnementaux et la science, et en même temps, elle suscite le trouble et des interrogations fondamentales sur les limites éthiques de son intervention sur notre quotidien.

Les découvertes scientifiques doivent être appliquées à l'échelle qui convient. L'incidence des interventions technologiques sur les individus, les collectivités et l'environnement est une question qui doit retenir toute notre attention.

Tous ces sujets ont constitué une assise de débat et de discussion au cours de la onzième session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques organisée les 16, 17 et 18 février 2016 sur le thème général «la science dans tous ses états». Les conférences et les exposés ainsi que les débats et les discussions qui s'ensuivirent ont été une excellente occasion pour faire le point sur le progrès «pour» la science, le progrès «par» la science et le progrès «dans» la science.

Cette session a été une occasion pour débattre des grandes avancées scientifiques marquant notre époque ainsi que les défis, les attentes et l'avenir de la science contemporaine, notamment dans quelques disciplines phares telles que les sciences de la matière, les sciences et techniques du vivant, les sciences de l'univers, les technologies de

l'information ainsi que les questions scientifiques liées à l'énergie, l'environnement, l'économie ou l'agriculture du futur.

Les conclusions de cette session ont permis de déterminer certains domaines de recherche prometteurs tel que l'ingénierie des génomes et le CRISPR-Cas9, des domaines certes à fort potentiel d'innovation et de transfert de technologie, et aussi d'une manière générale préciser les meilleures approches pour une pleine intégration de la science aux larges besoins sociaux, notamment, en matière de développement humain, en vue de renforcer l'économie et la société du savoir.

Ces conclusions et recommandations s'inspirent des orientations données par Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu Le garde, telles qu'elles se dégagent de l'extrait suivant, tiré du Discours Royal à l'occasion de la Fête du Trône 2006; «Profondément convaincu du rôle majeur que la recherche scientifique et technique joue au service du développement et de l'accès à la société du savoir et de la technologie, Nous avons procédé à l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, traduisant, par là, Notre confiance dans les compétences nationales prometteuses, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, ainsi que l'assurance que Nous avons de leur volonté sincère de contribuer activement à la construction de l'avenir de leur patrie».

Cette session a revêtu certes un caractère particulier car elle a coïncidé avec la commémoration du 10^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie, elle a été l'événement central d'un ensemble de manifestations scientifiques, sur des sujets d'actualité, organisées tout au long de l'année 2016 et à travers l'ensemble du Royaume.



Les membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
à l'issue de la Session Plénière Solennelle 2016

Résumés des Conférences

Origine et évolution de la famille humaine. Nous sommes tous des africains

Michel BRUNET

Collège de France - Chaire de Paléontologie humaine



The idea of an ascendance for our species is quite recent (about 150 years ago) (Darwin, 1859 et 1871). But which was our ancestral group, when and where did it arise?... If these questions are more constraints they are still always unsolved. In the 80's, early hominids are known in South and East Africa, the oldest being in East Africa led to propose an "East Side Story", the bipedal hominid original savannah hypothesis (Coppens, 1983).

From 1994 the M.P.F.T.2 digging in Djurab desert (Northern Chad) unearthed successively a new australopithecine, *Australopithecus bahrelghazali* Brunet et al. 1996, nicknamed Abel (dated to 3.5 Ma), the first ever found West of the Rift Valley (Brunet et al., 1995) and later a new hominid, the earliest yet found (nicknamed Toumaï) *Sahelanthropus tchadensis* Brunet et al., 2002 from the late Miocene, dated to 7 Ma (Vignaud et al., 2002; Lebatard et al., 2008). These new milestones suggest that an exclusively southern or eastern African origin of the hominid clade is unlikely to be correct.

Since 1994, our evolutionary roots went deeper, from 3.6 Ma to 7 Ma today, with three new Late Miocene species: *Ardipithecus kadabba* Haile-Selassie, 2001 (5.2–5.8 Ma, Middle Awash,

Ethiopia) and *Orrorin tugenensis* Senut et al., 2001 (ca. 6 Ma, Lukeino, Kenya) while the oldest (7 Ma) is the Chadian one. These discoveries have a scientific impact similar to that of *A. africanus* Dart, 1925. *S. tchadensis* displays a unique combination of primitive and derived characters that clearly shows that it is not related to chimpanzees or gorillas, but clearly suggests that it is related to later hominids, and probably temporally close to the last common ancestor between chimpanzees and humans (Brunet et al., 2002 & 2005; Zollikofer et al., 2005).

In Chad, the Late Miocene sedimentological and paleobiological data are in agreement with a mosaic landscape (Vignaud et al., 2002). Today in Central Kalahari (Botswana) the Okavango delta appears to be a good analogue with a similar mosaic of lacustrine and riparian waters, swamps, patches of forest, wooded islets, wooded savannah, grassland and desertic area (Brunet et al., 2005). Among this mosaic the studies of Toumaï ecologic preferences are still in progress but more probably, as for the others known late Miocene Hominids, a wooded habitat in a mosaic landscape. Moreover these three late Miocene hominids are probably usual terrestrial and arboreal climbing bipeds. So the models that involve significant role for savannah in the hominid origin must be reconsidered.

Now, it appears that the earliest hominids inhabited wooded environments and were not restricted to Southern or Eastern Africa but were rather living in a wider geographic region, including also Sahelian Africa: at least Central Africa (Chad, Niger, Sudan) and may be also a part of Northern Africa (Algeria, Libya and Egypt) (Brunet, 2008). In fact we are all African (Brunet, 2016)...

According to, the early hominid history is going to be reconsidered within completely new paradigms.

Défis de la Physique

Catherine BRECHIGNAC

*Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences de France
Membre Associé de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



La physique est une science qui observe et groupe les phénomènes du monde matériel, en vue de dégager les lois qui les régissent. Contenu déjà dans la célèbre phrase de Galilée: «les lois de la nature s'écrivent en langage mathématique.»

La physique des infinis répond à la nécessité des technologies toujours plus performantes.

La physique quantique, après être restée longtemps dans le domaine scientifique, est devenue depuis une vingtaine d'années une extraordinaire source de ruptures technologiques. Le microprocesseur, le laser, le GPS, le stockage numérique de l'information, l'imagerie par résonance magnétique, n'existeraient pas sans la compréhension des objets quantiques.

Entre classique et quantique, la physique des nanomatériaux représente une interface avec la chimie et les sciences du vivant.

Chimie et Biologie : quelles nouvelles frontières?

Marc FONTECAVE

*Directeur de Laboratoire de Chimie des Processus Biologiques,
UMR 8229 Collège de France-CNRS -
Université Pierre et Marie Curie
Collège de France, 11 Place Marcelin Berthelot,
75231-Paris Cedex 05, France*



La chimie est unique en ce qu'elle développe des frontières avec l'ensemble des autres disciplines et cela lui donne la possibilité d'intervenir de façon pertinente et originale sur pratiquement tous les grands défis de l'humanité du 21^{ème} siècle (alimentation, énergie, santé, environnement,...). Si elle est autant sollicitée, c'est parce qu'elle est avant tout, et seule, la science de la création des molécules et des matériaux dont dépend tout le reste. Enfin, dans le contexte émergent de la construction d'une société durable, dans laquelle les hommes satisferont leurs besoins mais enfin sans compromettre l'avenir des générations futures, la chimie, désormais "verte", va jouer un rôle majeur dans la mise en oeuvre innovante de stratégies propres, économes, efficaces, à partir de matières et d'énergies renouvelables et en produisant un minimum de déchets, pour la production de carburants, d'électricité, de molécules et de matériaux. Au cours de cet exposé on discutera plus particulièrement des nouvelles interfaces entre la chimie et la biologie, pour en montrer à la fois les évolutions, les perspectives et les difficultés de mise en oeuvre. Cette interface doit permettre par exemple de renforcer la contribution de la chimie à la découverte de nouveaux médicaments ou de révolutionner la catalyse industrielle, grâce aux nouvelles approches de biocatalyse et de catalyse bioinspirée, autant d'exemples qui seront choisis pour illustrer ces nouvelles frontières.

Les matériaux du futur et les promesses de la nature

Nadia EL KISSI

*Directrice de Recherche au CNRS
Laboratoire de Rhéologie et Procédés à l'Institut
Polytechnique de Grenoble, France*

*Membre Correspondant de l'Académie
Hassan II des Sciences et Techniques*



Au cours des âges, l'homme a mis en œuvre les matériaux disponibles dans son environnement pour répondre à ses besoins vitaux. Au fur et à mesure des progrès de ses connaissances, du développement des ressources énergétiques et de sa maîtrise des procédés, il a conçu des matériaux répondant à des exigences de plus en plus complexes voire parfois contradictoires. Il est passé de l'âge de pierre à l'âge du silicium, de l'échelle macroscopique à celle de la molécule, du matériau de structure au matériau fonctionnel. Il a par ailleurs intégré l'éco-conception, le bilan carbone, et l'analyse de cycle de vie des matériaux et des systèmes. Les stratégies développées aujourd'hui lui permettent d'associer différentes classes de matériaux, de concevoir des matériaux sur mesure, de transcender les disciplines scientifiques et d'intégrer l'innovation à de très nombreux secteurs industriels.

Les avancées sont cependant encore devant nous. Une tendance forte en vue d'étendre l'espace des matériaux, consiste à adapter les stratégies de la nature pour développer des structures efficaces, à architecture hiérarchique, capable de s'adapter aux sollicitations extérieures, même de faibles amplitudes, voire de s'auto-réparer. Ces matériaux bio-inspirés peuvent s'avérer une source de très grandes innovations.

C'est une lecture, forcément subjective, qui vous est proposée ici. Elle décrira l'évolution du développement et de l'usage des matériaux. Elle mettra en exergue quelques points clés des stratégies développées par l'ingénieur, pour faire face aux injonctions et aux exigences techniques et socio-économiques de plus en plus complexes, qui lui sont faites. Elle mettra brièvement en lumière quelques-unes des opportunités que nous offre la nature en vue d'accéder à une variété d'architectures et de microstructures insoupçonnées aujourd'hui. Elle tentera enfin, au fil de l'histoire qu'elle raconte, de mettre en évidence les champs conceptuels qui sont les nouveaux défis à relever par les chercheurs dans leurs laboratoires.

De la diversité des gènes à la complexité du vivant

Philippe KOURILSKY

Collège de France, France



Le séquençage des génomes, dont celui du génome humain a signé la fin du réductionnisme qui dominait la génétique moléculaire, et ouvert la voie à des approches beaucoup plus systémiques. On distinguera toutefois la biologie «systématique» de la véritable biologie systémique. Celle-ci, confrontée de plein fouet à la complexité du vivant, est encore dans les limbes. Elle doit faire appel à des outils conceptuels adaptés, au nombre desquels figure, par exemple, la notion fondamentale de robustesse. Ainsi, les progrès fulgurants du séquençage ont révolutionné la biologie et ouvert d'immenses perspectives en matière d'ingénierie, à des fins médicales notamment, tout en dévoilant une complexité qui la défie dans ses fondements.

CRISPR/Cas9 : du système immunitaire bactérien à l'outil révolutionnaire d'ingénierie des génomes

Philippe HORVATH

Senior Scientist, DuPont Nutrition and Health, France



Découvert en 2007, CRISPR-Cas est un système immunitaire bactérien dirigé contre les acides nucléiques, notamment viraux. Dans ce système, la mémoire immunitaire se traduit par l'acquisition de courtes séquences d'ADN viral dans le chromosome de l'hôte bactérien, au niveau de régions particulières appelées CRISPR (Clustered Regularly Interspersed Short Palindromic Repeats). Dans la phase d'interférence, ces séquences sont transcrites en petites molécules d'ARN appelées crRNA qui sont utilisées par des protéines Cas (CRISPR-associated) pour reconnaître et inactiver tout ADN étranger complémentaire aux crRNA. La capacité de certaines protéines Cas, notamment Cas9, d'être dirigées par un petit ARN vers un ADN cible et de le cliver en un endroit précis a été détournée et transformée en 2012 en un outil simple et efficace de reprogrammation des génomes.

Depuis, l'outil Cas9 a été appliqué avec succès à la modification d'une multitude de génomes, incluant micro-organismes, plantes, animaux, et même l'homme. La disponibilité soudaine d'un tel outil moléculaire, extraordinairement simple et performant, soulève maintenant des questions éthiques et environnementales auxquelles l'humanité toute entière devra répondre rapidement.

La physiologie cérébrale comme embryogenèse silencieuse

Alain PROCHIANTZ

Administrateur Général du Collège de France, France



A travers les concepts d'évolution et d'individuation, l'accent sera mis sur l'instabilité de toute structure vivante, compensée par un renouvellement infini de formes, fondement d'une individuation qui fait de chacun d'entre nous un être unique, en évolution permanente. Même si cette instabilité engage tous les niveaux du génome à l'organisme, nous nous concentrerons sur le cerveau et, plus précisément, sur le cortex cérébral. A travers des expériences récentes, nous illustrerons la possibilité de jouer sur la plasticité cérébrale adulte et de modifier la physiologie corticale par la manipulation de facteurs de transcription. Nous discuterons la possibilité ouverte par cette conception dynamique de la physiologie de remédier à des pathologies qui s'installent au cours du développement cérébral.

Les mathématiques: des idées simples au service de tous

Gilles GODEFROY

Directeur de Recherche CNRS - France



Les mathématiques sont souvent présentées comme une discipline ardue, dont les méthodes et les objectifs sont mystérieux. Mais en fait bien des idées sont à la fois profondes, simples, et utiles au-delà des mathématiques. Nous essaierons d'en présenter quelques-unes.

Une excursion dans le monde des équations aux dérivées partielles

EI Maati OUHABAZ

*Université de Bordeaux,
Institut de Mathématiques (IMB), CNRS-UMR 5251*

*Membre Correspondant de l'Académie
Hassan II des Sciences et Techniques*



Le but de cette conférence est de présenter à une large audience de non-spécialistes quelques exemples d'équations aux dérivées partielles (EDP). Le monde des EDP étant vaste et riche, il a toujours été et reste de nos jours un sujet d'une extraordinaire activité de recherche au niveau international. On trouve des EDP en Physique, Chimie, Ingénierie, Médecine, Economie, Sciences sociales ...

Je présenterai quelques-unes de ces équations ainsi que les limites de nos connaissances mathématiques pour les affronter.

L'énergie éolienne, l'une des énergies renouvelables les plus compétitives

Enrique SORIA LASCORZ

*Avenida Complutense 40, 28040 - MADRID
enrique.soria@ciemat.es*



In recent years the use of wind energy has experienced steady growing. Wind energy becoming one of the most competitive sources of energy and one of the most interesting options to supply the electricity needs of many countries. Technological development by the wind sector has been spectacular, achieving significant progress in increasing the size and improving the reliability of the wind turbines, maintenance and operation of wind farms, grid connection systems and forecasting of the energy production.

During the year 2014 more than 51 MW of new wind power capacity was installed. (The year 2015 was also a good year for wind installations), the majority of wind installations were outside of the OECD. Countries like China, USA, Germany, Spain, India and the UK have more than 10,000 MW of installed capacity and is expected to emerging markets such as Africa and Latin America, continue their growth.

The wind industry provides solutions for a wide range of applications: as a system of centralized electricity generation in wind farms (onshore or offshore) connected to the grid using multi megawatt wind turbines, or in small installation for distributed generation systems or in autonomous or hybrid systems isolated of the grid.

LA ENERGIA EOLICA. UNA DE LAS ENERGIAS RENOVABLES MAS COMPETITIVAS

En los últimos años el aprovechamiento de la energía eólica, ha experimentado un crecimiento continuado, llegando a ser una de las fuentes de energías más competitivas y una de las opciones más interesantes para cubrir las necesidades de energía eléctrica de muchos países. El desarrollo

tecnológico realizado por el sector eólico, ha sido espectacular, lográndose importantes avances en el aumento del tamaño y mejoras en la fiabilidad de las máquinas, el mantenimiento y operación de parques eólicos, los sistemas de conexión a red, la predicción de la producción energética etc.

Durante el año 2014 se pusieron en marcha en el mundo 51 GW nuevos con energía eólica (para 2015, se esperan valores más elevados), la mayoría de ellos en países no pertenecientes a la OCDE, algunos países como China, USA, Alemania, España, India y Reino Unido tienen más de 10.000 MW de potencia instalada y se espera que mercados emergentes como África y Latinoamérica, continúen su crecimiento.

La industria eólica, proporciona soluciones para una amplia gama de aplicaciones: como sistema de generación eléctrica centralizada en parques eólicos (en tierra o en ar) conectados a red mediante máquinas de varios megavatios de potencia nominal, o en pequeñas instalaciones para sistemas de generación distribuida o en sistemas aislados de la red eléctrica.

Entropymetry for battery science and technology

Rachid YAZAMI

NANYANG Technology University, Singapour

Membre Correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Entropymetry (entropy measurements) on batteries is a newly developed investigation and characterization technique applied to batteries. It is enabled owing to voltage and temperature monitoring in the course of charge and discharge. Highly accurate information can be achieved from entropy and enthalpy profile analyses, including battery chemistry and its state of health, state of charge and state of safety. In this presentation we will introduce the methodology, the science behind it and show some applications examples.

Co-opétition et co-innovation: quel rôle pour la recherche publique?

Philippe A. TANGUY

Vice-President, International Scientific Development and Deputy Chief Scientist - Total - Berlin

Adjunct Professor, Ecole Polytechnique, Montreal

Membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Après avoir passé en revue la politique d'innovation technologique de plusieurs pays de l'OCDE, la présentation a porté sur les nouveaux modèles de collaboration université-industrie comme moteur du développement technologique. Elle est illustrée par plusieurs exemples actuels d'initiatives en Amérique du Nord et en Europe mettant à profit le «Triangle de la Connaissance» liant recherche, éducation et entreprise.

L'état des sciences économiques : vers une disparition de la théorie économique

Jean CARTELIER

Université Paris-Ouest, Economix, France



La théorie économique, comme les autres disciplines attachées à comprendre nos sociétés (sociologie, psychologie sociale, anthropologie, etc.), relèvent d'une catégorie de savoir différente des sciences de la nature. Cela n'en fait cependant pas des connaissances de second ordre; mais il faut garder présent à l'esprit que le rôle qu'elles jouent dans notre société est différent. Elles visent généralement à agir, voire à transformer leur objet - la société - autant que de le comprendre. Ceci leur confère un aspect normatif et prescriptif se retrouvant rarement dans les sciences de la nature à l'exception de la médecine et de la biologie. Du coup, on peut considérer qu'elles font

partie même de leur objet, ce qui est une situation un peu paradoxale. Elles sont en outre - mais ceci n'est-il pas lié à ce qui précède ? - traversées par des courants doctrinaux que les travaux analytiques à vocation scientifique ne parviennent pas à réduire.

Il faut donc se résigner à considérer que le savoir analytique des sciences économique a un rapport ambigu avec les opinions y compris de celle de la partie la plus éduquée de la population.

Quoi qu'il en soit, le foisonnement des travaux empiriques et la diversification des recherches théoriques ont pu être interprétés comme une tentative de s'affranchir de ce qui était considéré par Arrow et d'autres comme des limites à la validité de la théorie de l'équilibre général concurrentiel. Mentionnons notamment les domaines suivants :

- Comportements stratégiques versus concurrentiels
- Information incomplète et asymétrique versus information complète
- Prises en considération des intermédiations et coûts de transactions
- Atténuations diverses des hypothèses de rationalité.

Mais envisager cette dynamique de recherche, qu'il conviendrait de replacer dans le contexte de la sociologie de la profession d'économiste, sous l'angle d'un développement paisible d'une science selon un mouvement naturel de progression de l'analyse serait négliger les incertitudes diverses qui se font jour en dépit de l'hégémonie qu'exerce la théorie économique standard sur le monde économique et au-delà.

Trois traits semblent caractériser l'état des sciences économiques depuis une vingtaine d'années :

- 1- Affirmation sans cesse plus absolue d'une méthode, celle de l'individualisme méthodologique avec ses deux composantes principales : d'une part, la rationalité des comportements individuels, et, d'autre part, l'équilibre comme mode de coordination des actions qui en résultent, la première ayant fait l'objet de davantage de travaux et de discussions que la seconde, à tort semble-t-il. Le résultat est le recul des contestations venant tant de courants théoriques alternatifs (pensée économique classique ou keynésienne) que d'une réflexion critique interne à la pensée dominante.

- 2- Prédominance des travaux empiriques sur les travaux théoriques, une partie des premiers s'inscrivant dans une remise en cause de la figure de l'homo oeconomicus et de sa rationalité, une autre partie s'expliquant par un regain du positivisme et par l'extraordinaire essor des possibilités de traitement de l'information jointes aux perfectionnements remarquables apportés aux techniques économétriques.
- 3- Orientation sans cesse plus affirmée vers l'expertise et la prescription plutôt que l'explication et l'interprétation générale.

Le nouveau consensus macroéconomique: l'unification par la discipline de l'équilibre

Rédouane TAOUIL

Professeur agrégé des universités à l'Université Grenoble Alpes

Membre Correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



Si la dernière décennie du XXe siècle a été marquée par une vive rivalité entre la nouvelle économie keynésienne et la nouvelle économie classique, les années 2000 ont vu la consécration d'une large convergence de vision et

de méthode placée aujourd'hui sous le terme de nouveau consensus macroéconomique (O. Blanchard 2009; M. Goodfriend et R. King 1997; M. Woodford 2008). A bien des égards, la macroéconomie donne l'image d'une discipline resserrée autour d'un référentiel communément partagé de sorte qu'on peut y appliquer la conception de l'unification des théories développée par Philip Kitcher (1989). La discipline de l'équilibre y tient, en effet, lieu de schéma de dérivation dont la vocation est d'inférer, à partir des normes de comportement optimisateur sous contrainte et de l'apurement permanent des marchés, des configurations macroéconomiques spécifiées selon les hypothèses sur les prix et les

agents. La formation rationnelle des anticipations, la détermination du produit de long terme par l'offre, la perspective de cycle, l'interdépendance des marchés, les règles de crédibilité monétaire et de discipline budgétaire sont autant de composants de la base argumentaire commune établie en vue de définir la formation et les propriétés des équilibres. Cette base, édifiée sous l'égide de l'impératif de fondements microéconomiques, implique la réduction de ces propriétés à des résultantes d'actions individuelles intertemporelles dans un environnement stochastique.

En étendant ce schéma au traitement de la concurrence imparfaite et des rigidités, le nouveau consensus macroéconomique élargit son champ d'explication. Ce traitement débouche, en effet, sur un modèle canonique en termes d'équilibre général dynamique qui procède à une réécriture de la fonction de demande agrégée et de l'équation de Phillips et à la définition d'une règle de politique monétaire optimale. Cette unification permet au nouveau consensus macroéconomique de renforcer ses propres critères de validité et d'assurer sa cumulativité en créant de nouveaux objets et propositions. Pour autant, l'hypothèse de crise de la macroéconomie apparaît sujette à discussion.

L'Agriculture du Futur: un condensé de défis scientifiques

Mohamed AIT KADI

Président du Conseil Général du Développement Agricole

Membre Résident de l'Académie

Hassan II des Sciences et Techniques



L'agriculture du futur doit relever trois défis: fournir en quantité et en qualité de quoi nourrir plus de neuf milliards de personnes à l'horizon 2050 tout en protégeant l'environnement et les ressources naturelles; participer à l'atténuation du

changement climatique et s'y adapter et; fournir les matières premières pour des usages énergétiques et chimiques ou pour de nouveaux matériaux en exploitant pleinement la biomasse.

La simultanéité de ces défis requiert des évolutions profondes dans la façon d'appréhender l'agriculture du futur. La seule connaissance de la sphère agricole ne suffit pas, il faut intégrer les dynamiques démographiques et d'urbanisation, les évolutions climatiques, la disponibilité de l'énergie, le développement de la Bioéconomie et tous 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. La science et la technologie doivent plus que jamais contribuer à proposer des solutions pour répondre à ces évolutions.

Les mutations agricoles permanentes, la mondialisation des marchés, la modernisation des exploitations, les besoins de productivité et de traçabilité ou le respect de l'environnement sont aujourd'hui d'importants moteurs de l'innovation. Les deux dernières décennies ont été porteuses de progrès scientifiques et technologiques exceptionnels en génomique structurale et fonctionnelle, en biotechnologies, en analyse de la diversité génétique et en modélisation du fonctionnement de la plante et du peuplement végétal dans leur environnement.

Ces progrès sont le résultat de réelles synergies interdisciplinaires créant de nouvelles interfaces entre la biologie, la chimie, les mathématiques et la physique. Ils génèrent des connaissances et des techniques agronomiques nouvelles ainsi que de nouveaux produits alimentaires. De même, grâce à l'intégration des technologies de l'information et de la communication l'agriculture passe à une agriculture de précision voire à une agriculture numérique (agriculture 3.0).

Conférence inaugurale de la Session Plénière Solennelle 2016

**Origine et évolution de la famille humaine
Nous sommes tous des africains...**

Michel BRUNET
Collège de France, Paris



INTRODUCTION

La notion de l'existence de fossiles humains est très récente, de l'ordre de 150 ans. Mais qui est l'ancêtre, où et quand est-il apparu?... restent toujours des questions d'actualité.

La Paléontologie et la Phylogénie moléculaire ont montré que nous appartenons au groupe des Anthroïdes, les singes, sûrement originaires d'Asie (et non d'Afrique...!) (Jaeger & al. 1999) avant 40 millions d'années mais arrivés très tôt en Afrique (autour de 37- 40 millions d'années); ils sont à l'origine de deux groupes frères les Catarrhiniens (Singes de l'ancien Monde) et les Platyrrhiniens (Singes du nouveau Monde ou Néotropicaux).

Ce deuxième groupe est probablement originaire directement d'Afrique à la suite d'une migration ancienne (peut-être ca. 37- 40 millions d'années) dont la route vers l'Amérique du Sud demeure conjecturale et reste encore à définir (Iles

Shetlands... Péninsule Antarctique...?); le plus ancien représentant actuellement connu, Branisella, est daté de moins de 30 millions d'années.

Au sein du premier groupe, nous les humains, appartenons à la superfamille des grands singes: les Hominoïdes, actuellement représentés en Asie par les Gibbons (Hylobates & Symphalangus) et les Orangs Outans (Pongo), en Afrique par les Gorilles (Gorilla) et les Chimpanzés (Pan), et sur l'ensemble de la planète Terre (depuis moins de 200 000 ans) par l'espèce H.sapiens sapiens du genre Homo lui aussi apparu en Afrique il y a au moins 2,5 millions d'années.

LES HOMINIDES ANCIENS

Dans les années 80, les hominidés anciens sont uniquement décrits en Afrique Australe et Orientale, mais le fait que les plus anciens soient Est Africains a conduit à proposer le paléoscénario "East Side Story": l'hypothèse de la savane originelle (Coppens, 1983) (Fig.1).

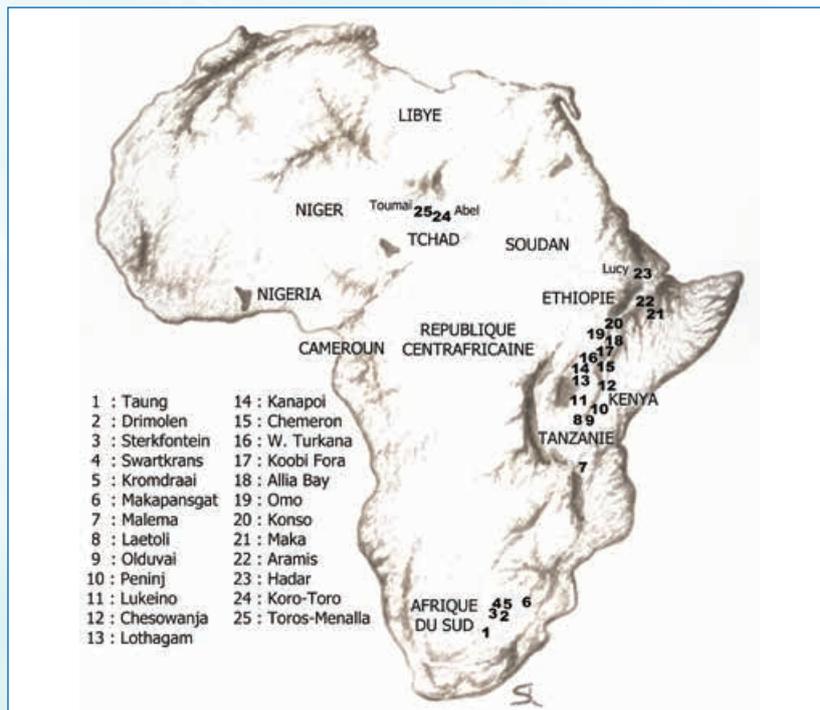


Fig.1 : Principales localités à Hominidés anciens du Continent Africain.

Depuis 1994, la Mission Paléanthropologique Franco-Tchadienne (M.P.F.T.2) prospecte et fouille dans le désert du Djourab (Nord Tchad) où, successivement, elle a mis au jour un nouvel australopithèque, *Australopithecus bahrelghazali*, surnommé Abel (3,5 millions d'années) (Fig.2), le premier mis au jour à l'ouest de la vallée du grand Rift (Brunet et al., 1995) et plus tard un nouvel hominidé (surnommé Toumaï) Fig.3 *Sahelanthropus tchadensis* (Brunet et al., 2002) du Miocène supérieur (7 millions d'années; Vignaud & al., 2002; Brunet & al., 2005; Lebatard & al., 2008 et 2010). Ce plus ancien hominidé connu est une découverte majeure qui montre que

l'hypothèse d'une origine australe ou orientale du clade humain doit être reconsidérée Fig.1.

Depuis 1994, nos racines ont pratiquement doublé leur longueur dans le temps, de 3,6 millions d'années à 7 millions d'années aujourd'hui, avec trois nouvelles espèces du Miocène supérieur: *Ardipithecus kadabba* (Haile-Selassie, 2001) (5,2–5,8 millions d'années, Middle Awash, Ethiopie) et *Orrorintugenensis* (Senut et al., 2001) (ca. 6 millions d'années, Lukeino, Kenya) tandis que le plus ancien (7 millions d'années) est l'hominidé tchadien. Ces découvertes ont un impact scientifique tout à fait similaire à celui de la description d'*Australopithecus africanus* Dart, 1925.

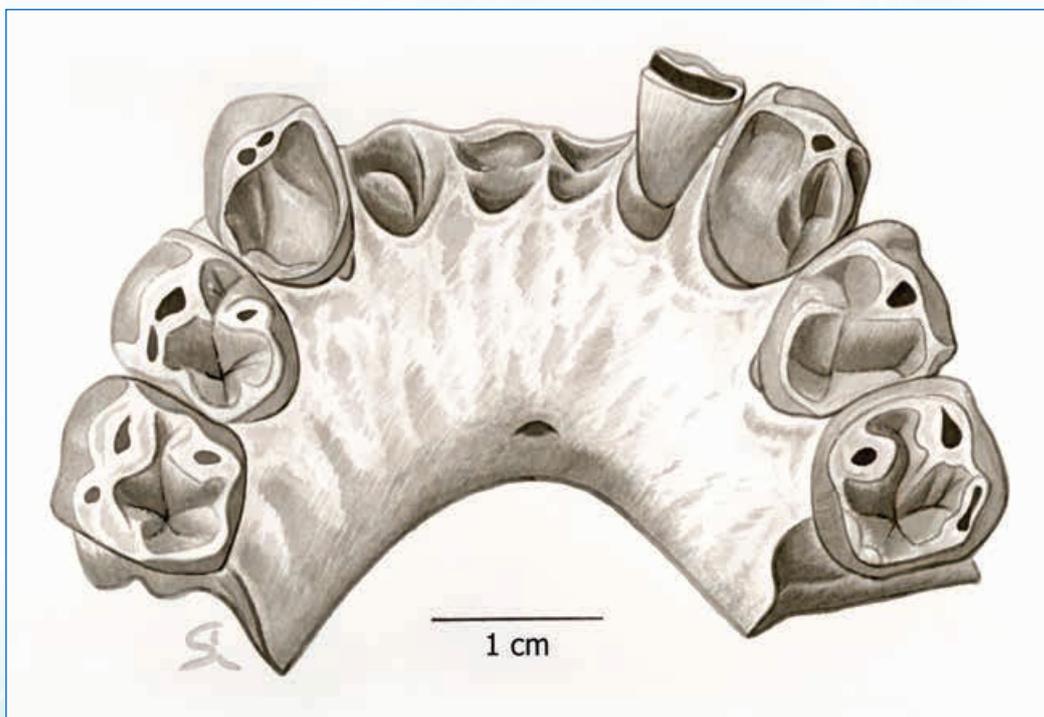


Fig.2 : *Australopithecus bahrelghazali* Brunet & al. 1996 (dit "Abel") : mandibule, holotype de l'espèce.

S. tchadensis possède une combinaison unique de caractères primitifs et dérivés qui montre clairement qu'il ne peut être rapproché ni des gorilles, ni des chimpanzés, mais traduit au contraire son appartenance au rameau humain et par l'âge sa proximité temporelle avec le dernier ancêtre commun aux chimpanzés et aux humains (Brunet & al., 2002 & 2005; C. P. E. Zollikofer & al., 2005) (Fig.3-4-5-6). Dans le Miocène supérieur du Tchad, les données sédimentologiques et paléobiologiques témoignent d'une mosaïque de

paysages (Vignaud & al., 2002). Actuellement, au Botswana dans le Kalahari central le delta de l'Okavango nous apparaît être un bon analogue avec un paysage mosaïque similaire de rivières, de lacs, de marécages, de zones boisées, d'îlots forestiers, de savane arborée, de prairies herbeuses et de zones désertiques (Brunet & al., 2005). Dans cette mosaïque les préférences écologiques de Toumaï sont encore en cours d'étude mais probablement, comme pour les autres hominidés du Miocène supérieur des espaces boisés. De

plus ces trois hominidés du Miocène supérieur sont liés à des paysages mosaïques arborés et plus probablement des bipèdes grimpeurs. Aussi l'hypothèse qui invoquait le rôle déterminant de la savane dans l'origine du rameau humain fait dorénavant partie de l'histoire de notre histoire.

Avec les caractères anatomiques particuliers de sa denture (morphologie des canines à couronnes petites et à usure apicale; épaisseur de l'émail des dents jugales intermédiaire entre celui des chimpanzés et des Australopithèques;...) et de son crâne (bâsicrâne de type bipède) (Brunet et al. 2002, 2005, 2006 & 2008, Zollikofer et al., 2005), *Sahelanthropus tchadensis* dit «Toumaï» représente un nouveau grade évolutif (Brunet, 2008), le troisième décrit après *Australopithecus* et *Homo*.

Les deux autres hominidés du Miocène supérieur: *Ardipithecus kadabba* (Haile Selassie, 2001) et *Orrorin tugenensis* (Senut et al., 2001)

appartiennent très probablement au même grade évolutif. Ceci a d'ailleurs été montré de manière magistrale par T. D. White et son équipe pour l'un d'entre eux, *Ardipithecus ramidus* (White et al., 1994) mis au jour à Aramis en Ethiopie et daté de 4,4 millions d'années: un hominidé par sa denture (canine petite et asymétrique, émail d'épaisseur intermédiaire,...), son crâne (foramen magnum en position antérieure) et sa locomotion de type bipède grimpeur avec un gros orteil complètement opposable, sans cambrure plantaire il devait marcher «pieds plats», ne pratiquait pas le knuckle-walking et fréquentait un environnement boisé (Lovejoy et al., 2009 a-e; Suwa et al., 2009 a-b; White et al., 1994 & 2009 a-b).

Grâce à l'ensemble de ces nouvelles découvertes il est donc maintenant parfaitement clair que le paléoscénario de la savane herbeuse originelle pour les préhumains bipèdes appartient définitivement à l'histoire de notre histoire.

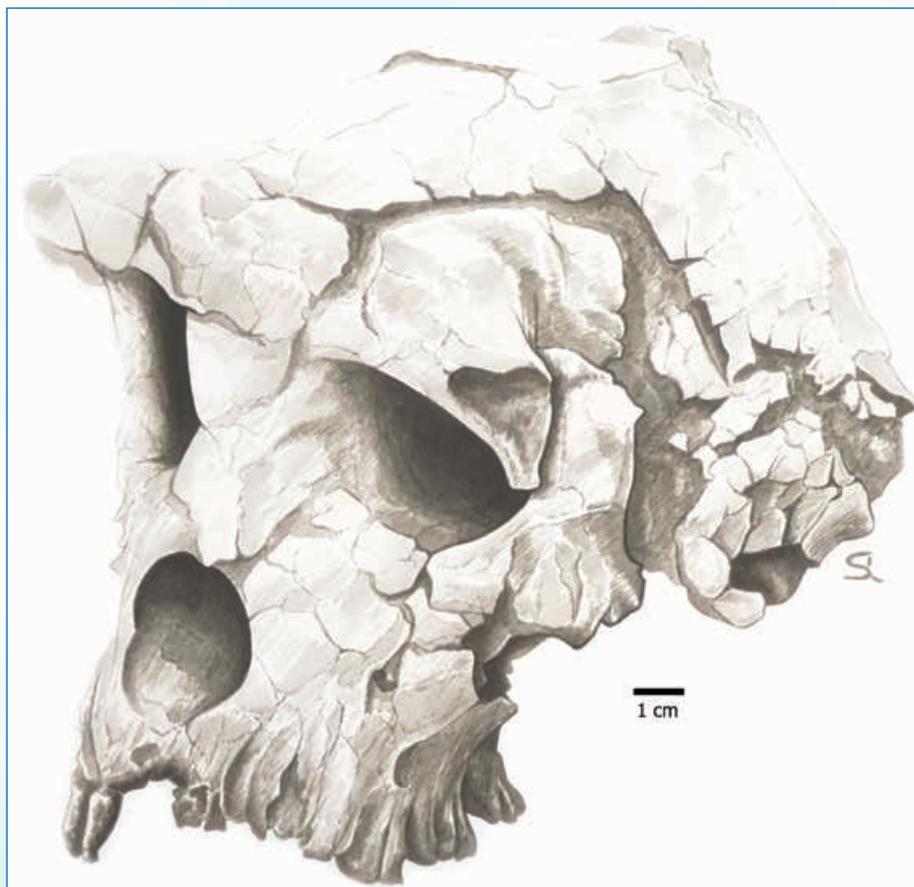


Fig.3 : *Sahelanthropus tchadensis* Brunet & al. 2002 (dit "Toumaï"): crâne, holotype de l'espèce.

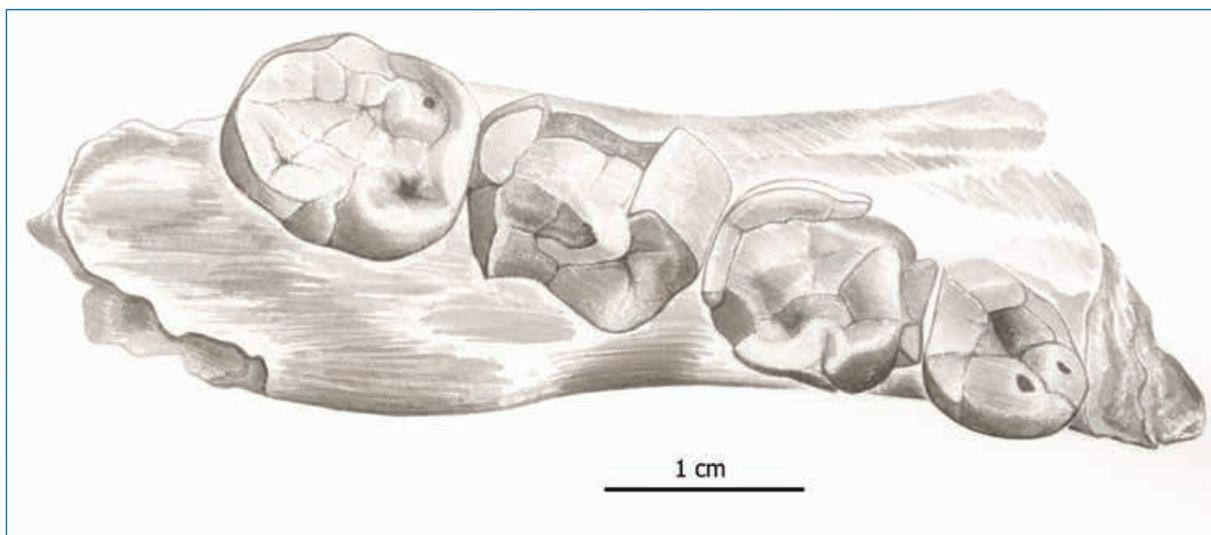


Fig.4 : Sahelanthropus tchadensis Brunet & al. 2002:
hémi mandibule droite.

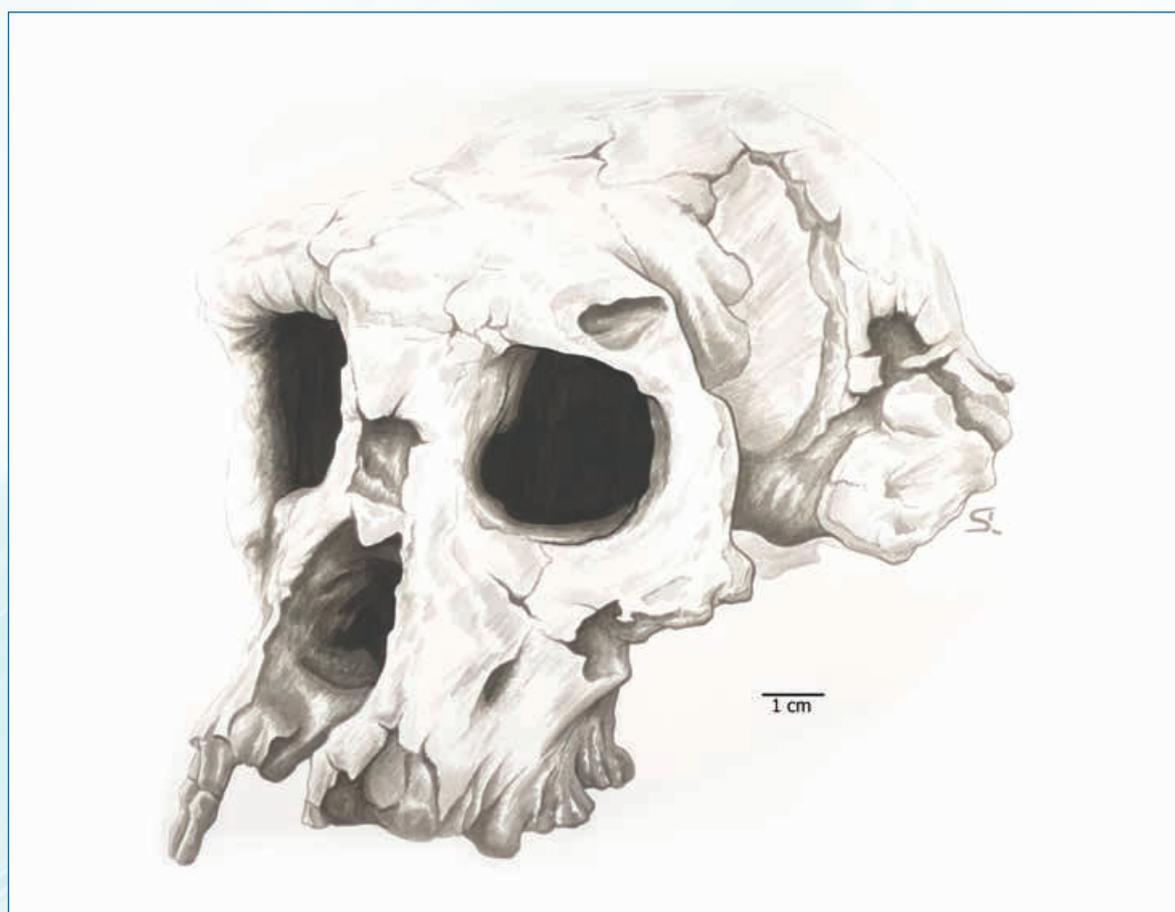


Fig.5 : Moulage stéréolithographique de la reconstruction 3D
du crâne de Toumaï.

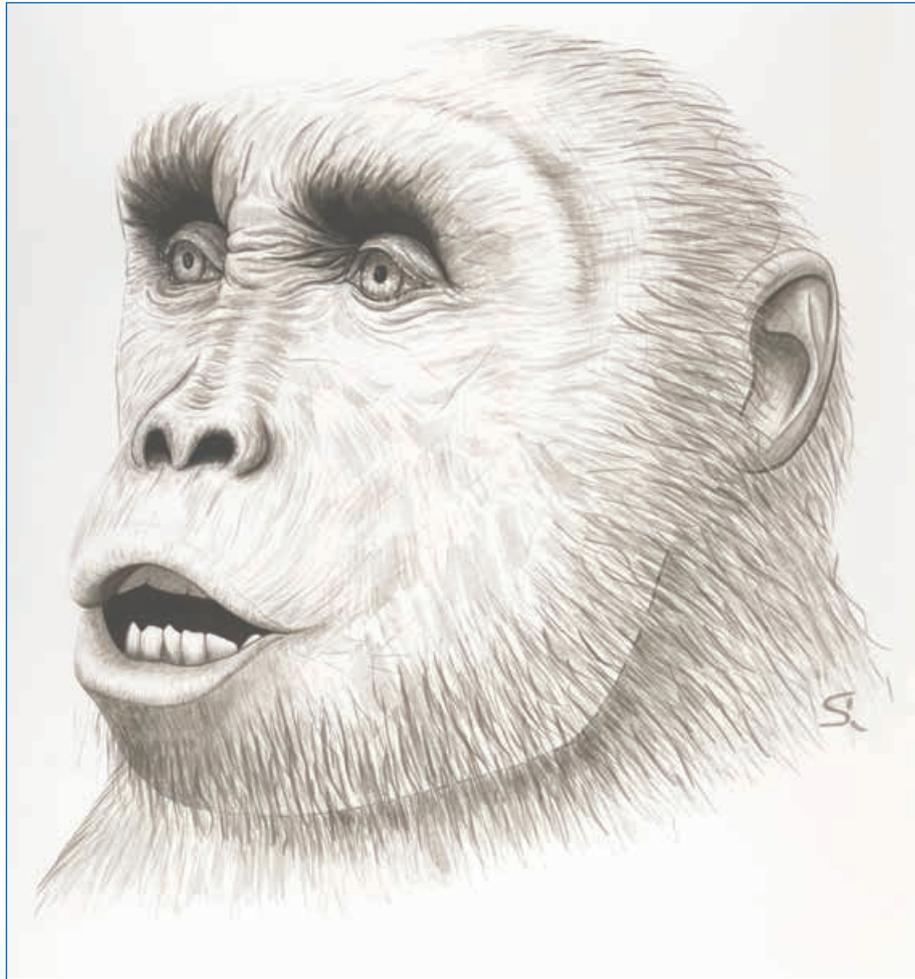


Fig.6 : Sculpture du buste de Toumaï (par Elisabeth Daynes).

Avec les fossiles mis au jour depuis 1994, nous savons donc que ces premiers hominidés fréquentaient des paysages mosaïques et environnements boisés; et qu'ils n'étaient pas restreints à l'Afrique Australe et Orientale mais vivaient au contraire dans une zone géographique plus vaste incluant aussi l'Afrique Sahélienne: au moins l'Afrique centrale (Tchad) et probablement aussi l'Algérie, l'Égypte, la Libye, le Niger et le Soudan.

Vers 4 millions d'années, ces hominidés anciens ont donné naissance aux Australopithèques: *A. anamensis*, puis *A. afarensis* (Lucy), *A. bahrelghazali* (Abel), etc...; eux-mêmes à l'origine entre 2 et 3 millions d'années des premiers représentants du genre *Homo* qui vont ensuite être les premiers migrants à se déployer sur le reste de l'Ancien Monde (ca. 2 millions d'années) (Brunet, 2016).

UNE CONCLUSION PROVISOIRE

Les Hommes modernes, *Homo sapiens*, vont peupler l'ensemble de la Planète Terre à l'exception

du continent Antarctique. Les plus anciens sont connus en Afrique autour de 200 000 ans (White et al., 2003) ils peupleront successivement le moyen Orient puis l'Europe (40 000 ans) et l'Asie, l'Australie vers 40 000-60 000 ans, mais n'occuperont le continent Américain que très tardivement (ca. 15 000-20 000 ans) par la voie de l'Isthme de Béring.

Enfin, entre 5 000 et 10 000 ans, ces Hommes modernes deviendront sédentaires, agriculteurs éleveurs, pour la première fois dans trois zones géographiques distinctes: Chine, Mésopotamie et Amérique du Sud.

Mais nous sommes tous des Africains (Brunet, 2016)... et ce sont des représentants de l'espèce *Homo erectus* qui ont été les premiers migrants et se sont déployés en Eurasie...

En fonction de ces nouvelles données, l'origine des hominidés anciens et leur histoire doivent être reconsidérées dans le cadre de nouveaux paradigmes.

Remerciements

Nous remercions: les Autorités Tchadiennes, Ministère de l'Éducation Nationale de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche; Université de N'Djamena/ Département de Paléontologie et Centre National d'Appui à la Recherche-CNAR; le Ministère Français de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche: UFR SFA, Université de Poitiers; Agence Nationale de la Recherche - Projet ANR 05-BLAN-0235; Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS: Institut INEE et programme ECLIPSE; Ministère des Affaires Étrangères (DCSUR, Paris et Projet FSP 2005-54 de la Coopération Franco-Tchadienne, Ambassade de France à N'Djamena); la Région Poitou-Charentes; le programme NSF: RHOI (USA); l'Armée Française (Mission d'Assistance Militaire et dispositif Epervier).

Nous remercions tous les membres de la Mission Paléoanthropologique Franco-Tchadienne; tous les Collègues et Amis qui ont participé à l'acquisition des données sur le terrain et/ou en Laboratoires; G. Florent et G. Reynaud pour la gestion administrative et financière du programme de recherche; X. Valentin pour la logistique, la préparation et le moulage des fossiles; l'iconographie est due au talent de S. Riffaut.

Références bibliographiques

- (1) Brunet M., A. Beauvilain, Y. Coppens, E. Heintz, A.H.E. Moutaye, D. Pilbeam (1995). The first australopithecine 2 500 kilometres west of the Rift Valley (Chad). *Nature* 378: 273-274.
- (2) Brunet M., F.Guy, D.Pilbeam, H.T. Mackaye, A.Likius, D. Ahounta, A. Beauvilain, C.Blondel, H. Bocherens, J.-R. Boisserie, L.de Bonis, Y. Coppens, J. Dejax, C. Denys, Ph.Duringer, V. Eisenmann, G. Fanone, P. Fronty, D. Geraads, T. Lehmann, F. Lihoreau, A. Louchart, A. Mahamat, G. Merceron, G. Mouchelin, O. Otero, P. Campomanes, M. Ponce de Leon, J.-C. Rage, M. Sapanet, M. Schuster, J. Sudre, P. Tassy, X.Valentin, P. Vignaud, L. Viriot, A. Zazzo, C. Zollikofer (2002). A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa. *Nature* 418:145-151.
- (3) Brunet M., F. Guy, D. Pilbeam, D. E. Lieberman, A. Likius, H. T. Mackaye, M. Ponce de Leon, C. P. E. Zollikoffer, P. Vignaud (2005). New material of the Earliest Hominid from the Upper Miocene of Chad. *Nature* 434: 753-755.
- (4) Brunet M. (2006). D'Abel à Toumaï, Nomade Chercheur d'Os, Editions Odile Jacob, 15 Juin 2006.
- (5) Brunet M. (2008). Origine et Histoire des Hominidés... Nouveaux paradigmes. Leçon inaugurale du Collège de France, Fayard Editeur.
- (6) Brunet M.(2016) Nous sommes tous des Africains, Editions Odile Jacob, 219 pages.
- (7) Coppens Y. (1983). Le singe, l'Afrique et l'Homme. Jacob/Fayard Paris.
- (8) Dart R. (1925) *Australopithecus africanus*, the man-ape of South Africa. *Nature* 115: 195-199.
- (9) Darwin Ch. (1859). On the origin of species by Means of Natural Selection, London John Murray, 1859. Reprinted, Everyman edition, 1928, New York: Dutton.
- (10) Darwin Ch. (1871) *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*,1871. Reprinted, Princeton University Press, 1981.
- (11) Haile-Selassie, Y. (2001) Late Miocene hominids from the Middle Awash, Ethiopia. *Nature* 412: 178-181.
- (12) Jaeger, J.-J. & al. (1999) A new primate from the middle Eocene of Myanmar and the Asian early origin of anthropoids. *Science* 286; 5439:528-530.
- (13) Lebatard A.E., D.L. Bourles, Ph. Duringer, M. Jolivet, R. Braucher, J. Carcaillet, M. Schuster, N. Arnaud, P. Monié, F. Lihoreau, A. Likius, H.T. Mackaye, P. Vignaud, M. Brunet (2008). Cosmogenic nuclide dating of Sahelanthropus tchadensis and Australopithecus bahrelghazali: Mio-Pliocene hominids from Chad. *PNAS* 105 (9): 3226–3231.
- (14) Lebatard A.E., D.L. Bourles, R. Braucher, M. Arnold, Ph. Duringer, M. Jolivet, A. Moussa, P. Deschamps, C. Roquin, J. Carcaillet, M. Schuster, F. Lihoreau, A. Likius, H.T. Mackaye, P. Vignaud, M. Brunet (2010). Application of the authigenic $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ dating method to

- continental sediments: Reconstruction of the Mio-Pleistocene sedimentary sequence in the early hominid fossiliferous areas of the northern Chad Basin. *EPSL*, 297, 2010, 57-70.
- (15) Lovejoy C.O. (2009 a) Reexamining Human Origins in Light of *Ardipithecus ramidus*. *Science* 326: 74e1-74e8.
- (16) Lovejoy C.O., S. W. Simpson, T. D. White, B. Asfaw, G. Suwa (2009 b) Careful Climbing in the Miocene: The Forelimbs of *Ardipithecus ramidus* and Humans Are Primitive. *Science* 326: 70e1-70e8.
- (17) Lovejoy C.O., G. Suwa, L. Spurlock, B. Asfaw, T. D. White (2009 c) The Pelvis and Femur of *Ardipithecus ramidus*: The Emergence of Upright Walking. *Science* 326: 71e1-71e6.
- (18) Lovejoy C.O., B. Latimer, G. Suwa, B. Asfaw, T. D. White (2009 d) Combining Prehension and Propulsion: The Foot of *Ardipithecus ramidus*. *Science* 326: 72e1-72e8.
- (19) Lovejoy C.O., G. Suwa, S. W. Simpson, J.H. Matternes, T. D. White (2009 e) The Great Divides: *Ardipithecus ramidus* Reveals the Postcrania of Our Last Common Ancestors with African Apes. *Science* 326: 100-106.
- (20) Senut B., M. Pickford, D. Gommery, P. Mein, K. Cheboi, Y. Coppens (2001). First hominid from the Miocene (Lukeino formation, Kenya). *C R Acad Sci Paris* 332: 137-144.
- (21) Suwa G., B. Asfaw, R.T. Kono, D. Kubo, C. O. Lovejoy, T. D. White (2009 a) The *Ardipithecus ramidus* Skull and Its Implications for Hominid Origins. *Science* 326: 68e1-68e7.
- (22) Suwa G., R.T. Kono, S. W. Simpson, B. Asfaw, C. O. Lovejoy, T.D. White (2009 b) Paleobiological Implications of the *Ardipithecus ramidus* Dentition. *Science* 326: 94-99.
- (23) Vignaud P., Ph. Dourner, H.T. Mackaye, A. Likies, C. Blondel, J.R. Boisserie, L. de Bonis, V. Eisenmann, D. Geraads, F. Guy, T. Lehmann, F. Lihoreau, N. Lopez-Martinez, C. Mourer-Chauvire, O. Otero, J.C. Rage, M. Schuster, L. Viriot, A. Zazzo, M. Brunet (2002). Geology and palaeontology of the Upper Miocene Toros-Menalla hominid locality, Chad. *Nature* 418: 152-155.
- (24) White T.D., G. Suwa, & B. Asfaw (1994). *Australopithecus ramidus*, a new species of hominid from Aramis, Ethiopia. *Nature* 371:306-312.
- (25) White T.D., B. Asfaw, D. DeGusta, H. Gilbert, G.D. Richards, G. Suwa, & F. Clark Howell (2003). Pleistocene *Homo sapiens* from Middle Awash, Ethiopia. *Nature* 423: 742-747.
- (26) White T.D., B. Asfaw, Y. Beyene, Y. Haile-Selassie, C. O. Lovejoy, G. Suwa, G. Wolde Gabriel (2009 a). *Ardipithecus ramidus* and the Paleobiology of Early Hominids. *Science* 326: 65-86.
- (27) White T.D., S. H. Ambrose, G. Suwa, D. F. Su, D. DeGusta, R. L. Bernor, J-R Boisserie, M. Brunet, E. Delson, S. Frost, N. Garcia, I. X. Giaourtsakis, Y. Haile-Selassie, F. Clark Howell, Th. Lehmann, A. Likies, C. Pehlevan, H. Saegusa, G. Semperebon, M. Teaford, E. Vrba (2009 b). Macrovertebrate Paleontology and the Pliocene Habitat of *Ardipithecus ramidus*. *Science* 326: 87-93.
- (28) Zollikofer C.P.E., Ponce de León M.S., Lieberman D.E., Guy F., Pilbeam D., Likies A., Mackaye H.T., Vignaud P. & Brunet M. (2005). Virtual Cranial Reconstruction of *Sahelanthropus tchadensis*. *Nature* 434: 755-759.

NB: Tous les dessins sont dus au talent de Sabine Riffaut, dessinatrice à l'IPHEP, UMR CNRS 7262 de l'Université de Poitiers, France.



Activités de l'Académie

Sciences et technologies : levier majeur d'un partenariat Sud-Sud pour le développement industriel et agricole de l'Afrique *

Pr. Omar FASSI-FEHRI

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



**Excellences,
Chers académiciens,
Chers invités,
Mesdames et Messieurs,**

Il m'est agréable d'exprimer tout d'abord ma grande joie de prendre la parole à l'ouverture de cette rencontre organisée par l'Académie Hassan II des sciences et techniques sous le thème «Sciences et technologies : levier majeur d'un partenariat Sud-Sud pour le développement industriel et agricole de l'Afrique» qui se tient dans le cadre de la célébration du dixième anniversaire de l'installation solennelle de l'Académie par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le garde –.

En effet, il y a dix ans, Sa Majesté procédait à l'installation solennelle de notre jeune Académie; en s'adressant à ses membres, Sa Majesté a rappelé les enjeux de la science dans les sociétés modernes et les objectifs assignés à notre Institution.

La solennité avec laquelle il a été procédé à l'installation de notre Académie, et la sollicitude royale qui a entouré sa mise en place, traduisent la volonté de Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le garde – de faire intégrer la société marocaine dans la société du savoir et de la connaissance, qui caractérise aujourd'hui, de façon notoire, les sociétés modernes.

Après 10 ans de cette installation historique, qu'il me soit permis, de nouveau, au nom de l'ensemble des Académiciens de renouveler à

Sa Majesté le Roi l'expression de notre profonde reconnaissance et de notre déférente gratitude, en priant le Tout puissant de nous aider à être dignes de la confiance et de la bienveillance Royales.

Mesdames, Messieurs,

En cette heureuse occasion et en un si grand jour, j'ai l'honneur et la joie de souhaiter la bienvenue à tous ceux qui ont répondu favorablement à notre invitation et plus particulièrement et à nos collègues académiciens membres des Académies Africaines des Sciences, venus de plusieurs pays de notre continent. Leur présence parmi nous aujourd'hui témoigne de leur volonté de consolider les liens d'amitié et de fraternité et les relations privilégiées qui unissent le Maroc aux pays africains frères.

C'est aussi avec une émotion sincère que je voudrais, en présence de nos invités, en cet instant aussi solennel, rendre hommage à tous les hommes de sciences, de toutes races et de toutes religions qui ont contribué, tout le long des âges, dans toutes les disciplines, à la promotion de la science et au développement technologique considérable que nous connaissons aujourd'hui.

En effet, aujourd'hui, la préoccupation qui conditionne notre capacité à nous saisir de l'avenir c'est notre rapport aux sciences et à la technologie, notamment face à la convergence des technologies numériques, nanométriques, biologiques et cognitives sur lesquelles se concentrent les efforts mondiaux de recherche et d'innovation.

(*) Session organisée dans le cadre de la commémoration du 10^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, et de la rencontre des Académies Africaines des Sciences, membres du NASAC. Rabat, le 16 mai 2016.

Comme tout le monde le sait, les sciences et les technologies sont de plus en plus présentes dans la vie quotidienne et dans la plupart des débats publics. Elles sont devenues les facteurs clés de la production, de la croissance et du bien être social.

Certes, on ne pourrait accéder aisément à la société du savoir et à l'économie de connaissance si les politiques et les investissements les plus importants ne portent pas sur l'éducation, la formation et la recherche scientifique. De même on ne pourra pas faire progresser simultanément la croissance économique, le développement social et la protection de l'environnement sans exploiter massivement les ressources de savoir toujours renouvelées et qui sont mis à notre disposition grâce aux résultats de la recherche scientifique, de l'expertise technique et des systèmes d'information.

Mesdames, Messieurs,

Je voudrais terminer cette brève allocution, en présentant mes vifs remerciements à toutes les éminentes personnalités qui ont bien voulu accepter notre invitation soit pour présider les séances de cette rencontre, soit présenter des communications et contribuer aux débats que nous ne manquerons pas d'avoir en liaison avec le thème de cette rencontre. Dans quelques instants nous aurons l'honneur d'écouter le Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de notre Académie et Président du NASAC, qui va nous présenter une communication sur le thème «Faits et défis pour

le développement en Afrique», et aussi le plaisir d'écouter avec un grand intérêt Mr. Reda Chami, ancien Ministre de l'Industrie et du Commerce, qui va nous présenter une communication sur le thème «Exemple de plan stratégique de développement industriel». Après la pause, nous écouterons également avec un grand intérêt deux autres exposés qui seront présentés par le Pr. Mohamed Ait-Kadi, membre résident de notre Académie, sur le thème «L'agriculture du futur» et le Pr. Albert Sasson, membre résident de notre Académie, sur le thème «Partenariat et coopération Sud-Sud». Encore merci pour avoir accepté de nous faire ces exposés et de participer avec nous à la commémoration de ce dixième anniversaire de l'installation de notre Académie.

Puisse Dieu couronner de succès nos actions afin que l'Académie Hassan II des sciences et techniques soit une institution phare capable d'œuvrer pour que la recherche scientifique et l'innovation contribuent activement à la solution des problèmes de développement et au bien être social des citoyens, et nous aider à être à la hauteur des ambitions que nourrit Sa Majesté le Roi Mohammed VI pour édifier une société marocaine moderne et prospère.

Je vous remercie pour votre attention.

Rapport de la rencontre des Académies Africaines des Sciences

Dans le cadre de la commémoration du 10^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques par Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu L'assiste, l'Académie a organisé une rencontre du Réseau Africain des Académies des Sciences (NASAC). Cette rencontre s'est déroulée du 16 au 18 Mai

et a vu la participation de seize Académies des Sciences Africaines ainsi que du co-président de l'InterAcademy Partnership (IAP) qui regroupe plus de 140 Académies des Sciences des cinq continents. Les Académies des Sciences qui ont participé à cette rencontre sont:

Liste des Académies

N°	Noms et Prénoms	Pays d'origine	Qualité
1	MOHAMED HASSAN	Soudan	Co-Président de l'Inter Academy Partnership (IAP)
2	KAVWANGA YAMBA YAMBA	Zambie	Président de l'Académie des Sciences de Zambie
3	MAUDARBOCUS YOUSUF	Ile Maurice	Membre du Comité Exécutif du «The Network of African Sciences Academies» (NASAC)
4	ARDAYFIO SCHANDORF ELISABETH	Ghana	Représentant le Président de l'Académie des Arts et des Sciences du Ghana
5	FETENE MASRESHA	Ethiopie	Représentant le Président de l'Académie des Sciences de l'Ethiopie
6	KINABO LUDOVIC	Tanzanie	Représentant le Président de l'Académie des Sciences de Tanzanie
7	CREWE ROBIN	Afrique du Sud	Membre du Comité Exécutif du NASAC
8	M SULAIMAN KHALIL SUAD	Soudan	Représentante de l'Académie Nationale des Sciences du Soudan
9	JOHN H MUYONGA	Ouganda	Représentant le Président de l'Académie Nationale des Sciences de l'Ouganda
10	MAWUENA D GUMEDZOE	Togo	Président de l'Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Togo
11	MOUDACHIROU MANSOUROU	Bénin	Président de l'Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Bénin
12	NDIAYE AHMADOU LAMINE	Sénégal	Membre du Comité Exécutif du NASAC et membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
13	BA DOUDOU	Sénégal	Président de l'Académie des Sciences et Techniques du Sénégal
14	OYEWALE TOMORI	Nigéria	Président de l'Académie Nigérienne des Sciences du Nigéria
15	GUIGUEMDE ROBERT TINGA	Burkina Faso	Président de l'Académie Nationale des Sciences du Burkina Faso
16	MUNAVU RAPHAEL	Kenya	Président de l'Académie Nationale des Sciences du Kenya
17	JEAN CLAUDE AUTREY	Ile Maurice	Président de l'Académie des Sciences et Techniques de l'Ile Maurice
18	ARMAND MOYIKOUA	Congo Brazzaville	Président de l'Académie Nationale des Sciences et Technologies du Congo
19	JACKIE OLANG	Kenya	Membre du Secrétariat du NASAC
20	PHILBERT OKELLO	Kenya	Membre du Secrétariat du NASAC
21	RAHAB GITAHI	Kenya	Membre du Secrétariat du NASAC

Cette rencontre s'est déroulée selon le programme suivant :

1- La matinée du Lundi 16 mai 2016, session dédiée à «la coopération Sud-Sud pour le développement Industriel et Agricole en Afrique»

Lundi, 16 Mai 2016	
09:00-09:15	<p>Ouverture</p> <p>Président de la session : Prof. Doudou Ba : Président de l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal</p> <p>Prof. Omar Fassi-Fehri : Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques: Allocution <i>de bienvenue</i></p>
09:15-09:45	<p>Prof. Mostapha Bousmina : Président du NASAC et Chancelier de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques :</p> <p style="text-align: center;"><i>Faits et défis pour le développement en Afrique</i></p>
09:45-10:15	<p>Mr. Ahmed Reda Chami : Ancien Ministre de l'Industrie</p> <p style="text-align: center;">Exemple de plan stratégique de développement industriel</p>
10:45-11:15	<p>Président de la session : Prof. Oyewale Tomori : Président de l'Académie des Sciences du Nigéria</p> <p>Prof. M. Ait-Kadi : Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc</p> <p style="text-align: center;"><i>L'agriculture du futur</i></p>
11:15-11:45	<p>Prof. A. Sasson : Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc</p> <p style="text-align: center;"><i>Partenariat et coopération Sud-Sud</i></p>
11:45-13:00	<p>Discussion générale</p>

Suite à ces conférences, les représentants des Académies Africaines ont, au cours de leurs interventions, mis l'accent sur la réussite des plans stratégiques de développement mis en place par le Royaume du Maroc, notamment, les plans «Emergence», «Maroc vert», «Maroc numérique»,... Ils ont exprimé leur volonté de déployer tous leurs efforts pour renforcer la coopération avec le Maroc notamment en matière de recherche scientifique en relation avec les plans de développement sectoriels.

2- Le Mardi 17 mai 2016 a été consacré à la visite des sites industriels de Tanger, du complexe portuaire Tanger-Med et de l'usine Renault de Melloussa.

- Visite du complexe Tanger-Med

Les délégations ont été impressionnées par les délais très courts de la réalisation du projet, et aussi

par l'importance de ce complexe et sa progression fulgurante en très peu de temps, en matière de fret de marchandises et du nombre de passagers.

Les délégations africaines ont relevé également la qualité du personnel du port; en effet, cette visite a été encadrée par des jeunes marocains très compétents et maîtrisant parfaitement les outils de communication. La visite du simulateur fût un moment de grande émotion et le personnel a fait montre d'une grande compétence et de maîtrise de ces technologies de pointe. L'ensemble des délégations africaines et aussi les accompagnateurs marocains ont été très satisfaits de la visite du complexe portuaire et expriment tous leurs remerciements à l'ensemble du personnel du port TangerMed.

- Visite de l'usine Renault de Melloussa

La visite de l'usine Renault fût un grand moment d'émotion, toute la chaîne et les étapes successives de montage ont été expliquées et commentées avec compétence et maîtrise de la technologie de l'industrie automobile.

En conclusion de la visite de ces deux complexes industriels, l'ensemble des représentants des Académies des Sciences Africaines s'accordent à dire que, ces deux grandes réalisations constituent l'une des meilleures vitrines du Maroc moderne sous la conduite éclairée et visionnaire de Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu L'assiste.

3- Le Mercredi 18 mai 2016 a été consacré à la commémoration du 10^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie par Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu Le garde. Cette session ordinaire commémorative dédiée à la COP22, s'est déroulée selon le programme ci-dessous :

- Une conférence animée par un expert des sciences du climat, le professeur Jean Jouzel sur le thème :
«Le changement climatique et ses effets sur l'Afrique»
- Une conférence donnée par le professeur Taïeb Chkili et qui a porté sur :
«Les recommandations en matière de changements climatiques en Afrique»

Mercredi 18 Mai 2016 Cérémonie du 10^{ème} Anniversaire	
09:00-09:20	Session dédiée à la COP22 Président de la session : Prof. Mohammed Hassan: Co-Président de l'Inter Academy Partnership (IAP) Ouverture de la cérémonie du 10^{ème} anniversaire par Monsieur le Secrétaire Perpétuel, Professeur Omar Fassi-Fehri
09:20-10:30	Prof. Jean Jouzel : Directeur de Recherche au Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), France <i>Le changement climatique et ses effets sur l'Afrique</i>
10:45-11:15	Prof. T. Chkili : Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc <i>Recommandations en matière de changements climatiques en Afrique</i>
11:15-13:00	<i>Discussion</i>
14:00-18:00	Réunion du Bureau exécutif du NASAC

Lors de la discussion qui a suivi, les participants ont proposé quelques recommandations ainsi que les modalités de contribution des Académies des Sciences Africaines et le NASAC à la COP22 qui se tiendra à Marrakech en Novembre 2016.

A la clôture de cette session ordinaire commémorative, Monsieur le secrétaire perpétuel a lu un message de gratitude et de loyauté, au

nom de tous les participants à cette rencontre, adressé à sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu le Garde.



Les membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et les membres du Réseau des Académies Africaines des Sciences à la fin de la rencontre

**Manifestations organisées dans le cadre de la célébration
du 10^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie Hassan II**

Thème	Manifestation	Lieu	Ville	Date
Séminaire: Les risques naturels	Séminaire	Université	Fès	19 février
Restauration de la fertilité des sols: un défi mondial, une nécessité pour le Maroc	Séminaire	ENS	Rabat	19 février
Environnement et développement dans les provinces Sahariennes	Journée d'étude	Siège de la Wilaya - Dakhla	Dakhla	29 février
L'eau et le développement	Journée d'étude	Université Sidi Mohammed Ben Abdallah	Fès	8 mars
L'astrophysique	Journée d'étude	Université Cadi Ayyad	Marrakech	28 mars
Ce que nous devons à Einstein	Conférence de Serge Haroche	Bibliothèque Nationale du Royaume	Rabat	11-12 avril
L'enseignement des sciences Humaines et Sociales dans les formations technologiques	Journée d'étude	Faculté des Sciences de l'éducation	Rabat	20 avril
L'industrie Automobile	Journée d'étude	Siège de l'Académie	Rabat	Début mai
Rencontre Africaine	Rencontre	Siège de l'Académie	Rabat	16-18 mai
Les doctorales: Journées des Doctorants CPM2016	Journées d'étude	Faculté des Sciences	Rabat	26-28 mai
Transition touristique et développement territorial en méditerranée	Congrès	Université Cadi Ayyad	Marrakech	1-2 juin

Le changement climatique et ses effets sur l'Afrique

Extraits de l'allocution du Secrétaire perpétuel à l'ouverture de la session anniversaire de l'Académie

Pr. Omar FASSI-FEHRI

**Monsieur le Président,
Excellences,
Chers académiciens,
Chers invités,
Mesdames et Messieurs,**

C'est un réel plaisir et une grande joie de nous retrouver de nouveau dans l'enceinte de l'Académie du Royaume du Maroc, au sein de cette splendide salle, pour célébrer le dixième anniversaire de l'installation solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le Garde –.

Comme nous l'avons rappelé avant hier, le 18 mai de l'année 2006, nous avons eu l'insigne honneur d'être reçus par Sa Majesté le Roi au Palais Royal d'Agadir, à l'occasion de l'installation solennelle de l'Académie et de la nomination de ses premiers membres par Sa Majesté le Roi, Protecteur de notre Compagnie.

En ce jour, nous nous rencontrons, en compagnie de nos consœurs et confrères membres des Académies Africaines des Sciences, et avec nos invités, pour célébrer le dixième anniversaire dans la vie de notre jeune Académie, dont le thème scientifique choisi porte sur la question du changement climatique et ses effets sur notre continent, l'Afrique. Nous espérons qu'à l'issue de notre session, nous retenons quelques propositions et recommandations à transmettre à la Conférence des Nations Unies sur le Climat (COP22), qui sera organisée en novembre prochain à Marrakech.

**Mesdames, Messieurs,
Chers collègues,**

Depuis son installation solennelle, l'Académie Hassan II des Sciences et Technique essaye inlassablement de s'acquitter de ses missions avec le souci de promouvoir la recherche scientifique et le rayonnement des sciences et du savoir, de mener ses actions de façon progressive dans le cadre d'une programmation réaliste, mais aussi d'une vision prospective, privilégiant certes les secteurs prioritaires, et de tendre toujours plus vers son objectif qui lui a été défini par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le Glorifie –, le 18 mai 2006, celui à la fois de **«servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale»**...

Mesdames, Messieurs,

Le thème scientifique choisi pour la commémoration du dixième anniversaire de l'Académie portera, comme je l'ai déjà mentionné, sur la question du changement climatique et ses effets sur l'Afrique. Dans quelques instants, nous aurons l'honneur d'écouter avec un grand intérêt le Professeur Jean Jouzel, qui va nous présenter une conférence sur le sujet. Permettez-moi de saisir cette occasion pour rappeler que presque toutes les Académies des Sciences de par le monde, fortes de leur indépendance garantie par la protection tutélaire de leur chef d'Etat, se doivent d'être un acteur majeur dans le dialogue entre la science et leur société. Pour remplir ce rôle, elles

doivent donner un avis et s'impliquer dans les préoccupations de leur société. Le changement climatique et ses effets sur les sociétés est une des préoccupations majeures. Nous savons tous que le changement climatique s'accompagnera d'effets sans précédent. Le Professeur Jean Jouzel parlera mieux que moi de ces effets; étant donné que c'est un grand spécialiste de la question, vu qu'il a démarré d'abord son parcours académique du côté de la chimie avec l'obtention d'une licence en 1967, puis un DEA de chimie physique en 1968, ensuite un doctorat ès-science obtenu en 1974 sur le thème «les mécanismes de formation des grêlons». Il commence sa carrière de scientifique au CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives). On dit de lui qu'il doit son premier succès au projet Vostok qui voit la découverte d'une couche de glace de 200 mètres sous le lac sous-glaciaire du même nom, en Antarctique.

Fort de ce succès et de celui du programme Grip (forage au Groenland), Jean Jouzel met sur pied le programme Epica qui consiste à effectuer des forages dans l'Antarctique, et en devient directeur de 1995 à 2001. Parallèlement, il assure les fonctions diverses de responsable du laboratoire de géochimie isotopique du CEA de 1986 à 1991, directeur adjoint du laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (CNRS) de 1989 à 1995, directeur adjoint du laboratoire de modélisation du climat et de l'environnement (CEA) de 1991 à 1996, chef de ce même laboratoire en

1997 ou encore responsable du groupe «climat» au sein du laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CEA/CNRS).

De 2001 à 2008, il est directeur de l'institut Pierre-Simon Laplace, une fédération de sept laboratoires créée en 1991, travaillant notamment sur les questions du climat. Depuis 1995, il est directeur de recherches au CEA.

En 1994, Jean Jouzel intègre le Giec (Groupe d'experts international sur l'évolution du climat), en tant qu'expert du groupe de travail n°1. Il fait maintenant partie du conseil d'administration du groupe d'experts.

En 2002, le CNRS lui décerne, conjointement avec Claude Laurius, sa médaille d'or, plus haute distinction de la recherche scientifique en France. En 2007, avec le Giec, il reçoit le prix Nobel de la paix.

Jean Jouzel est également membre de nombreuses académies ou sociétés savantes.

Au cours de sa carrière, il a été l'auteur de plus de 250 publications scientifiques dont environ 200 sont parues dans les meilleures revues scientifiques (revues de rang A, comme Nature ou Science). Il est l'un des auteurs les plus cités dans le domaine des sciences de l'univers.

Sans tarder plus, c'est avec un réel plaisir et un grand intérêt qu'on va écouter la Conférence du Pr. Jean Jouzel. A vous la parole cher Professeur.

L'Afrique face au réchauffement climatique *

Jean JOUZEL

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)

Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)

Membre du Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE), France



1. Bref historique : de Genève à Paris, entre doutes, divergences et défenses des intérêts. Naissance de la Convention-cadre sur le changement climatique.

Le changement climatique est au cœur des préoccupations de chacun, en particulier au Maroc qui accueille la Conférence des Parties en fin d'année. Moi-même je ne suis pas spécialiste des changements climatiques en Afrique mais je peux en dire quelques mots. Mais je pense qu'il est important avant tout de replacer le contexte un peu plus général, plus global du changement climatique.

Je dis souvent que sans la communauté scientifique, il n'y aurait pas de Conférence sur le climat. Et la communauté scientifique lance l'alerte dans les années 80 et cela conduit très rapidement à la mise sur pied du GIEC – Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat – dont j'ai été vice-président du groupe scientifique de 2002 à 2015. Résultat : sous l'égide de l'ONU, les résultats de son premier rapport en 1990 sont suffisamment clairs pour que des décisions politiques soient prises, concernant principalement la mise sur pied de la convention-climat. Donc, on parle déjà dans ce rapport de réchauffement climatique supérieur à 3°C dans la deuxième partie du

20^{ème} siècle, d'élévation du niveau de la mer de 64 cm. Ces chiffres, on les retrouve dans les rapports successifs du GIEC; ils n'ont jamais été contredits mais au contraire renforcés actuellement. Et en 1992 se met en place la «Convention climat». On comprend bien le phénomène qui se passe : c'est que par nos activités, on change la composition de l'atmosphère, en particulier 3 composés qui sont des gaz à effet de serre. *(Pour ce qui est de la vapeur d'eau, on n'en change pas la quantité dans l'atmosphère, en tous les cas pas directement par nos actions. Le réchauffement climatique lui-même conduit à un accroissement de la vapeur d'eau dans l'atmosphère : l'océan se réchauffe et il y a plus de vapeur d'eau dans l'atmosphère.)*

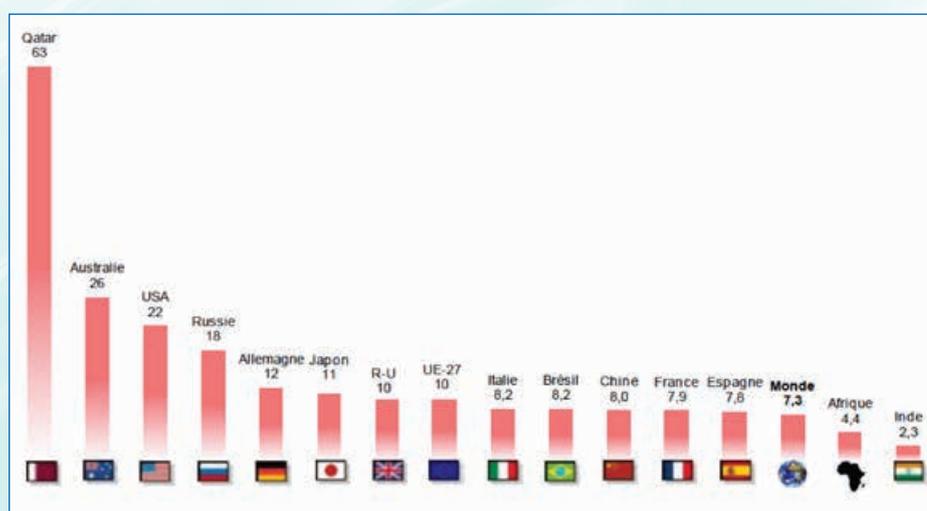


Fig.1 : Emissions par habitants en tonnes de CO₂ eq/an

(*) Texte reproduit à partir de la transcription de l'enregistrement audio.

Les 3 gaz à effet de serre principaux sont :

- Le gaz carbonique (CO₂) qui a augmenté de 40% depuis 200 ans;
- Le méthane, qui a plus que doublé;
- Et le protoxyde d'azote qui a augmenté de 20%.

Ces 2 derniers composés ont des sources, ou des émissions, largement liées aux pratiques agricoles tandis que le CO₂, c'est avant tout l'énergie, l'utilisation des combustibles fossiles, qui en est à l'origine ainsi que la déforestation et la production de ciment.

En fait, dès les années 80-90, on comprend très bien et on voit sous nos yeux la modification de la composition de l'atmosphère de façon rapide et importante et on comprend que la première conséquence de l'augmentation des gaz à effet de serre, c'est d'augmenter la quantité de chaleur disponible pour le système climatique (en gros, on augmente le chauffage). Dès cette époque, on comprend, et ça va être au cœur de la convention climat, qu'on ne peut pas laisser augmenter le chauffage en espérant qu'il ne se passera rien. C'est ça la convention climat. L'objectif de la convention climat telle qu'elle est rédigée en 1992, dans son article 2, c'est de stabiliser l'effet de serre de façon à stabiliser le réchauffement climatique. On comprend tout de suite que pour stabiliser l'effet de serre, il faut diminuer les émissions. Si on prend par exemple le CO₂ (qui joue pour à peu près les 3/4 de l'augmentation de l'effet de serre chaque année), et qu'on veuille stabiliser les quantités de CO₂ dans l'atmosphère, il faudrait en diminuer les émissions. A cette époque par exemple, dans les années 1990, on émettait à peu près 20 milliards de tonnes de CO₂ chaque année, largement à travers l'utilisation des combustibles fossiles; la végétation, l'océan, en absorbent à peu près la moitié, voire plus. Donc on comprend que si on veut que la quantité de CO₂ arrête d'augmenter dans l'atmosphère, objectif tout-à-fait raisonnable, voire indispensable, il faut que les émissions diminuent.

Nous avons toutes les indications que le réchauffement climatique est déjà là et c'est ça qui est important

Alors on appelle la Conférence des Parties : 1992, c'est la Convention-climat. Il y a deux autres conventions : la convention sur la biodiversité et celle sur la désertification qui sont mises en

place. Chacune de ces conventions se réunit, la convention sur le climat étant celle qui s'est mise la première en place. On appelle cela la **Conférence des Parties**. Et la première réunion est à **Berlin (COP1)**.

Lors de la Conférence de Kyoto, des mesures sont déjà prises et les Nations Unies fixent les objectifs de diminution des émissions de gaz à effet de serre pour les pays développés à -5% sur la période 2008-2012. Le Protocole de Kyoto était bien compris, bien conçu à l'époque par rapport au problème tel qu'il était posé dans les années 1990. Si on parle d'échec, ce n'est pas le protocole lui-même mais c'est le fait que le 1^{er} pays émetteur de l'époque, les Etats-Unis d'Amérique (et quelques autres pays) ne se soit pas impliqué.

La première phase (2008-2012) du Protocole de Kyoto terminée, on en arrive au Protocole de Copenhague qui est important parce qu'il était acquis que ce devait être là qu'on devait mettre sur pied la 2^{ème} phase du Protocole de Kyoto, à partir de 2013. L'objectif était vraiment de mettre en place un accord, si possible ambitieux, pour la période 2013-2020. Mais en fait, il n'y a pratiquement que les pays d'Europe (et quelques autres pays) qui sont engagés de façon contraignante, en tous cas avec des objectifs relativement ambitieux : -20% pour l'Europe, ce qui ne représente que -15% des émissions.

Donc dans ce sens, la Conférence de Copenhague a été loin d'atteindre ses objectifs : il aurait fallu entraîner plus de pays vers un accord ambitieux et cela a été l'objectif de la Conférence de Paris.

Alors là aussi, pourquoi la Conférence de Paris est-elle importante? C'est parce que elle a eu lieu non pas à Paris mais en 2015. Car c'est en 2011 qu'il est décidé, ce qu'on appelle la feuille de route de Durban, que 2015 sera la date buttoir pour avoir un accord pour 2020. Et Paris se porte candidat.

Avant de parler des résultats de la Conférence de Paris, j'aimerais dire qu'à Copenhague, il y a eu 2 résultats importants qui ont en fait été au cœur de la Conférence de Paris. Ces 2 résultats sont 2 chiffres:

- initialement, la Convention climat ne fixait pas d'objectifs chiffrés; il s'agissait uniquement de stabiliser le climat. Donc pas d'objectif chiffré à Rio. C'est à partir de Copenhague – et on comprend pourquoi – si on veut s'adapter au changement climatique, eh bien il faut limiter le

changement climatique et j'adhère à l'objectif de 2°C.

- c'est aussi à Copenhague qu'est entrée dans la discussion cette promesse de 100 milliards de US\$/an que les pays développés s'engagent à verser aux pays en développement (ou à mettre à dispositions sous diverses formes) à partir de 2020.

Ces deux chiffres, 2°C et 100 milliards de US\$, vont être au cœur de la Conférence de Paris.

En gros, la COP21, c'est un accord. Mais c'est la mise en œuvre maintenant qu'il faut concrétiser, sinon accélérer, car il faut agir rapidement. C'est ce que je vais essayer de vous dire ici mais je pense qu'il est aussi important de revenir aux aspects scientifiques, de dire quelques mots du climat de l'Afrique, en vous rappelant des résultats qui vous sont peut-être familiers, parce qu'on parle beaucoup de réchauffement climatique, peut-être un peu plus au Maroc évidemment.

2. L'Afrique face au réchauffement climatique dans ses spécificités continentales et ses particularités nationales.

En fait, lorsque vous regardez les températures mondiales, il y a eu deux années consécutives

qui ont été des années «records»: 2014 et 2015. Entre 2015 et 2013, il y a eu 2 dixièmes de degrés (2/10 °C) et c'est énorme. Parce que nous sommes sur un rythme moyen plutôt de 1/100 par an au cours du 20^{ème} siècle, un peu plus actuellement. Et au cours des 2 dernières années, on a été dix fois plus rapides. Pourquoi? Parce que nous sommes dans des années exceptionnelles, celles d'un événement El Niño, c'est-à-dire qu'une large partie du Pacifique est plus chaude que sa valeur normale, 3 à 4 °C plus chaude et les années El Niño sont effectivement des années exceptionnellement chaudes par rapport à la tendance. Il y a une tendance au réchauffement en moyenne plutôt de l'ordre de 1/100 de degrés par an et les années El Niño (97-98 par exemple) sont des années exceptionnelles. 2016 sera certainement une année chaude parce que le phénomène El Niño est toujours là et se terminera dans quelques semaines, début de l'été. Il est aussi envisageable que le record de 2015 attende quelques années pour être battu à nouveau. C'est tout à fait normal.

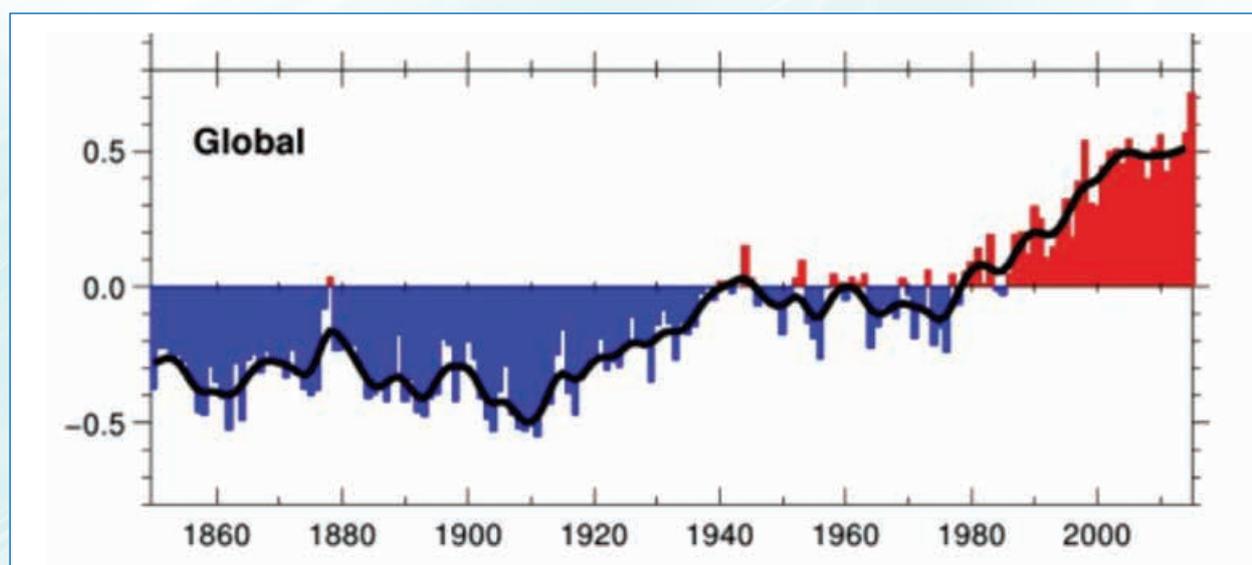


Fig.2 : 2015, année la plus chaude depuis 1850

Alors, ce qui est important dans le réchauffement climatique, c'est que cette chaleur supplémentaire, qui résulte de l'augmentation de l'effet de serre, qui elle-même est due à nos activités, n'est utilisée que pour 1% dans l'atmosphère. Alors c'est important de regarder ce qui se passe dans l'atmosphère évidemment puisque c'est là où nous vivons mais, si vous voulez, l'essentiel de cette chaleur supplémentaire va dans l'océan: 93% vont dans l'eau. Et donc il faut avoir un regard sur ce qui se passe dans l'océan si on veut effectivement regarder le réchauffement climatique dans son ensemble.

Le réchauffement climatique est sans équivoque et sans précédent

Et là, c'est très clair (je suis très heureux que vous ayez annoncé la venue de Anny Kazenave, qui est vraiment une des meilleures spécialistes mondiales des aspects liés à l'élévation du niveau de la mer, qui sera là dans quelques semaines, vers l'automne), on voit (sur la figure 3) que le niveau moyen de la mer augmente de

3 mm chaque année actuellement. Nous sommes sur un rythme de 30 cm par siècle qui risque de s'accélérer, voire de fortement s'accélérer. Mais pour le moment, ce que j'essaie de dire surtout, c'est que cette élévation du niveau de la mer est un indicateur très clair du réchauffement climatique puisque pour 1/3, il est lié à la dilatation de l'océan. Il y a une quantité importante qui rentre dans l'océan, en particulier au cours des 20 dernières années, ce qui contribue à la dilatation de l'océan de l'ordre de 1 mm chaque année. Il y a 1,5 mm qui sont liés à la fonte des neiges, des glaciers tempérés mais surtout du Groenland et de l'Antarctique de l'Ouest, cette partie de l'Antarctique qui est, disons, au Sud de l'Amérique du Sud : depuis une vingtaine d'année, ces calottes glacières contribuent à l'élévation du niveau de la mer et là aussi c'est un signal (la fonte des glaces) du réchauffement climatique. Ce que je veux dire, c'est que vraiment nous avons toutes les indications que le réchauffement climatique est déjà là et c'est ça qui est important.

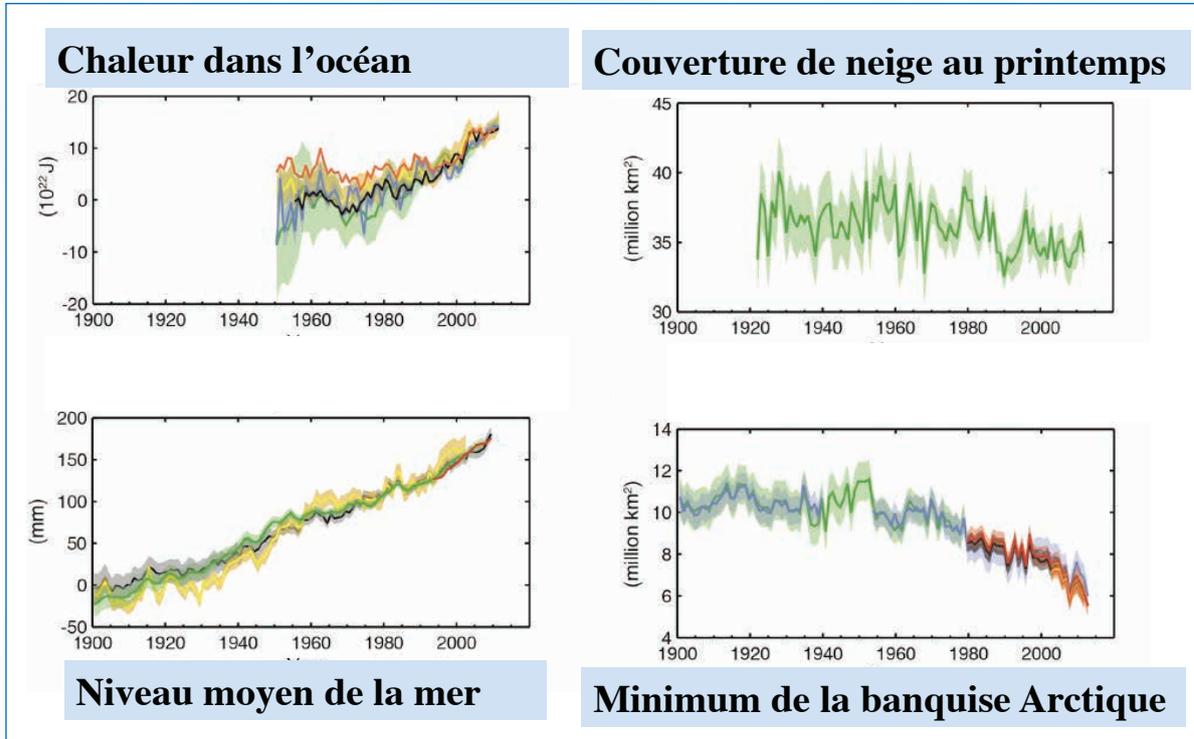
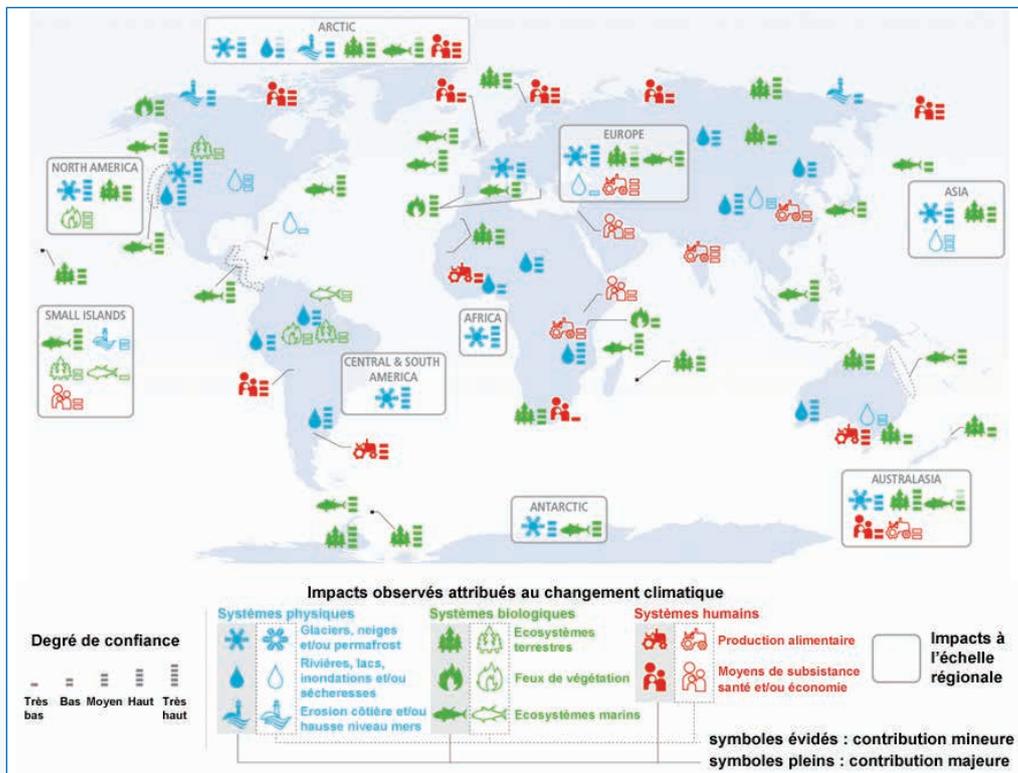


Fig.3 : Evolutions des principaux indicateurs du réchauffement climatique.

Je reprends ici les conclusions du GIEC : pour nous, le réchauffement climatique est sans équivoque et sans précédent; c'est-à-dire qu'il est sans précédent à l'échelle au moins du dernier millénaire. Les

30 dernières années sont les plus chaudes que l'on ait connues sur cette planète, en tous les cas sur l'hémisphère nord où on a des données depuis au moins 1000 ans, voire encore plus.



Source : notre-planete.info, http://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/changement-climatique-consequences.php

Fig. 4 : Conséquences attendues des changements climatiques

© GIEC, volume 2 rapport 2014 / notre-planete.info

Le climat

Alors évidemment, il y a eu des périodes plus chaudes dans le lointain passé : il y a 120 000 ans par exemple, de façon tout-à-fait naturelle, le climat était plus chaud qu'actuellement. Simplement, c'était la position de la terre sur son orbite. Mais là depuis 1000 ans, le réchauffement est sans précédent.

Pour l'Afrique, ce sont les écosystèmes qui sont déjà modifiés.

Alors ce qu'on peut voir (figure 4), c'est que des impacts sont déjà observés. Pour l'Afrique, ce sont les écosystèmes qui sont déjà modifiés -les écosystèmes naturels- l'agriculture qui est affectée mais aussi les ressources en eau. Il y a déjà des impacts du réchauffement dans toutes les régions : vous voyez tous ces sigles, ce sont des feux de forêts supplémentaires, des catastrophes naturelles, des inondations dans d'autres régions,....

Le réchauffement climatique est perceptible. Il n'est pas encore très dangereux. Le réchauffement climatique, ce n'est pas ce que l'on vit aujourd'hui. C'est ce que l'on se prépare à vivre, si rien n'est fait dans les années qui viennent, si rien n'est fait pour lutter contre le réchauffement climatique maintenant.

Il est très important pour l'Afrique qu'il y ait une véritable implication de recherches très actives dans le domaine de l'évolution du climat.

Avant de poursuivre, je vais vous renvoyer vers d'autres conséquences : si on regarde de plus près les précipitations (figure 5) : dans le cas de l'Afrique, en marron, il y a beaucoup de régions où il n'y a pas beaucoup de données et c'est un des problèmes de l'Afrique. Donc, j'invite un peu la communauté africaine à participer. Lorsque j'étais au GIEC, notre travail consistait à sélectionner les auteurs du rapport du siècle. En fait, on a beaucoup de difficultés à identifier les auteurs africains. J'engage les Académies à tenir compte de la forte demande actuellement et je suis très fier que mon collègue Abdallah Mokssit soit nommé secrétaire général de GIEC (IPCC en anglais). Je pense qu'il est très important pour l'Afrique qu'il y ait une véritable implication de recherches très actives dans le domaine de l'évolution du climat.

Alors, la question qui se pose, une fois que je vous ai dit que l'effet de serre augmente, que c'est lié aux activités humaines, que le climat se réchauffe, ceci n'est pas suffisant pour établir une relation de cause à effet. Et c'est une des questions qui

nous est posée : est-ce-que le réchauffement climatique qu'on observe est déjà lié aux activités humaines? C'est ce que, Monsieur le secrétaire perpétuel, vous avez mis en avant dans votre introduction. Oui, la réponse est très claire dans le 5^{ème} rapport du GIEC : «*Pour nous, une large part*

du réchauffement climatique lors des 50 dernières années est déjà liée aux activités humaines». Nous sommes dans un monde dont nous modifions le climat et ceci de façon très clair et, pratiquement en fait, l'essentiel du réchauffement climatique est vraiment lié aux activités humaines.

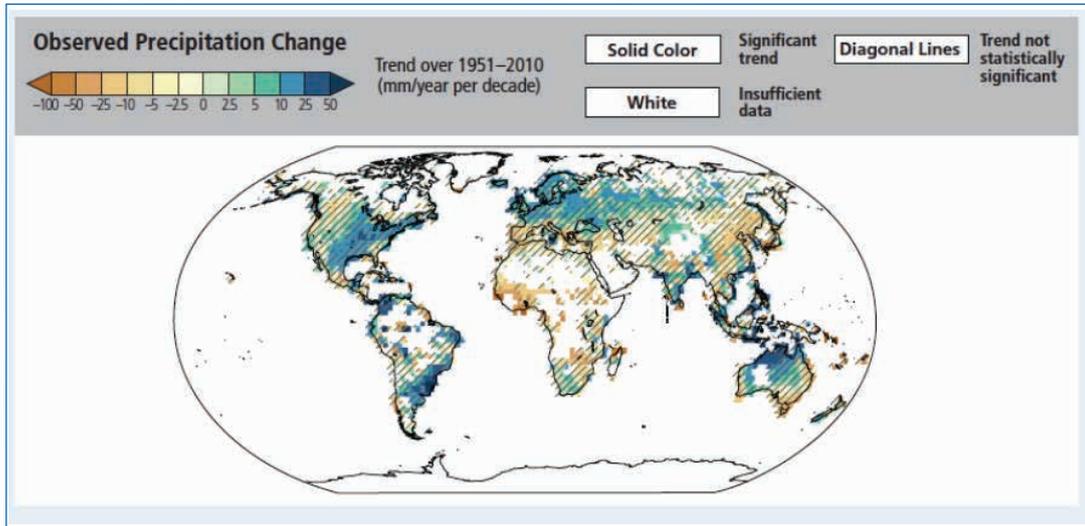


Fig. 5 : Evolutions des précipitations

Nous sommes dans un monde dont nous modifions le climat

Le 5^{ème} rapport du GIEC met en évidence un réchauffement observé (à peu près depuis les années 1950) de sept dixièmes (7/10) de degré. L'effet de serre tout seul expliquerait à peu près 1 degré : le réchauffement aurait été plus important mais il y a aussi les activités humaines, la pollution -au sens trivial du terme, la pollution

automobile, urbaine- qui contrecarre une partie de ce réchauffement.

Donc en fait, les activités humaines sont tout-à-fait compatibles avec ce qu'on observe comme réchauffement. Tandis que dans les causes naturelles, les variations de l'activité solaire et les variations de l'activité volcanique contribuent à un refroidissement de quelques dizaines de degrés qui dure quelques années. Cette variabilité n'explique qu'un dixième (1/10) de degré au maximum.

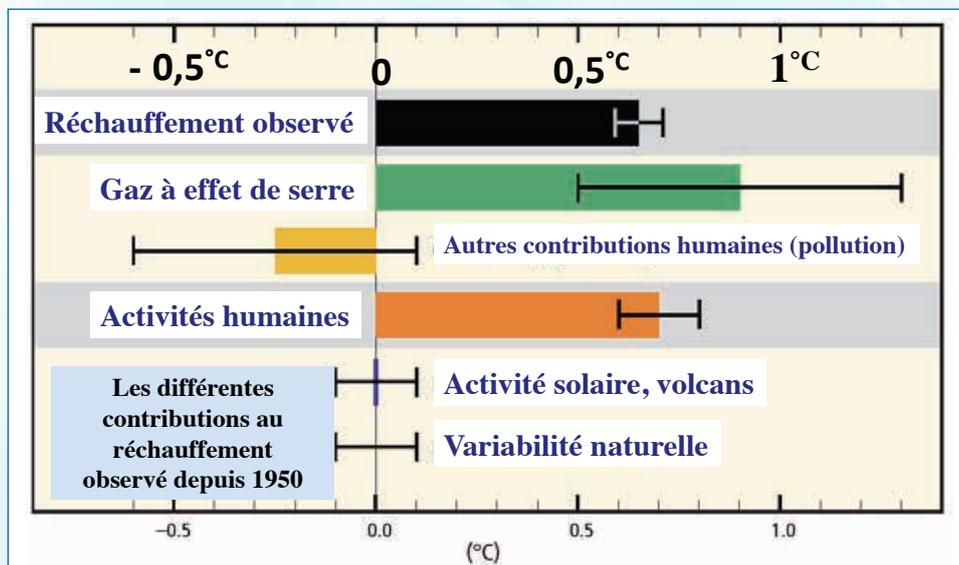


Fig. 6 : Une large part du réchauffement est due aux activités humaines

Pour nous donc, le diagnostic est clair : nous sommes dans un monde dont nous modifions le climat.

Avant, je dirigeais l'Institut Pierre-Simon Laplace, dans lequel on s'intéresse à des modèles climatiques extrêmement sophistiqués, qui tiennent compte de l'atmosphère, de l'océan, des interactions avec la végétation, avec la chimie atmosphérique. Tout cela, ce sont beaucoup de processus à prendre en compte et finalement, qu'est-ce qu'ils nous disent ces modèles? Eh bien, c'est un peu le bon sens: «Si on émet beaucoup de gaz à effet de serre, on risque d'avoir des réchauffements importants». C'est un peu le message.

Alors, vers quoi allons-nous ?

Revenons au rapport du GIEC pour un peu présenter 2 cas très différents :

- On va parler d'un **scénario émetteur** (celui dans lequel on ne fait rien pour lutter contre le réchauffement climatique; on ne change pas nos habitudes) : à la fin du siècle, nous irons vers des réchauffements de 4 à 5 °C, des réchauffements encore plus importants dans certaines régions, moins importants sur l'océan, qui ne seraient pas stabilisés à la fin du siècle. Alors on pourrait aller vers 6 à 8°C à la fin du siècle prochain. C'est énorme. Et vous voyez à droite (de la figure 7), il y a des catégories de conséquences du réchauffement climatique; le GIEC les a classées en 5 catégories avec différents niveaux de risque, disons 'indétectable', 'moyen', 'élevé', 'très élevé'. Ce qu'on peut observer, c'est dans le cas d'un réchauffement vers 4 à 5°C, en gros, tous les voyants sont au rouge.

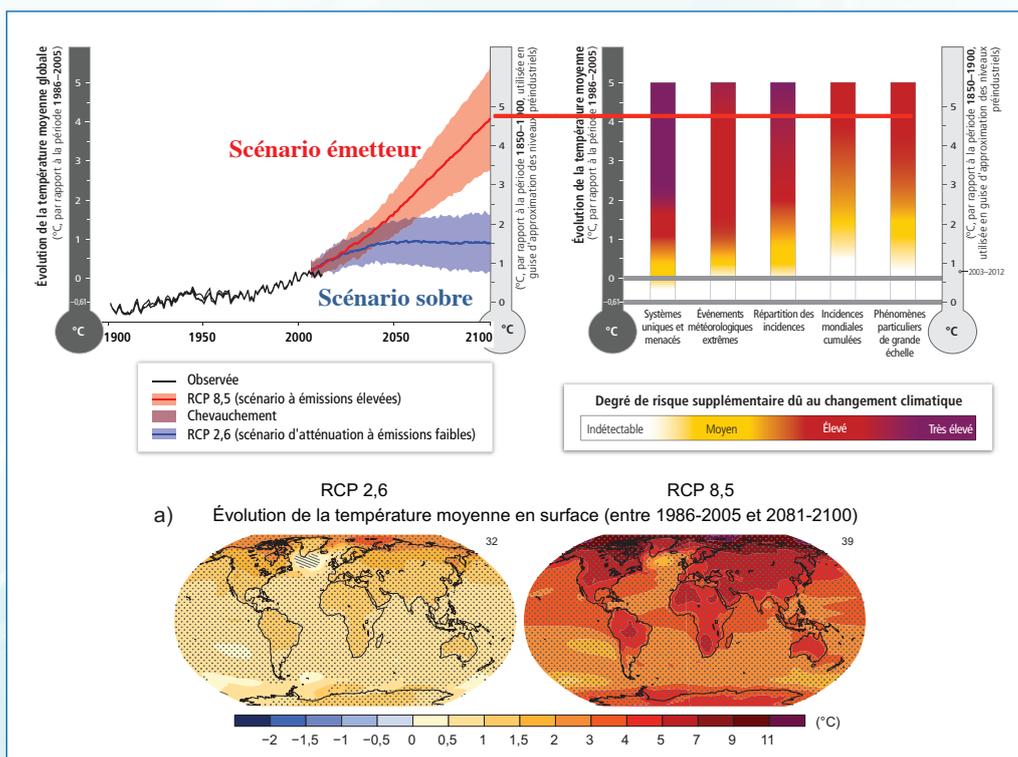


Fig. 7 : Scénarios du réchauffement climatique

Alors, de quoi s'agit-il?

Je ne vais pas trop détailler car je pense que vous êtes familiers avec beaucoup de ces conséquences du réchauffement climatique dont certaines effectivement risquent de toucher plus l'Afrique : pour le Maroc par exemple, qui tire une partie de ses ressources de l'Océan, de la Mer, l'acidification

de l'Océan est quelque chose d'important. C'est un risque si on ne fait rien.

Donc la première conséquence, dans le cas où on ne fait rien pour lutter contre le réchauffement climatique, concerne l'océan, qui deviendrait 2 fois plus acide à la fin du siècle qu'il ne l'était au début du siècle dernier. Cela a des conséquences

sur tout ce qui est formé de calcite – toutes ces coquilles qu'on aime bien – mais aussi les récifs coralliens qui risquent d'être mis à mal et, en gros disons, les ressources halieutiques seront également affectées.

La 2^{ème} catégorie concerne les extrêmes climatiques (et je reviendrai sur ce risque dans ces régions comme l'Afrique, le Nord de l'Afrique): ce sont plutôt des risques de sécheresse plus importante mais aussi quelquefois des inondations, des événements extrêmes de précipitations, des canicules, des cyclones dans d'autres régions (parce que les régions cycloniques vont se déplacer un peu plus vers le nord, vont toucher des régions comme l'Afrique de l'Ouest). Bien sûr il y a des cyclones en Afrique mais est-ce que ceux-ci ne vont pas s'intensifier? Ce sont des questions qu'on se pose.

La troisième catégorie est importante aussi et là on va parler des populations pour lesquelles, par exemple, le climat actuellement rend difficile l'accès aux ressources agricoles. Ce sont des régions côtières qui sont affectées par l'élévation du niveau de la mer. Les ressources agricoles, les ressources en eau sont les premières causes des réfugiés climatiques. Mes collègues politologues citent souvent le cas de la Syrie. Il y a eu des sécheresses à répétition-je ne dis pas qu'elles sont attribuées au réchauffement climatique- au début des années 2000 qui ont fait qu'à peu près 1 million d'habitants ont migré depuis la campagne syrienne vers Damas, ce qui a contribué à l'instabilité de ces régions d'après certains politologues, aux difficultés auxquelles elles font face.

Il y a un risque de fonte totale du Groenland, ce qui équivaut à 7 m d'élévation du niveau de la mer

La 4^{ème} catégorie concerne les problèmes environnementaux qui, par eux-mêmes, sont des problèmes qui sont exacerbés par le réchauffement climatique. Alors ça va être le cas de la biodiversité par exemple. On a classé 8 catégories soit de faune soit de flore : leur vitesse de déplacement, pour la moitié d'entre elles à la fin du siècle, serait inférieure à la vitesse de déplacement du climat. Les zones climatiques se déplaceraient à la fin du siècle à des dizaines de kilomètres par décennie, quelques kilomètres par an, et pour certaines espèces – des arbres ou même des faunes ou flores – leur capacité de déplacement est tout

simplement inférieure à la vitesse de déplacement des zones climatiques. Il y a beaucoup d'autres raisons qui affectent actuellement la biodiversité – la biodiversité n'a pas besoin du climat pour être mise à mal –. Il est clair que le changement climatique exacerbe la biodiversité : ça accélérera la modification des écosystèmes au sens large. Dans le cas de la pollution par exemple, on comprend bien qu'il soit plus difficile de faire face aux problèmes de la pollution par période de canicule, avec ses problèmes de santé qui sont liés.

Il y a aussi des problèmes de ressources alimentaires : on a le sentiment que dans un contexte de réchauffement climatique, certaines régions vont gagner en productivité, d'autres vont en perdre. On a le sentiment que les régions qui vont gagner vont être très importantes. En fait, lorsqu'on regarde, jusque vers les années 2030 effectivement, en terme de productivité (cas des cultures vivrières principales : blé, maïs, riz soja), les régions qui gagnent et les régions qui perdent sont à peu près équilibrées dans un premier temps; mais à la fin du siècle, les régions qui perdent en productivité prennent le pas sur les régions qui gagnent et ça de façon importante. Donc le réchauffement climatique affectera les ressources alimentaires.

Le dernier point concerne les phénomènes irréversibles. Le premier, c'est l'élévation du niveau de la mer : nous sommes sur un rythme de 30 cm par siècle qui risque de s'accélérer dans le cas d'un réchauffement non contrôlé. Cela pourrait être de l'ordre de 1 m à la fin du siècle et à l'échelle du millénaire, plutôt de quelques siècles du millénaire, il y a un risque de fonte totale du Groenland et, dans ce cas, ça équivaut à 7 m d'élévation du niveau de la mer. Il ne s'agit pas dans ce cas là de la fin du siècle – certains parlent d'élévation du niveau de la mer supérieur à 1 m à la fin du siècle – mais disons qu'à l'échelle du millénaire, l'élévation du niveau de la mer ne s'arrêtera pas. Elle se poursuivra et risque même de s'accélérer. Même dans le cas d'un réchauffement limité à 2°C, l'élévation du niveau de la mer se poursuivra d'au moins 40 cm d'ici la fin du siècle et probablement 1 m à l'échéance de la fin du siècle prochain.

L'élévation du niveau de la mer est quelque chose d'important et cette importance dépend du pays où on est. L'Europe n'échappera pas au

changement climatique, l'Afrique non plus. Nous aurons une discussion sur le climat africain.

Le réchauffement climatique, c'est quand même peut-être plus difficile d'y faire face dans les pays où il fait relativement chaud. Certaines régions africaines ont du mal à se développer actuellement justement parce que le climat n'est pas favorable au développement.

Dans le cas de l'Afrique même dans le scénario qui n'est pas le plus émetteur, on a des réchauffements sur le nord de l'Afrique (sur le nord-ouest) de 4 à 5°C l'été. C'est quand même énorme en moyenne. Donc le réchauffement affectera l'Afrique. Quand on parlera d'un réchauffement moyen de 4 à 5°C, l'Afrique sera affectée dans cette proportion là, un peu moins l'hiver, un peu plus l'été.

Certaines régions africaines ont du mal à se développer actuellement parce que le climat n'est pas favorable au développement

Un autre phénomène, particulier à la partie nord de l'Afrique est la diminution des précipitations (les zones en marrons sont des diminutions de précipitations). C'est vrai aussi bien sur l'ensemble du pourtour méditerranéen; en tous cas, il y a d'autres régions de l'Afrique où les précipitations augmentent peut-être mais les régions du pourtour méditerranéen risquent d'être affectées par une diminution de précipitations et il faut bien voir que c'est couplé avec une augmentation de l'évaporation (si vous avez un réchauffement de 4 à 5°C, il y a plus d'évaporation des sols). Donc on voit bien les difficultés liées à ce cycle hydrologique, au moins dans certaines régions.

J'ai parlé des risques principaux pour l'Afrique tels qu'ils apparaissent dans le dernier rapport du GIEC (les cartes étaient du 4^{ème} rapport du GIEC). Ces risques principaux peuvent se résumer en 3 grands domaines, 3 catégories de conséquences domageables pour l'Afrique :

- Le domaine lié aux précipitations
- Le domaine lié à l'agriculture
- Et le domaine lié à la santé.

Il y a aussi des régions africaines où c'est l'élévation du niveau de la mer qui prévaut (delta du Nil, régions côtières). Mais à l'échelle planétaire, cela concerne plus d'un milliard d'habitants, cela est essentiellement concentré en Asie du Sud-est.

Maintenant face à tout cela, il y a des perspectives d'adaptations, bien que ce soit difficile surtout pour certaines régions d'Afrique car il y a beaucoup de chose à mettre en œuvre. Et je voulais aussi rappeler que ce n'est pas la communauté scientifique qui a modifié la convention climat mais les décideurs. C'est une décision politique que le fait d'être passé d'un objectif qualitatif à un objectif chiffré (2°C, voire 1,5°C).

Quand on regarde effectivement cette fois ci ce qu'on appelle un scénario sobre (en bleu sur la figure 7, ndlr), qui nous permettrait de limiter le réchauffement à 2°C, on voit bien que l'idée qui est derrière –celle du législateur–, c'est que si on y arrive, et bien on pourra s'y adapter (pour l'essentiel car certaines choses sont irréversibles come l'élévation du niveau de la mer qui se poursuivra), Vous voyez que si on restait en dessous de 2°C, les conséquences sont plutôt soit indétectables dans certains cas, moyennes ou assez élevées pour les récifs coralliens en tout état de cause. En gros, on limite la casse.

Alors la difficulté de rester en dessous de 2°C, je vais essayer de l'illustrer dans ce qui suit. En fait la température de stabilisation est gouvernée par la quantité totale de gaz carbonique émise. Donc on sait ce qui nous reste à faire si on veut rester en dessous de 2°C à long terme (et non pas à la fin du siècle). Aujourd'hui, il nous reste 200 milliards de tonnes de carbone à utiliser (250 milliards en 2011) ce qui représente 20 années de production de gaz carbonique au rythme actuel (ceci en supposant que les autres gaz à effet de serre n'augmentent pas leur émission). Donc on n'a plus que 20 ans au rythme actuel pour rester au dessous de 2°C. Cela représente aussi moins de 20% des ressources facilement accessibles en termes de combustibles fossiles.

Je salue ici l'effort du Maroc en termes d'énergies renouvelables

C'est clair que la campagne «**Keep it in the ground**» (laissez les combustibles fossiles là où ils sont) repose sur les chiffres du GIEC. Donc c'est une grande difficulté puisque, si on veut rester en dessous de 2°C, il faut modifier tout de suite nos émissions de gaz à effet de serre, essayer d'avoir un pic : en fait, la Conférence de Paris, ce n'est pas 20 ans au rythme actuel puis plus rien après; l'idée ça serait d'avoir un pic d'émissions assez rapide. Mais les émissions continuent

d'augmenter. Une diminution par 2, voire par 3 à l'horizon 2050 et c'est d'ailleurs ce qui est inscrit dans l'accord de Paris: "**neutralité carbone dans la deuxième partie du 21^{ème} siècle**". Donc vous voyez que c'est un véritable défi qui demande à nos économies de complètement se modifier, ce qui est aussi sources d'opportunités. Je salue ici l'effort du Maroc en termes d'énergies renouvelables; c'est très clair que c'est la voie vers laquelle il faut aller et je dirai que c'est valable pour l'ensemble du continent africain et pour l'ensemble de la planète.

3. Paris et la COP21, des divergences au consensus: adoption des grandes lignes de lutte et d'adaptation, mais beaucoup de points encore en suspens.

Dans ce contexte, la Conférence de Paris a été un succès, d'abord du point de vue sécurité, du point de vue organisation. Après les événements du 13 novembre, il y a eu un véritable succès diplomatique avec la venue de 150 chefs d'état ou de gouvernement, qui étaient là le premier jour, qui ont lancé la conférence. Il y a eu un accord signé, universel : plusieurs pays ont redit leurs engagements (à New York il y a quelques jours maintenant). Donc c'est un accord universel. Mais pour rendre cet accord universel, la convention climat a changé son fusil d'épaule : jusqu'à Copenhague, l'idée était de fixer des objectifs pour les pays développés (il n'y en avait pas pour les pays en voie de développement) mais cela n'a pas bien marché. Alors à partir de Copenhague, on a inversé les méthodes et on a demandé aux pays développés ce qu'ils pourraient faire pour lutter contre le réchauffement climatique et s'y adapter. D'où l'idée de ces contributions qui ont été confirmées à New York. Le revers de la médaille, c'est que quand on demande aux pays ce qu'ils peuvent faire, on est loin du compte et c'est quand même indiqué dans la décision de l'accord de Paris. Il est clairement dit qu'avec les contributions telles qu'elles sont mises sur la table, même si elles sont mises en œuvre complètement, nous aurons 55 milliards de tonnes d'équivalent CO₂ soit 40% en trop d'émissions en 2030 par rapport à ce qu'il faudrait pour rester sur une trajectoire de 2°C.

Donc on est actuellement plutôt parti, non pas vers 4 ou 5°C à la fin du siècle mais, si les contributions sont prises en compte, sur une trajectoire de

3 à 3,5°C. Cela paraît vraisemblable. Alors il faut absolument augmenter très rapidement l'ambition. Pas dans 20 ans mais tout de suite. Donc il y a un 1^{er} rendez-vous en 2018 puis un second en 2023 et l'accord de Paris est bien construit de façon à relever cette ambition (il y a une clause de révision).

J'espère qu'à Marrakech, il y aura des événements dans le domaine de la science et de l'éducation.

100 milliards de US\$, ça sera évidemment rediscuté à Marrakech de façon plus précise mais je dirai qu'il y a un certain climat de confiance qui s'est établi entre les pays développés et les pays en voie de développement autour de cette promesse des 100 milliards de dollars. Bien sûr, il faut espérer que cela se concrétisera par différentes actions (public, public-privé, privé) mais c'est vraiment des investissements dédiés à la lutte contre le réchauffement climatique ou à l'adaptation. Ça sera au cœur de la Conférence de Marrakech. J'espère qu'à Marrakech on discutera plus de ce qui est important, qu'il y aura de vraies discussions sur le prix du carbone.

Il y a aussi eu une mobilisation importante de la société civile à Paris : les ONG, le monde de l'enseignement, de l'éducation, le monde des entreprises, la communauté scientifique (nous nous sommes beaucoup impliqués). J'espère qu'à Marrakech, il y aura des événements dans le domaine de la science, de l'éducation.

Quelques points faibles : il faut agir tout de suite; ce qui est important, c'est le pré 2020.

Qu'est-ce qu'il faut faire tout de suite? Comment on fait pour stabiliser les émissions rapidement? C'est extrêmement important. Si on attend 2020 pour faire quelque chose, il sera trop tard et on ira obligatoirement vers au moins 3 °C. Le fait que les transports maritime et aérien soient exonérés, ça manque d'élégance c'est très clair.

La forme de l'accord : le fait que les pays se soient engagés est déjà important. Il y a vraiment une forme de contrainte par un engagement au sein des pays, un engagement vis-à-vis de la communauté mondiale, vis-à-vis des jeunes; parce que ces contraintes, parce que ces engagements, chacun pourra les suivre au jour le jour. C'est ça qui est important.

Donc voilà, il y a quand même une certaine forme de contrainte – peut-être une contrainte morale

aussi, même si elle n'est pas juridique – par un engagement vis-à-vis de ce qui nous attend si on ne fait rien pour lutter contre le réchauffement climatique. Et évidemment, c'est la mise en œuvre qui est importante et le point de départ de la mise en œuvre, c'est la Conférence de Marrakech.

Un dernier point dans la société civile, je pense redire que l'accord s'est modifié : l'article 2, qui parlait plus de développement durable, d'écosystème, de sécurité alimentaire dans l'accord initial, là on est passé à un objectif chiffré : c'est très important hein 2°C, avec cette possibilité de 1,5°C. C'est vraiment les termes de l'accord.

Accord de Paris : article 2

Le présent Accord, en contribuant à la mise en œuvre de la Convention, notamment de son objectif, vise à renforcer la riposte mondiale à la menace des changements climatiques, dans le contexte du développement durable et de la lutte contre la pauvreté, notamment en :

- a) Contenant l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation des températures à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels, étant entendu que cela réduirait sensiblement les risques et les effets des changements climatiques;
- b) Renforçant les capacités d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques et en promouvant la résilience à ces changements et un développement à faible émission de gaz à effet de serre, d'une manière qui ne menace pas la production alimentaire;
- c) Rendant les flux financiers compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques.

4. Quelles réponses africaines au réchauffement climatique dans ses spécificités continentales à définir?

L'adaptation a pris une place importante, pas simplement dans les problèmes de sécurité alimentaire. Elle va être au cœur des stratégies. C'est un message que j'aimerais donner ici pour l'Afrique – il y a vraiment des moyens en termes d'énergies renouvelables, d'efficacité énergétique. Il faudra aussi que l'Afrique s'adapte, qu'elle participe à un développement sobre en carbone et qu'elle s'implique (on parle d'un doublement de la population d'ici 2050, 2 fois plus de villes également). Bien sûr, il y a le souhait que ce développement s'inscrive dans un développement sobre en carbone. Je crois que c'est important bien sûr pour l'Afrique mais aussi pour l'ensemble de la planète.

Des moyens existent pour l'Afrique, en termes d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique

Il y a un 3^{ème} point important que j'aimerais souligner: il s'agit des flux des investissements. Il faut voir cette nécessité de changer le mode de développement comme des opportunités économiques, y compris pour l'Afrique. Pour la première fois, les Nations-Unies demandent aux pays de «rendre les flux financiers compatibles avec un scénario à faible émission et résilient au changement climatique». C'est inscrit dans la convention. C'est quoi la compatibilité : eh bien quand on regarde ici (figure 8) la partie énergie (disons que ça équivaut à 70% des émissions de gaz à effet de serre – il y a à la fois les pays de l'OCDE et les pays non OCDE – mais si on regarde l'ensemble)- eh bien les investissements au niveau planétaire sont de l'ordre de 700 milliards de

dollars chaque année (c'est pour les 10 prochaines années; et c'est l'efficacité énergétique le premier levier de lutte contre le réchauffement climatique. 600 ou 700 milliards de dollars, ça peut sembler énorme mais ce sont des chiffres du même

ordre qui sont évoqués en terme de subvention aux combustibles fossiles actuellement de par le monde. Ce ne sont pas des investissements inaccessibles.

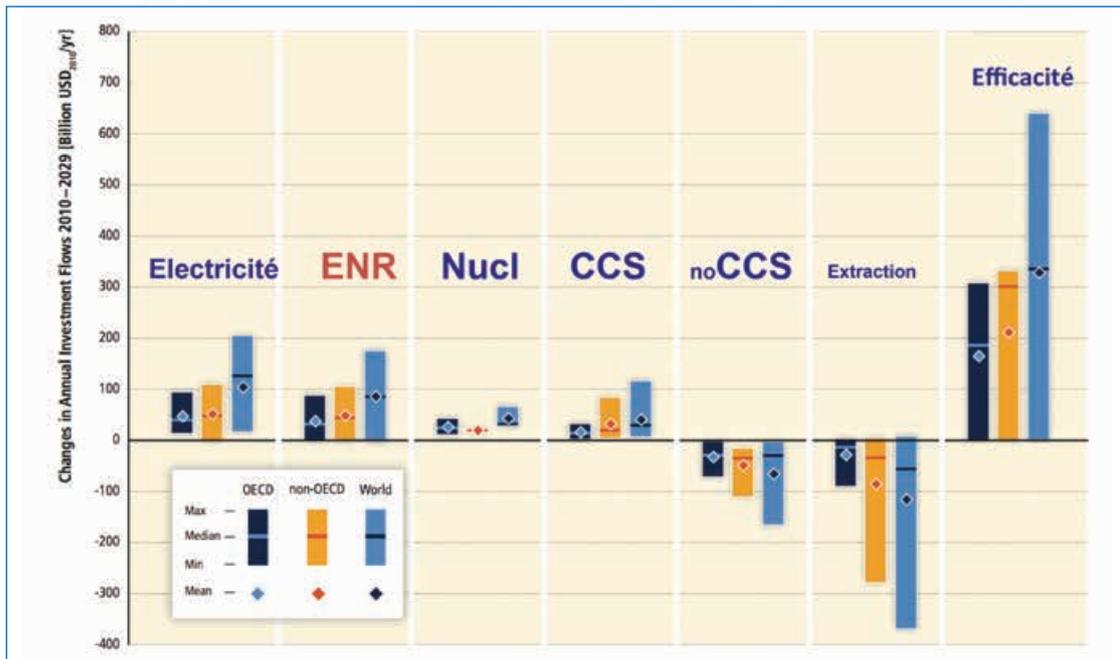


Fig. 8 : Scénario bas carbone : évolution des flux financiers

Bien sûr, désinvestir de l'extraction des combustibles fossiles, de leur utilisation – sauf à mettre en place le piégeage et stockage du gaz carbonique – et continuer les investissements dans le nucléaire, est un scénario qui permet de rester en dessous de 2°C. Il n'y a pas de scénario qui permet de rester en dessous de 2°C sans le nucléaire mais il n'y a pas non plus un fort développement du nucléaire dans ce scénario.

Bien sûr, le véritable développement ce sont les énergies renouvelables, qui devraient se développer, prendre une part importante, de l'ordre peut-être de 50% à l'horizon 2050 de l'énergie; on parle d'électricité, de mobilité, de chaleur (l'énergie, ce n'est pas uniquement l'électricité). Et dans ce monde à 2 °C, on voit aussi une part peut être plus importante de l'électricité

dans l'énergie qu'elle ne l'est actuellement.

Il y a, pour la planète, des efforts d'adaptation à faire mais aussi cette possibilité de développement d'une économie sobre en carbone

Je pense que pour un pays, pour nos pays, pour vos pays, la façon de faire face au réchauffement climatique, c'est d'en tenir compte bien sûr dans l'adaptation, mais aussi dans cette possibilité de développement de l'économie, une économie sobre en carbone. C'est ce que je vous engage à faire. Je suis simplement un scientifique mais je m'implique aussi dans l'environnement. Je suis dans le comité de pilotage de la Conférence sur le climat (COP21 et COP22). Je suis très impliqué et pour nous, c'est extrêmement important que la Conférence de Marrakech soit un succès.

Afrique	
Risques principaux	Problèmes et perspectives d'adaptation
<p>Aggravation des pressions exercées sur les ressources hydriques déjà lourdement sollicitées par la surexploitation et la dégradation, et qui feront face à l'avenir à une demande accrue. Stress dû à la sécheresse exacerbé dans les régions africaines déjà exposées à ce fléau (degré de confiance élevé)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des facteurs de perturbation non climatiques des ressources hydriques • Renforcement des capacités institutionnelles pour la gestion de la demande, évaluation des ressources en eau souterraine, planification intégrée de l'eau et des eaux usées, et gouvernance intégrée des terres et de l'eau • Développement urbain durable
<p>Baisse de la productivité des cultures due à la chaleur et à la sécheresse (dont les conséquences sur les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire des pays, des régions et des ménages pourraient être graves) ainsi qu'aux dommages causés par les ravageurs, les maladies et les inondations affectant l'infrastructure des systèmes alimentaires (degré de confiance élevé)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptations technologiques (variétés végétales tolérantes au stress, irrigation, systèmes d'observation perfectionnés, etc.) • Amélioration de l'accès des petits producteurs au crédit et à d'autres facteurs de production essentiels; diversification des modes de subsistance • Renforcement des institutions à l'échelle locale, nationale et régionale pour appuyer l'agriculture (y compris par l'établissement de systèmes d'alerte précoce) et politiques favorables à l'égalité des sexes • Adaptations agronomiques (agroforesterie, agriculture de conservation)
<p>Variations de l'incidence et de l'extension géographique des maladies à transmission vectorielle ou d'origine hydrique dues à l'évolution des températures et des précipitations moyennes et de leur variabilité, en particulier aux limites de leurs aires de répartition (degré de confiance moyen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation des objectifs de développement, et notamment amélioration de l'accès à l'eau potable et des systèmes d'assainissement, et renforcement des fonctions liées à la santé publique telles que la surveillance • Cartographie de la vulnérabilité et systèmes d'alerte précoce • Coordination intersectorielle • Développement urbain durable

L'Afrique face aux défis du réchauffement climatique : quelles priorités scientifiques et technologiques? *

Taieb CHKILI

Membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques



1. De Genève à Paris, entre doutes et divergences: rappel historique des étapes de négociations internationales relatives à la question du réchauffement climatique.

Depuis la conférence mondiale sur le climat en 1979 à Genève, la communauté internationale s'est engagée dans un long processus de négociations destinées à trouver les réponses pertinentes au défi climatique mondial. Ce processus a abouti en 1992 lors de ce que l'on a appelé «le Sommet de la Terre» à Rio de Janeiro, à l'adoption de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique. La communauté internationale reconnaissait alors, après une longue période de doute, et en dépit des réticences de scientifiques climato-sceptiques, et l'opposition déclarée ou cachée de divers lobbys, le danger pour la planète et pour l'humanité que constituent les perturbations du climat résultant des activités humaines, notamment des émissions de gaz à effet de serre. Elle estimait également que l'impact d'un réchauffement climatique de 2,5°C sur le PIB, serait entre 0,2% et 2%, selon les régions, si le processus de développement se poursuivait dans les mêmes conditions. La Convention-cadre stipulait alors que «l'objectif ultime est de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climat...».



Pour ce faire, la communauté internationale a fixé l'augmentation de la température de la planète à 2°Celsius en 2100, par rapport à l'ère préindustrielle, et pour cela, elle a fixé à 5,2% l'objectif de réduction des gaz à effet de serre pour les pays industrialisés, pour la période 2008-2012 par rapport à 1990.

Pour atteindre ces objectifs, la communauté internationale a défini un certain nombre de mécanismes d'intervention, (mécanisme de développement propre, réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradatton des forêts, les systèmes basés sur les échanges de quotas d'émissions) ainsi que les instruments financiers nécessaires (création du Fonds Vert pour le climat en 2010 et du fonds pour l'adaptation au changement climatique).

En dépit des engagements pris par la Convention-cadre et les mécanismes de négociations adoptés, des divergences de natures diverses entre pays se sont multipliées depuis la conférence de Genève jusqu'à la COP 20.

2. Paris et la COP 21: des divergences au consensus, avec des avancées et des points encore en suspens.

La COP 21 dont les travaux ont eu lieu à Paris en novembre 2015, et qui a réuni 195 Parties, a permis de dégager, pour la première fois, et après plus de vingt ans de longues discussions et de négociations délicates, un consensus de toutes les Parties sur la réalité du réchauffement climatique, sur l'analyse et l'importance de ses effets potentiels sur la planète et sur l'humanité, sur les objectifs globaux qui doivent guider les décisions de lutte contre le phénomène, ainsi que sur les méthodes d'approche devant être suivies.

Ainsi, la déclaration finale, votée à l'unanimité, énonçait les grandes orientations que la communauté internationale entend suivre dans sa lutte contre le réchauffement climatique ainsi que les objectifs chiffrés, relatifs aux moyens et

(*) Note de présentation des recommandations des Académies Africaines des Sciences destinées à la COP22.

mesures devant être pris, aussi bien au niveau international qu'au niveau de chaque pays, pour limiter l'augmentation de la température à 2°C, jusqu'à la fin de ce siècle, pour en atténuer les effets négatifs et pour sauvegarder la planète de ses conséquences. Parmi ces orientations, figurent la réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce aux limitations de l'usage des énergies fossiles, aux économies d'énergie et au développement des énergies renouvelables. La conférence de Paris s'est également distinguée par la présentation par l'ensemble des Parties des stratégies et plans nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre, ainsi que des mesures destinées à contribuer à l'adaptation aux conséquences du phénomène. Dans ce cadre, la conférence a pris note des engagements nationaux moralement contraignants, tant en ce qui concerne les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et les moyens devant y contribuer, qu'en ce qui concerne les programmes d'adaptation et les moyens de financements nécessaires, notamment pour les pays en développement.

Toutefois, si le principe de création d'un Fonds Vert de 100 milliards de dollars à l'horizon 2020 destiné à cet effet, a été acté, son périmètre, son mode de financement, les modalités de ses interventions, ainsi que les projets prioritaires devant être accompagnés, restent à définir.

Aujourd'hui, le Traité de Paris a été signé par plus de 165 Etats, dépassant ainsi largement le seuil nécessaire pour son entrée en vigueur, à savoir 55 pays représentant plus de 55% des émissions à effet de serre. Le processus de ratification devrait commencer pour la mise en application du traité, avant la fin de cette année. Mais bon nombre de questions restent en suspens et demandent à être clarifiées ou précisées.

3. Marrakech et la COP22: des engagements aux actes.

La COP 22 dont les travaux doivent avoir lieu en novembre 2016 à Marrakech, au Maroc, constitue une étape de négociation importante et décisive. Elle devrait, en effet, s'atteler à préciser la nature et les moyens prévus pour lutter contre le réchauffement climatique, notamment par le maintien de l'augmentation de la température de la planète en deçà de 2°C à l'horizon 2100.

Dans cette perspective, les négociateurs à la COP 22 auront la tâche de régler certaines questions restées en suspens, telles que:

a. la définition des modalités pratiques de mise en œuvre des stratégies nationales et des plans d'action présentés par les pays, et l'adoption des moyens institutionnels, juridiques, budgétaires et technologiques pour atteindre les objectifs, en considérant la lutte contre le réchauffement climatique comme des opportunités d'investissements pour un développement global, durable et résilient, plutôt que comme un ensemble de contraintes et de nouvelles dépenses.

b. la précision de ce qu'on a appelé le caractère contraignant des engagements des Parties, et en conséquence, la définition des modalités de contrôle et de suivi des plans de lutte présentés par les pays, ainsi que les mesures devant être prises pour en garantir le respect;

c. l'adoption des principes et des modalités concrètes de mise en œuvre des systèmes sur les échanges de quotas d'émissions;

d. la définition des mesures d'atténuation des effets du réchauffement climatique appropriées au niveau régional et national, pouvant bénéficier d'un appui international;

e. la précision du périmètre du Fonds Vert et du Fonds pour l'Adaptation au changement climatique, ainsi que les modalités de leur financement et de leur fonctionnement, pour accompagner les pays en développement et les pays émergents, dans un cadre de solidarité et de justice, dans la réalisation de leurs programmes de réduction des émissions des gaz à effet de serre, et leurs projets d'adaptation aux conséquences du réchauffement climatique, leur permettant ainsi à participer aux efforts internationaux de lutte contre le phénomène, tout en continuant à prendre les mesures nécessaires pour leur développement, ou en poursuivant leurs efforts devant y contribuer.

Ainsi, la feuille de route qui doit être élaborée lors de la COP22, devrait, entre autres, contribuer à:

* **renforcer la dynamique enclenchée à Paris pour maintenir l'effort de mobilisation** de façon à ce que les pays développés révisent les ambitions contenues dans leurs contributions nationales pour lutter contre les changements climatiques, et réduisent leurs émissions de CO₂ à l'horizon 2020;

* **prendre les mesures concrètes nécessaires pour passer des analyses globales du phénomène du réchauffement climatique à des analyses plus fines**, prenant en

compte les spécificités géographiques, les particularités topographiques et les pratiques sociales et socio-économiques des continents et des pays;

- * prendre des décisions claires sur les modalités de **mise en œuvre des systèmes d'échanges des quotas d'émissions**.
- * déterminer une feuille de route claire et détaillée pour la mobilisation des 100 milliards de dollars d'ici 2020 et des fonds de financement des projets, en donnant la priorité à l'adaptation et en menant des analyses de projets par pays, par types de projets et des sources de financements.

C'est dire que la COP 22 devrait être l'occasion de passer des engagements aux actes, en traitant des questions dont la résolution a une importance capitale pour la mise œuvre du traité, en général, et pour son adaptation aux conditions particulière des pays, notamment africains.

4. L'Afrique face au réchauffement climatique dans ses spécificités continentales: du général au particulier.

Comme le signale le 5^{ème} rapport du GIEC, l'Afrique est l'un des continents les plus touchés par les changements climatiques. Les pays africains concentrent en effet toutes les vulnérabilités:

1. *La raréfaction des précipitations et leurs caractères irréguliers, les longues périodes de sécheresse alternant avec les inondations catastrophiques, et la raréfaction des produits alimentaires qui en découlent*, et qui constituent le danger principal sur la vie des populations, sur l'évolution des territoires, sur la sauvegarde de la faune, et d'une façon générale, sur la pérennisation des écosystèmes.

En effet, selon un rapport de la Banque Mondiale, daté de 2014 et rendu public récemment, «la raréfaction de l'eau exacerbée par le réchauffement climatique pourrait amener certaines régions, notamment de l'Afrique Centrale et Orientale, à accuser un recul du PIB de 6%, provoquer des migrations et déclencher des conflits. Dans le même sens, la FAO indique, dans un rapport paru en septembre 2014, qu'«au Maroc, les ressources en eau mobilisables par habitant vont diminuer de 15% d'ici 2030 et de 20% d'ici 2040». «La raréfaction de l'eau au Maroc, va s'aggraver d'autant plus que les probabilités de cycles d'années sèches sont élevées et que les hauteurs de pluies et les apports d'eau risquent

de diminuer sous l'effet du réchauffement climatique», conclut l'étude intitulée «**Tentative régionale pour faire face à la pénurie d'eau dans la région du Proche Orient et de l'Afrique du nord: évaluation nationale du Maroc**». Cette situation s'applique également à l'Afrique Centrale et Orientale, régions pour lesquelles la Banque Mondiale évalue le recul du PIB à 6% d'ici 2050. Le rapport intitulé «**High and Dry: Climate Change, Water and Economy**», publié début mai 2016, indique de son côté que les effets combinés de la croissance démographique, de l'augmentation des revenus et de l'expansion des villes, entraîneront une hausse exponentielle de la demande d'eau, alors que l'offre des ressources deviendra plus irrégulière et incertaine. «Les pénuries d'eau, ajoute Jim Yong Kim, Président de la Banque Mondiale, constituent une redoutable menace pour la croissance économique et la stabilité dans le monde, un problème que le changement climatique vient aggraver».

2. *La déforestation rampante et la détérioration progressive de la biodiversité* qui aggravent le réchauffement climatique, limitent l'impact des efforts destinés à en réduire l'intensité et en atténuer les effets et aggravent, en même temps, les déséquilibres de la diversité animale;
3. *L'impact du stress hydrique, non seulement sur l'agriculture*, dans ses aspects quantitatifs et qualitatifs, mais aussi sur l'élevage et l'état sanitaire des populations et des animaux;
4. *Les conséquences démographiques* avec l'exode rural la ruralisation des villes, l'émigration interne et externe, ainsi que toutes les conséquences humaines, sociales et socio-économiques qui en découlent.

Dans ce contexte, l'Afrique qui abrite 70% des terres cultivables, mais importe 50 milliards de dollars d'aliments, se trouve face à de nouveaux défis encore plus graves, qui doivent être pris en compte, de façon prioritaire, dans toute stratégie d'action.

De plus, l'Afrique, considérée actuellement comme d'un des principaux gisements de croissance dans le monde, n'arrive pas à exploiter toutes ses potentialités et exporte près de 65% de ses ressources naturelles sans aucune valorisation. D'où l'urgence pour le continent de cerner les opportunités que recèle le changement climatique, et faire le choix d'un développement basé sur la croissance verte. De ce fait, les ministres de l'agriculture de France et du Maroc, réunis au Maroc, en marge du Salon d'Agriculture de

Meknès, ont voulu résumer leurs priorités en 3A, à savoir: *Adaptation, Agriculture, Afrique*, mettant ainsi en exergue des agendas dédiés aux priorités africaines en matière de contributions nationales, de renforcement des capacités et des mesures adopter pour la période post-2020 en termes d'adaptation, de financement et de transfert des technologies.

Or, au moment où l'Afrique entreprend d'énormes efforts pour se développer, et tout en s'engageant dans la lutte contre les effets du réchauffement climatique, elle reste loin de profiter des financements internationaux destinés à l'adaptation. Ces dernières années, ce sont l'Inde et la Chine qui ont le plus profité de ces fonds, a expliqué l'expert africain Mahatar Ba. «Aujourd'hui, selon Mme El Haiti, Ministre marocaine de l'environnement, sur les 62 milliards de dollars mobilisés, dans le cadre des financements verts, l'Afrique n'a pu décrocher que 188 millions, à cause du manque de savoir faire en terme de préparation de dossiers, d'où, ajoute-elle, *l'importance pour les pays africains de collaborer entre eux, et de travailler avec ceux des pays disposant de capacités réelles dans ce domaine, pour le développement et la maîtrise des sciences et pour promouvoir le transfert de technologies et d'expertise*».

5. Quelle réponse africaine au réchauffement climatique et pour une adaptation intelligente et efficace à ses effets? Quel pourrait être l'apport des Académies Africaines des Sciences pour participer à la lutte contre le réchauffement climatique et pour un développement vert?

Face aux défis cités plus haut, et en dépit de la modicité des moyens financiers dont ils disposent, et malgré leur désir légitime de développement et de bien-être, les pays africains ont à prendre des mesures efficaces, courageuses et coûteuses, destinées à contribuer à mieux cerner les contours spécifiques du réchauffement climatique en Afrique, à prendre les mesures pertinentes pour en réduire les divers et multiples risques sur les territoires, les populations et la faune.

C'est dans cet esprit, que le NASAC et l'UNESCO, ont consacré en marge de la COP21 à Paris, un colloque sur la question sous le thème *«Réaliser la renaissance africaine, à travers le dialogue entre science et politique, pour l'adaptation et la résilience au réchauffement climatique*: les besoins prioritaires de l'Afrique en investissements pour le développement des sciences et pour l'appropriation

des technologies bleues et vertes en vue de la réduction de la pauvreté et du développement durable». A l'issue des débats, *le NASAC et l'UNESCO ont recommandé une rencontre des Académies Africaines des Sciences à Marrakech, dans le cadre de la COP22, en vue de préciser leur point de vue sur la question et de présenter leurs recommandations aux négociateurs*.

La rencontre à Rabat des Académies Africaines des Sciences, à l'occasion de la commémoration du dixième anniversaire de l'installation par Sa Majesté Le Roi Mohammed VI de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, pourrait être l'occasion pour les Académies Africaines des Sciences d'élaborer une note et de présenter des recommandations pertinentes à l'adresse des négociateurs de la COP22.

En effet, les Académies Africaines des Sciences, de par les compétences qu'elles recèlent et celles qu'elles peuvent mobiliser, auront, à l'occasion de leur rencontre au Maroc, non seulement à donner leur avis scientifique sur le phénomène de réchauffement climatique aujourd'hui admis par tous, mais doivent surtout contribuer:

- d'un côté, à affiner les connaissances relatives aux spécificités africaines du réchauffement climatique, en prenant en compte les particularités territoriales, géographiques, climatologiques et humaines,
- de l'autre, concevoir et mettre en place des mécanismes de recherches relatives aux meilleures approches scientifiques et techniques en matière de lutte contre le phénomène, pour en atténuer les effets, pour contribuer à l'adaptation à ses conséquences, et pour opérer le choix des bases d'un développement durable, résilient et inclusif dans le cadre d'une économie verte.

Dans cette perspective, les Académies Africaines des Sciences pourraient présenter les recommandations pertinentes devant contribuer à préciser le point de vue des scientifiques africains, sur deux plans:

- d'un côté, préciser les domaines devant être explorés pour une vision africaine du réchauffement climatique et des moyens pour en limiter les effets,
- de l'autre, proposer des actions concrètes et des structures institutionnelles de formation, de recherche scientifique et de maîtrise technologique à même de permettre aux

pays africains d'assumer leurs responsabilités dans cette lutte tout en garantissant leur développement socio-économique et humain dans un cadre de développement global, durable et inclusif.

Recommandations relatives à l'identification des domaines devant être explorés:

Nombreux sont les domaines qui doivent être explorés pour arriver à une vision africaine du réchauffement climatique prenant en compte les spécificités géographiques et humaines, et pour identifier des priorités continentales en matière de lutte contre le réchauffement climatique, ainsi que l'identification des techniques et des méthodes d'approche adéquates.

Dans ce cadre, rappelons, sans développement:

a. La définition du rôle et de la place des sciences et des technologies dans une connaissance plus précise du phénomène de réchauffement climatique en Afrique, non plus globalement, mais par pays, par zones, tenant compte:

- des spécificités géographiques, (pays enclavés et pays côtiers et océaniques);
- des particularités topographiques, (montagnes, plaines, plateaux);
- des conditions pluviométriques et hydrologiques, (déserts, savanes, forêts);
- des caractéristiques pédologiques, humaines, animales...

b. L'identification des moyens pertinents et efficaces de lutte contre l'impact du réchauffement climatique et ses effets négatifs spécifiques en Afrique, ainsi que les mesures destinées à lutter contre la déforestation, qu'elle soit de nature socio économique, ou en rapport avec l'exploitation industrielle des forêts, lesquelles constituent pourtant un facteur naturel de lutte contre le réchauffement climatique et un élément majeur d'équilibre environnemental;

c. la contribution à la sauvegarde de la biodiversité, son maintien et son développement, et qui constitue également un facteur important de lutte contre le réchauffement climatique et participe au renforcement des actions destinées à réduire les gaz à effet de serre, tout en contribuant à la préservation de l'équilibre environnemental, et en permettant aux populations d'assurer les moyens d'une vie décente.

d. L'identification des axes de recherche scientifique, de transfert technologique et d'innovation, qui doivent être pris en compte dans les efforts tendant à l'adaptation des pays africains aux effets du réchauffement climatique, sans pour autant limiter, ou différer, leurs actions dans la réalisation d'un développement résilient et durable, ni brider leur désir d'assurer une vie meilleure et digne et une qualité de vie acceptable aux populations,

e. Le développement des axes de recherche scientifique et technique orientés sur le développement de l'agriculture du futur, celle qui tient compte des réalités climatiques, et qui devrait utiliser les technologies de biologie moléculaire, de biotechnologie, de génomique, de pédologie, de cartographie des sols en fonction de leur fertilité et des disponibilités hydriques, sans oublier les besoins essentiels des populations et de leurs cheptels.

Recommandations relatives à la création de structures institutionnelles pour accompagner la mise en œuvre des projets communs prioritaires:

Elles sont relatives à la mise en place de structures institutionnelles, d'action ou de coordination, pouvant contribuer à une meilleure connaissance du phénomène du réchauffement climatique en Afrique dans ses diversités, et à définir les moyens de l'adaptation du continent à ses effets, et ce, à travers:

a. la mise en place d'observatoires africains organisés en réseau, chargés de suivre les changements climatiques en Afrique couvrant l'ensemble du continent et d'appréhender, avec précision, sur les courts et moyens termes, l'impact du phénomène, non plus de façon globale, mais en fonction des territoires, des zones et des spécificités climatiques et humaines. Ces observatoires pourraient pallier l'insuffisance actuelle des données relatives au réchauffement climatique en Afrique, affiner ces données en prenant en compte les spécificités, et assurer leur suivi sur le long terme.

b. la mise en place d'observatoires chargés des études relatives au rôle des océans sur l'évolution du climat en Afrique. Leur apport dans une meilleure connaissance des effets du phénomène El Nino sur les évolutions régulières du réchauffement des océans et leur impact sur les pays, serait d'une

grande importance pour les prévisions climatiques et pour le développement des outils de lutte et l'adaptation.

c. *la constitution d'un groupe de travail africain de scientifiques pluri-disciplinaires* pour participer au choix des technologies efficaces pour contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique en Afrique, et pour définir les priorités africaines en matière de recherche, de recherche-développement et de transfert technologiques.

Ce groupe pourrait également encourager des innovations encore plus efficaces et moins coûteuses pour les économies d'énergie, ainsi que la production, le stockage, le transport et la consommation de l'énergie;

d. *la mise en place dans les universités africaines de réseaux de recherche et de formation de spécialistes africains*, dans les divers domaines du climat: météorologie, climatologie, océanographie, environnement, agronomie, etc...

e. *création d'une instance africaine de l'agriculture du futur* chargée d'initier les projets de recherche et de coordonner les actions de développement des sciences et la maîtrise des technologies pour inventer une agriculture basée sur la rationalisation des ressources hydriques disponibles, sur les choix des spéculations et plantes adaptées à la fertilité des sols et au stress hydrique, sur le développement des biotechnologiques et des techniques de biologie moléculaire, pour garantir des productions quantitativement acceptables et qualitativement pertinentes garantissant ainsi un bon état de santé aux populations et au bétail, une limitation des déplacements des communautés, de l'émigration et des drames humains qui pourraient découler des effets du réchauffement climatique.

f. *la mise en place d'une instance africaine chargée de la conception et de la promotion des mécanismes de coopération entre pays africains*, et entre pays africains et d'autres pays, pour lutter contre les conditions concourant à l'aggravation du réchauffement climatique, notamment grâce à la recherche scientifique et l'innovation.

Au total, le continent africain qui n'a participé que très modestement au réchauffement climatique, et dont ses émissions de gaz à effet de serre ne représentent que 4,4% du total mondial, est concerné, plus que tous les autres, par le phénomène du réchauffement climatique et par

ses conséquences, tant sur les populations que sur la faune et la flore du continent.

Sans avoir à sacrifier leurs ambitions de développement et de bien-être, les pays africains devront profiter de l'accord de la communauté internationale sur la lutte contre le réchauffement climatique, pour choisir l'entrée dans une économie verte, à même de contribuer à l'atteinte des objectifs définis, tout en garantissant un développement global, durable, résilient et inclusif, et un avenir meilleur.

Ce choix passe par des actions concrètes et multiformes de développement des sciences, de transfert technologique et d'innovation:

- grâce à la mise en place de réseaux africains de recherche, de formation de spécialistes, et de coordination, dotés de moyens scientifiques et de ressources humaines compétentes,
- grâce à l'identification et au choix des solutions les plus efficaces, et à l'adoption des techniques les plus adaptées aux conditions spécifiques pour l'adaptation au réchauffement climatique et à ses effets négatifs,
- grâce à l'adoption d'une économie verte, notamment basée sur une agriculture du futur et sur le développement des énergies renouvelables.

Dans cette perspective, les académies africaines des sciences et leur réseau que constitue le NASAC, s'engagent à se mobiliser, et à mobiliser l'ensemble des scientifiques, universitaires, chercheurs et ingénieurs africains:

- pour participer à une conception africaine des questions du réchauffement climatique, tenant compte des spécificités continentales, des réalités géographiques, climatiques, océanographiques et humaines,
- pour faire émerger une conception spécifique de lutte contre le réchauffement climatique en Afrique, et pour une adaptation intelligente à ses effets qui soit en harmonie avec les besoins des pays africains et avec leur engagement de développement et leur désir d'un avenir meilleur,
- pour contribuer à la mise en place des instruments et des moyens destinés à accélérer le développement et la maîtrise des sciences et des technologies qui soient au service d'un développement global et durable.

Environnement et développement dans les Régions du Sud du Royaume

Ahmed EL HASSANI

Directeur du Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer



Dans le cadre de la célébration du 10^{ème} Anniversaire de l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, l'Académie et l'Agence pour la promotion et le développement économique et social des Provinces du Sud du Royaume (Agence du Sud), en étroite collaboration avec la Wilaya

de Dakhla - Oued Dahab; la Région de Dakhla-Oued-Eddahab et le Conseil Economique, Social et Environnemental (CESE), Ont organisé une journée d'étude sous le thème : «**Environnement et développement dans les Régions du Sud du Royaume**».



Vues de la salle de conférence

Grandes lignes du Nouveau modèle de développement pour les provinces du Sud

Ce modèle, présenté par Prof. D. Guerraoui, a été élaboré par le Conseil Economique Social et Environnemental (CESE). Ce modèle a pour principale ambition d'insuffler une nouvelle dynamique socio-économique porteuse de croissance et génératrice d'emplois, avec la participation active des citoyens de ces provinces.

Ce nouveau modèle, que le CESE propose d'inscrire dans une vision temporelle sur un horizon de 10 ans, vise l'amélioration du bien-être des citoyens, dans le respect de la personnalité et de la diversité culturelle des provinces du Sud et au service de leur épanouissement. L'horizon temporel retenu par le CESE permet de susciter des inflexions importantes, tout en mettant en œuvre des mesures urgentes répondant aux attentes pressantes des populations locales.

Le périmètre de déploiement de ce modèle de développement s'étend des régions administratives actuelles de Laâyoune–Boujdour–Sakia Al Hamra et d'Oued Eddahab–Lagouira à celles Guelmim–Es Smara, en raison tant des liens historiques et sociaux que de la continuité géographique qui unissent ces territoires.

Le CESE a focalisé ses travaux sur les dimensions économiques, sociales, environnementales et culturelles du modèle de développement. Les éléments de gouvernance qui y sont liés ont également été pris en compte. Il a également veillé à la conformité de ses recommandations, dans l'esprit et dans la lettre, avec le projet de régionalisation avancée.

Biodiversité de la Baie de Dakhla

Les différents aspects de la biodiversité de cette baie, présentés par Pr. O. Assobhei et Pr. B. Zourarah, montrent qu'il s'agit d'un espace fortement sollicité en raison du processus de littoralisation. Pour cela on constate :

- Une migration des populations vers le site, pour les richesses halieutiques,
- la maritimisation de l'économie, qui va accompagner le développement des transports maritimes intercontinentaux et des grands ports maritimes (zones industrialo-portuaires),
- Concentration de la population et des activités économiques en bord de mer.

Sur le plan de la biodiversité, la baie de Dakhla montre une grande potentialité et une grande biodiversité dont l'écosystème, fragile, doit être conservé et protégé. En effet, la Baie constitue une Zone atelier pour le suivi des effets des changements globaux sur l'écosystème, notamment le changement climatique dans une zone de transition entre deux grandes régions biogéographiques. Il serait donc opportun de créer un observatoire au niveau de la Baie de Dakhla dont l'objectif serait de :

- Produire la connaissance scientifique et réaliser un suivi environnemental de la baie.
- Mobiliser et valoriser les données produites par les différents intervenants au niveau de la Baie.
- Jouer un rôle d'interface entre producteurs de données scientifiques (...) et usagers institutionnels et professionnels au niveau de la baie pour une meilleure utilisation de la ressource
- Faire de la Baie une Zone-Atelier pour le suivi des effets des changements globaux sur l'écosystème, notamment le changement climatique.

Potentialités géologiques et minières des provinces du sud

L'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM), s'intéresse aux potentialités géologiques et minières des Provinces du Sud dans le cadre d'une stratégie de développement. Dr. O. Sadki, indique que depuis 2002, plusieurs campagnes stratégiques de géochimie, de géophysique aéroportée et de télédétection sur de grandes superficies ont été réalisées.

L'interprétation des résultats de ces campagnes, basée sur des méthodes nouvelles, tel que le ciblage conceptuel, ont permis de dégager plusieurs anomalies géophysiques et géochimiques et de mettre en évidence des cibles à potentiel minier qui ont fait l'objet de contrôle géologique sur le terrain. Ainsi, Plusieurs indices et prospects sont en cours de contrôle et de développement tels que les indices de Twihinate, Lamлага, Lahjeyra et de Gleibat Lafhouda.

En effet, la réussite d'une partie des projets développés dans ces régions aura un impact très positif dans le développement socio-économique de ces régions et dans la mise à niveau des infrastructures dans les Provinces du Sud.

L'ONHYM consacre actuellement plus de 50% de ces activités dans les Provinces du Sud. Il continuera à prospecter dans ces régions afin de contrôler les anomalies mises en évidence et de développer les indices et les prospects découverts. Ainsi, l'ONHYM participera à l'amélioration des connaissances en géologie régionale et à la mise en valeur des ressources minières pour le bien de ces régions.

Océanographie de la baie de Dakhla

L'Institut National des Recherches Halieutiques (INRH) s'intéresse particulièrement à l'état océanographique de la baie de Dakhla. Dr. K. Hilmi a indiqué que le phénomène des upwellings joue un rôle important dans les migrations spatiales de la faune marine ainsi que leurs influences sur les côtes marocaines. Le conférencier a montré que des pressions anthropiques sur la baie sont en croissance continue et qu'un programme d'action a été élaboré par l'INRH, qui consiste à :

- conserver et préserver les caractéristiques bioécologiques et maintenir les fonctionnements naturels de la Baie de Dakhla;
- contribuer au développement des communautés locales ;
- promouvoir et développer un tourisme durable valorisant le site;
- développer une prise de conscience de l'importance écologique de la Baie;
- mettre en place un système de suivi écologique, de recherche scientifique et de renforcement des systèmes d'observations marines.

Le Réseau de Surveillance du Laboratoire INRH de Dakhla entreprend des actions régulières qui consistent à la surveillance de la stabilité des différents paramètres microbiologiques, chimiques (métaux lourds) et des biotoxines marines dans les mollusques bivalves, ainsi que le phytoplancton nuisible dans l'eau de mer.

Le géo-tourisme, comme facteur de développement du secteur touristique

Les premiers résultats d'un important projet de recherche financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques ont été présentés par Prof Saddiqi, (responsable du projet) où il a mis l'accent sur l'importance des sites sur le plan géo-touristique. Deux axes sont retenus :

- la géologie et l'archéologie autour de la Baie de Dakhla en insistant sur la préservation des affleurements et des sites archéologiques.
- un itinéraire (géotraverse) qui part de Dakhla vers le Sud-Est (Aousserd) à la découverte des roches précambriennes, dont l'âge remonte à plus de 3 milliards d'années, constituent donc les témoins des roches les plus anciennes du Maroc.

Rappelons, enfin, que la communauté internationale des géologues s'intéresse de très près à cette région, car elle permet de se rendre compte d'une tranche importante de l'histoire de la terre. Ce qui ouvrira certainement une large coopération scientifique aussi bien avec les universitaires marocains qu'avec la Région de Dakhla oued Dahab.

Les Écosystèmes forestiers

La richesse des écosystèmes forestiers de ces régions constitue l'une des priorités du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification (HCEFLCD). Leur remarquable biodiversité et leur multifonctionnalité montre, selon Dr. S. Hajib, trois rôles principaux :

Rôle environnemental, car Plus de 62% sont considérées comme ayant un rôle à dominance de protection et constituent :

- un rempart pour la lutte contre la désertification et la dégradation des terres (protection des barrages, conservation des terres pastorales, agricoles, des oasis et des infrastructures),
- un réceptacle pour la conservation de la biodiversité: le 2^{ème} de la Méditerranée,
- et une atténuation du réchauffement climatique, épuration de l'air, absorption du CO₂ (environ 23 millions de Tonnes).

Rôle social qui consiste en:

- un droit d'usage pour 8 millions d'habitants du bois de feu, du pâturage, et des produits non ligneux,
- de la création d'emploi au profit des populations rurales (10 M JT/an),
- l'offre de bonnes conditions, de bien être et de santé (175 forêts urbaines et péri-urbaines sur 162.000 ha).

Rôle économique :

- valeur annuelle directe de plus de 7 milliards de DH,
- approvisionnement de 60 unités industrielles (bois d'œuvre et d'industrie, liège, ...),
- 18% de la composition énergétique nationale,
- le parcours offre en moyenne l'équivalent de 15 millions de quintaux d'orge par an.

Par ailleurs, le conférencier a insisté sur la nécessité de protéger la plupart des espèces animales et végétales de la Région. Il a mis l'accent sur la présence du Phoque moine dans la baie de Dakhla, espèce extrêmement rare, dont la protection est devenue une affaire mondiale, puisque cette partie du Maroc héberge la dernière véritable colonie pour cette espèce.

De la planification stratégique à la réalisation

Les planifications du HCEFLCD se résument comme suit :

- **lutte contre l'ensablement** : Protection des infrastructures socio-économiques, la reconstitution de la végétation dunaire par la plantation d'espèces adaptées et la fixation mécanique et biologique des dunes (sources d'ensablement). Fixation de 39.000 ha de dunes dans 18 provinces et création de 7 ceintures vertes dans les provinces du Sud.
- **amélioration sylvo-pastorale** axée sur l'amélioration de la qualité des parcours (cactus) par la création des activités génératrices de revenus au profit des populations locales (fruit de cactus) et la plantation de cactus sur plus de 3500 ha.
- **création de ceintures vertes** : plus de 1020 ha pour l'amélioration des conditions de vie des populations urbaines, la protection des villes et agglomérations et des infrastructures socio-économiques contre le vent et ses apports.
- **conservation et valorisation de la biodiversité**: classement de 14 Sites d'Intérêt Biologique et Écologique (SIBE), avec la création de deux Parcs Nationaux (Iriqui et Khnifiss), le Parc national de Dakhla est en projet; élaboration de plans d'aménagement et de gestion pour les SIBE et réintroduction des espèces disparues.
- **aménagement des forêts péri-urbaines (FUP)** : Création d'espaces récréatifs pour les citoyens, aménagement des forêts pour accueillir les

visiteurs dans de bonnes conditions (Dakhla sur 10 ha et Guelmim sur 67 ha).

- **conservation des eaux et sols** : des actions de lutte contre l'érosion dans les bassins versants, la conservation des terrains pastoraux et agricoles (les oasis et les périmètres irrigués), l'amélioration du bilan hydrique de la nappe phréatique par la construction de 28.630 m³ de seuils en gabion et des pierres sèches.
- **reconstitution des formations autochtones**: reconstitution des formations à base d'*Acacia raddiana* avec la réalisation de plus de 4000 ha d'acacias sahariens depuis 2005.

Enfin, **les Priorités de la Recherche Forestière** consistent à lutter contre la dégradation des terres par :

- la maîtrise des techniques de multiplication des espèces sahariennes,
- la caractérisation des plantes aromatiques et médicinales en vue de leur valorisation,
- la recherche sur les techniques de fixation des dunes,
- et enfin l'utilisation de la géomatique pour le suivi du processus de désertification.

Elevage camelin

Ce type d'élevage au Maroc, présenté par Mr B. Faye (CIRAD/FAO), est un enjeu important pour le développement durable des provinces du Sud, qui fait face actuellement à trois défis majeurs:

- la confrontation à l'un des points chauds de l'interaction, "élevage/ environnement" à savoir la lutte contre la désertification,
- la modification des relations traditionnelles avec le dromadaire et les changements dans les systèmes de production (intensification),
- l'intégration aux marchés nationaux et internationaux dans une économie globalisée.

Les recherches sur l'élevage camelin et sa durabilité doivent s'impliquer sur cinq enjeux principaux :

1. la contribution des camelins à l'émission des gaz à effet de serre en lien avec leur démographie (travaux pionniers au Maroc),
2. l'évaluation et la préservation de la biodiversité génétique cameline (quel potentiel?),
3. l'évaluation des changements métaboliques chez le dromadaire dans des systèmes intensifiés,

4. le contrôle des maladies transfrontalières chez une espèce particulièrement mobile,
5. le futur rôle social et économique de l'élevage camelin dans un monde de plus en plus urbanisé.

Quels sont alors les engagements du Maroc dans ce sens ? Plusieurs projets sont en cours:

- sécurisation des systèmes pastoraux (hydraulique pastorale, accès à la complémentation alimentaire, appui à la protection sanitaire du cheptel,...),
- valorisation des produits traditionnels (Tichtar, loudek,...),
- innovations techniques pour proposer de nouveaux produits (fromage, lait en poudre, saucissons, etc...).

Les contraintes de la «camélogie» au Maroc, se résument en :

- peu de moyens attribués à ce secteur,
- des zones d'élevage éloignées des centres de recherche (particulièrement vrai au Maroc),
- l'espèce a un cycle long,
- l'entretien en station expérimentale est coûteux,
- enfin il y a la grande mobilité des éleveurs (nomades).

Pour cela il y a :

- nécessité d'une prise de conscience des décideurs politiques et des bailleurs de fonds de la place de ces espèces dans le développement des régions arides.
- nécessité d'accompagner les producteurs vers l'intensification des productions camélines (le dromadaire dans la «modernité»).

Enfin, le spécialiste du chameau rappelle que:

- le développement durable n'est pas un défi uniquement pour l'élevage camelin, mais centré sur l'animal du désert par excellence, la responsabilité de cet élevage est particulier car il contribue au maintien des activités rurales dans ces régions et à l'économie des ménages qui y vivent,
- l'intensification n'est pas forcément la voie inéluctable pour cette espèce, mais les éleveurs camelins sont confrontés à plusieurs défis en même temps, à savoir le maintien

de la biodiversité cameline, seule garante de l'amélioration des performances de production, une meilleure gestion des ressources pastorales, la fourniture de produits à haute valeur ajoutée répondant aux demandes des consommateurs urbains.

Il s'agit, enfin, pour les éleveurs de préserver le futur de cet animal extraordinaire et des systèmes d'élevage en pleine mutation.

Agriculture sous serres

La journée d'étude s'est également intéressée à la Production agricole sous serres dans les provinces du Sud du Royaume. L'expérience de la Société Soprofel-Idyl a été présentée par Mr F. Chevalier qui a exposé :

- l'impact de ce type d'agriculture sur l'environnement,
- l'état de l'exploitation de la nappe phréatique,
- l'occupation des sols et les transformations du milieu,
- et enfin la production de déchets.

Le conférencier note qu'à ce jour, il n'y a pas de baisse de débit de la nappe phréatique et que des études sont en cours pour l'utilisation d'eau de mer (technique déjà utilisée aux Canaries). Par ailleurs la technique de recyclage des eaux usées pour création de roselières et plantation d'arbres est en cours d'utilisation. Les sous produits du maraîchage sont utilisés pour la production d'ensilage (Convention avec la fondation Phos-Boucrââ). Notons enfin que cette activité agricole est créatrice d'emplois directs; la région est passée de 400 salariés en 2004 à environ 4 000 salariés en 2016.

Station de Recherches sahariennes

Si la plupart des études de laboratoires sont faites dans les milieux universitaires nationaux et internationaux, les provinces sahariennes ont également une Station de Recherches Sahariennes, située à Aouinet Torkoz (Aouinet Lahna) dans la Province d'Assa-Zag. Dr L. Mahraoui, au nom du Groupe d'Etude et de Recherche des Ecologistes Sahariens (GERES) rappelle que cette station relevant de l'Université Mohammed V de Rabat, a un historique remontant aux années trente du siècle dernier.

Pour que cette région puisse se projeter dans l'avenir, il apparaît donc nécessaire de mettre en valeur ses

atouts et lui donner une nouvelle dynamique en y développant des activités nouvelles, durables et génératrices de revenus stables.

Le conférencier rappelle qu'il y a dans cette région une place véritable pour un tourisme culturel associé à un tourisme d'aventure et de découverte lesquels viendraient compléter, de manière combinée ou indépendante, l'écotourisme.

Les actions nécessaires à mettre en œuvre pour réactiver cette station de recherche seraient la mise en place des activités potentielles de la station de recherches, une fois celle-ci réhabilitée, par :

- La création d'une structure chargée d'aider les artisans à produire des copies de fossiles en résine afin de pouvoir les vendre (les originaux devront rester à la station, les acheteurs seront informés de la nécessité de préserver les originaux).
- La poursuite du regroupement d'ouvrages amorcé par le GERES en vue de la création d'une véritable bibliothèque utile aux chercheurs mais également à tout visiteur intéressé.
- La création au sein de la station d'une cellule chargée de la protection des peintures et des gravures rupestres.
- La mise en place d'une exposition permanente sur la faune et la flore sahariennes de la région, mais aussi de l'ensemble du Sahara, qui aborderait les problématiques liées aux questions de conservation/réhabilitation et informerait les citoyens et les visiteurs de la région sur l'écologie des différentes espèces et sur la situation dramatique et les menaces qui pèsent sur de nombreuses espèces...
- Faire de la station un poste d'observation et un outil de la lutte contre la désertification par la restauration des écosystèmes en y organisant un département propre à cette problématique.
- La création d'un département de géologie
- La mise en place d'une cellule d'évaluation et de restauration de la biodiversité : faune et flore par la réintroduction progressive d'une série d'espèces en voie de disparition ou ayant disparues de la région.

Les retombées sont d'ordre culturel et scientifique (chercheurs au niveau national et international) d'ordre socio-économiques (retombées directes : emplois dans les différents départements musée-bibliothèques... et indirectes : hébergement, restauration, transport ...).

Rôle des ONG dans la Conservation de la Biodiversité

Les Organisations non gouvernementales sont très actives dans cette Région. L'une d'elle, **Nature initiative**, s'intéresse particulièrement à la préservation de la faune et de la flore. Son Président, Mr Semlali, après avoir rappelé les objectifs de l'association, a axé le débat sur les problèmes de conservation de la faune dans la Baie de Dakhla, particulièrement le phoque moine, et aussi sur la sauvegarde de la faune saharienne (les gazelles notamment). La chasse illégale est devenue un vrai défi qui inquiète la société civile et qui menace la survie des dernières gazelles *dorcas* déjà menacées d'extinction. Des mesures doivent être prises pour la sauvegarde et la protection du patrimoine naturel de la Région pour en faire un élément essentiel du développement durable.

Liste des intervenants

Pr. Albert SASSON, Directeur du Collège des sciences du vivant (AH2ST): modérateur.

Pr. Driss GUERRAOUI (CSCE) : Le schéma de développement économique et social des Provinces du Sud du Royaume.

Pr. Omar ASSOBBHEI (AH2ST) : La Baie de Dakhla : écosystèmes, vulnérabilité et investissement touristique.

Pr. Bendahhou ZOURARAH (Université Chouaib Doukkali): Protection et conservation des écosystèmes marins du Sud marocain.

Pr. Omar SADDIQUI (Université Hassan II de Casablanca) : Géo-tourisme, composante du développement durable.

Dr. Othman SADKI (ONHYM) : Prospection minières et développement.

Dr. Karim HILMI (INRH) : Etat Océanographique de la Baie de Dakhla.

Dr. Said HAJIB (CRF) : Réhabilitation des zones arides et lutte contre la désertification.

Mr. Bernard FAYE (CIRAD, Montpellier, France) : Elevage camelin.

Mr. Mohamed El Amine SEMLALI (Nature Initiative): Protection de l'environnement, biodiversité et développement durable dans le Sud du Maroc.

Mr Franck CHEVALIER (Sopropel-Idyl) : Production et exportations horticoles.

Dr. Lahcen MAHRAOUI (GERES) : L'expérience et les propositions du GERES, 2002-2009.

Place et fonction des Sciences Humaines et Sociales dans l'enseignement des Sciences et Technologies



A. BOUKHARI



M. ZIYAD



M. SMANI

Collège Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique

L'examen des programmes de formation en sciences et technologies dans l'enseignement supérieur montre un manque d'intérêt aux sciences humaines et sociales (SHS) comme disciplines d'ouverture. Or, l'introduction de modules des SHS, étalée sur le cursus de la formation pour les ingénieurs ou les étudiants en Master ou en Doctorat, peut améliorer l'insertion des lauréats dans le monde socio-économique et faciliter le transfert des technologies et d'innovation.

Divers modules comme la communication, la culture générale, l'ouverture aux humanités, l'histoire, la géopolitique, la sociologie ou l'éthique entre autres, sont importants pour une ouverture sur le monde. La connaissance des langues étrangères et particulièrement l'anglais constitue aussi un atout non négligeable. Quelle place devra occuper alors l'enseignement des SHS dans les formations scientifiques et techniques?

L'enseignement des SHS peut être favorisé au niveau des écoles d'ingénieurs, des filières de Masters et des doctorants où le nombre limité d'apprenants est limité. Les métiers de la santé, par exemple, ont plus besoin de la communication et de la sociologie. L'entreprise, en plus de la communication et de la sociologie, a besoin d'autres modules tels le management, le marketing, le développement durable,... Quelle stratégie faut-il donc adopter pour l'introduction des SHS dans le cursus, sans gêner la formation des spécialisations requises?

Le séminaire «Place et fonction des Sciences Humaines et Sociales (SHS) dans l'enseignement des sciences et technologies», premier en son genre dans notre pays, sur initiative de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a eu lieu le 20 avril à la Faculté des Sciences de l'Education de l'Université Mohammed V de Rabat, dans la cadre de la commémoration du 10^{ème} anniversaire de

l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, par Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu L'assiste. Il a été organisé en partenariat avec le Ministère de l'enseignement supérieur, la recherche scientifique et de la formation des cadres, l'Université Mohammed V de Rabat et la Faculté des Sciences de l'Education de Rabat.

Le séminaire a traité des aspects qui aideront au renforcement et au développement des modules d'ouverture SHS dans la formation en sciences et technologie. La journée s'est penchée aussi sur l'apport des SHS dans le transfert des technologies, de la valorisation de la recherche scientifique et de l'innovation. Elle a été animée par des spécialistes sous forme de conférences et de débat.

A cette occasion, un groupe de réflexion a été créé, formé d'enseignants chercheurs en sciences et techniques, de didacticiens, de sociologues,... pour l'intégration des SHS dans les curricula des sciences et techniques.

La première conférence a été donnée par le Professeur M. Tahiri, Directeur de l'enseignement et du développement pédagogique et concerne '*l'expérience marocaine de l'enseignement des SHS dans les cursus en sciences et technologies*'.

Le conférencier a tout d'abord évoqué les caractéristiques (d'avant 2003) du système d'enseignement marocain et particulièrement la forte spécialisation des élèves dès le second cycle de l'enseignement secondaire. De cette spécialisation injustifiée et qui se poursuit dans l'enseignement supérieur résulte un cloisonnement intellectuel à un âge relativement précoce. Les institutions d'enseignement sont aussi dans la même logique d'isolement. Elles sont séparées et indépendantes les unes des autres. Cela ne favorise évidemment pas les échanges entre les établissements ni la collaboration dans des projets communs. Par ailleurs, les curricula sont figés et

n'offrent aucune liberté d'action ni de modules optionnels. Il n'y a pratiquement pas d'activités parascolaires qui aideraient à l'épanouissement et à l'ouverture d'esprit des élèves.

En 2003 est entrée en application la nouvelle réforme (Loi 01/00) qui avait principalement pour but :

- d'augmenter l'employabilité des lauréats du système.
- d'accroître le rendement interne du système en réduisant les déperditions (décrochages).
- de mettre en application la Carte de formation (Loi 00/01).

Pour assurer ces objectifs l'architecture LMD a été mise en place. Cette réforme prévoit des évaluations pédagogiques plus fréquentes, un système national d'accréditation et l'introduction d'un module Sciences Humaines et Sociales obligatoire. Cependant, le Cahier des normes (CNP) ne précise malheureusement rien sur le type d'enseignement SHS à mettre en place. Il s'est essentiellement orienté vers les techniques de communication et l'enseignement des langues. Au niveau des 'Masters', un bloc de 'modules outils' a été également introduit.

En conclusion, il apparaît qu'il y a une prise de conscience sur la nécessité d'introduire les SHS dans les curricula malgré le manque patent d'enseignants compétents à ce niveau. Les SHS introduisent une multidisciplinarité qui est nécessaire et utile dans les cursus scolaire.

La deuxième conférence concerne le déploiement rationnel d'une politique éducative dans l'enseignement. Elle a été donnée par Mme Linda Gardelle (ENSTA, Bretagne, France) qui a fait énormément référence aux travaux de Denis Lemaître. D. Lemaître est responsable de l'équipe de recherche '*Formation et professionnalisation des ingénieurs*' à l'ENSTA de Bretagne. L'idée de base est que l'introduction des SHS dans les cursus étudiants est importante surtout à l'heure de la globalisation. Les langues, la culture et la connaissance de l'autre sont des outils nécessaires.

Il est communément admis que l'éducation doit conduire à la formation de '*l'honnête homme*' qui brille par son savoir et dont l'employabilité est aisée. Les humanités sont, de ce point de vue, tout aussi importantes que les sciences dures. En effet, les ingénieurs par exemple ne sont pas appelés à inventer mais à savoir présenter correctement et exploiter de manière optimale

des résultats déjà connus. La gestion (gestion de projet) est, par conséquent, une activité que tout ingénieur doit maîtriser. Les compétences sociales doivent faire partie intégrante de son métier. Les entreprises exigent actuellement des ingénieurs d'avoir plus de culture que de savoir-faire. Cette évolution résulte probablement de la révolution informatique dans laquelle les machines se substituent de plus en plus à l'homme pour les tâches techniques. Le cadre de demain tel que décrit doit être à l'aise dans l'interculturel et le management des projets. Evidemment, tout ceci ne peut être acquis que si les SHS occupent dans les curricula une place honorable, c'est-à-dire qu'il y ait un amenuisement des frontières entre le manager et l'homme de science.

Dans la suite de son exposé la conférencière s'est attachée à décrire les différentes catégories d'institutions d'enseignement et leurs préoccupations pédagogiques. Elle a évoqué les trois types de modèles qui se sont historiquement développés et qui continuent d'exister aujourd'hui. Le premier modèle est celui de l'éducation libérale, basé sur le développement personnel (c'est un modèle d'origine anglo-saxonne). L'étudiant est appelé à traiter les problèmes de façon à élargir sa conscience. Ce modèle insiste sur le fait qu'il n'y a pas que l'érudition qui compte. La connaissance de soi (gestion du stress) et la capacité à interpréter le monde (harmonie sociale) sont aussi importantes.

Le second modèle (modèle du spécialiste) est celui des institutions dédiées à la recherche scientifique (modèle inspiré de Humboldt). Ce modèle évoque aussi l'importance de la préparation de l'étudiant (ou de l'ingénieur) au monde dans lequel il va intervenir et à la réflexion sur ses actions. Les SHS dans ce contexte sont un outil et un instrument d'intégration.

Le troisième modèle est un modèle de détachement orienté vers l'éducation utile qui est au service de l'application des savoirs aux besoins sociétaux.

En conclusion, il apparaît qu'il est indispensable de placer l'homme au cœur de tous les systèmes quels qu'ils soient pour assurer une place à la créativité. Les SHS constituent une ouverture nécessaire. Il faut juste choisir judicieusement la manière de leur mise en œuvre.

Le conférencier Moulay Larbi Abidi, Directeur de l'Ecole Mohammedia d'Ingénieurs, Rabat, a développé ensuite la question «*Quel enseignement des SHS pour les ingénieurs?*». Il a rappelé,

au début de son intervention, l'importance de la dimension humaine dans la formation des ingénieurs et que le corps enseignant doit être aussi sensibilisé activement pour réussir ce passage entre le savoir technique et la formation en SHS dans une société en mutation. Les SHS peuvent apporter un plus dans la formation de l'ingénieur, malgré que les stages en entreprises et les projets de fin d'études sont une occasion pour rencontrer le milieu des entreprises. Les activités para universitaires que suivent ou organisent les futurs ingénieurs favorisent cette dimension d'ouverture sur la société.

Le conférencier a précisé ensuite que le chantier de l'enseignement des SHS pour les ingénieurs, actuellement à son début, est vaste pour sortir de l'enseignement classique. Cependant, dans cette évolution des curricula, les programmes des SHS doivent avoir des solutions adaptées à notre société et prendre une dimension sociale importante. Nous devons alors changer de paradigme et adopter une pédagogie innovante.

Le Professeur A. Bel Lakhdar, Faculté des Sciences de l'Education, Université Mohammed V, Rabat quant à lui, a développé le «Rôle des SHS dans le transfert des technologies et la valorisation de la recherche scientifique». Au début de son intervention, l'orateur a fait l'analogie entre «transfert pédagogique» et «transfert technologique» et que tous les deux doivent aboutir à la possession des acquisitions; et l'innovation est un coup de destin et le génie amène à innover.

Le conférencier a précisé ensuite que l'innovation dynamise la formation qui induit un processus allant de l'«apprentissage satisfaisant, et l'acquisition suit alors les paliers suivants: apprentissage, capacité à résoudre les problèmes, dépassement critique, opérationnalisation inventive et enfin l'innovation».

Le Professeur Bel Lakhdar a saisi l'occasion pour mener une réflexion profonde sur l'innovation en SHS pour la démystifier et préciser son sens pédagogique et le lien entre invention, intégration de nouvelles technologies. Ainsi, pour le conférencier, toutes les sciences, sont des sciences «humaines» parce qu'elles ont pour objectif l'homme; donc «toutes doivent être exactes». Dans son intervention, l'orateur a exploré les possibilités pour accéder à la créativité et à l'innovation en ramenant les SHS à leur définition en intégrant les compétences transversales dites «humanités», l'individualisation et la création de

soi et l'impact sur le monde comme par exemple la créativité et l'innovation. Il a précisé aussi que les SHS sont un levier de créativité et d'innovation si elles placent 1) le «savant innovateur» dans la culture de sa science, 2) La culture dans la science et 3) la culture autour de la science et dans le monde.

Le dernier conférencier à intervenir dans la journée était le Professeur N. El Aoufi, de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques & Faculté des Sciences Economiques, Juridiques et Sociales, Rabat. Sa contribution, intitulée «De quelques usages des SHS: économie et innovation» a permis à l'assistance d'approfondir le rôle des SHS dans la thématique abordée.

Monsieur El Aoufi a rappelé que l'enseignement des SHS est une question qui reste posée à tous les formateurs à l'échelle mondiale et qu'actuellement nous observons un retour vers leur intégration dans les curricula. Il a donné des exemples d'usages des SHS en économie et l'innovation.

Enfin, un débat fructueux a eu lieu entre les participants à la journée. Il en ressort les principaux points suivants:

- créer un réseau mixte de réflexion sur l'intégration des SHS dans le cursus de formation en sciences et technologies, formé de professeurs en sciences et techniques, de professeurs chercheurs en didactiques universitaire, de sociologues, philosophes,...
- rapprocher Sciences exactes et technologies et SHS.
- développer la formation institutionnelle en SHS avec un volume horaire de 10 à 15%.
- accorder aux activités parascolaires la place qu'elles méritent dans les curricula. Elles sont nécessaires à l'épanouissement des élèves et étudiants.
- ne pas considérer les SHS uniquement comme un instrument qui assure l'employabilité en oubliant le côté généreux qu'elles inculquent aux individus.
- définir des programmes précis pour les SHS dans les filières scientifiques. Les langues s'apprennent dans les jeunes âges et non pas dans les cycles supérieurs.
- assurer une formation continue pour les enseignants des SHS.
- mettre en place des évaluations objectives des activités d'enseignement des SHS.

A. FILALI-MALTOUF¹

Restauration de la fertilité des sols : un défi mondial, une nécessité pour le Maroc *

1- Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

2- Professeur à la Faculté des Sciences Université Mohammed V de Rabat.

M. MISSBAH EL IDRISSE²

La fertilité des sols reste l'un des principaux problèmes auquel le Maroc essaye d'apporter une solution en développant de grands programmes nationaux tels que le Plan Maroc Vert.

L'Ecole Normale Supérieure, très engagée dans le domaine des énergies renouvelables et des biotechnologies microbiennes, a accueilli le 19 février 2016, les travaux de la journée sur la restauration de la fertilité des sols. L'objectif de cette journée, qui a vu la participation de conférenciers venus de tout le Maroc, mais aussi d'Espagne et du Sénégal, est d'aboutir à des recommandations utiles et pratiques pour la recherche nationale dans ce domaine.

En présence d'une assistance nombreuse représentant plusieurs institutions universitaires de différentes régions du Maroc, les mots de bienvenue ont été prononcés successivement par le Directeur de l'ENS, le Président de l'Université Mohammed V de Rabat, le secrétaire général de l'Association Marocaine de Microbiologie et le Directeur du Collège des Sciences et Techniques du Vivant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Tous ont souligné le grand intérêt des

biotechnologies microbiennes et leur apport pour une meilleure santé des sols, qui sont la principale source de l'alimentation humaine. L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques finance d'ailleurs un projet portant sur la thématique des biotechnologies microbiennes au service de l'agriculture et ce, dans le cadre de la coopération avec l'Académie des Sciences du Sénégal.

Dans sa conférence introductive de la journée, le Directeur Général de l'INRA-Maroc a exposé le projet de carte de fertilité des sols cultivés au Maroc.



Pr. M. BADRAOUI, Directeur de l'INRA-Maroc



Séance d'ouverture de la journée.

(*) Journée organisée dans le cadre de la célébration du dixième anniversaire de l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, en collaboration avec l'Ecole Normale Supérieure (ENS) de l'Université Mohammed V de Rabat et l'Association Marocaine de Microbiologie qu'elle abrite.

Ce projet est mené dans le cadre d'un partenariat stratégique entre le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime et le Groupe OCP et vise une meilleure fertilisation des principales cultures en fonction de l'état de fertilité des sols (1). Les composantes du projet portent sur (i) la synthèse de toutes les études pédologiques réalisées au Maroc, (ii) la réalisation de la cartographie des sols non encore étudiés (environ 2 Mha), (iii) l'évaluation de la fertilité des terres, (iv) l'élaboration des normes de fertilité des sols et des besoins des cultures, (v) l'élaboration d'une base de données géo-référencées avec le développement d'un système expert sous SIG-Web pour la fertilisation des cultures et (vi) la formation des cadres conseillers et techniciens dans ce domaine de la fertilité des sols et fertilisation des cultures.

L'extrême fragilité des sols ainsi que les menaces et les stress auxquels ils sont continuellement soumis sont en grande partie la conséquence des activités humaines. Ressources non renouvelables, leur préservation est essentielle pour la sécurité alimentaire et pour un avenir durable. Le programme de la FAO, tel que souligné par son représentant (2), s'appuie sur plusieurs objectifs tels que : (i) la sensibilisation des différentes parties prenantes sur les rôles fondamentaux des sols pour la vie humaine; il s'agit d'assurer la reconnaissance des contributions importantes des sols pour la sécurité alimentaire et la nutrition ainsi que l'adaptation et l'atténuation au changement climatique, la lutte contre la pauvreté et le développement durable, (ii) la promotion des politiques et des actions efficaces pour la gestion durable et la protection des ressources en sols, (iii) l'appel à l'amélioration rapide des capacités et des systèmes pour la collecte et le suivi de l'information sur les sols à tous les niveaux (mondial, régional et national), (iv) la catalyse des initiatives dans le cadre des objectifs de développement durable (ODDs) et du processus post-agenda 2015.

La gestion durable des sols pourrait ainsi aider à produire 58% de plus de nourriture d'une manière durable. La clé est de renforcer la santé des sols en favorisant leur gestion durable en s'appuyant sur la gestion de la matière organique. Il est donc nécessaire d'investir dans des programmes mondiaux et régionaux où toutes les parties prenantes prennent un engagement solide pour un objectif commun.

Les différents types de bio-fertilisants améliorent la santé du sol, diminuent la pollution générée par l'utilisation des produits agro-chimiques et

n'ont aucun effet néfaste sur la santé humaine et animale (3). La recherche dans ce domaine est relativement bien développée à l'échelle nationale et plusieurs équipes et laboratoires relevant d'établissement universitaires ou d'institutions de recherche ne relevant pas d'Universités, sont impliquées dans la recherche sur les biofertilisants. Le niveau de compétence est élevé, en témoigne le nombre de thèses et publications internationales produites. Une première analyse non exhaustive, basée principalement sur les publications ainsi que les communications prohibées lors des derniers congrès tenus au Maroc, a permis de constater que la majorité des équipes en sont encore au stade d'approches de base en matière de caractérisation des isolats, de production à l'échelle du laboratoire d'inocula pour les différentes expérimentations pionnières et de mener des essais pilotes sur le terrain. Il n'existe cependant pas encore d'unité de production d'inoculum microbien à l'échelle industrielle. De plus, aucune collaboration à l'échelle nationale n'est promue ni encouragée. Le manque de communication, de réseautage et d'une bonne volonté de coopération freinent les échanges et privent notre pays de la récupération de ce manque à gagner en termes de développement de procédés adaptés aux conditions locales et/ou régionales marocaines.

Par ailleurs, les opportunités de collaborations internationales, développées surtout avec les pays du nord, n'ont pas eu d'impacts réels et pratiques sur l'amélioration des sols marocains. La promotion des interactions profitables entre les chercheurs nationaux et avec la communauté scientifique internationale dans le domaine permettra de dégager des stratégies et des actions pratiques et durables pour le bien de notre pays. La production d'inoculum microbien devrait faire l'objet de projets de partenariat entre les chercheurs universitaires et les entreprises privées.

Bien que l'utilisation d'engrais azotés donne lieu à une augmentation significative de la production alimentaire, elle provoque aussi d'énormes effets secondaires indésirables, parmi lesquels la pollution par les nitrates de l'environnement et la libération de gaz à effet de serre, principalement de l'oxyde nitreux dans l'atmosphère (4).

Parmi les alternatives proposées afin de remédier à l'utilisation massive des engrais azotés, deux possibilités existent: (a) le processus de fixation biologique de l'azote par l'association symbiotique

Rhizobium-légumineuses et (b) l'utilisation des rhizobactéries améliorant la croissance des plantes (PGPR) comme biofertilisants. Les légumineuses et les plantes actinorhiziennes sont les seules à avoir la capacité d'établir des associations symbiotiques avec des bactéries du sol fixatrices d'azote connues sous le nom générique de rhizobium en formant des nodosités qui sont le lieu de fixation de l'azote atmosphérique. Cette capacité fait des légumineuses la plus importante source de protéines pour les pays en développement, la deuxième source de nourriture dans le monde, et une composante très pertinente pour l'alimentation et le fourrage animal.

Les bactéries qui colonisent la rhizosphère sont appelées rhizobactéries dont certaines, bénéfiques pour les plantes et connues par l'acronyme PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) jouent un rôle clé pour la croissance et le développement des plantes en intervenant dans: (a) la lutte biologique contre les pathogènes, (b) l'augmentation de la biodisponibilité des minéraux, (c) la production de phytohormones, (d) la fixation du diazote, (e) la phyto-stimulation, (f) l'activité ACC désaminase, (g) la production de cellulases,... etc. On estime que seulement 2 à 5% des bactéries de la rhizosphère sont des PGPR.

Les deux processus, fixation diazote par les rhizobia chez les légumineuses et l'utilisation des PGPR, constituent les bases de procédés avérés et prometteurs pour diminuer, voire supprimer l'utilisation abusive des engrais azotés.

Changements climatiques et stratégies d'amélioration durable de la fertilité des sols (5)

Devant l'importante dégradation des sols avec les changements climatiques, les chercheurs se sont investis à l'échelle mondiale pour proposer des stratégies de récupération des terres dégradées. Quelques expériences de savoirs locaux et traditionnels de gestion durable des sols existent. Elles sont basées sur la modification de l'environnement pour favoriser la croissance des plantes et/ou la sélection de celles adaptées à ces terres dégradées. Certaines ont été développées par les sociétés africaines, pour la prévention ou la récupération des sols agricoles dégradés et pour leur sécurité alimentaire. Ces stratégies peuvent être classées en quatre types d'actions: hydromécaniques, chimiques, biologiques et biomécaniques. Ces différentes stratégies de lutte contre la dégradation des sols nécessitent

une approche intégrée et participative dans le cadre d'un partenariat multi-institutionnelle et pluridisciplinaire.

La matière organique dans le sol: un enjeu de taille pour une agriculture durable (6)

La matière organique, en tant que lien essentiel et majeur entre les différents composants des sols, joue un rôle certain pour l'amélioration de leur fertilité. Bien avant l'apparition des engrais chimiques, la fertilité des sols était toujours maintenue ou améliorée grâce aux apports de diverses matières organiques ou MO (fumier, litière, bois, etc.). Toutefois, l'agriculture intensive, basée quasi-exclusivement sur l'apport d'engrais chimiques, la mécanisation du travail du sol et l'utilisation de produits phytopharmaceutiques ont conduit aux problèmes de réduction de la matière organiques des sols, leur rapide érosion et dégradation, réduction de leur fertilité, réduction des réserves et de leur qualité biologique, etc.



Achouri MOUJAHED, Conseiller Spécial du Directeur Général Adjoint de la FAO.

En fin de journée, une table ronde portant sur la coopération pour la restauration de la fertilité des sols a été modérée par le Pr Ait Kadi, membre de l'AHZST, il a introduit les débats en soulignant que les sols se trouvent à la croisée des enjeux globaux de sécurité alimentaire d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à ce changement. 24% des sols sont dégradés à des degrés divers, dont près de la moitié des sols agricoles. L'amélioration de la qualité des sols dans une optique d'accroissement de leur fertilité et de leur capacité à produire de la biomasse est donc nécessaire. La Commission mondiale sur l'économie et le climat a indiqué dans son rapport publié en 2014 que rendre seulement 12% des terres dégradées à la production agricole permettrait de nourrir 200 millions de personnes de plus sans recourir à la déforestation ni brûler de précieuses forêts. Les besoins en connaissance dans ce domaine sont très importants. Ils

concernent (i) une meilleure connaissance des cycles biogéochimiques associés à l'effet de serre et, plus particulièrement, de l'évolution des stocks de carbone organique du sol à différentes échelles de temps et d'espaces, en interaction avec l'état de la végétation et la disponibilité des sols en eau, azote et phosphore et (ii) l'immensité de la biodiversité des sols ainsi que la complexité des interactions entre organismes et leurs habitats sont encore peu connues en dépit des progrès majeurs au cours des dernières années. Ces progrès ont été rendus possibles par la révolution technologique des approches "omiques" qui permet l'exploration exhaustive et à haut débit du métagénome des sols.

Par la suite la parole a été donnée à l'assistance pour les questionnements relatifs aux conférences de la matinée. Les discussions ont surtout concerné la production des biofertilisants à l'échelle nationale, leur efficacité aussi bien à l'échelle pilote qu'au niveau du champ et la sensibilisation des agriculteurs. Les chercheurs devraient apporter des réponses aux questions et problèmes des bénéficiaires finaux que sont les agriculteurs. Ce serait un retour sur investissement en terme de savoir et de recherche. Les discussions ont aussi tourné autour de la création de plateformes régionales concernant la fertilité des sols à l'échelle de l'Afrique, par exemple, et le développement de la coopération et le partenariat avec le secteur privé à l'échelle nationale, comme celle développée entre l'INRA et l'OCP. Le Pr Badraoui a fait part du partenariat Sud-Sud développé par le Royaume avec les pays africains amis et frères dans un contexte gagnant-gagnant (WIN-WIN) et insisté sur la promotion de la coopération dans le domaine de la biofertilisation des sols et celle d'une solidarité positive. Il a souligné qu'afin de limiter l'exode vers l'Occident, il faudra développer l'Afrique qui ne représente pas seulement un marché, mais un grand potentiel de ressources aussi bien naturelles qu'humaines. Il faut qu'il y ait création de partenariat et réseautage entre les différents secteurs publics et privés au niveau du Maroc et de l'Afrique. La FAO appuie ce type de processus. Le secteur privé devrait aider les chercheurs et les inciter à coopérer dans ce domaine. Le Dr Achouri a rappelé que la FAO a toujours soutenu la coopération SUD-SUD et qu'il existe sept plateformes de partenariats régionaux et que la Russie, par exemple, a prévu plus d'un million d'euros pour mettre en œuvre les «directives volontaires».



Au 1^{er} plan, Pr. Eulogio Gomez BEDMAR, Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique, Espagne et Pr. DieganeDIOUF, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal.

A la fin de la discussion, le Pr Albert Sasson a pris la parole pour remercier l'ENS pour son accueil chaleureux. Il a rappelé les objectifs de l'organisation de la journée, qui selon lui ont été atteints. Avec comme principal objectif de rapprocher l'Académie de la communauté scientifique nationale, de susciter des questionnements, des approches et des solutions, et surtout de rapprocher entre eux les chercheurs marocains en vue de leur collaboration dans le domaine de la fertilité des sols.

Il a rappelé que le premier brevet de production d'un inoculum microbien a été fait en 1889 mais que, jusqu'à maintenant, il n'y pas à l'échelle nationale d'unité de production de ces inoculums. Beaucoup de travail reste donc à faire, mais avec la volonté de ses chercheurs, le Maroc arrivera à développer une telle unité de production, en coopération avec les pays amis africains, américains et européens.

Liste des conférences

- (1) *La carte de la fertilité des sols du Maroc*, M. BADRAOUI, Directeur de l'INRA, Maroc.
- (2) *Année internationale des sols: gestion durable des sols au-delà de 2015*, Achouri MOUJAHED, Directeur-Conseiller spécial au Directeur Général Adjoint, département des ressources naturelles, FAO.
- (3) *Compétences en recherche nationale relatives à la bio-fertilisation des sols*, Mustapha Misbah EL IDRISSE, Ecole Normale Supérieure, Rabat.
- (4) *Biological Alternatives to synthetic nitrogen fertilizers: from the Green to the Microbial revolution*, Eulogio J. BEDMAR, CSIC, Granada, Espagne.
- (5) *Changements climatiques et stratégies d'amélioration durable de la fertilité des sols*, Diegane DIOUF, Université Cheikh Anta Diop (UCAD), Dakar, Sénégal
- (6) *La matière organique dans le sol: Un enjeu de taille pour une agriculture durable*, Fikri EL YAHYAOU, Valorhyze, Groupe Eléphant Vert, Maroc.

Océanographie biologique Ressources biologiques marines

Ahmed EL HASSANI

Directeur du Collège des Sciences et Techniques
de l'Environnement, de la Terre et de la Mer



*Dans le cadre de la coopération bilatérale entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Academia das Ciências de Lisboa du Portugal et sur invitation de Mme la **Pr. Maria Salomé-Pais**, secrétaire générale, une délégation de scientifiques marocains¹ s'est rendue à Lisbonne les 2 et 3 mai 2016. Le thème choisi pour tisser les premiers rapports scientifiques entre les deux académies fut «Océanographie biologique - Ressources Biologiques Marines». Cette rencontre fut aussi l'occasion de présenter l'Académie Hassan II des sciences et Techniques, ses composantes et objectifs par **Pr Ahmed EL HASSANI** et du plan d'action du Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer qu'il dirige.*

A- Cas du Maroc

La délégation marocaine a présenté 3 exposés détaillant l'état des connaissances au Maroc.

Le milieu marin marocain

Dans son intervention **Pr. Omar Assobhei** précise que le Maroc, avec une superficie d'environ 1,1 million km² de la Zone Economique Exclusive (ZEE) et 3.500 km de côtes se développant sur deux façades maritimes atlantique et méditerranéenne, possède un littoral et un milieu marin qui occupent une place privilégiée au niveau de l'ensemble de la marge du continent africain. L'importance du transfert des eaux au niveau du détroit de Gibraltar et des upwellings côtiers, presque permanents, jouent un rôle majeur dans la productivité biologique et la biodiversité. En plus du milieu marin, le Maroc possède aussi un certain nombre de lagunes, plages, estuaires, baies, ...

Le Maroc présente également une diversité des écosystèmes marins, dont certains restent encore à découvrir. Ces écosystèmes marins sont d'une grande importance économique, écologique et esthétique pour le pays. Les zones côtières

marocaines concentrent 61% de la population urbaine, 80% des industries y sont implantées; elles possèdent 53% de la capacité touristique et 92% du trafic maritime.

L'activité économique marocaine liée à la mer se résume en une production halieutique d'environ 1 million de tonnes (valeur d'environ 5 Milliards de Dirhams en 2012 où la pêche côtière représente 85% de cette production (sardine) et la pêche hauturière est de 15% de la production nationale (céphalopodes). Le ramassage des algues (10.000 tonnes), de corail (3 tonnes), de moules, de palourdes, de coques... représente une exploitation souvent intensive et non contrôlée. Enfin, les pêches maritimes génèrent près de 400 000 emplois directs et indirects.

Le Maroc connaît une biodiversité marine très importante; elle est cependant menacée par la surexploitation (plusieurs espèces commerciales sont sérieusement menacées), l'eutrophisation, l'extraction des sables, l'introduction d'espèces étrangères, la pollution et le manque d'information et de surveillance des eaux libres (eaux internationales). Il faut signaler aussi que la perte

1- La délégation marocaine était composée de :

- Ahmed EL HASSANI, Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Directeur du Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer;
- Omar ASSOBBHEI, Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Membre Résident, Président de l'Université Sidi Mohammed Ben Abdellah de Fès;
- Bendahhou ZOURARAH, Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali El Jadida, coordinateur du Réseau National des Sciences et Techniques de la Mer (REMER);
- Hocein BAZAIRI, Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat.

de la biodiversité marine se manifestera par une capacité réduite des écosystèmes à répondre aux désastres naturels ou anthropiques, par l'accélération du changement climatique global, la perte économique (pêche, tourisme, protéines ...),

la limitation du potentiel de développement des biotechnologies marines et bien sûr une instabilité sociale/politique qui sont autant de menaces pour la survie de l'homme.



Photo 1 : la délégation marocaine reçue par son homologue portugaise au Centre hydrographique de Lisbonne.

Afin de protéger cette biodiversité, il faut reconstituer les ressources marines vivantes et les utiliser d'une façon durable. Pour cela des efforts de recherche et d'organisation institutionnelle consacrés aux écosystèmes marins marocains et aux sciences marines sont nécessaires.

Principaux programmes de recherche sur le littoral et plateforme continentale marocaine

Les principaux programmes de recherches sur le littoral présentés par le coordinateur du Réseau National des Sciences et Techniques de la Mer (REMER), **Pr. Bendahhou Zourarah**, concernent les programmes menés au niveau des écosystèmes côtiers tels que :

- le programme de surveillance de certaines zones aquacoles menées par l'Institut National de Recherches Halieutiques (INRH) ;
- les études de protection et/ou de valorisation de certains sites menées par la Direction des Ports et du Domaine Public Maritime (DPDPM)

- les programmes de recherche scientifiques menées par les universités, ainsi que par une aile du REMER s'occupant des lagunes du Maroc (LAGMAR);
- la campagne océanographique réalisée sur la plateforme continentale nord marocaine entre Larache et Agadir du 17 février au 11 mars 1978: GEOMAR I;
- la campagne océanographique réalisée sur la plateforme Ouest Rifaine du 1^{er} au 28 avril 1984 : GEOMAR II;
- Les projets de réalisation de profils sismiques et collecte de sédiments des fonds marins au large de la ville d'El Jadida (fig. 1 et 2) : PROTIT 1 (2001) & PROTIT 2 (2003);
- la campagne qui a permis l'enregistrement d'environ 3000 km de lignes sismiques entre les latitudes Safi et Tanger et de collecte de sédiments : NOMAD 2007 (Fig. 3).

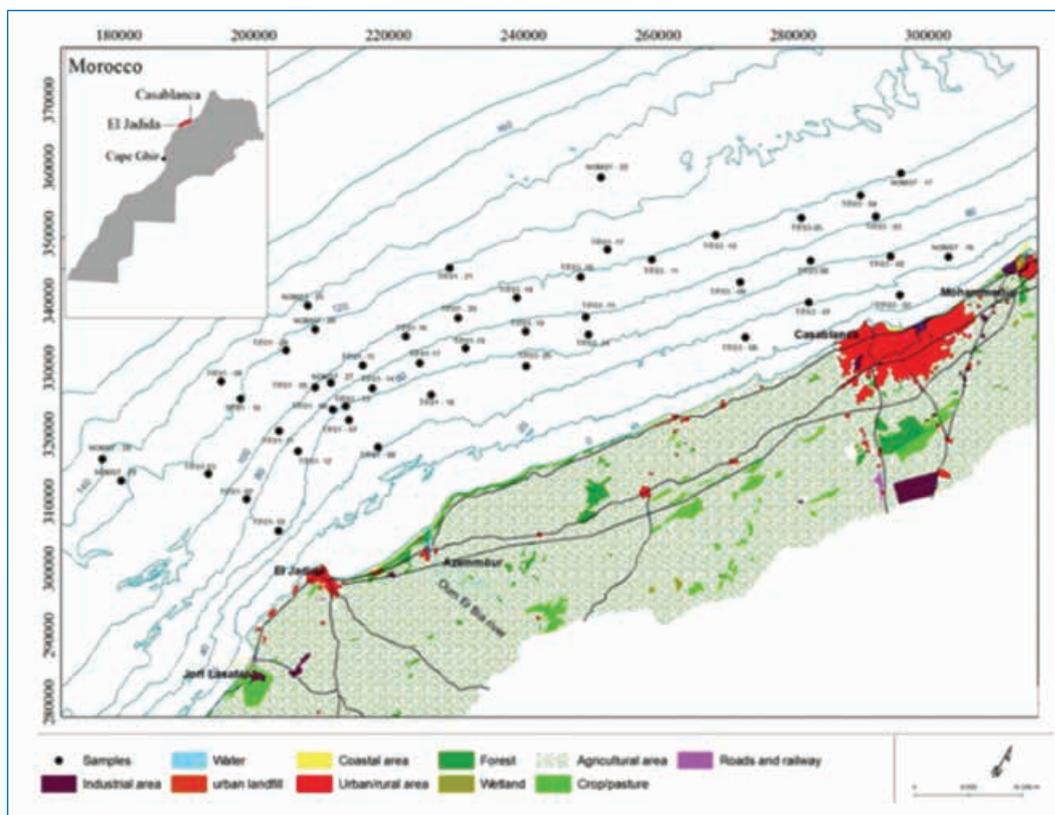


Figure 1 : Carte de bathymétrie aux larges des villes de Casablanca et d'El Jadida

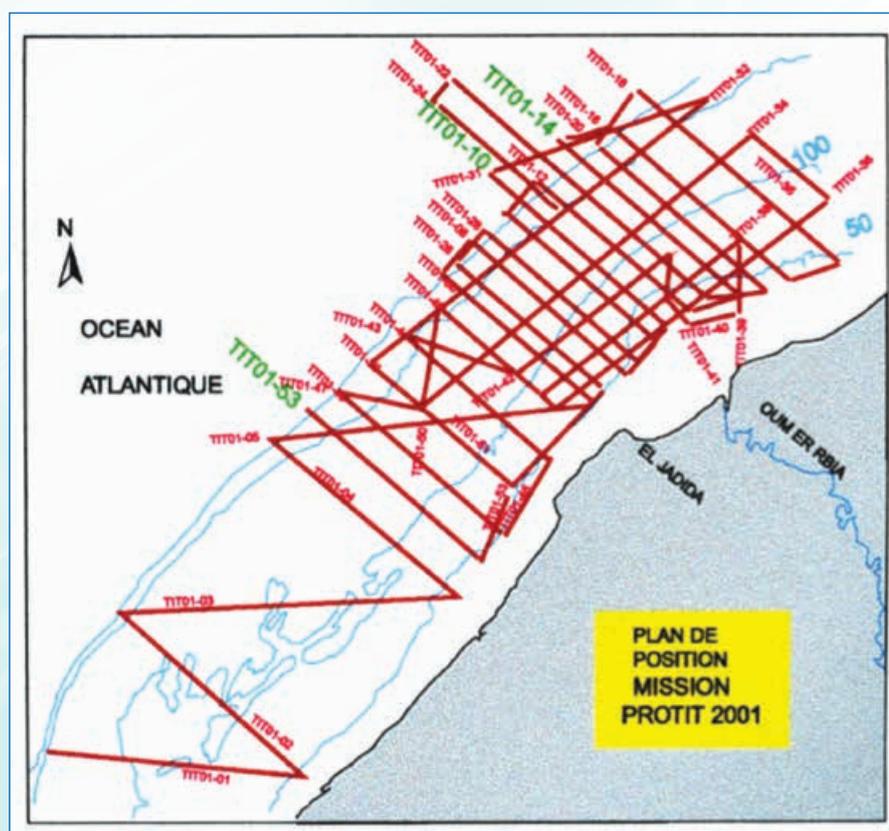


Figure 2 : Carte de localisation des profils sismiques TIT 1 et TIT 2

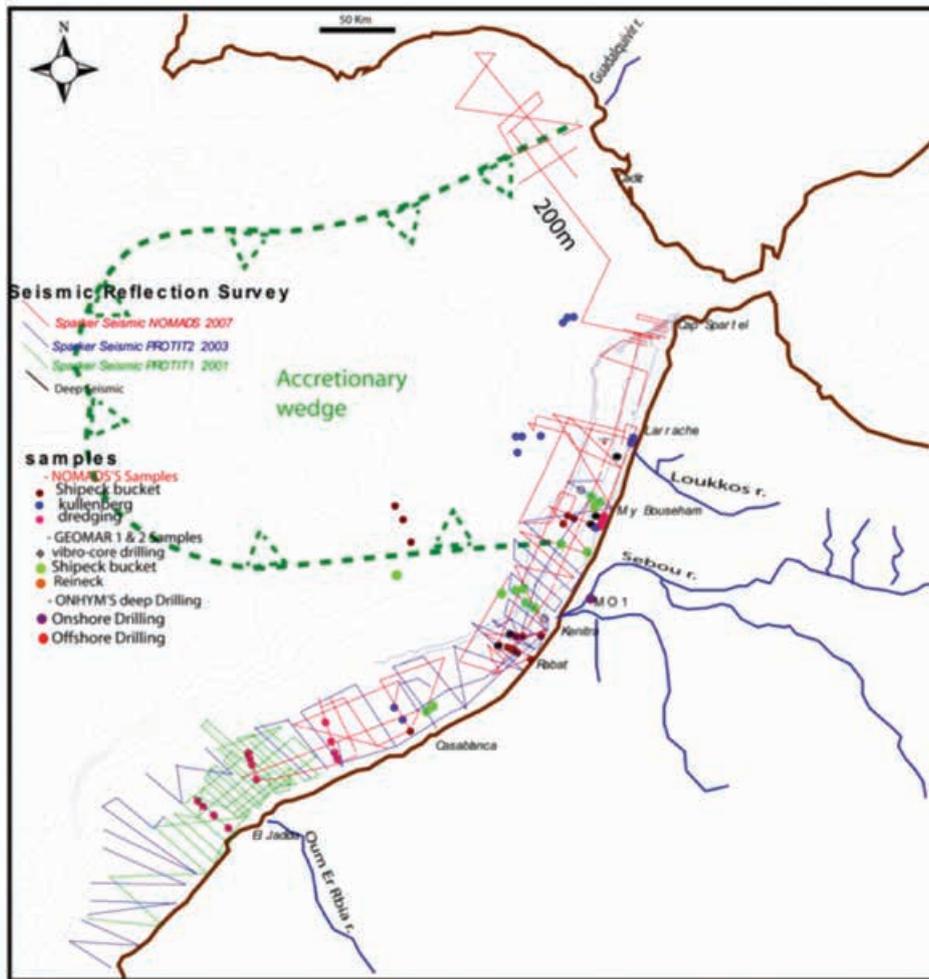


Figure 3 : Carte montrant le positionnement des profils sismiques et de l'échantillonnage des sédiments marins.

Les perspectives du REMER se focalisent actuellement sur plusieurs axes de recherche, pouvant être présentés dans le cadre de la coopération Maroc-Portugaise, aussi bien sur les écosystèmes côtiers que sur la plateforme continentale.

Etat des connaissances des ressources biologiques marines et côtières au Maroc

Le Maroc se trouve à la limite méridionale de la région paléarctique au contact avec la région tropicale. Il occupe une position stratégique entre l'Europe et l'Afrique, entre la Méditerranée et l'Atlantique, au carrefour de masses d'eaux d'origines différentes. Dans son exposé, **Pr. Hocein Bazairi**, mentionne que le Maroc possède plusieurs types d'habitats hébergeant une flore et une faune diversifiées et a développé ces dernières années une dynamique de gestion et de conservation remarquable des espaces naturels côtiers et marins en Méditerranée marocaine.

Les enjeux scientifiques pour les ressources biologiques marines concernent notamment :

- des exigences de la durabilité des ressources, qui soulèvent de nombreux défis pour la recherche sur les ressources biologiques;
- la nécessité de développer des recherches océanographiques et de mettre en place un suivi océanographique; et,
- des questionnements plurispécifiques au lieu des approches mono-spécifiques habituellement utilisées en halieutique.

Panorama des recherches actuelles :

1. Quelles connaissances sur les écosystèmes côtiers du Maroc ?
 - les écosystèmes marins sont bien étudiés (sauf pour les pêcheries);

- à travers une recherche multidisciplinaire importante, cependant absence de suivi à long terme;
- Ces écosystèmes sont le siège de nombreuses perturbations ;
- Mais restent de bons ateliers pour le suivi des changements globaux y compris les Changements Climatiques.

2. Interactions des ressources avec l'environnement

3. Utilisation de Modèles écosystémiques dans les protocoles d'investigation en Ecologie halieutique avec les questionnements suivants :

- Comment qualifier le statut d'un peuplement?
- Comment caractériser son évolution?
- Comment identifier les points de référence critiques?

Rôle des écosystèmes côtiers en tant que «nurseries» dans le cadre des changements globaux et connectivité avec les stocks exploités :

Pour qu'un milieu puisse jouer son rôle de «nurserie», il doit satisfaire les conditions suivantes (Fig. 4):

- présenter une abondance d'espèces juvéniles par rapport aux autres zones,
- La croissance dans la «nurserie» doit être également supérieure
- Les taux de survie doivent être plus importants dans ces «nurseries»,
- Les individus doivent quitter les zones de nurserie pour alimenter le stock exploité dans une zone située à l'extérieur.

Comme solution alternative, l'ingénierie écologique permet aujourd'hui, en milieu restreint, de renforcer des nurseries côtières par la réalisation/ création de Biohut, qui sont des habitats artificiels permettant de remplacer le rôle de nurseries des petits fonds rocheux et sableux qui ont été soustraits par la construction d'aménagements côtiers (ports et marinas), en offrant un refuge aux post-larves et juvéniles (Fig. 5).

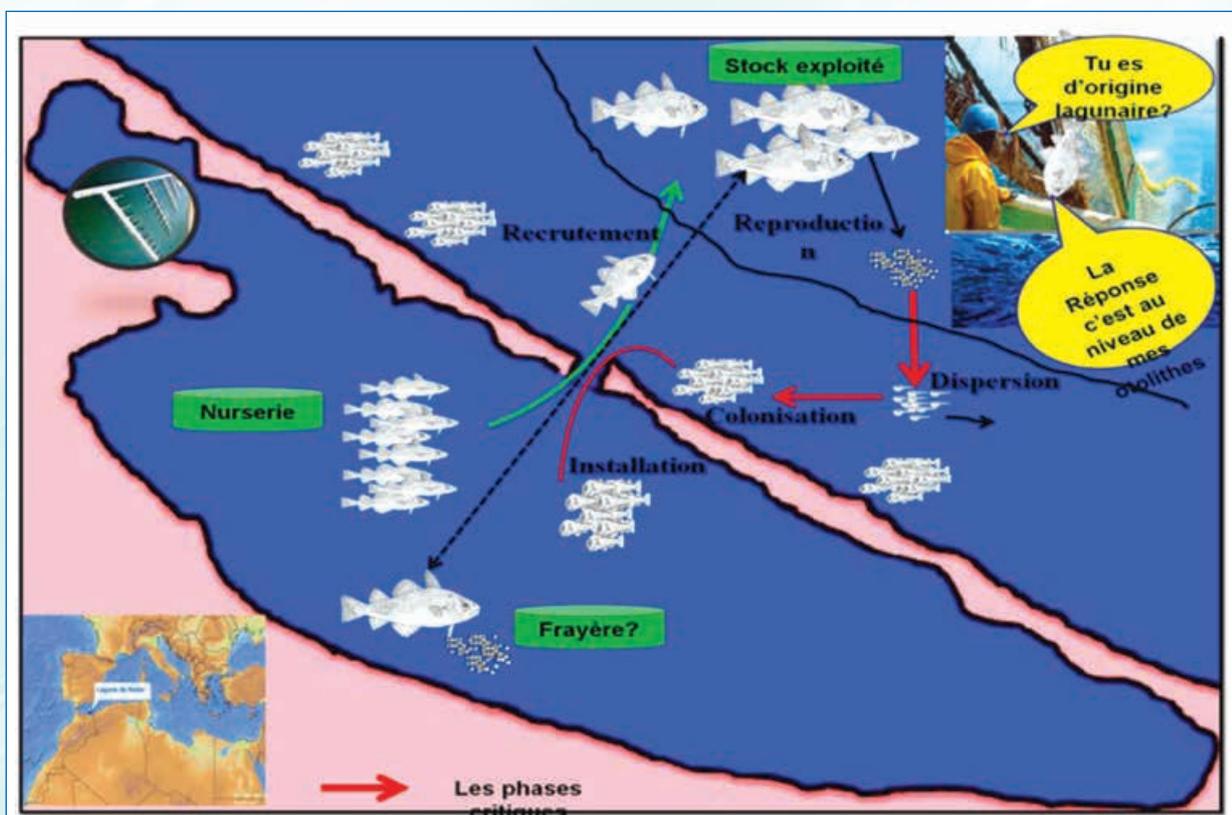


Figure 4 : La Baie de Mar Chica (Nador) comme Nurserie alimentant le stock en mer Méditerranée.

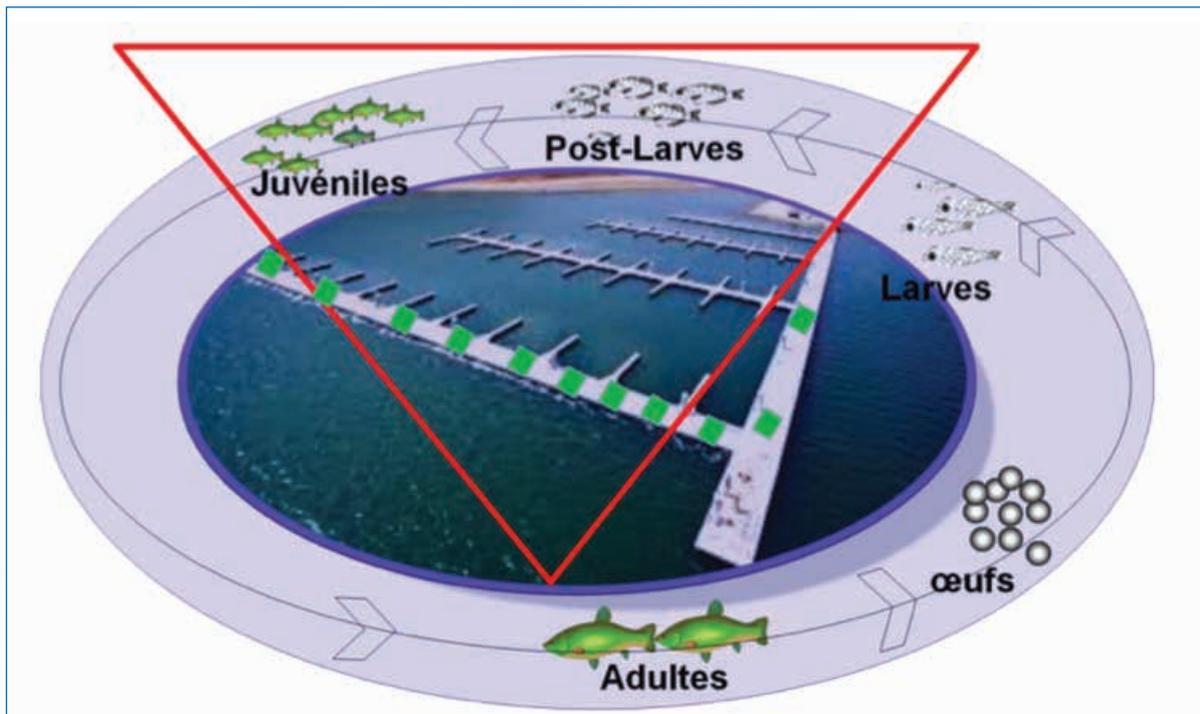


Figure 5 : Schéma d'un Biohut selon l'ingénierie écologique.

B- Cas du Portugal

La délégation portugaise² a pour sa part contribué au débat par 5 exposés dont le premier (par Almirante Nuno Vieira Matias) s'est interrogé sur "la manière de parvenir à une utilisation durable des océans afin que les biens et les services maritimes soient disponibles pour les générations futures, tout en répondant aux exigences de la croissance de la population humaine et la croissance économique?". La politique

européenne en matière de «ressources marines» est dans ce cadre rappelée dans la présentation du nouveau rapport (2016) de l'European Academies Science Advisory Council (EASAC)³ relatif à la «durabilité marine dans un âge de l'évolution des océans et des mers» où on note que les océans et les mers sont des composantes essentielles de la biosphère.

2- La délégation portugaise était composée de :

- Maria Salomé-Pais, Secrétaire Générale de l' Academia das Ciências de Lisboa.
- Almirante Nuno Vieira Matias, Marine portugaise (à la retraite).
- Margarida Castro, CCMAR, Centre for Marine Sciences, Universidade do Algarve, Faro.
- Jorge Gonçalves, CCMAR, Centre for Marine Sciences, Universidade do Algarve, Faro.
- Sonia Ribeiro, Instituto de estudos políticos, Universidade Catolica Portuguesa.
- Sílvia Tavares (au nom du Prof. Ester Serrão), CCMAR, Centre for Marine Sciences, Universidade do Algarve, Faro.

3- Les principales lignes de ce rapport sont rappelées par l'Amiral Vieira Matias où le EASAC et le Joint Research Centre (JRC) font les recommandations suivantes pour le développement et la mise en œuvre de la politique de durabilité marine à travers le développement des thématiques suivantes : «Les changements climatiques», «La mise en œuvre de la gestion écosystémique», «L'évaluation de l'impact et de la planification de l'espace maritime», «Vers une plus grande et durable la récolte de l'océan», «Les réseaux d'aires marines protégées», «Construire des connaissances sur l'augmentation de l'efficacité écologique de la récolte de l'océan», «Construire une base de connaissances intégrée pour la durabilité marine», «Le soutien de la science pour la durabilité marine».



Photo 2 : La délégation marocaine en visite du navire océanographique (Alfeite), spécialisé dans les études du littoral.

La durabilité marine et la société humaine sont intrinsèquement liées. Les océans sont essentiels pour la sécurité alimentaire mondiale, la santé humaine et la régulation du climat. Les moyens de subsistance pour plus de 3 milliards de personnes dans le monde dépendent des services de la biodiversité marine et côtière. La Stratégie de croissance Bleue de l'Union européenne (UE), de nouveaux produits et services maritimes tels que l'énergie renouvelable marine, la biotechnologie marine et minéraux marins, sont considérés comme des sources importantes d'emplois, de sécurité économique et de développement durable.

Un développement durable est, selon le Premier Ministre Norvégien (Gro Brundtland, 1987) : *«un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins»*.

Le Rapport de l'EASAC développe une politique et une approche scientifique qui comprend un certain nombre d'aspects clés du développement durable dans l'évolution des océans et des mers (gestion de la pêche, conservation de la biodiversité et protection de l'environnement marin) et en particulier considère les défis scientifiques clés dans la lutte contre ces problèmes.

Les résultats de l'évolution de la biomasse des ressources et de l'effort de pêche dans l'Atlantique Nord sur un intervalle d'un siècle (1900 à 1999) sont présentés dans un deuxième exposé (par **Dr. Margarida Castro**). En raison de l'introduction des techniques de pêche industrielle, comme les chalutiers à moteur ou le sonar pour détecter les bancs de pêcheries, il se produit une surpêche provoquant une réduction de la biomasse de dix fois. L'une des conséquences de cette surpêche est la réduction des captures avec notamment une perte non seulement en quantité mais aussi en qualité. Par ailleurs, l'introduction de moyens plus efficaces de détection (GPS) et le nombre élevé de navires ont conduit à une réduction des tailles de la population ; on constate alors qu'en 16 ans seulement, les individus plus grands ont disparu et environ la moitié des individus capturés étaient immatures. La combinaison de ces facteurs affecte l'état de la biodiversité.

Le conférencier a ensuite présenté l'état actuel dans lequel on constate la réduction des captures, la diminution de la taille moyenne des poissons, du niveau trophique moyen des captures et la perturbation des écosystèmes et des changements de régime et donc la perte de biodiversité.

Que faire alors?

Le Point de départ (pour le scientifique) est que la pêche représente une activité fondamentale pour l'alimentation; il s'agit d'une tradition / culture / cohésion des communautés côtières et surtout une valeur économique générant des emplois. Plusieurs concepts de base sont proposés:

- une pêche bien gérée, avec un effort de pêche adéquat, permet davantage de production (en poids et en valeur) et fournit plus d'emplois;
- une bonne gestion des ressources implique:
 - le maintien la biodiversité et la qualité des services fournis par l'écosystème;
 - l'augmentation de la stabilité de l'écosystème (donc moins de situations extrêmes);
- l'élaboration des stocks dans de bonnes conditions pour offrir un meilleur niveau de vie et également un statut social pour les pêcheurs impliqués.

L'Administration doit de son côté :

- contrôler l'effort de pêche (augmenter le respect des lois existantes, choisir des engins plus sélectifs, améliorer les méthodes de gestion ...);
- trouver des stratégies de gestion qui sont «faisables» et efficaces (choisir les meilleures options, faire équipe avec des scientifiques et autres (ONGs, sociétés de conservation);
- trouver l'équilibre entre la consommation et les ressources disponibles, en sensibilisant le consommateur et essayer de changer son comportement : bien manger, mais en quantité nécessaire et suffisante et sans gaspiller.

Cette gestion nécessite une bonne connaissance de la Cartographie et de la conservation de la biodiversité marine, thème qui a fait l'objet de l'exposé suivant (par **Dr. Jorge Gonçalves**) et dans lequel est expliqué pourquoi on doit procéder à ce type de cartographie. Ce travail passe par l'établissement de la cartographie des habitats benthiques, afin d'intégrer les échantillons d'habitats et des données physiques pour créer cette carte d'habitat. L'utilisation d'un matériel de pointe est nécessaire pour les campagnes de sondage physiques et biologiques (MULTIBEAM – LiDAR; SIDE SCAN SONAR).

Le résultat d'une telle étude est illustré par la présentation du cas du littoral d'Algarve, avec comme standard la classification des habitats européens (EUNIS).

Enfin, l'intérêt d'entreprendre des recherches communes permettrait sans aucun doute :

- une harmonisation des cartes d'habitats historiques;
- des enquêtes de cartographie de l'habitat mixte
- la formation de jeunes chercheurs par le biais des échanges;
- de partager les données et d'autres recherches conjointes en océanographie, migration des poissons, connectivité, génétique, évaluation des stocks des zones de pêche cartographiées et enfin, la conservation de la biodiversité.

L'Aspect économique de la coopération dans le domaine marin a aussi fait l'objet d'un exposé (par **Dr. Sonia Ribeiro**) dont les points essentiels dégagés concernent :

1. La reconfiguration de l'économie mondiale est nécessaire au début du 21e siècle avec un réajustement "tectonique" profond et structurel de celle-ci aussi bien :
 - Dans les domaines économique et financier,
 - dans les sociétés;
 - dans les systèmes politiques;
 - que par la demande de nouveaux modèles économiques? et de développement.
2. Une nouvelle économie comprenant la mondialisation concurrentielle (économie de flux et économie du secteur), les nouveaux flux économiques et les réseaux sectoriels mondiaux (nouveaux modèles économiques, nouveaux facteurs de compétitivité et nouvelles ressources).
3. L'économie de la mer qui exige/nécessite une bonne vision holistique comprenant :
 - de nouveaux modèles économiques (changement dans le concept de l'espace et la mondialisation, ou la proximité de la résilience),
 - de nouveaux facteurs de compétitivité (exigences de compétitivité et paradoxes de la compétitivité mondiale),
 - la clusterisation et la compétitivité en avantageant la formation et le développement d'un cluster pour augmenter la productivité

des entreprises sur le territoire, avec la capacité de gestion de la direction et le rythme de l'innovation; il s'agit de privilégier la création de nouvelles entreprises et des économies d'échelle mondiale sans perte de flexibilité ou d'indépendance.

Les nouvelles ressources sont celles d'un «**nouveau océan**» celui du 21^{ème} Siècle nécessitant une **vision holistique**. La conférencière a, ensuite, donné en exemple d'application le Portugal, à différents niveaux d'analyse.

Un **niveau macro** qui consiste à créer un Hypercluster économique pour la mer portugaise dont l'approche systémique comprendra:

- Un diagnostic approfondi,
- Une analyse de cadre général, en utilisant des méthodes d'analyse géopolitique,
- La prise en compte des tendances internationales et les meilleures pratiques,
- La référence au marché mondial,
- L'évaluation stratégique du potentiel et les opportunités identifiées, en termes d'attractivité et de compétitivité.

Cette approche devrait permettre :

- Une stratégie capable d'inclure un processus cohérent de développement, ainsi que l'innovation et sa croissance,
- De soutenir les principaux décideurs pour définir une vision et une stratégie de mise en œuvre à moyen et à long terme dans chaque secteur,
- Un plan directeur des actions, doté d'objectifs spécifiques, de mise en œuvre d'outils de suivi pour plus et de meilleurs résultats, y compris:
 - Plans de mise en œuvre multilatéraux,
 - Définition des objectifs principaux, des processus et des tâches;
 - Prise en compte, pour ce plan, d'instruments; de ressources; de capacité; des difficultés; de blocages et de contraintes.

Un **niveau «méso»**: Sea Center, qui est un outil opérationnel des tendances sous-jacentes nécessitant :

- Un positionnement mondial,
- Une caractérisation,

- Un développement du réseau,
- Une portée institutionnelle appropriée.

Un niveau micro: par exemple – La NUPI (Nucleus Port intégré) comprend :

- la conception stratégique et opérationnelle d'un noyau de catalyseur d'exploitation de dynamique de développement économique durable d'un territoire de port donné,
- une stratégie de développement d'un territoire de port spécifique basé sur une base structurelle des activités économiques dynamiques avec le plus grand potentiel, l'attractivité et la compétitivité dans les marchés cibles et donc un plus grand potentiel de création de valeur,
- ce niveau est conçu et développé en utilisant une analyse géopolitique des méthodologies et de l'évaluation stratégique des actifs et des acteurs pour un port donné et sa zone de référence pertinente.

Réflexions finales :

La politique économique de la mer portugaise engendre:

- Le changement nécessaire dans l'économie portugaise,
- Le potentiel des ressources maritimes et marines...

La mer en tant que catalyseur de l'organisateur et le développement :

- La nécessité d'une vision globale et intégrée
- Les différents niveaux d'action: macro, méso et micro.

Enfin le **Dr Sílvia Tavares** du CCMAR (Centre des Sciences Marines) a développé une approche locale vers une vision globale du projet *Biomares*, dans la vision de la récupération de la biodiversité marine sous le titre : La diversité des forêts marines et le parc marin (Arrábida) du prof Luiz Saldanha.

Le Parc Marin Prof. Luiz Saldanha, crée en 1998, a été présenté comme un milieu protégé où la diversité biologique est importante. Il se trouve sur la côte sud de la Péninsule de Setúbal avec 52 km², dont le nom est dédié à un biologiste ayant étudié ce parc durant la plus grande partie de sa carrière.

Le Parc marin du Pr. Luiz Saldanha, sur la côte d'Arrábida, est le premier parc du plateau continental marin au Portugal. Cette zone est considérée comme un «hotspot» pour la biodiversité marine européenne. En 2005, le plan de gestion du parc a été mis en œuvre, mettant fin à plusieurs menaces d'habitat, permettant ainsi une application au programme *LIFE-NATURE*. Le projet *LIFE-BIOMARES* a visé la restauration et la gestion de la biodiversité du parc marin à travers plusieurs actions. La restauration des prairies marines qui ont été complètement détruites par les activités de pêche et la navigation de plaisance a été l'une des plus difficiles. Elle comprenait la transplantation de graminées provenant des populations de

donneurs et la germination de semences de plantes marines pour la plantation postérieure afin de maintenir la diversité génétique dans la zone transplantée. L'une des actions les plus populaires a été la mise en place d'amarrages écologiques pour intégrer l'utilisation récréative de la zone à la protection de l'environnement. Plusieurs actions de diffusion et d'éducation environnementale concernant le parc marin et le projet ont eu lieu et ont contribué à l'accroissement de l'acceptation du parc par le public. Les habitats des fonds marins ont été cartographiés le long du parc et une zone environnante à 100 m de profondeur afin de créer une cartographie de l'habitat du parc et d'aider à localiser d'autres zones de pêche (fig. 6).



Figure 6 : carte montrant la répartition des faciès sédimentaires dans le plateau continental marin au sud du Portugal

Les évaluations de la biodiversité par l'étude de la macrofaune ont révélé des variations saisonnières et un effet du statut de protection. Les résultats montrent que les règlements sur les parcs marins ont un effet positif sur la conservation de la biodiversité et la durabilité des pêches. Elles montrent également que ce type de projets de conservation est important pour diffuser les meilleures pratiques de conservation sur le littoral. Le projet *Biomares* est un projet modèle qui peut

être appliqué à d'autres régions dans la mise en œuvre de réserves marines et de la mise en place du réseau marin au Portugal (Natura 2000).

Les études entreprises dans la partie sud du Portugal ont permis, aussi, la caractérisation des fonds marins et dresser une carte représentative de la morphologie des fonds marins et la localisation des principaux habitats, en utilisant les relevés acoustiques, le dragage et les vidéos (fig. 7).

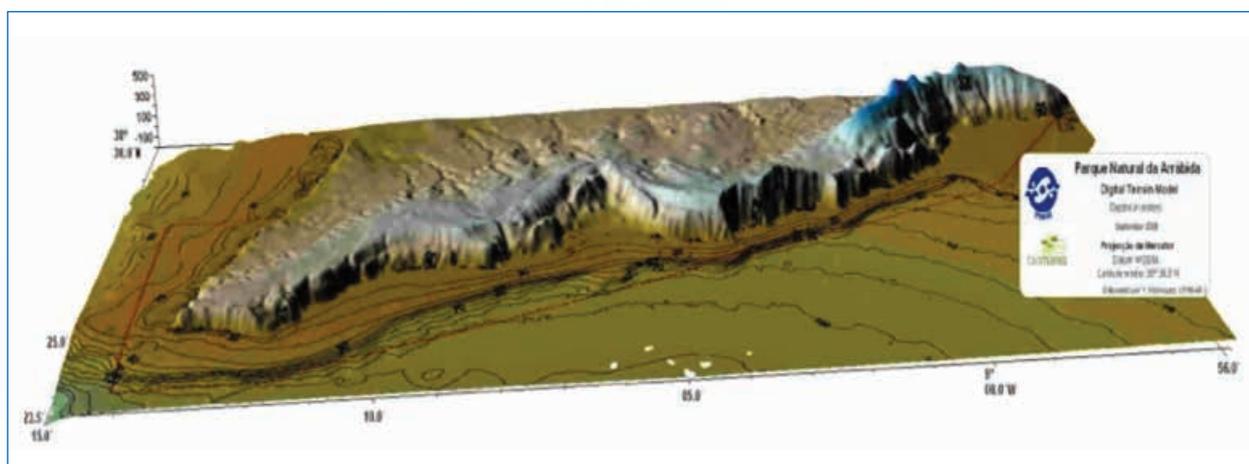


Figure 7 : Carte en 3D montrant la caractérisation des fonds marins au Sud du Portugal.

Cette cartographie a permis de définir la grande diversité de l'habitat et a servi à détecter la présence et à connaître plus en détail l'étendue de la population des bivalves.

PROJETS DE COOPERATION BILATERALE

Les deux parties ont ensuite discuté des possibilités de coopération avec pour la partie portugaise :

- Academia das Ciências de Lisboa,
- Le CCMAR, Centre for Marine Sciences, Universidade do Algarve, Faro,
- l'Instituto Hidrografico de Lisbonne.

Du côté marocain :

- l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
- le Réseau National des Sciences et Techniques de la Mer (REMER)

Deux projets seront développés en partenariat dans un premier temps. Il s'agit de :

- La cartographie des habitats marins (coordinateurs : B. Zourarah & Jorge M. S. Gonçalves),
- L'aspect économique de la Baie de Dakhla (coordinateurs : H. Bazairi et S. Ribéiro).

Modélisation et prospective économique

Le collège Etudes stratégiques et développement économique a organisé, le 26 Mars 2016, la huitième session de l'Ecole académique spécialisée en économie mathématique, en modélisation, en économétrie, en économie expérimentale et en prospective.

Dirigée par Nouredine El Aoufi et adossée à un comité scientifique (Nouredine El Aoufi, Said Hanchane, Nicolas Moumni, Lahcen Oulhaj, Khalid Sekkat, Rédouane Taouil), cette Ecole doctorale, qu'organise le collège depuis 2010 en mars de chaque année, réunit des doctorants et des encadrants qui échangent sur des sujets d'ordre théorique et empirique relatifs à l'économie nationale mobilisant les avancées les plus récentes de la discipline. Se déroulant en deux moments (atelier doctoral et rédaction scientifique), elle a pour objectifs de :

- promouvoir les travaux économétriques, de modélisation et d'analyse prospective;
- contribuer à l'élaboration de programmes de recherche ayant pour but de produire des modélisations théoriques et empiriques de l'économie nationale et des études prospectives et stratégiques;
- aider les doctorants à mieux maîtriser le processus de recherche en faisant le point sur l'état d'avancement de leurs travaux de thèse;
- apporter un appui aux doctorants dans le domaine de la rédaction scientifique et de la publication;
- développer une expertise nationale dans les domaines de l'analyse macro et micro-économique et de l'évaluation des politiques économiques.



Les Conférences de l'Académie

LES CONFÉRENCES DE L'ACADÉMIE

Pour commémorer le 10^{ème} anniversaire de son installation par Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu le Garde, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a programmé tout au long de ce premier semestre de l'année 2016 de nombreuses conférences autour de thèmes aussi variés que les Mathématiques, la Physique atomique, l'Astrophysique, l'Anthropologie, la Génétique et le Climat. D'éminents chercheurs et professeurs sont ainsi venus parler d'actualités scientifiques et débattre avec une assistance nombreuse et intéressée de leurs préoccupations du moment.

Ainsi, dès le 14 mars 2016, **Sébastien BALIBAR**, chercheur à l'École Normale Supérieure de Paris, a gratifié une assistance nombreuse qui s'est déplacée au siège de l'Académie Hassan II d'une conférence intitulée «**CLIMAT: y voir clair pour agir**».

Au cours de la journée du 28 mars 2016 dédiée à l'Astrophysique et organisée en collaboration avec l'Université Cadi Ayyad et le Laboratoire de Physique des Hautes Energies et Astrophysique (LPHEA) avec le concours du Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) près l'Ambassade de France, **deux conférences** ont été données à la Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech par **François COMBES** «**Les trous noirs gloutons**» et **Cécile RENAULT** «**13,8 milliards d'années racontés par la mission Planck**».

Le 11 avril 2016, deux éminents scientifiques ont fait des interventions remarquables respectivement dans les domaines de la physique atomique et des mathématiques appliquées. Il s'agit du Professeur **Serge HAROCHE**, **prix Nobel de Physique en 2012 et membre de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques**, qui a donné une conférence à la Bibliothèque Nationale de Rabat intitulée «**Ce que nous devons à EINSTEIN**». Le Professeur **Emmanuel BACRY**, **chargé de recherches au CNRS (France)**, a pour sa part fait une intervention au siège de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques qui a porté sur «**Les Big Data et l'Industrie**». D'autres éminents scientifiques ont aussi participé aux festivités marquant le 10^{ème} anniversaire de l'Académie Hassan II, avec notamment une conférence relative aux «**grandes avancées de la génétique au profit des patients**» donnée le 27 avril 2016 par Arnold Munnich, chef du département de génétique médicale de l'Hôpital Necker-Enfants malades de Paris ou à celle relatives aux «**origines africaines de l'homme moderne : une perspective maghrébine**», donnée le 26 mai 2016 par Jean-Jacques Hublin, professeur à l'Institut Max Planck d'Anthropologie Evolutionnaire de Leipzig (Allemagne).

Ce que nous devons à Einstein *

Serge HAROCHE

Prix Nobel de Physique (2012)

Professeur au Collège de France

Membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Je suis toujours très heureux de pouvoir revenir au Maroc - et c'est avec plaisir que je retrouve des collègues - et de pouvoir discuter de la science en général et de la physique en particulier. Je sais que c'est le Pr. Albert SASSON qui a eu l'idée d'une conférence sur Einstein. On peut se demander pourquoi parler d'Einstein maintenant? En fait, il y a une bonne raison d'actualité qui a mis Einstein sur le devant de la scène très récemment avec la découverte des ondes gravitationnelles. Einstein a eu bien d'autres contributions et c'est un défi que de vouloir parler de ce que nous devons à Einstein dans le cadre d'une conférence d'une heure.

Je vais essayer de le faire sans être trop spécialisé. En fait, Einstein a joué un rôle essentiel pour notre conception de la nature aussi bien du monde infiniment grand dans son ensemble que de l'infiniment petit. Il a contribué aussi bien à la connaissance de la relativité générale que de la relativité



restreinte, changé notre conception de l'espace et du temps par son rôle essentiel dans l'émergence de la théorie des quantas au début du siècle dernier. Il a, en particulier, en introduisant ce concept de dualisme entre les ondes et les corpuscules, bouleversé nos idées sur le monde microscopique. Déjà, en 1916, il avait prédit l'existence des ondes gravitationnelles. Ce qui a été observé au mois de septembre de l'année dernière n'est autre que la signature d'un événement qui s'est produit il y a 1,3 milliard d'années lumières, un événement cataclysmique consistant en la coalescence (la fusion) de deux trous noirs qui sont le résultat de l'effondrement d'étoiles massives. La résultante de cette coalescence a donc atteint la Terre au bout de 1,3 milliard d'années lumières et a été détectée à l'aide de deux observatoires. L'un se trouve en Louisiane et l'autre sur la côte ouest des Etats-Unis dans l'Etat de Washington. Ces deux antennes sont séparées de 3000 km et ont reçu le signal gravitationnel avec un décalage de quelques millisecondes. Il faut que les deux antennes détectent le signal pour qu'il n'y ait pas de parasite.

C'est la différence entre les ondes gravitationnelles, qui est détectée par ces antennes et les oscillations que l'on observe s'accélérer dans une phase finale. Ce qui est remarquable également, et c'est ce que Einstein avait prévu, c'est que la distance entre les deux miroirs se mesure par une distance extrêmement petite de l'ordre de $1 \text{ part}/10^{21}$. Un laser tombe sur une lame semi-réfléchissante qui divise le faisceau en deux parties qui sont envoyées dans deux directions orthogonales. Ces deux faisceaux se réfléchissent sur le miroir et reviennent sur la lame semi-réfléchissante pour se recombiner à nouveau et ressortent sur un bras détecteur. Ce dispositif mesure la différence

des temps de vol de la lumière dans les deux directions orthogonales. Si la distance est légèrement raccourcie dans une direction et légèrement rallongée dans la direction perpendiculaire, la lumière va mettre un temps légèrement différent pour parcourir les deux chemins. Cette différence de phase va se manifester par une

très petite différence de l'intensité lumineuse. Ce dispositif, que l'on appelle un interféromètre de Michelson, est extrêmement sensible.

Einstein et la relativité, entre «deux expériences de Michelson»...

Une expérience négative en 1887 : Michelson et Moreley cherchent à mesurer la différence des temps de parcours de la lumière dans la direction du «vent de l'éther» et dans la direction orthogonale... et ne trouvent aucune différence : il n'y a pas d'éther, comme Einstein devait l'expliquer 18 ans plus tard dans sa théorie de la relativité restreinte !

Une expérience positive en 2016 : les interféromètres géants de LIGO mesurent la différence des temps de parcours dans deux directions orthogonales et trouvent une petite différence signalant le passage d'une onde de gravitation dont l'existence avait été prédite par Einstein en 1916 !

(*) Texte reproduit à partir de la transcription de l'enregistrement audio.

Si on veut comprendre un peu mieux les apports d'Einstein, il faut faire appel à l'histoire des sciences et de la lumière en particulier, et on va voir qu'Einstein a joué un rôle dans ce domaine. En faisant un retour en arrière vers la fin du 18^{ème} siècle, on se rend compte que la physique reposait sur les 3 piliers de la physique :

- **La mécanique** qui s'intéresse aux mouvements des corps sous l'effet des forces auxquelles ils sont soumis. La mécanique a été créée au 17^{ème} siècle par Newton et par Galilée et elle a eu des succès très remarquables pour les mouvements des planètes.

- **L'électromagnétisme** qui avait triomphé en 1865 lorsque Maxwell a montré que l'électricité, le magnétisme et l'optique relevaient ensemble des mêmes équations, les fameuses équations de Maxwell.

- **La thermodynamique**, c'est-à-dire l'étude des échanges d'énergie et de chaleur entre les différents systèmes. La thermodynamique a culminé par les travaux de Boltzmann, physicien autrichien de la fin du 19^{ème} siècle, qui a défini de façon précise le concept d'entropie. L'entropie mesure le désordre d'un système physique et permet de voir dans quelle direction les échanges d'énergie et de chaleur s'effectuent.

Ces trois piliers ont donné lieu à des succès considérables et, au cours du 19^{ème} siècle, ont permis d'expliquer les problèmes qui n'étaient pas vraiment résolus. Il y avait tout d'abord un conflit conceptuel entre la mécanique et l'électromagnétisme. Les lois de la mécanique sont les mêmes dans tous les référentiels en mouvement uniforme les uns par rapport aux autres. Il n'y a pas de «référentiel privilégié» pour exprimer les lois de la mécanique (relativité Galiléenne). Par contre, les lois de l'électromagnétisme, tels que Maxwell les avait énoncés, permettaient de calculer la vitesse de la lumière et par définition une vitesse se rapportait à un repère particulier. Par conséquent, il était indispensable, par rapport à la physique classique, de définir dans quel repère les équations de Maxwell sont valables. Il y avait donc une dissymétrie entre les lois de la mécanique, qui sont indépendantes d'un référentiel et n'ont pas de référentiel particulier, et les lois de l'électromagnétisme qui sont bien définies par rapport à un référentiel.

Deuxième conflit qui est un conflit entre l'expérience et la théorie, c'est le fait que la thermodynamique et l'électromagnétisme, combinés ensemble, étaient incapables de décrire une propriété extrêmement simple qui est la distribution spectrale des corps chauffés. Lorsqu'on chauffe un

corps quelconque, il va se mettre à rayonner à une certaine température. La découverte de certains instruments au 19^{ème} siècle ont rendu possible la visualisation expérimentale du rayonnement d'un corps chauffé à une température donnée. Cette visualisation est matérialisée par une courbe en cloche. Mais de façon inattendue, lorsqu'on combinait les équations de Maxwell et les lois de la thermodynamique, on n'arrivait pas à cette courbe en cloche. En d'autres termes, il y avait un conflit ou désaccord de la physique expérimentale avec la théorie. Autrement dit, ça n'allait pas bien entre mécanique et électromagnétisme, ni entre électromagnétisme et thermodynamique. C'est pour résoudre ces deux conflits qu'on a dû faire appel à Einstein. Leur résolution a conduit à la révolution de la physique moderne : à la relativité et à la physique quantique.



La conférence de Serge Harroche à la Bibliothèque Nationale du Royaume, Rabat

Tout est parti d'interrogations sur la lumière. Les premières réponses scientifiques furent données au 17^{ème} siècle (à l'époque, l'Académie française des sciences venait d'être créée, il y a maintenant 350 ans). Newton pensait que la lumière était constituée d'un flux de particules alors que Huyghens (scientifique hollandais parmi les premiers membres de l'Académie française des sciences) pensait que la lumière était un phénomène ondulatoire représentée par une perturbation qui se propageait comme des vagues dans l'espace ou des oscillations à la surface d'un liquide. Ces deux théories étaient contradictoires et en concurrence. Une autre question accessoire était formulée ainsi : "est-ce que la lumière se propage de manière instantanée et donc occupe instantanément l'espace ou bien elle se propage à une vitesse finie?". Cette question n'était pas évidente puisque nous savons que la vitesse de la lumière est tellement grande.

Suivant la théorie de Newton, si la lumière était constituée d'un flux de particules, elle irait plus

vite dans un milieu transparent que dans l'air. Inversement, si la lumière était un phénomène ondulatoire, elle se propagerait moins vite dans un milieu transparent que dans l'air.

Au début du 19^{ème} siècle, la découverte des interférences semble donner raison à la théorie de Huyghens et infirmer celle de Newton. La mesure précise de la vitesse de la lumière dans l'air et dans un milieu matériel aboutit à la confirmation de la théorie ondulatoire de la lumière.

Ampère avait repris l'expérience d'Oersted (1820) et il a regardé quelles étaient les forces entre deux courants. Il a montré que les deux courants interagissent entre eux (s'attirent et se repoussent) par l'intermédiaire de champs magnétiques. Un premier courant crée un champ magnétique comme Oersted l'avait constaté et ce champ magnétique avait un effet sur un deuxième courant. En fait, Ampère travaillait chez lui dans son appartement, et c'était une époque fantastique où on pouvait faire des découvertes fondamentales en travaillant chez soi avec un petit montage de ce genre. Il fallait bien sûr être un Ampère pour cela ou un Faraday qui travaillait dans des conditions analogues en Angleterre. Alors qu'Ampère avait montré qu'un champ électrique crée un champ magnétique, Faraday avait montré qu'une variation de champ magnétique dans une bobine induisait un courant électrique dans une autre bobine: c'est le départ des moteurs électriques.

Ampère et Faraday étaient des empiristes qui ont été compris profondément, quelques années plus tard, par Maxwell. Ce dernier avait montré que les résultats d'Ampère et de Faraday avaient révélé que les champs électromagnétiques s'induisaient mutuellement : un champ électrique crée un champ magnétique et un champ magnétique induit un champ électrique, et ces deux champs se propagent dans l'espace. Maxwell a écrit les fameuses équations qui décrivent le champ électromagnétique et permettent de calculer la vitesse des ondes électromagnétiques. Cette vitesse dépend de deux paramètres essentiels : la force du champ électromagnétique (ϵ), qui intervient pour le calcul de la force entre deux champs, et la permittivité magnétique (μ), qui intervient pour le calcul de la force entre deux courants. ϵ et μ étaient connus par les expériences d'Ampère. En les mettant ensemble, Maxwell a trouvé pour la vitesse des ondes électromagnétiques un résultat très proche de la vitesse de la lumière et a conclu que la lumière est une onde électromagnétique. Il dit qu'il y a deux valeurs qui sont très proches 298.000 km/s (résultat de l'expérience de Foucault) alors que

la valeur qu'il a trouvée était de 300.000 km/s. Il conclut que l'accord montré par ces résultats semble montrer que la lumière et le magnétisme sont des phénomènes de même nature et que la lumière est une perturbation électromagnétique qui se propage à travers l'espace suivant les lois de l'électromagnétisme.

La lumière visible pour nos yeux s'étend entre 0,8 μ et 0,4 μ . En deçà, on trouve les ondes radio, dont l'importance pour les télécommunications n'est plus à démontrer. Au-delà, on trouve les rayons X et les rayons Gamma qui ont des applications en médecine comme en cristallographie et autres domaines. Les équations de Maxwell ont ouvert la voie à un bond technologique; toutes les technologies du 20^{ème} siècle sont liées à la compréhension de ces équations. Mais elles ont conduit également à des questions fondamentales qui ont donné naissance à la relativité et à la théorie du quantum; et c'est là qu'Einstein intervient.

Une question cruciale s'est posée à Einstein dès qu'il a pris connaissance des équations de Maxwell : dans quel repère la vitesse de la lumière est de 300.000 km/s? Maxwell nous dit que la lumière se déplace à cette vitesse mais dans quel système de référence? A quoi ressemblerait-elle si on pouvait voler aussi vite qu'elle? Est-ce qu'on peut rattraper un rayon de lumière?

Cette question a beaucoup intrigué le jeune Einstein et un élément de réponse donné par Galilée stipulait que "les lois de la mécanique sont les mêmes pour tous les observateurs en translation à vitesse uniforme" : c'est la relativité du mouvement. Cette invariance doit s'appliquer à l'électromagnétisme (et à toute la physique) : c'est la théorie de la relativité restreinte. Depuis Copernic, on savait que la Terre se déplace à une vitesse de 30 km/s. Le fait de renoncer à l'existence d'un repère privilégié, c'est une partie du renoncement à l'anthropocentrisme que l'on considérait au Moyen Age comme le centre du monde. Einstein a décidé de considérer que la relativité Galiléenne pouvait s'appliquer à l'électromagnétisme et, à partir de là, la suite vient très facilement. Si la vitesse de la lumière est une propriété de la nature, elle doit être la norme pour tous les repères. Ainsi, l'espace et le temps ne sont pas considérés comme deux concepts indépendants mais plutôt combinés en un concept espace-temps.

Einstein a montré que si l'espace et le temps sont liés, il en est de même pour la masse et l'énergie ($E = mc^2$) le corps étant au repos. La lumière,

de masse nulle, transporte de l'énergie mais transporte également de l'impulsion. En 1915, Einstein a généralisé le principe de la relativité pour tenir compte, non seulement de ce qui se passe dans des repères en mouvement uniforme mais également ce qui se passe lorsque les repères sont accélérés. Ceci a conduit Einstein à relier la force de gravité aux forces d'inertie qui se produisent dans des repères accélérés. Ceci a donné naissance à la théorie de la relativité générale qui relie le concept de masse et d'énergie au concept de masse et de temps. La masse et l'énergie déforment l'espace-temps et cet espace-temps déformé dicte à la matière comment se mouvoir. La lumière, qui se déplace en ligne droite en l'absence de masse, va se trouver courbée (voir ses rayons défléchis). La gravitation, comme la lumière, ne peut se propager instantanément, elle va se propager à une vitesse finie, c'est ce qu'on appelle les ondes de gravitation qui vont à la vitesse de la lumière. De la même façon, si une horloge se rapproche d'une masse pesante, elle va ralentir en l'absence d'un champ de gravitation et donc les horloges ralentissent au voisinage d'objets massifs. Tout ceci relève des lois de la relativité générale, qui est à la base de la cosmologie ou l'histoire de l'univers. Elle a en particulier prédit l'existence de phénomènes particuliers ou de singularités et notamment l'existence des trous noirs. C'est l'éclipse de 1919 qui a permis de vérifier la déflexion d'un rayon lumineux tangentant le soleil et, ainsi, a vu le jour le premier texte (d'Einstein) sur la relativité générale.

J'en viens maintenant à la deuxième révolution qui est celle de la physique des quanta et, à nouveau, Einstein a joué un rôle fondamental là dedans, déjà en 1905, la même année où il a fini ses papiers sur la relativité restreinte.

La question que j'ai déjà évoquée tout à l'heure, c'est pourquoi il y a une courbe en cloche dans la lumière émise par les corps chauffés? Si on applique simplement la thermodynamique et l'électromagnétisme, on trouve que l'intensité rayonnée doit diverger de plus en plus lorsqu'on va vers l'ultra-violet. C'est ce qu'on appelait à la fin du 19^{ème} siècle 'la catastrophe ultra-violet', catastrophe puisqu'il y avait un conflit entre l'expérience et la théorie qu'on n'arrivait pas à résoudre. Il y avait un deuxième conflit, dont je n'ai pas parlé pour l'instant, qui est comment comprendre l'effet photoélectrique : lorsqu'on éclaire un métal avec de la lumière, des électrons sont éjectés (les électrons venaient d'être découverts par le physicien anglais Thomson à la fin du 19^{ème} siècle). Les propriétés de cet effet photoélectrique sont très bizarres : l'énergie des électrons éliminés ne dépendait pas

de l'intensité lumineuse. Si l'on éclairait de plus en plus fort, les électrons n'allaient pas plus vite, seulement on en produisait plus. Einstein a montré que ces deux difficultés pouvaient être résolues si l'on admettait que la lumière, finalement, était formée de grains discrets qu'il a appelé les quanta à l'époque et qu'on appelle maintenant les photons. La lumière se manifestait sous forme de quantités discrètes : les photons. Chaque photon porte une énergie proportionnelle à l'intensité de la lumière et, puisque l'énergie et l'impulsion sont liées, si chaque photon transporte une énergie $h\nu$ il va avoir une impulsion $h\nu/c$ ou encore h/λ où λ est la longueur d'onde. On voit que Huyghens et Newton seraient réconciliés par Einstein qui a établi que la lumière était formée d'ondes et de particules. C'est sans doute un dualisme qui les aurait surpris... et qui surprenait aussi Einstein. Ondes et particules apparaissaient comme irréconciliables pour un physicien classique. L'onde est délocalisée dans l'espace partout à la fois, une particule est localisée dans un endroit bien précis.

Comment peut-on réconcilier ces deux notions?

L'expérience d'interférence de Young permet de comprendre plus facilement ce qui se passe dans ce nouveau formalisme : dualisme onde-particule et principe de superposition. On va faire cette expérience dans des conditions où l'intensité est tellement faible de sorte que les particules traversent l'interféromètre un à la fois. Le principe est basé sur : une source, deux fentes, la lumière passe par les deux fentes et ensuite elle est recueillie sur un deuxième écran.

La question qui se pose est : "si les photons traversent l'interféromètre un à un, comment se fait-il qu'ils arrivent seulement un à un sur l'écran?"

Pour essayer de comprendre cela, il faut admettre que chaque photon passe par les deux fentes à la fois et donc il n'y a plus de trajectoire au sens classique. C'est ce qu'on appelle le principe de superposition de la physique quantique, la particule est dans un état superposé. Le même dilemme existe pour la matière : les atomes, les électrons et les molécules sont à la fois des ondes et des particules (de Broglie, 1923) et le principe de superposition s'applique à eux aussi. Lorsqu'on généralise tout ça, on arrive au fameux paradoxe de «chat de Schrödinger».

Pour résumer, la physique quantique est basée sur le dualisme onde-particule. Einstein (1905) nous a dit que la lumière est une onde et un ensemble de photons. De Broglie (1923) a généralisé : les atomes sont des particules et aussi des ondes de

matière. Une façon d'exprimer ce paradoxe : **Light is a WAVE / Light is a particle.**

Pour de Broglie (1920), qui a introduit la notion de complémentarité, l'état observé d'une particule dépend du dispositif expérimental. Les ondes que l'on étudie en physique quantique sont des ondes de probabilité. L'intensité de l'onde, c'est la probabilité de trouver la particule. En d'autres termes, un autre aspect de la physique quantique, c'est le hasard. Chaque détection est aléatoire.

Contribution d'Einstein au développement du laser

Le développement du laser (laser à photons et laser à atomes) est également une idée d'Einstein qu'il a développée en 1916. Il y a deux mécanismes par lesquels les atomes peuvent émettre de la lumière. Le premier mécanisme, c'est ce qu'on appelle le mécanisme spontané, découvert par Niels-Bohr : si un atome est excité, les électrons sont portés sur une orbite possédant plus d'énergie; l'atome peut retomber dans un état fondamental sub-quantique par ce qu'on appelle un saut quantique, en émettant un photon, et ce photon est émis dans une direction aléatoire.

Einstein a essayé de retrouver les lois du rayonnement thermique en décrivant le bilan des échanges d'énergie entre un ensemble d'atomes et la lumière. Il a tout de suite compris que pour faire cela, il fallait ajouter à ce mécanisme d'émission spontanée d'autres mécanismes qu'on appelle l'émission stimulée. Si un atome est excité et si un photon tombe sur cet atome, l'atome pourra émettre un autre photon dans le même mode que le premier (même direction, même polarisation, même fréquence ...). C'est un phénomène d'amplification de la lumière: un photon entraîne l'émission d'un second photon identique, etc... et ce phénomène là s'ajoute au phénomène d'émission spontanée. Lorsqu'on combine ces deux phénomènes, alors on peut retrouver les lois du rayonnement thermique qui constitue la base d'un laser.

Un laser est constitué par un ensemble d'atomes dans une cavité formée de miroirs: vous excitez ces atomes pour les porter dans un état de grande énergie. Les premiers photons sont émis de façon aléatoire et sont amplifiés par le passage sur d'autres atomes. Il a fallu attendre une cinquantaine d'années entre la conception du principe du système par Einstein et la réalisation du premier laser en 1960.

Dans le cas de la lumière classique (soleil, lampe), les atomes émettent spontanément des radiations de phase, fréquence et directions aléatoires. Au contraire, dans un rayon laser, les atomes émettent de façon stimulée du rayonnement '**au pas**', ils rayonnent tous avec la même phase, la même fréquence, la même direction; c'est une **lumière ordonnée** en comparaison avec la lumière désordonnée des lampes. Les faisceaux lumineux d'un rayon laser ont des propriétés extraordinaires : intenses, directifs, monochromatiques, cohérents, qui permettent de faire des choses extraordinaires. Par exemple, on peut concentrer la lumière d'un faisceau laser et faire fondre un métal, dissocier complètement le métal et former des plasmas de l'ordre des températures qui existent à l'intérieur du soleil (des dizaines de millions de degrés). On peut inversement utiliser l'équation de radiation pour refroidir la matière aux températures les plus basses que l'on sait. Les faisceaux laser sont exceptionnellement stables, les oscillations de la lumière laser peuvent ne pas rater une seule oscillation sur des propagations sur des dizaines de milliers, voire des millions de kilomètres. Donc, c'est un outil très flexible pour les recherches fondamentales en physique, en chimie, en biologie et les applications à la métrologie, en médecine, en télécommunications et autres domaines.

Einstein, en 1925, a eu l'idée de remplacer les photons par des atomes à des températures très basses pour obtenir de la matière cohérente. Ces atomes que l'on peut ainsi refroidir sont appelés des Bosons: ce sont des atomes formés d'un nombre pair de particules élémentaires. Si on ajoute le nombre de photons, de neutrons et d'électrons et que l'on obtient des nombres pairs, nous avons alors des atomes qui ont un comportement grégaire d'être tous dans le même état quantique. Mais il a fallu attendre soixante-dix ans pour que l'on puisse avoir les moyens de refroidir les atomes suffisamment pour observer ces effets.

Enfin, je voudrais revenir sur la mesure du temps. D'après la théorie de la relativité, le temps ne s'écoule pas de la même façon suivant l'endroit où l'on se trouve par rapport à une phase gravitationnelle ou suivant la vitesse à laquelle on se déplace. Jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle, les horloges n'étaient pas assez précises pour observer cet effet. Ceci est devenu possible avec les horloges atomiques qui utilisent les propriétés quantiques et permettent donc de mesurer les effets qu'Einstein avait prévus dans le cadre de la théorie de la relativité. Pour cela je vais conclure par une brève histoire de la mesure du temps.

Comment on mesurait le temps au moyen âge?

Réponse: à l'aide d'une **horloge à tour** suspendue dans la tour de l'église qui a évolué en horloge à pendule (développée par Galilée et Huyghens au 17^{ème} siècle) par le remplacement du fil à oscillation par un pendule. Dans ce cas, on mesurait le nombre d'oscillations à l'aide d'un mécanisme d'échappement. Au 18^{ème} siècle, le pendule mécanique a été remplacé par un ressort et, ainsi, a contribué à l'apparition des premières montres à ressort et des chronomètres de marine (Harrison) très importants pour la navigation. Au 20^{ème} siècle, on a remplacé les oscillations mécaniques par les oscillations piézoélectriques (des diapasons en quartz). Dans tous les cas, le principe est toujours le même: on doit avoir un oscillateur mécanique ou piézoélectrique qui doit être couplé à un mécanisme d'échappement capable de compter les périodes pour mesurer le temps.

Qu'est-ce qu'on peut dire de l'incertitude?

Les horloges du moyen âge avaient une incertitude de 1%: chaque jour il fallait corriger le système d'environ un quart (1/4) d'heure. Les pendules (Galilée et Huyghens) ont une précision de l'ordre de 10^{-4} c'est-à-dire environ 1 mn à quelques secondes par jour. Les chronomètres de marines (10^{-6}) c'est-à-dire on arrive à la seconde par mois et les horloges à quartz à peu près une seconde par an. Quoique des progrès énormes aient été réalisés en quatre siècles, ces horloges sont encore trop peu précises pour observer les effets relativistes, 10^{-8} est encore insuffisant, il faut arriver à 10^{-13} voire 10^{-14} pour observer les effets.

Je voudrais également conclure en disant qu'il y a eu en 6 siècles beaucoup moins de progrès que durant les 50 dernières années. En fait qu'est ce que c'est qu'une horloge atomique? C'est une horloge qui mesure les oscillations dans un atome. La période d'oscillation est fixée par les lois de la physique quantique et elle est d'une stabilité absolument extraordinaire. Une horloge atomique utilise des atomes de césium (N. Ramsay), dont les franges d'interférence sont liées à deux probabilités quantiques, et possède une incertitude d'une seconde sur un million d'années. Ce principe se retrouve dans la technologie des GPS. Les horloges atomiques, embarqués sur des satellites, s'échangent les signaux mutuellement ainsi qu'avec les récepteurs terrestres (ordinateurs ou boîtiers GPS) et, par triangulation, définissent l'endroit de votre position avec une erreur de 1 mètre.

Les horloges atomiques corrigent les effets de relativité restreinte et de relativité générale. Les horloges atomiques actuelles sont basées sur des fréquences micro-ondes, mais il existe encore des fréquences encore beaucoup plus élevées dans les horloges optiques qui vont signer une précision encore plus grande. Il existe de types d'horloges atomiques qui sont en compétition pour redéfinir la seconde et on arrive à des précisions de l'ordre de 10^{-17} - 10^{-18} , ce qui correspondrait à une erreur d'une seconde sur 14 milliards d'années.

Je voudrais insister, pour conclure, sur l'observation de la coalescence de deux trous noirs dans des ordres de grandeur vertigineux. Elle correspond à la fusion respectivement de 36 et 29 masses solaires et aboutit à 62 masses solaires, ce qui fait que 3 masses solaires sont rayonnées en ondes gravitationnelles. En près de $2/10^{\text{èmes}}$ de seconde, il y a eu autant d'énergie gravitationnelle rayonnée que celle de la lumière émise par 3000 soleils en 3.10^{17} secondes. C'est un événement d'une puissance inouïe, plus grande que la puissance rayonnée par toutes les étoiles de l'Univers ensemble. Ce genre d'événement doit être statistiquement fréquent et l'astronomie gravitationnelle ouvre une nouvelle fenêtre sur l'observation de l'Univers. Au delà des interféromètres terrestres (LIGO-Virgo) on prévoit d'aller fabriquer des interféromètres dans l'espace, le projet LISA (Laser Interferometer Space Antenna) est un projet gigantesque en cours de développement. LISA est composé de trois satellites qui vont aller graviter autour du soleil, maintenir leurs distances stables, pour voir comment ces distances varient lorsque les ondes gravitationnelles passent sur le système. C'est un projet pharaonique de l'astrophysique qui est en développement actuellement.

En conclusion, à la question «**Que devons-nous à Einstein?**», on peut dire : **BEAUCOUP**. La relativité restreinte a changé notre conception de l'espace-temps, la relativité générale nous a donné les bases de la cosmologie et la théorie des quanta a ouvert la voie à toute la physique du monde microscopique, avec ses innombrables applications aux technologies nouvelles. Mais Einstein n'était pas satisfait par tout ça, en particulier par la physique quantique. Il n'aimait pas les idées de hasard quantique et de non-localité. Il était plus convaincu que la théorie quantique devrait laisser la place à une théorie plus générale dans laquelle la réalité classique reprendrait ses droits... Mais ceci est une autre histoire...

Les avancées de la génétique : quels bénéfices pour les patients?

Arnold MUNNICH

*Institut Imagine et Université Paris Descartes.
Hôpital Necker Enfants Malades, Paris*

Quels bénéfices pour les patients? Si vous posez la question à la sortie d'une classe de terminale ou d'un cours de faculté, la réponse qui vous sera faite est assurée : «la thérapie génique et le clonage»... Fascinés, non sans raison, par ces perspectives futuristes, nos contemporains tendent à ignorer tout à la fois l'essor des thérapies conventionnelles aujourd'hui disponibles et l'impact de la prise en charge symptomatique sur la qualité et l'espérance de vie des personnes atteintes de maladies génétiques.

Ce n'est pas de l'ingratitude. C'est un problème d'information dans un contexte médiatique simplificateur

où les rêves l'emportent sur la réalité et le sensationnel sur le concret. Alors, tentons de rendre à César ce qui lui appartient et de faire loyalement l'inventaire de ce qui est d'ores et déjà du domaine du possible. À la lumière de quelques exemples, demandons-nous si le remplacement d'un gène – dont l'identification est si nécessaire à la compréhension d'une maladie – est véritablement la panacée pour le traitement des maladies génétiques?

Rendre à César ce qui lui appartient, c'est déjà se souvenir qu'on n'a pas attendu l'ère de la génétique moléculaire pour traiter des maladies génétiques. On n'a pas attendu le clonage du gène de la phénylalanine hydroxylase pour traiter la phénylcétonurie par un régime hypoprotidique. Je dirais même que l'impact de la génétique sur le traitement de cette maladie est nul... Et pourtant, depuis les années 70, plus

de 25 millions de Français ont été testés à la naissance – sans le savoir – et 10 000 d'entre eux, dépistés et traités tôt, ont échappé à une arriération mentale certaine. Ils sont aujourd'hui des adultes bien portants et des parents à leur tour. Idem pour bien d'autres maladies génétiques du métabolisme où la soustraction diététique d'un substrat toxique (comme l'acide phytanique dans la maladie de Refsum)

ou l'adjonction d'un produit a transformé l'existence des enfants (le régime riche en glucose dans les glycoséses ou les anomalies de l'oxydation des acides gras, par exemple).

Du reste, le traitement diététique des maladies

métaboliques n'a pas dit son dernier mot, comme l'illustre l'exemple du déficit de glycosylation des protéines CDG1B. Dans ce cas, la compréhension du mécanisme de la maladie (l'absence de dimérisation du fructose en mannose) est synonyme de guérison pour le patient : la supplémentation diététique en mannose lui sauve la vie. Il en va de même des rares mais non exceptionnelles formes vitamino-dépendantes des maladies métaboliques comme le déficit des carboxylases sensible à la biotine, l'homocystinurie sensible à la pyridoxine, les aciduries organiques sensibles à la cobalamine, les pseudo-Friedreich répondant aux tocophérol ou les myopathies lipidiques et cardiomyopathies sensibles à la carnitine. Là encore, il ne se passe pas d'année que l'élucidation du mécanisme d'une maladie métabolique ne suggère une riposte thérapeutique. À preuve,



les rares mais spectaculaires formes de maladies mitochondriales curables par les quinones et les retards mentaux et syndromes autistiques résultant d'un déficit de synthèse de la créatine et curables par l'administration orale de créatine.

On voit bien que le véritable défi d'aujourd'hui n'est pas de traiter tant de maladies métaboliques si différentes par un régime ou l'adjonction de co-facteurs, mais plutôt d'identifier, parmi tous ces enfants, celles et ceux qu'on peut soigner... Pour ceux-là la vie va changer...

Rendre à César ce qui lui appartient, c'est aussi se souvenir que ce n'est pas notre génération, mais bien celle de nos Maîtres qui, la première, a traité les néphropathies héréditaires par la transplantation rénale (syndrome d'Alport, néphronophtise et polykystose), les atrésies biliaires par transplantation hépatique, les cardiopathies congénitales par la transplantation cardiaque et les déficits immunitaires par les greffes de moelle. Souvenons-nous des orthopédistes et des réanimateurs qui, les premiers, ont eu l'audace d'opérer le rachis des enfants myopathes. Souvenons-nous des pionniers de la chirurgie viscérale qui ont guéri la maladie de Hirschsprung, les hernies diaphragmatiques, les malformations gastro-œsophagiennes. Souvenons-nous des noms de quelques-uns de ces pionniers en France : Hamburger, Royer, Broyer, Alagille, Carpentier, Cabrol, Dubousset, Barois, et Claude Griscelli à qui cette communication est dédiée...



Vue de l'assistance

Mais notre génération n'est pas en reste : comment se laisser d'admirer les résultats

fascinants de l'électrostimulation du globus pallidum dans les dystonies de torsion par mutation du gène DYT1, les chorées de Huntington et tant d'autres dystonies. Ces neurochirurgiens – fort peu familiers de la génétique moléculaire – ont, sans aucun doute, fait bien davantage pour ces enfants que toute la communauté des généticiens réunis.

Rendre à César ce qui lui appartient, c'est enfin se souvenir que l'industrie pharmaceutique a su transformer nos connaissances en des protéines et des enzymes médicaments sûrs et efficaces : l'insuline, l'hormone de croissance pour le traitement des nanismes héréditaires, le facteur VIII pour celui de l'hémophilie et l'enzymothérapie des maladies lysosomales (maladies de Gaucher, Hurler, Fabry, Pompe).

Loin de moi de penser que les thérapies géniques et cellulaires n'auront pas un jour, dans l'avenir, leur place dans l'arsenal des thérapeutiques. Mais, pour le patient comme pour le médecin confrontés à la réalité de la maladie génétique aujourd'hui, il faut trouver des astuces pour tenir, pour durer : il faut ruser.

Ruser, c'est par exemple obtenir la réexpression d'un gène d'hémoglobine fœtale par l'hydroxyurée lorsque le gène exprimé chez l'adulte est muté : voilà que les enfants thalassémiques et drépanocytaires se passent de transfusion...

Ruser, c'est chélater un toxique au moyen d'une drogue comme la cystéamine pour le traitement de la cystinose. Ruser, c'est savoir verrouiller une voie métabolique lorsqu'elle aboutit à l'accumulation d'une substance toxique : le verrouillage du catabolisme de la tyrosine par le NTBC transforme l'effroyable tyrosinémie de type 1 en une tyrosinémie de type 2 pratiquement bénigne : 90% des enfants sont guéris.

Ruser, c'est découvrir un peu par hasard que la colchicine transforme – on ne sait ni pourquoi ni comment – le pronostic de la fièvre méditerranéenne familiale. Ruser, c'est savoir tirer partie d'une activité enzymatique résiduelle en la stimulant ou encore savoir

inhiber une fonction normale si cette dernière majore les conséquences d'une mutation. Ainsi, les bisphosphonates, en inhibant l'activité ostéoclastique, limitent la résorption osseuse et réduisent les conséquences des mutations du collagène du type 1 dans l'ostéogenèse imparfaite : la mutation est toujours là mais les fractures multiples et les douleurs osseuses sont considérablement réduites.

Ruser enfin, c'est savoir protéger une fonction menacée au moyen d'un médicament, comme les quinones à courte chaîne qui protègent les centres fer-soufre de la chaîne respiratoire contre le stress oxydatif causé par l'absence de frataxine dans les mitochondries : la myocardiopathie est jugulée par l'idébénone chez 85% des enfants porteurs d'une ataxie de Friedreich...

On le voit bien, on n'a pas attendu l'identification des gènes et de leurs mutations pour traiter les maladies génétiques. Nos patients ne souffrent pas de leurs mutations mais des conséquences fonctionnelles de celles-ci. Alors, ne nous trompons pas d'ennemi : à l'heure présente, grâce à l'identification du gène en cause, la compréhension du mécanisme d'une maladie génétique se révèle tactiquement plus utile pour circonvenir le problème que le remplacement du gène muté, techniquement si complexe.

La compréhension du mécanisme exact des maladies : voilà l'information dont nous avons réellement besoin pour imaginer des trucs, des astuces qui changeront la vie des gens. Si son utilité ne nous paraît pas toujours aujourd'hui évidente, l'identification précise des mutations pourrait bien devenir dans l'avenir de première importance pour la mise au point de stratégies thérapeutiques moléculaires «à la carte».

Mais les découvertes ne se commandent pas, elles viennent à leur heure. Aussi, gardons-nous du dogmatisme et de la pensée unique. Le traitement des maladies génétiques est une affaire trop sérieuse pour qu'il en soit fait une question de mode. Alors, de grâce, ne mettons pas tous nos œufs dans le même panier.

Climat : y voir clair pour agir

Sébastien BALIBAR

Académie des Sciences, France



La Terre se réchauffe dangereusement, les conférences internationales sur le climat se succèdent, mais les États tardent à agir ensemble. Au carrefour des problèmes de climat et d'énergie, le physicien Sébastien Balibar refuse de baisser les bras. Il résume l'état de nos connaissances avant d'en déduire l'objectif commun que devrait afficher toute politique énergétique: dans tous les pays, il faut réduire les émissions annuelles de gaz à effet de serre en dessous d'une tonne et demie par habitant. C'est urgent. Nous en sommes très loin pour l'instant. L'ignorer mettrait en péril notre mode de vie. Il propose des solutions qui permettraient aux différents pays de choisir les scénarios de transition énergétique les mieux adaptés à leur situation propre. La comparaison qu'il détaille entre la France et l'Allemagne est particulièrement instructive.



Vue de l'assistance

Les trous noirs gloutons

Françoise COMBES

Observatoire de Paris



Toutes les galaxies abritent en leur centre un trou noir super-massif, de masse comprise entre un million et quelques milliards de masses solaires. Il existe un rapport de proportionnalité entre la masse de ces trous noirs et la masse du bulbe des galaxies, ce qui fait penser que la formation des étoiles et l'alimentation des trous noirs se produit simultanément, en quelque sorte les galaxies et leurs trous noirs croissent en symbiose. Lorsque du gaz tombe vers le centre de la galaxie, le trou noir en avale le plus possible, devient un noyau actif, un quasar. Mais la masse qu'il peut absorber est limitée. Les trous noirs gloutons recrachent leur nourriture, et régulent la formation des étoiles. Ces phénomènes ont été détaillés, de même que les fusions entre trous noirs, lorsque deux galaxies coalescent, et les ondes gravitationnelles qui peuvent nous informer sur ces évènements.



Annonce de la conférence

13,8 milliards d'années racontés par la mission Planck

Cécile RENAULT

Max Planck Institute, Heidelberg, Allemagne



Le rayonnement fossile, première image de notre univers, a été scruté en détails sur toute la voute céleste par le satellite européen Planck. Cette lumière invisible à l'œil nu garde l'empreinte du contenu et de la géométrie de l'univers mais aussi de l'origine et de l'évolution des grandes structures qui sculptent le cosmos. On peut ainsi reconstituer les grandes étapes d'une longue histoire qui commence avant la création de la matière.



Annonce de la conférence

Les Big Data et l'industrie

Emmanuel BACRY

Chargé de recherche au CNRS, France



Durant la dernière décennie, le monde a constaté une profusion et une explosion des données disponibles dans de larges domaines d'applications, entraînant de nouveaux challenges et opportunités pour la science. La « Science des données » (ou plus communément le « Big data »), apparaît aujourd'hui comme une réponse majeure à de très nombreuses problématiques, qu'elles soient à un niveau entrepreneurial, institutionnel ou gouvernemental. Dans cet exposé, à travers de très nombreux exemples, nous tenterons de dessiner les contours de cette discipline et de présenter les nouveaux enjeux scientifiques et sociétaux qui en découlent. Nous présenterons aussi les différentes actions et collaborations menées par l'Ecole Polytechnique dans le cadre de son Initiative « Data Science ».



Annonce de la conférence

Les origines africaines de l'homme moderne : une perspective maghrébine

Jean-Jacques HUBLIN

Professeur à l'Institut Max Planck d'Anthropologie Evolutionnaire de Leipzig (Allemagne)



L'origine récente de l'homme moderne en Afrique est aujourd'hui largement acceptée par la communauté paléanthropologique. C'est sans doute entre 60 000 et 50 000 BP que des populations anatomiquement modernes d'Homo sapiens se sont répandues hors d'Afrique, d'abord vers Eurasie et l'Australie, puis vers les Amériques. Différents modèles rendent compte de ce processus. Presque tous mettent l'accent sur l'existence d'un centre d'origine sub-saharien à partir duquel les hommes modernes se seraient initialement développés en Afrique. Cette notion résulte en partie de la richesse paléontologique et archéologique de l'Afrique du Sud et de l'Afrique de l'Est, mais également de l'analyse des données génétiques recueillies auprès de populations de chasseurs cueilleurs de ces zones. Cette présentation a exposé un certain nombre de biais qui entachent ces modèles et fait le point sur l'état de la question au Maghreb et dans les régions sahariennes.



Vue de l'assistance



Appui à la recherche scientifique et technique

Etude de la variabilité génomique du chêne-liège (*Quercus suber* L.) et multiplication clonale par embryogenèse somatique *

Ahmed LAMARTI

Faculté des Sciences de Tétouan - Université Abdelmalek Essaâdi



Introduction

La superficie mondiale du chêne-liège est évaluée à 2.688.000 ha dont 916.000 ha en Afrique du Nord. La subéraie marocaine a une superficie de 377.482 ha (IFN, 2015) constituant 15,2% de la superficie mondiale; le Maroc héberge ainsi la 4^{ème} réserve mondiale de cette ressource génétique. Le chêne-liège revêt une importance toute particulière tant dans le paysage que dans l'économie du pays. Cet arbre que l'on rencontre en plaine et en montagne offre de multiples biens et services et son écosystème jouent un rôle important dans le maintien de l'équilibre biologique et constituent un patrimoine culturel important.

La subéraie connaît une dynamique régressive. Cette régression s'est accompagnée d'une dégradation des structures des peuplements et par conséquent de leur cortège floristique et faunistique. A l'instar de toutes les forêts naturelles, le problème le plus critique des subéraies est celui de leur régénération. Par ce projet, nous avons étudié pour la première fois à l'échelle nationale la variabilité génétique de nos subéraies et son pouvoir de régénération par bouturage et embryogenèse somatique.

Le consortium multidisciplinaire et complémentaire constitué dans le cadre de ce projet s'est fixé les objectifs suivants :

Objectifs spécifiques du projet

- Prospection des zones d'étude (régions de provenance et peuplements de chêne-liège à l'échelle nationale);
- Évaluation de la variabilité génétique naturelle de l'espèce et structuration de la diversité génétique des peuplements par marqueurs phénotypiques et moléculaires les inter-microsatellites;

- Identification des arbres «plus» au sein des peuplements choisis de chêne-liège;
- Description phénotypique de chaque arbre «plus» et caractérisation moléculaire par microsatellites;
- Collecte des boutures et bouturage (constitution d'un parc à pieds mères);
- Micropropagation à grande échelle du chêne-liège par embryogenèse somatique (primaire et secondaire);
- Production des clones (de l'acclimatation à l'élevage des plantules) et étude de la variation somaclonale par des marqueurs d'ADN;
- Plantation des clones et suivi sur le terrain;
- Reboisement et régénération des subéraies marocaines.

Principaux résultats scientifiques obtenus

68 tournées ont été réalisées dans les six régions de provenances du chêne-liège au niveau national. L'ensemble de la collection constituée est de 390 arbres dont 69 répertoriés comme arbres «plus». Par ailleurs, le travail de terrain nous a permis d'élaborer un catalogue regroupant 37 peuplements et décrivant morphologiquement les arbres «plus» par peuplement. Une typologie structurale des peuplements a pu être dressée par une description au niveau géographique et écologique aussi bien par les facteurs édaphiques (relief et type de sol) que climatiques (Altitude, exposition, étage bioclimatique). Ce catalogue est finalisé pour être édité prochainement. Parallèlement, les arbres «plus» localisés par GPS sont cartographiés par le Système d'Information Géographique «SIG» constituant, avec le catalogue, une base de données géographiques qui sera mise à la disposition de la communauté scientifique comme un outil de gestion intégrée des forêts

(*) Cet article rentre dans le cadre de la publication des résumés des projets de recherches financés par l'Académie. Le consortium chêne-liège est composé de trois institutions : Centre de Recherche Forestière de Rabat (Salwa EL ANTRY TAZI, Mohamed MAKHLOUFI), la Faculté des Sciences de Rabat (Bouchra BELKADI et Abdelkarim FILALI-MALTOUF) et la Faculté des Sciences de Tétouan (Ahmed LAMARTI et Mohammed L'bachir EL KBIACH).

chêne-liège au Maroc. Cette collection d'arbres «plus» considérée comme collection de référence sert à la multiplication clonale et a fait l'objet d'un typage génétique par marqueurs moléculaires.

L'ensemble de la collection a fait l'objet d'une analyse de la variabilité génétique des caractères dendrométriques des différents peuplements montrant une grande diversité phénotypique et révélant de fortes corrélations significatives entre les différents traits étudiés. Quatre variables peuvent être utilisés pour différencier phénotypiquement les individus du chêne-liège (Coefficient de surface du tronc (K), Circonférence (Cir), le nombre de branches (NbrBr) et la hauteur totale de l'arbre (H)).

Une caractérisation moléculaire de la diversité génétique des subéraies marocaines naturelles est réalisée par marqueurs inter-microsatellites (ISSR) connus par leur reproductibilité et leur taux de polymorphisme très élevé. Une forte variabilité est observée au niveau intra population et intra région témoignant du pouvoir informatif des marqueurs utilisés au niveau intra-spécifique. Il a été mis en relief le degré de similarité et de diversité entre les peuplements prospectés. La structuration de la diversité génétique obtenue selon les différentes situations éco-géographiques contribuera par excellence dans les programmes de sélection et de conservation des subéraies Marocaines.

Ce résultat a été confirmé par deux études faites sur un échantillonnage plus élargi des subéraies de la Maamora et du Nord par ISSR vue leur spécificité. La particularité de la forêt Maamora au niveau

national et mondial réside dans sa superficie d'un seul tenant en plaine et sa production de glands doux et de grande taille alors que celle du Nord est une subéraie de montagne produisant des glands amers.

Au niveau de la Maamora, nous avons observé une forte liaison génétique entre les différents Cantons avec un faible taux de différenciation, un flux de gènes très élevé et une vraie structuration génétique. Nous avons souligné une grande variabilité au niveau des Cantons avec un taux de polymorphisme très élevé et la détection d'allèles spécifiques aux cantons A, B et D pouvant servir au génotypage et à l'étiquetage de ces provenances. En effet, l'enrichissement de l'analyse en marqueurs les plus représentatifs du génome ont permis non seulement une analyse plus fine des subéraies mais également de ressortir les génotypes les plus représentatifs de la diversité pour leur conservation.

L'analyse moléculaire des génomes des arbres «plus» de chêne-liège par les marqueurs co-dominants les microsatellites (SSR) révèle une grande variabilité au niveau des loci étudiés se traduisant par la présence de différents allèles par locus. Le locus générant le plus de génotypes est le ZAG36 avec 17 génotypes et MSQ4 avec 16 génotypes présentant des allèles différents. Deux allèles présentent de grandes fréquences alléliques, l'allèle 122 du locus ZAG15 spécifique à la fois à Maamora et au Nord et l'allèle 188 du locus ZAG46 spécifique au Plateau Central (**Figure 1**).

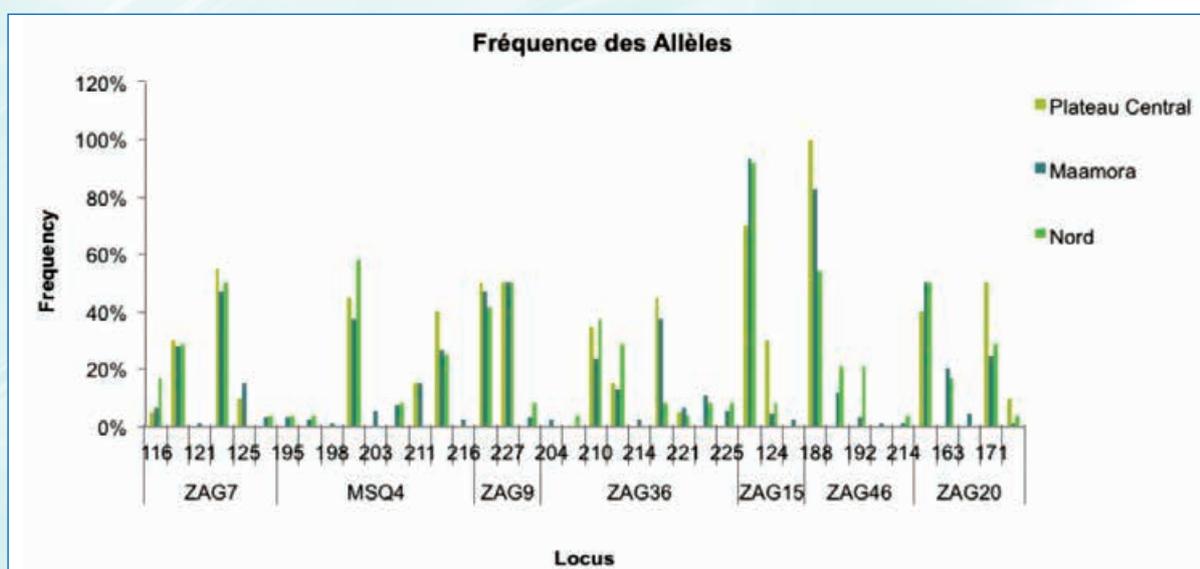


Figure 1: Fréquence des allèles aux différents locus SSR.

Ces résultats supposent alors que la stratégie de conservation et de constitution de collections (germoplasme) est dépendante d'une bonne connaissance de la structuration génétique des populations. L'élargissement de notre échantillonnage et l'enrichissement de l'analyse en marqueurs les plus représentatifs du génome ont permis une analyse plus fine des populations du chêne-liège à l'échelle de sa distribution naturelle.

Notre travail vise également l'amélioration et la maîtrise des techniques de bouturage. Nous avons localisé six arbres «plus» de six subéraies, présentant les caractéristiques génétiques, morphologiques et sanitaires idéales pour induire le débourrement de boutures et obtention de pousses épïcormiques nécessaires à la multiplication végétative par bouturage et embryogenèse somatique directe. Le délai de débourrement (=date de débourrement – date de la mise en culture) dépend de la provenance. Le pourcentage de débourrement dépend du génotype, du diamètre de la bouture, de la date de la collecte, des conditions de culture (température, hygrométrie, lumière, régulateurs de croissance) et le contrôle sanitaire joue un rôle important. Les boutures de plus de 3 cm de diamètre débourrent généralement à 100%. Par contre, le pourcentage de réussite est faible pour les boutures de diamètre inférieur à 1 cm.

La multiplication végétative du chêne-liège par embryogenèse somatique directe a été réussie pour néoformer les embryons somatiques primaires immatures sur les limbes de jeunes feuilles issues de boutures de trois arbres «plus» du chêne-liège de trois subéraies (Aïn Rami, Bouhachem et Maamora). L'induction de l'embryogenèse somatique se fait sur la face inférieure des limbes et elle nécessite quatre transferts (au total, 112 jours) sur différents milieux avec et sans régulateurs de croissance (ANA, BA et polyamines).

Nous avons maîtrisé l'embryogenèse somatique secondaire (**Figure 2**), considérée comme un moyen efficace pour la multiplication à grande échelle du chêne-liège. Nous avons analysé l'influence de plusieurs facteurs (hormonal, nutritionnel, environnemental,...). Par exemple, les trois polyamines testées permettent d'augmenter significativement le nombre d'embryons secondaires directement formés sur les radicules des embryons somatiques primaires du chêne-liège. La réponse embryogène présente un optimum différenciant selon la polyamine testée. La spermidine à 0,4 mg/l (2,75 µM) s'est montré la plus efficace avec une augmentation du nombre d'embryons secondaires de 145% par rapport au témoin. Les acides aminés et divers autres composés organiques affectent nettement l'induction et la croissance des embryons somatiques secondaires.

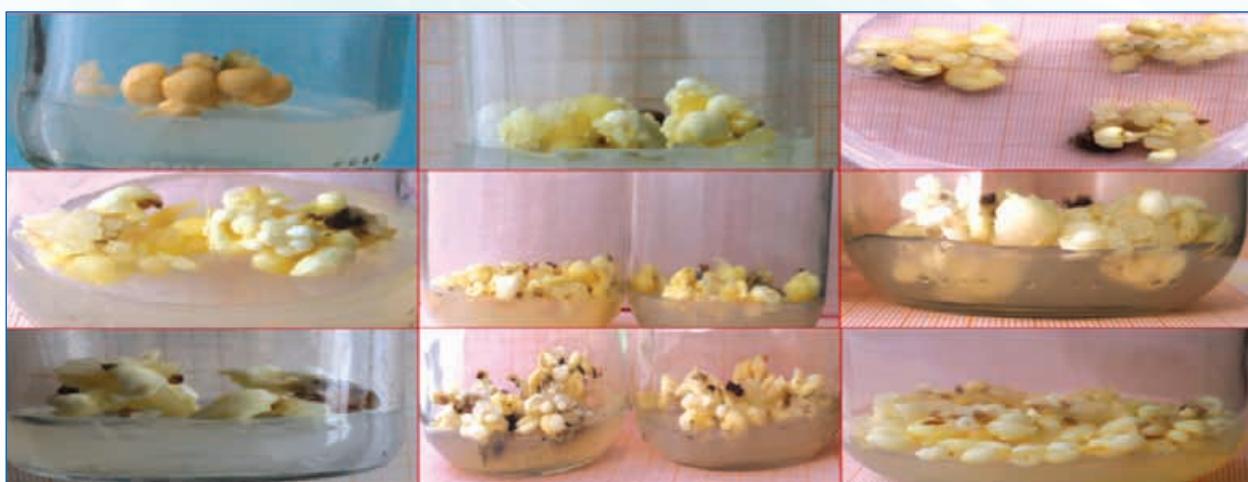


Figure 2: Amplification à grande échelle des embryons somatiques primaires.

Tout notre effort était d'optimiser le protocole de maturation par la culture des embryons immatures sur des milieux de potentiel osmotique différent. Nous avons montré que la concentration et la source de carbone dans le milieu de maturation ont une influence marquée sur la morphologie des embryons somatiques du chêne-liège pour les trois génotypes testés. Il est à noter que la présence de sorbitol, en association avec le saccharose, a augmenté la maturation des embryons somatiques du chêne-liège. Ces derniers, mûris en présence de sorbitol, portent des cotylédons de couleur verte intense et développent de bonnes racines pivotantes nécessaires à la germination ultérieure. Plusieurs conditions de culture ont une influence significative sur la germination des trois génotypes.

Les pourcentages de germination ont augmenté chez les embryons somatiques ayant mûri en présence de 90 g l⁻¹ de saccharose. Les embryons matures ont été transférés à des flacons contenant 35 ml de milieu de prolifération. Ils ont été maintenu 60 jours à l'obscurité à 4±1°C (stratification). Ensuite, les récipients sont placés dans une chambre de culture éclairées (2.000 lux durant 16 heures d'éclairage) pour la germination à 25±2°C. Après 30 jours dans ces

conditions, nous avons dénombré le pourcentage de la germination. Le pourcentage moyen des embryons qui germent est de 32%. Nous avons observé des différences significatives entre les trois génotypes.

Les embryons somatiques germés avec une longueur de la tige d'au moins 1,5 cm, ont été transférés dans des pots en plastique avec la tourbe et placés dans une chambre de culture hydroponique (1.000 lux, 16 heures de lumière) pendant deux mois. Les pots sont couverts d'emballage type pot inversé pour les maintenir en condition de forte humidité relative. Après cette période, nous avons procédé à enlever l'emballage qui couvre les plantules pendant une heure par jour, afin de les acclimater progressivement à la condition inférieure d'humidité relative. Après 1 mois, nous avons retiré définitivement l'emballage et après un autre mois, les plantules en pleine croissance ont été transférées à des alvéoles forestières. L'irrigation se fait par nébulisation et après deux mois, nous avons compté le nombre total des plantes qui ont survécu à l'ensemble du processus d'acclimatation. La **figure 3** résume les différentes étapes de la multiplication végétative par embryogenèse somatique.

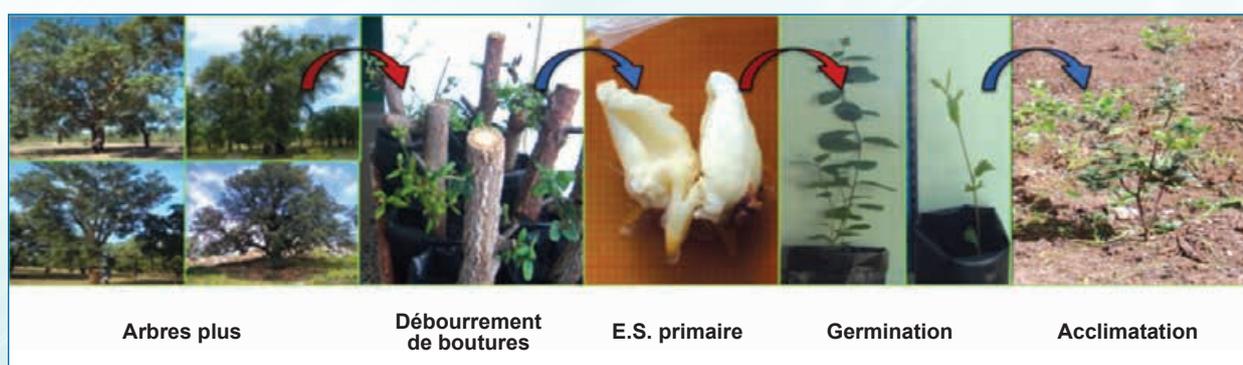


Figure 3: Diverses étapes de la micropropagation de l'arbre plus par embryogenèse somatique.

Nous avons évalué la stabilité génétique chez les embryons somatiques du chêne-liège par les marqueurs microsatellites. Nous avons observé un monomorphisme au sein des EB (embryons bouture) et entre les EB et l'arbre mère, un faible pourcentage de variation entre EC (embryons cal)

et un polymorphisme par gain ou perte d'allèles entre EG (embryons germination). Ceci laisse supposer une forte stabilité entre les EB et l'arbre «plus» d'où une forte héritabilité (**Figure 4**). Donc, le matériel clonal le plus adéquat à la multiplication végétative serait les embryons somatiques issus des feuilles de bouture (EB).

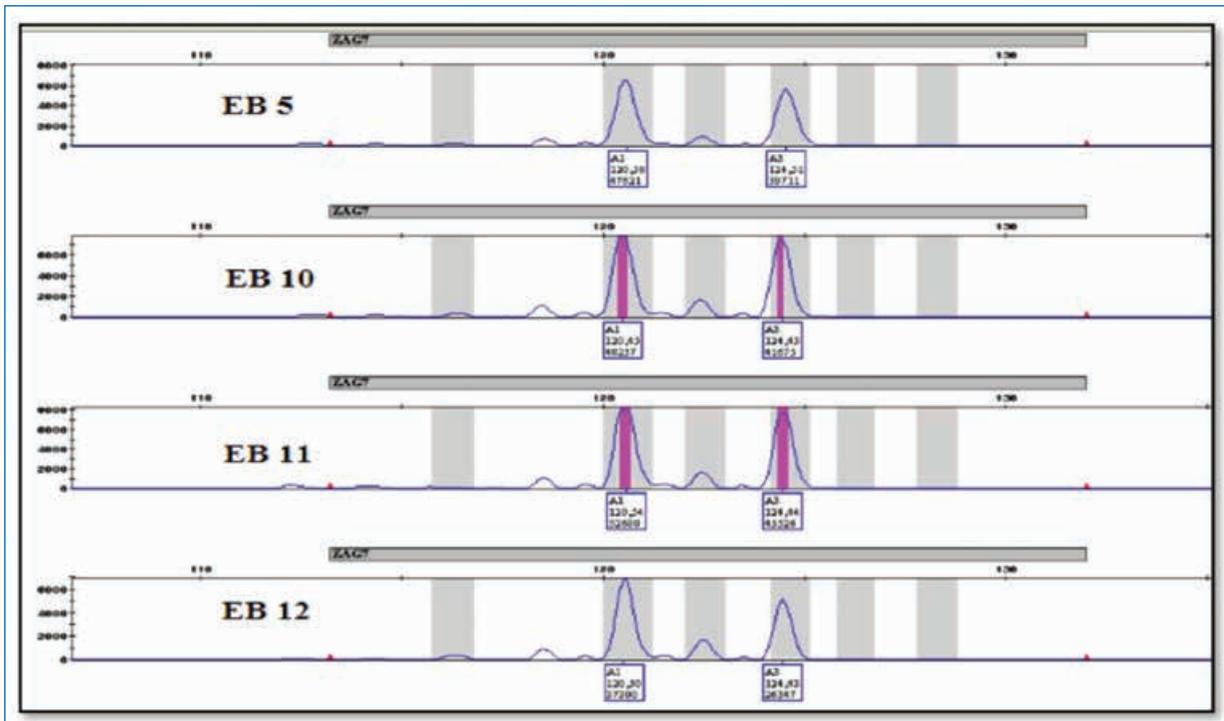


Figure 4: Profils d'amplification du locus ZAG7 traité par Gene Mapper v5.0 de 4 embryons EB de Maamora.

Le monomorphisme SSR observé intra-clonal des embryons d'Ain Rami a été confirmé également par les 9 amorces ISSR les plus polymorphes préalablement utilisés pour l'étude de la diversité moléculaire de la collection de chêne-liège

(**Figure 5**). Le même monomorphisme a été observé en comparant les embryons EB à l'arbre mère d'Ain Rami et donc les 23 clones sont identiques à l'arbre mère ne présentant aucune mutation.

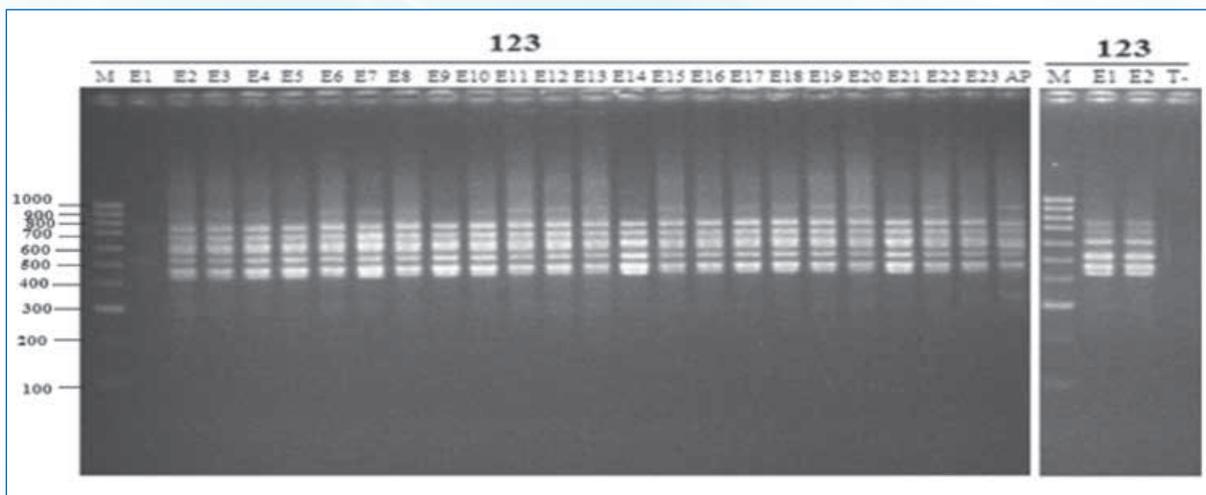


Figure 5: Exemple de profil électrophorétique généré par l'amorce ISSR CH121 des 23 embryons EB d'Ain Rami.

L'embryogenèse somatique chez le chêne-liège est une technique prometteuse pour la micropropagation à grand échelle à partir de plants de qualité. C'est un outil puissant pour maintenir

la stabilité génétique des plantes régénérées des boutures de feuilles. La régénération à partir de la culture des cals ou des glands semble être plus vulnérable aux mutations et donc à la variation

génétique. La vérification de l'identité clonale par empreintes génétiques via les Loci SSR s'avère fiable.

Conclusions générales

Nos principaux résultats se résument comme suit:

- 390 arbres décrits (390 fiches), localisés (GPS) et cartographiés par SIG;
- Une variabilité phénotypique hautement significative entre les 390 individus qui se distribuent sur quatre groupes (A, B, C et D);
- 69 arbres «plus» décrits et localisés avec l'édition d'un catalogue (ouvrage);
- Caractérisation moléculaire de la collection par ISSR (23 amorces et 4200 amplifications);
- Taux de polymorphisme élevé (93%) des arbres «plus» et leur partage sur trois groupes (I, II et III) ou trois secteurs (A, B et C);
- Caractérisation de chaque arbre par des profils spécifiques ou une combinaison spécifique de profils;
- Présence de marqueurs spécifique-peuplement et/ou spécifique-canton;
- Une fiche descriptive sur des peuplements et d'arbres plus;
- Une fiche technique authentique pour l'extraction de l'ADN génomique de chêne-liège;
- Une fiche technique complète et standardisée sur le débourement de boutures de chêne-liège;
- Une fiche technique sur l'induction directe de l'embryogenèse somatique primaire;
- Une fiche technique sur la production à grande échelle des embryons somatiques (automatisation) sur milieu liquide;
- Une fiche technique sur l'amplification de l'embryogenèse somatique secondaire;
- Une fiche technique sur la conversion des embryons somatiques (maturation et germination).

Retombées scientifiques et socio-économiques

Nous avons totalement accompli les objectifs prévus et nos livrables se récapitulent ainsi:

Livrables		Acquis	Prévus
Doctorat		1	3
Master		10	12
Mémoires de licence (PFE)		17	18
Stagiaires		2	-
Publications scientifiques	associées au projet	2	Une dizaine
	associées au thème	-	4 (caroubier)
Ouvrages		1	3
Conférences / Communications orales (15)	nationales	13	-
	internationales	2	-
Communication par affiches (18)	nationales	17	-
	internationales	1	-
Prototypes (fiches techniques)		7	-
Organisation de manifestations scientifiques		1	-
Visite et stage à l'étranger		2	-
Collaborations internationales		2	-

Recommandations et perspectives

Les résultats obtenus de la structuration de la diversité génétique de chêne-liège au Maroc sont d'une grande utilité. Ils peuvent être pris en compte dans les plans de conservation et de gestion durable des subéraies. En effet, le choix des individus de réintroduction lors de renouvellement d'un peuplement naturel sélectionné porte-graine est décisif nécessitant une évaluation des plants au préalable pour éviter toute pollution génétique tout en garantissant un degré d'adaptabilité acquis par le peuplement d'origine. Une attention particulière doit être portée non seulement à l'origine autochtone des peuplements mais aussi à l'origine des peuplements voisins, afin d'éviter des flux de gènes (pollen surtout) entre ces derniers et la ressource génétique locale à préserver. Aussi, l'utilisation aux marqueurs moléculaires suffisamment discriminants et informatifs (ISSR et SSR) validés à travers nos travaux permettra une sélection ciblée des génotypes d'introduction tout en évitant une perte de diversité génétique.

Dans ce sens, nous disposons d'une collection représentative de la diversité existante avec des caractéristiques génétiques bien établies (fréquence allélique, présence d'allèles particuliers) constituant une référence à laquelle le peuplement dont l'identité est recherchée peut-être rattaché avec une faible probabilité d'erreur. Ainsi, la qualité des matériels forestiers de reproduction est garantie et dont la traçabilité peut être assurée et valorisée pour une certification forestière future.

Par ailleurs, nous disposons d'une collection d'arbres «plus» constituée des différentes régions de provenances du Maroc. Cette collection

dont les génotypes sont étiquetés constitue une richesse génétique et un trésor national qui servira dans un futur proche à la multiplication clonale des génotypes les mieux adaptés à la sélection naturelle par provenance.

Il serait recommandé de pousser le génotypage de la collection moyennant des techniques à haut-débit tout en ciblant des gènes d'intérêt impliqués dans l'adaptation aux stress hydrique.

Le développement de ces outils efficaces permettra d'une part d'évaluer la capacité adaptative des génotypes sélectionnés pour la multiplication de cette espèce peu domestiquée et à long cycle et d'autre part de donner aux gestionnaires forestiers et aux décideurs des indicateurs pratiques et/ou des recommandations pour faire face aux pressions des changements globaux.

Cette approche donnera une autre dimension à la collection d'arbres «plus». Elle permettra également la sélection de provenances résilientes et l'évaluation de la vulnérabilité des écosystèmes naturels aux aléas (sécheresse, maladies...) et aux facteurs anthropiques (incendies) actuels et potentiels.

Par ailleurs, ces outils peuvent être utilisés pour le typage génétique des clones produits tolérants aux différents stress pour une utilisation commerciale à grande échelle.

Enfin, dans le contexte de l'aménagement intensif des subéraies, le développement d'instruments méthodologiques de recherche puissants en biotechnologie, tels les marqueurs moléculaires et la génomique peuvent élargir nos connaissances sur les forêts à régénération naturelle ce qui peut guider le choix des stratégies de gestion des forêts.



Focus

Impacts du tremblement de terre de 1755 au Maroc : histoire, société et religion



Taj-Eddine CHERKAOUI¹



Ahmed EL HASSANI²



Malika AZAOUM³

1- Université Mohammed V de Rabat
2- Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Maroc
3- Université Sidi Mohammed Ben Abdellah de Fès
e-mail : a.elhassani@academiesciences.ma

Résumé

Le séisme historique du samedi 26 moharrem 1169H (1^{er} novembre 1755), communément appelé «séisme de Lisbonne», est considéré comme l'une des catastrophes naturelles les plus destructrices et les plus meurtrières de l'histoire du Maroc. Il a causé la mort de milliers de personnes et détruit ou endommagé plusieurs villes et villages du pays. Il fut appelé par les historiens marocains : tremblement de terre de 'Meknassa Ez-Zaytouna' (Meknès l'Olivier), capitale du Maroc pendant le règne de My Ismail (1672-1727), qui a subi des dégâts considérables. Toute la côte atlantique, de Tanger à Agadir, a été sévèrement touchée par les effets conjugués du séisme et du tsunami qu'il a provoqués. Les violentes répliques du 18 et 19 novembre ont contribué à accentuer les dégâts, particulièrement à Meknès et à Fès. C'est dans un contexte politique et social instable, qui est celui du Maroc de XVIII^e siècle, qu'a eu lieu le séisme du 1^{er} novembre 1755 en amplifiant les problèmes existants et en engendrant d'autres difficultés et d'autres défis. L'ambition de ce travail est modeste : à partir d'une relecture de sources historiques de première main d'historiens marocains et d'Européens résidants au Maroc, nous avons essayé de faire une synthèse des dégâts matériels provoqués par le séisme et le tsunami au Maroc et de faire une évaluation même approximative du nombre des victimes.

Les documents que nous avons consultés sont rédigés par des historiens marocains, des ecclésiastiques, des rabbins, des diplomates, des officiers des ports occupés, des prisonniers chrétiens, etc., influencés par leurs passions, par leurs modes intellectuelles, et bien entendu par leurs religions. Quel est donc leur degré de "fiabilité" pour la reconstruction de l'histoire de cette catastrophe au Maroc?

Abstract

The historical earthquake, commonly known as "Lisbon earthquake" that occurred on the 26th Muharram 1169H (November 1st, 1755) is considered one of the most destructive and deadliest natural disasters in the history of Morocco. Due to this disaster, thousands of people were killed and many Moroccan towns and villages were destroyed. Meknes, the capital of Morocco under the reign of My Ismail (1672-1727) was severely damaged. Many Moroccan historians refer to this event by the 'Meknassa Ez-Zaytouna' earthquake (Meknes Olivier). Furthermore, The whole Atlantic coast from Tangier to Agadir was severely hit by the combined effects of the earthquake and the resulting tsunami. Violent aftershocks of 18th and 19th November have contributed to accentuating the damage, especially in Meknes and Fez.

Moreover, the "Lisbon earthquake" amplified problems and created other political and social challenges that Morocco was facing during the 18th century.

The aim of this work is to re-evaluate the primary historical sources regarding the "Lisbon earthquake" impacts in Morocco in order to assess the physical damage caused by both the earthquake and tsunami and to make even a rough estimate of victims number.

The documents we consulted are written by Moroccan historians, men of church, rabbis, ambassadors, occupation soldiers, slaves (prisoners), etc. Influenced by their passions, their intellect, and religions, what is their degree of "reliability" for the reconstruction of the history of this catastrophe in Morocco?

1. Introduction

Samedi 1^{er} novembre 1755, vers 9h 40min, le Maroc et une grande partie de la péninsule ibérique furent frappés par un violent tremblement de terre. Les dégâts furent considérables surtout au Portugal et au Maroc. La magnitude du séisme est évaluée entre 8,5 et 8,7; les dégâts les plus importants furent observés à Lisbonne, détruite à plus de 80%, qui a subi en plus des effets du séisme, qui provoqua un énorme incendie, un gigantesque tsunami. Au Maroc, les sources historiques montrent que c'est Fès et Meknès qui ont le plus souffert du séisme, cette dernière cité a été touchée par un autre séisme qui a eu lieu 26 jours après la secousse principale, le 27 novembre (Al-Qadiri, 1977-1986). Les catalogues européens font état d'une forte réplique, mais le 18 novembre. Ce point a été discuté dans plusieurs articles qui ont abouti à l'hypothèse d'une forte secousse localisée dans les environs de Meknès (Levret, 1991).

L'importance de ce tremblement de terre ne réside pas seulement dans sa violence et dans le nombre important de victimes (60 000 environ) qu'il a provoqué, mais également par le débat théologique et philosophique qu'il a suscité, soit pour expliquer la catastrophe soit pour la justifier.

Malgré la masse importante des données macrosismiques, la hauteur des vagues sur les atlantiques portugaise et marocaine ainsi que les données géologiques, les scientifiques n'ont pas réussi à se mettre d'accord sur la faille responsable du mégaséisme. La localisation de sa source sismique demeure encore à ce jour incertaine, elle serait située entre le sud-ouest du cap St Vincent et l'ouest du détroit de Gibraltar.

2. Sismicité historique du Maroc

La sismicité historique du Maroc n'était connue jusqu'à une vingtaine d'années qu'à travers les catalogues de Perry (1847, 1848), Hée (1932), Galbis (1932, 1940), Roux (1934), Munuera (1963), Kárník (1969), Mezcua Rodríguez J. & Martínez Solares J.M. (1983). Les travaux de recherche de sources originales et de rassemblement de documents (Vogt 1985, Levret 1991, Elmrabet 1991, 2001), et le dernier catalogue espagnol (Martínez Solares & Mezcua Rodríguez 2002) ont permis d'établir des listes des séismes historiques ressentis au Maroc avant 1900 (figure 1).

Le dépouillement de cette base de données montre que:

- la plupart des séismes connus se sont produits dans les principales villes du Maroc: Fès, Marrakech, Salé, Sebta, Tanger, Meknès, etc., ce qui ne peut correspondre qu'à une partie de la réalité;
- le Maroc a été secoué à plusieurs reprises par de violents tremblements de terre destructeurs, principalement d'origine océanique: 881, 1356, 1531, 1624, 1755, 1757, etc.;
- pour le reste du Maroc, mis à part les précisions concernant quelques événements majeurs (le séisme du 1^{er} novembre 1755), les données historiques restent fragmentaires. Les documents actuellement disponibles, relatifs à des séismes ayant détruit partiellement ou entièrement les villes de Rabat-Salé (1755), Marrakech (1719), Fès (1522, 1624, 1755), Meknès (1755), Agadir (1731, 1761), etc. manquent de précisions et sont souvent contradictoires.

1- *Le tremblement de terre de 1755 avait provoqué un débat philosophique entre les penseurs européens de l'époque (Voltaire, Rousseau, Pope, Leibniz...) et marqué un tournant décisif dans l'histoire intellectuelle européenne. Il existe une littérature abondante à ce propos (voir par exemple: Quenet G., 2005 et Kleiman et al., 2014).*

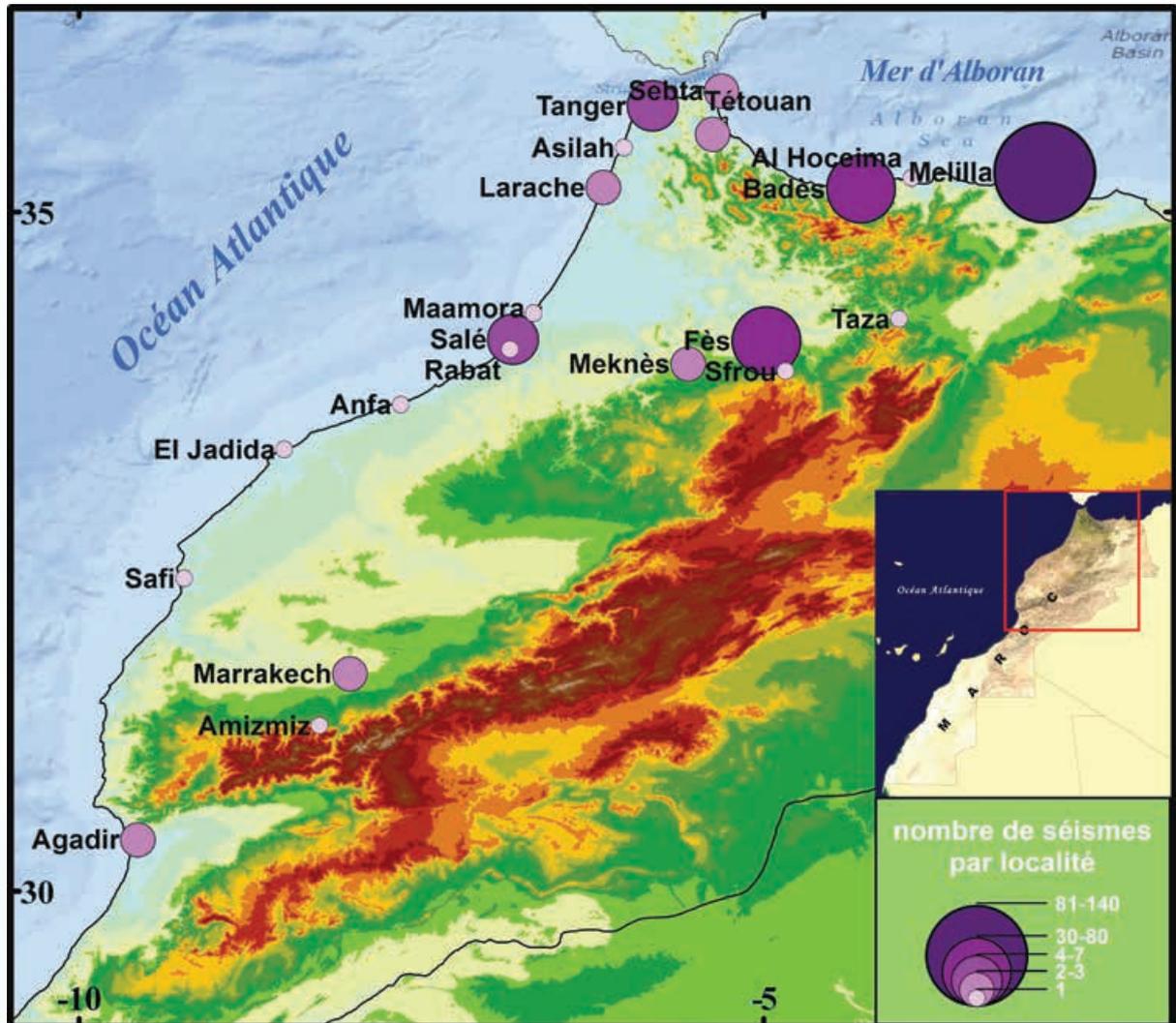


Figure 1: Nombre de séismes (y compris les répliques) recensés par les sources historiques. On peut remarquer la présence de petites localités comme Badès, Maamora et Amizmiz qui sont, probablement justifiées par leur importance stratégique à l'époque, alors que de grandes villes comme Marrakech ou Casablanca (Anfa) ne sont citées qu'une ou deux fois, ceci peut être justifié par l'absence de sismicité pour Marrakech tandis que Casablanca n'était qu'une petite bourgade jusqu'au début du XX^{ème} siècle.

L'absence de sismicité avant le IX^{ème} siècle ou pendant le X^{ème}, etc., ne signifie pas qu'il n'y a pas eu de séismes, mais plutôt due aux périodes de troubles et d'instabilités qu'a connu le pays, soit avant la fondation de l'État marocain (IX^{ème}) ou le passage d'une dynastie à une autre, etc. Le même phénomène a été remarqué pendant le XX^{ème} siècle pendant les deux grandes guerres (Figure 2).

Le tremblement de terre historique le plus documenté est celui de 1755. Il fut appelé par les historiens marocains le séisme de "Meknassa

Ez-Zaytouna" (Meknès l'Olivier); Meknès qui subit aussi des dégâts considérables même si cette ville est située à 500 km de l'épicentre. Ce séisme est considéré comme l'un des plus importants tremblements de terre jamais ressentis par le passé au Maroc. Les dégâts, au Maroc, ont été importants sur toute la côte atlantique de Tanger à Agadir et même à l'intérieur du pays jusqu'à Fès et Meknès. En plus des effets de la secousse sismique, les localités côtières ont été balayées par un gigantesque tsunami.

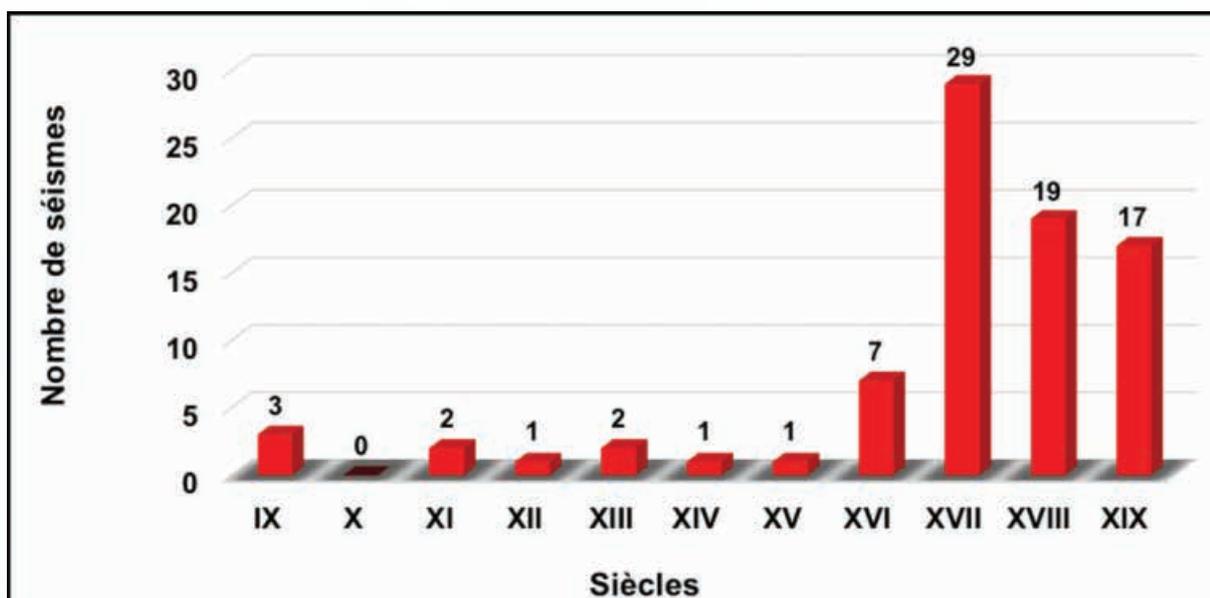


Figure 2 : Quelques caractéristiques de la sismicité historique du Maroc:

l'absence de sismicité avant le IXe siècle ou pendant le Xe, etc.

ne signifie pas qu'il n'y a pas eu de séismes, mais plutôt due aux périodes de troubles d'instabilités qu'a connu le pays soit avant la fondation de l'État marocain (IXe)

ou le passage d'une dynastie à une autre, etc.

même phénomène a été remarqué pendant le XXe siècle pendant les deux grandes guerres.

La figure représente le nombre de séismes historiques par siècle en excluant les prémonitoires et les répliques.

3. Le séisme de 1755

Samedi 1^{er} novembre 1755 (26 muharram 1169 de l'Hégire); aux environs de 9h 40min, un tremblement de terre d'une violence inouïe secoua la péninsule ibérique et toute la moitié nord du Maroc. Ce séisme, dont la magnitude est aujourd'hui estimée entre $M_w=8.5\pm 0.3$ (Martinez Solares & Arroyo, 2004) et $M_w=8.7\pm 0.4$ (Johnston, 1996), engendra aussi un gigantesque tsunami avec un *run-up* d'une dizaine de mètres de hauteur à certains endroits et provoqua la mort de plus plusieurs dizaines de milliers de personnes dans la péninsule ibérique et au Maroc (Figure 4). Sa violence eut des conséquences catastrophiques sur les

régions les plus proches de l'épicentre. Une intensité maximale au sol X (MSK-64; Moreira, 1984) fut observée à Lisbonne, qui fut presque entièrement détruite, les dégâts furent accentués par le tsunami engendré par ce séisme ainsi que par le déclenchement d'incendies accidentels qui durèrent pendant 5 à 6 jours (Larcán, 2006) (figure 2).

3.1. Les effets du séisme au Maroc

D'après les sources historiques de chroniqueurs marocains et européens, témoins oculaires contemporains des faits, il y a eu de grands dégâts sur toute la côte atlantique de Tanger à Santa Cruz (Agadir) et dans quelques localités de l'intérieur du pays notamment à Fès et à Meknès (Figure 3).



Figure 3 : Cet extrait d'une page de «Nashr al-matani» d'Al-Qadiri (1712-1773) décrivant les effets du tremblement de terre de 1755 dans plusieurs localités marocaines.

Selon Al-Qadiri (1977-1986)², témoin oculaire des faits puisqu'il vivait et mourut à Fès «Le samedi 26 moharrem 1169H, à l'aube, la terre trembla et s'inclina à l'Est et à l'Ouest pendant 5 minutes, et on entendit un fracas comparable à celui des meules de moulin, et on entendit dire que l'eau des vasques et des bassins entra dans les maisons et les sources devinrent troubles et il y a eu un arrêt dans le courant de certaines rivières. De nombreuses maisons furent détruites et, grâce à Dieu, il n'y a eu que deux ou trois victimes à Fès. Les moellons des maisons furent réduits en poussières. Les murs

et les plafonds furent fissurés et endommagés, les gens les démolirent de crainte de les voir s'effondrer sur eux. Les commerçants abandonnèrent leurs magasins ouverts avec ce qu'ils contenaient, les bureaux, les ateliers des tisserands cessèrent de fonctionner et les souks furent désertés.»

«(...) On apprit aussi que certaines montagnes se disloquèrent dont une près de Sidi Bouchta³ dans l'Ouergha où une roche se détacha et écrasa une maison et tua tous ses occupants.»

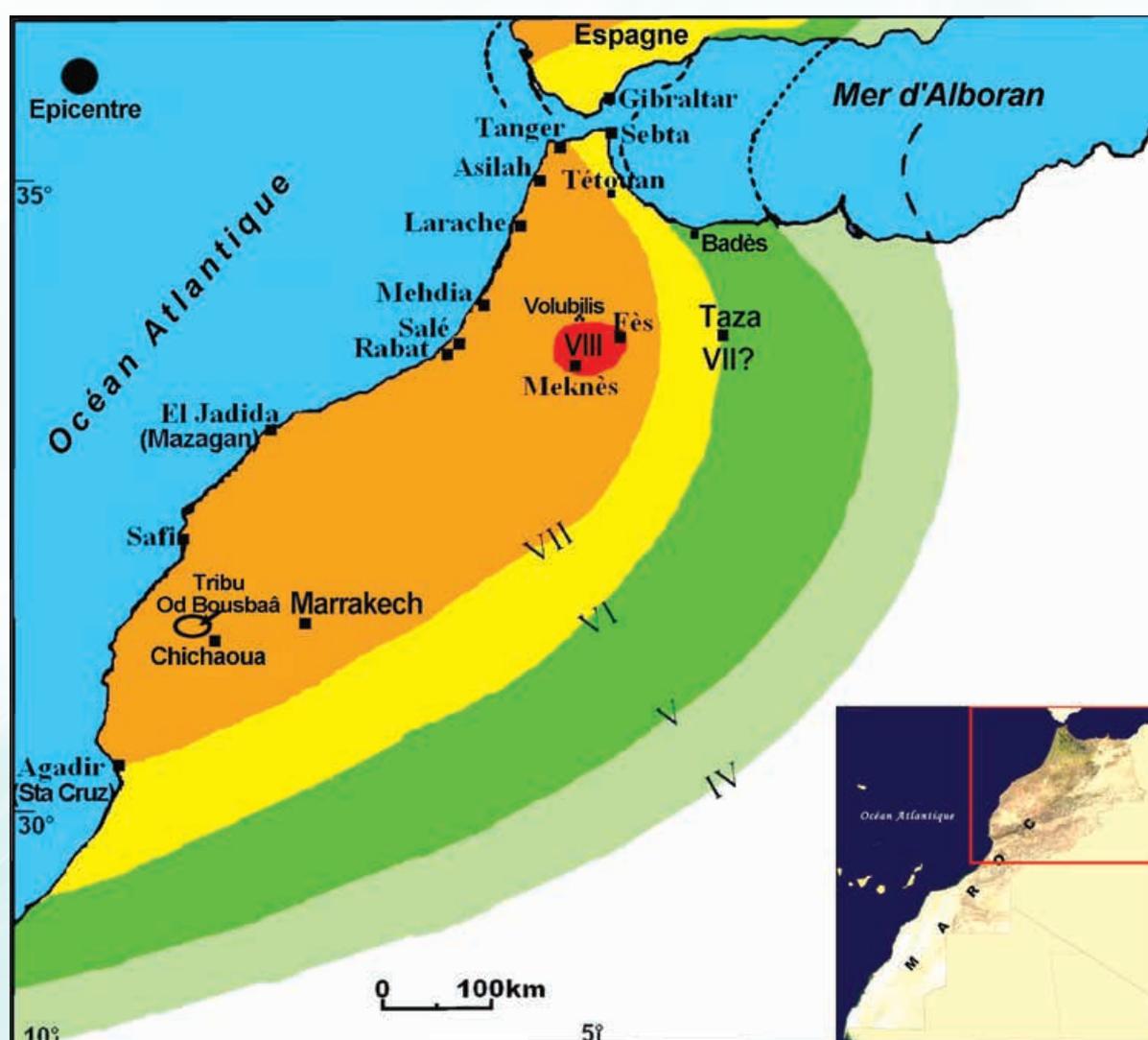


Figure 4 : Carte des isoséistes du séisme du 1^{er} novembre 1755 (Cherkaoui, 2013, modifiée)

2- Mohammed Ibn al-Tayyib Al-Qadiri (1712-1773), historien marocain, contemporain du tremblement du terre et témoin oculaire des faits puisqu'il vivait et mourut à Fès, décrit cet événement avec une remarquable précision dans son livre «Nashr al-mathana li-ahl al-qarn al-qadi 'ashar wa-al-thana».

3- Il s'agit probablement du mausolée de My Bouchta Khammar situé à une cinquantaine de kilomètres au NW de Fès.

Les violentes répliques du 18 et 19 novembre 1755 ont contribué à accentuer les dégâts au Maroc. A Tétouan, par exemple, la panique fut tellement grande que «...*chacun se réfugia en pleine campagne, où la frayeur a fait accoucher beaucoup de femmes avant terme.*» (Anonyme 1, sans date). Mais pour Al-Qadiri (1977-1986) c'est plutôt la secousse du 27 novembre 1755 qui fut la plus violente «*Vingt-six jours après (27 novembre 1755), un nouveau tremblement de terre plus grave que le précédent eut lieu après la prière d'al-ichae⁴, mais il eut une durée moins longue. Quelques maisons à Fez furent renversées, produisant une vive émotion. Mais on apprit que les dégâts avaient été particulièrement importants à Meknès, où la plupart des maisons et des fortifications avaient été démolies ; la tour de la grande mosquée s'était effondrée sur sa base, ainsi que la mosquée de la Casbah du Sultan et la plupart des autres édifices du culte, ensevelissant un grand nombre de personnes dont dix mille (10 000) ont pu être dénombrées; quant aux autres, Dieu seul en sait le nombre*» (figure 3).

Sur ce séisme du 27 novembre 1755, les sources européennes restent muettes; s'agit-il d'une secousse locale? Levret (1991) avance l'hypothèse selon laquelle deux violents séismes avaient suivi le séisme majeur du 1^{er} novembre 1755. Celui du 18 novembre 1755 est considéré comme une réplique du choc principal, tandis que le second, celui du 27 novembre 1755, serait, en revanche, un séisme local ayant eu lieu dans les voisinages immédiats de Meknès (figure 4).

3.2. Le tsunami

Le séisme de 1755 provoqua un tsunami particulièrement violent, dont les effets se firent sentir avec violence sur les côtes atlantiques du Portugal et du Maroc (figure 5). Toute la difficulté

est de faire la part des dégâts provoqués par le séisme de ceux engendrés par le tsunami, c'est qu'en effet les documents historiques sont souvent entachés d'une forte exagération et peu précis pour permettre d'en faire la distinction. Le tremblement de terre et le tsunami causèrent beaucoup de dégâts et détruisirent les maisons et édifices de Tanger et jusqu'aux environs d'Agadir. La mer aurait pénétré sur 2,5 km à l'intérieur des terres comme à Tanger (Roux, 1934) et la hauteur des vagues aurait dépassé les dizaines de mètres dans certains endroits de la côte (Figure 5).

Al-Qadiri (1977-1986) donne une image assez précise du phénomène du tsunami à Salé : «*Et l'on reçut des nouvelles de Salé que la mer se retira très loin et la population de Salé sortit pour contempler ce spectacle ; mais le flot revint vers le rivage et s'avança vers l'intérieur des terres jusqu'à environ une «massâfa⁵», submergeant tous les gens qui se trouvaient en dehors de la ville. De nombreuses personnes moururent. Ce flot rencontrant une caravane composée d'un grand nombre de bêtes de somme et de gens se rendant à Marrakech, l'engloutit toute entière. Il emporta toutes les felouques et les barques qui se trouvaient sur le rivage, et une barque fut retrouvée à plus d'une massâfa de la mer. La suprématie est à Dieu seul.*»

Al-Nasiri⁶ (1954-1956) apporta quelques précisions sur les ravages du tsunami qui a frappé Mazagan (El Jadida): «*les eaux de l'Océan s'élevèrent au-dessus de la muraille d'El Jadida et se répandirent dans la ville. Un grand nombre de poissons restèrent dans la ville quand la mer fut rentrée dans ses limites habituelles ; la mer déborda aussi sur les terrains de pâture et de culture ainsi que sur les redoutes qu'elle rasa complètement. Les bateaux et les canots du port furent presque tous brisés.*»

4- La prière du soir; la dernière de la journée.

5- Massâfa: mesure de longueur (5 à 6 km).

6- Ahmad ibn Halid Al-Nasiri Al-Salawi (1835-1897) est considéré comme le plus grand historien marocain du XIX^e siècle. Il fut le premier historien marocain à avoir cité comme référence des sources espagnoles et portugaises (Levret, 1988).



Figure 5: Les valeurs de la hauteur des vagues diffèrent énormément d'un auteur à un autre, ici on donne les deux valeurs extrêmes (minimale et maximale) pour certaines localités de la côte atlantique du Maroc (Baptista et al., 2003; Blanc, 2009 ; Kaabouben et al., 2009);
 par exemple à Tanger : $2,5\text{m} < \text{run-up} < 15\text{m}$;
 Mazagan: $2,5\text{m} < \text{run-up} < 23\text{m}$.

3.3. Bilan humain

Il est certain que le tremblement de terre de 1755 a eu un impact considérable en termes de pertes de vies humaines au Maroc. Mais peut-on évaluer avec une bonne approximation le nombre de victimes du séisme et du tsunami qu'il a engendré. Malgré le nombre important de

documents historiques marocains et européens, les chroniqueurs ont souvent tendance à dramatiser les événements et à exagérer les chiffres pour des raisons émotionnelles, religieuses et autres. Dans la figure 6, nous donnons le nombre de victimes par villes en nous basant sur les documents historiques de l'époque.

D'après les données de ce tableau, il ressort que le nombre de victimes a été important pour les localités côtières lors du choc principal du 1^{er} novembre à cause essentiellement du tsunami dont les vagues ont passé par-dessus les remparts provoquant la mort de nombreuses personnes par noyade. Tandis que la réplique du 18 novembre a été meurtrière surtout pour Fès et pour Meknès (villes très peuplées à cette époque), les bâtiments et les édifices déjà fragilisés par la première secousse s'écroulent comme un château de cartes.

a. Les secousses du 18 et 27 novembre 1755

Al-Qadiri (1977-1986) signale une secousse le 27 novembre, «*Vingt-six jours après, un nouveau tremblement de terre plus grave que le précédent eut lieu après la prière d'al-icha*⁷», une information reprise par les historiens marocains postérieurs, mais sur laquelle les sources européennes restent muettes. Levret (1991) avance l'hypothèse selon laquelle deux séismes avaient suivi le séisme majeur du 1^{er} novembre: le premier, le 18 novembre, est considéré comme une réplique du choc principal, tandis que le second, celui du 27 novembre, serait, en revanche, un séisme local ayant eu lieu dans les environs de Meknès. Mais en fait, peu de preuves viennent appuyer cette hypothèse, les dommages subis par les colonnes de la porte monumentale d'Al Mansour à Meknès et par le site archéologique d'Oualili⁸, observations faites par Gentil (1922), peuvent bien être causés par le séisme du 1^{er} novembre et de sa réplique du 18 novembre, ou bien par le violent séisme local du 11 mai 1624 (I=VIII-IX-MSK) qui a été destructeur à Fès et à Meknès et largement ressenti jusqu'à Salé à l'ouest, Safi au sud-ouest et Badès⁹ au Nord (Vogt, 1985; Levret, 1988; Elmrabet, 1991).

Dans notre étude du séisme du 28 février 1969 (MS=8,0), de source sismique comparable à celle de 1755, nous avons constaté que ce séisme a été ressenti avec la même intensité sur la côte atlantique, de Larache à Essaouira et à l'intérieur du pays jusqu'à Meknès et Fès (Cherkaoui, 1991).

Al-Qadiri ne fait nulle mention de la réplique du 18 novembre, pourtant fut ressentie presque avec la même violence que le choc principal dans d'autres villes du pays. L'heure de la réplique, vers 22h, mentionnée par les différentes sources étrangères, correspond à l'indication donnée par Al Qadiri «*...après la prière d'al-icha*¹⁰». On peut donc envisager l'hypothèse plausible d'une erreur de quelques jours (9) en plaçant mal la date de la réplique.

Le témoignage de Berg (1757) comporte un intérêt certain, prisonnier suédois à Fès au moment du séisme, dans son texte il ne fait mention d'aucune secousse le 27 novembre. Il décrit avec détail les dommages subis par la ville et la panique générale de la population comme suit: «*Le 1^{er} novembre, à 10h du matin, nous avons eu un violent et terrible tremblement de terre qui a duré 10min (...) le 16 novembre, vers 9h du soir, une nouvelle violente secousse qui a duré 3min, suivie d'un bruit insupportable et des fissures dans le sol, les maisons ont été secoué avec violence, nous avons cru qu'elles allaient s'effondrer sur nous. (...) le 22 novembre, nous sommes réveillés par une violente secousse qui a duré moins d'une minute, puis le 23, nous avons commencé à restaurer la muraille de la prison.*» Pour Berg, les secousses, au moins les violentes s'arrêtent le 23 novembre.

7- La prière du soir; la dernière de la journée.

8- Ou Volubilis, site archéologique romain situé à une trentaine de kilomètres au nord de Meknès.

9- Petit village sur la Méditerranée, situé à une soixantaine de kilomètres au sud-ouest d'Al Hoceima.

10- La prière du soir; la dernière de la journée, elle a lieu en cette période de l'année vers 18h 45min dans la ville de Fès.

<i>Localité</i>	<i>Jour</i>	<i>Descriptions</i>	<i>Ref.</i>	<i>Rce.*</i>
Meknès	27 ?	>10 000 morts	1	Fès
	18-19	>4000 musulmans et >8000 juifs sont morts	2	?
	1	Beaucoup de personnes ensevelis sous les décombres.	3	Gibraltar
	18	Nombreux morts. A Mellah ne reste plus que 8 juifs.		
	18	>200 juifs et >5000 musulmans	4	Fès
	18	4000 morts. A Mellah, où vivaient 6000 juifs ne restaient que 8.	5	Tétouan
Fès	1	2 ou 3 morts	11	Fès
	18	Quelques morts		
	18-19	>3000 morts	2	?
	1	Beaucoup de personnes ensevelis sous les décombres.	3	Gibraltar
	18	Beaucoup de morts		
	1	Aucune victime	4	Fès
	18	3000 morts	5	Tétouan
Salé	1	Plus de la moitié de la population de la ville. Une caravane de 5000 personnes de la caravane en plus de 6000 cavaliers qui campaient dans le même endroit.*	2	?
	1	Nombreuses personnes mortes noyées.	3	Gibraltar
	1	Plusieurs personnes furent englouties par le tsunami. Une felouque fut renversée avec ses occupants.	4	Fès
	1	La mer a emporté 3 barques avec 200 personnes à bord. La terre a englouti une caravane entière (hommes et bêtes) qui partait pour Marrakech.	5	Meknès
Rabat	1	Plusieurs morts	5	Meknès
Marrakech	1	Beaucoup de personnes ont perdu la vie.	3	Gibraltar
	1	Peu de personnes furent ensevelies sous les ruines de leurs demeures.	7	Marrakech
Oulad Bousabaa	1	Entre 8 à 10000 morts*	3	Gibraltar
	1	la terre s'est ouverte et a englouti un douar avec ses 5000 habitants. 6000 hommes de cavalerie étaient en quartier dans ce lieu ont eu le même sort.*	5	Meknès
Tanger	1	Beaucoup de gens se sont noyés.	5	Meknès
Asilah	1	La mer est entrée jusqu'à la mosquée de la ville et fait périr une infinité de personnes.	5	Meknès
Larache	1	Beaucoup de gens se sont noyés.	5	Meknès
Mehdia¹	1	Beaucoup de gens se sont noyés.	5	Meknès
Mazagan	1	3 morts par noyade.	6	Mazagan
Safi	1	Beaucoup de personnes furent écrasées sous les décombres.	2	?
Santa Cruz	1	Plusieurs morts dans les deux localités.	5	Meknès
Sidi Bouchta	1	La mort d'une famille suite à la chute d'un bloc de pierre.	1	Fès
Zerhoun	1	Deux blocs de pierres provoquèrent la mort de plusieurs personnes	3	Gibraltar
Taza	18	Entièrement engloutie (glissement de terrain)	5	Tétouan

Tableau 1: Bilan des victimes par localité suite au tremblement de terre de 1755 et ses répliques.

1: Al-Qadiri; 2: Anonyme 1 (sans date); 3: Anonyme 3 (1756); 4: Ibn Danan (2007);
5: Extraits de lettres; 6: Anonyme 2 (1755), Soyris (1755).

*Rce.: Résidence de l'auteur du document.

11- Mehdiya ou Mamora, localité située à l'embouchure de l'oued Sebou, entre Salé et Kénitra, où n'existe plus qu'une kasba.

b. Le nombre de victimes

Les violentes répliques et particulièrement celle du 18 font tomber les édifices déjà fragilisés par la première secousse. A Fès par exemple «...Les murs et les plafonds furent fissurés et endommagés, les gens les démolirent de crainte de les voir s'effondrer sur eux.» (Al-Qadiri, 1977-1986). Il convient de mentionner que le nombre de victimes du séisme du 1^{er} novembre et de ses répliques a souvent été surestimé. Les chiffres actuels sont revus à la baisse, on est passé d'une centaine de milliers à quelques dizaines de milliers pour les trois pays : Maroc, Portugal et Espagne. Le nombre de décès causé par le tremblement de terre et ses répliques au Maroc reste inconnu, les sources historiques elles-mêmes sont si diverses et si contradictoires ce qui a pour effet de rendre difficile toute tentative de dresser un bilan même approximatif des victimes. Procédons par étape :

- c'est certainement à Meknès qui a eu le plus de morts, peu de victimes pendant la première secousse et un peu plus de 10 000 pendant la réplique du 18;
- à Fès, 2 ou 3 victimes pendant la première secousse et un peu plus de 3 000 pendant la réplique;
- à Salé, de nombreuses personnes sont mortes noyées pendant la première secousse, dont 200 personnes qui traversaient l'oued Bou Regreg entre Salé et Rabat;
- plusieurs morts dans les différentes localités côtières entre Tanger et Safi (Agadir a été tout le temps cité avec Safi);
- à Marrakech, d'après Soyris (1755)¹² quelques maisons se sont effondrées faisons peu de victimes;
- des incertitudes sur l'ampleur des dégâts à Taza.

c. La caravane de Salé à Marrakech et la catastrophe d'Oulad Bousabaa

En ce qui concerne la caravane partit de Salé pour Marrakech et la catastrophe de la tribu d'Oulad Bousabaa (أولاد أبي السباع), située dans la province de Chichaoua, à l'ouest de Marrakech. Pour Vogt (1984), les deux événements sont évoqués par plusieurs sources en des termes comparables, et il s'agit du même événement.

Dans un manuscrit envoyé par un agent anglais établi à Marrakech au gouverneur Fowke de Gibraltar (Morsy, 1975) nous lisons: «...about eight leagues from this city, the earth opened and swallowed up a village with all the inhabitants (who were known by the name of the Sons of Busuba¹³ to the number of about 8 to 10,000 persons, together with their cattle of all sorts, as camels, horses, horned cattle etc. and soon after the earth was closed again in the same manner as before.»

Par ailleurs, une lettre d'un marchand établi à Salé apporte les précisions suivantes (Anonyme 1, sans date): «À huit lieues d'ici, dans une grande étendue de pays, la terre s'ouvrit et forma un vaste gouffre dans lequel furent engloutis une multitude innombrable de chameaux, chevaux, bêtes à cornes et troupeaux de moutons; cinq mille habitants y ont perdu la vie: un corps de six mille Cavaliers qui était campé dans ces quartiers fut plongé dans l'abîme, avec les chevaux, tentes et autres équipages de guerre. Après ce cruel événement, la terre se referma; et le lendemain il eût été difficile de connaître l'endroit où la veille existaient tant de Villages et de Hameaux, tant d'hommes et tant de bestiaux.»

La disparition d'une grande partie de la ville pourrait être expliquée par des glissements de terrain qui peuvent se produire par des séismes mêmes de faible magnitude (Vogt, 1984).

12- Soyris, un négociant établi à Safi qui travaillait pour le compte de Pierre-Augustin Guys, célèbre marchand et écrivain Marseillais.

13- Il s'agit de la tribu Oulad Bousabaa.

En résumé, il est très difficile de donner une estimation, même approximative, du nombre de morts. La population du Maroc était à son niveau le plus bas, il passa de 5 millions d'habitants au XVI^e siècle à moins de 3 millions au XVIII^e (Benhadda, 1987). La répétition des épidémies, et des sécheresses pendant plusieurs années s'ajoutant aux troubles internes et les guerres de libération des places côtières, occupées par les Européens, ont provoqué un effondrement démographique et auraient conduit au dépeuplement de certaines régions notamment les plaines atlantiques qui ont été ravagées par le tsunami.

En résumé, nous estimons, sous toutes réserves, qu'il y a eu entre 25 000 à 30 000 morts suite au tremblement de terre du 1^{er} novembre 1755 et ses répliques, ce qui représentait environ 1% de la population totale du Maroc.

4. Perception et influences culturelles et religieuses

4.1. Contexte politique du Maroc au milieu du XVIII^e siècle

Après le long règne de My Ismaïl (1672-1727), qui choisit Meknès comme capitale de son empire, le Maroc va connaître une période d'instabilité politique et sociale qui va durer une trentaine d'années (1727-1757) jusqu'à l'intronisation de Sidi Mohammed Ben Abdellah (Mohammed III). Les prétendants au trône, fils de My Ismaïl, sont nombreux, dont My Abdellah qui parvient à régner de 1750 à 1757 après trois dépositions.

Pendant ces trois décennies de trouble le pays va connaître des guerres internes pour le pouvoir, la

famine (1737-1738), les épidémies (la peste de 1742-1744 et de 1747-1751) provoquant ainsi un effondrement démographique de sa population totale où la population totale du Maroc ne comptait pas plus de 3 millions d'habitants à la fin du XVIII^e siècle (Chegraoui, 2007). C'est donc dans un contexte politique complexe qu'a eu lieu le grand tremblement de terre de 1755 (figure 7).

4.2. Religion, croyances et tremblement de terre

La religion a joué, et joue encore, un rôle important dans la vie quotidienne des Marocains. Elle peut aider les croyants à accepter que quelque chose de dévastateur leur soit arrivé et leur permettre de trouver du réconfort (القضاء والقدر)¹⁴. Face aux tremblements de terre, provoqués par des mécanismes trop complexes et restent encore mal compris, la population croit à une punition divine, et y voient un signe de la fin du Monde¹⁵. On trouve d'ailleurs dans le Coran, en plusieurs endroits et en différentes occasions, des versets qui décrivent quelques instants du jour de jugement dernier dont parmi eux on trouve le grand tremblement de terre qui se produira sur terre «*Lorsque la terre entrera dans sa dernière convulsion et mettra à nu ses entrailles, l'Homme dira 'Qu'a-t-elle ?'. Ce jour-là, les hommes accourront de tous côtés, pour être mis en face de leurs œuvres.*»¹⁶

Mais dans la culture populaire des Marocains, les catastrophes naturelles, comme les tremblements de terre, ont évidemment effrayé la population et ont fait surgir de l'imaginaire des explications du phénomène sismique inspirées de légendes et mythes¹⁷.

14- C'est un acte d'Allah.

15- En 1992, Rissani (à l'est du Maroc) a été frappé par deux secousses sismiques de magnitudes 5,2 et 5,3, elles ont eu lieu toutes les deux dans la matinée des vendredis 23 et 30 octobre, les habitants de la ville et des ksour (Kasaba) avoisinants étaient sûrs que dans la matinée du troisième vendredi frapperait un séisme qui allait anéantir la ville. Nous avons essayé de les convaincre de rentrer chez eux et que de telles hypothèses sont infondées, la majorité n'est rentrée chez elle que le vendredi soir.

16- Coran, sourate Az-zalzala «La secousse» n° XCIX, versets 1-6. Interprétation par Ibn Katir: «A la fin des temps, la terre subira un grand tremblement qui la secouera afin qu'elle fasse sortir les Hommes de leurs tombes...». <http://bibliotheque-islamique-coran-sunna.over-blog.com/article-le-commentaire-tafsir-complet-du-coran-d-ibn-kathir-sourate-87-a-114-121186151.html>.

17- Une légende, d'origine grecque, qui circulait encore au Maroc jusqu'à la moitié du XX^e siècle pour expliquer le phénomène sismique: «Que la terre repose sur une corne d'un taureau, et lorsqu'il fait basculer le globe sur l'autre corne, cela provoque des soubresauts».

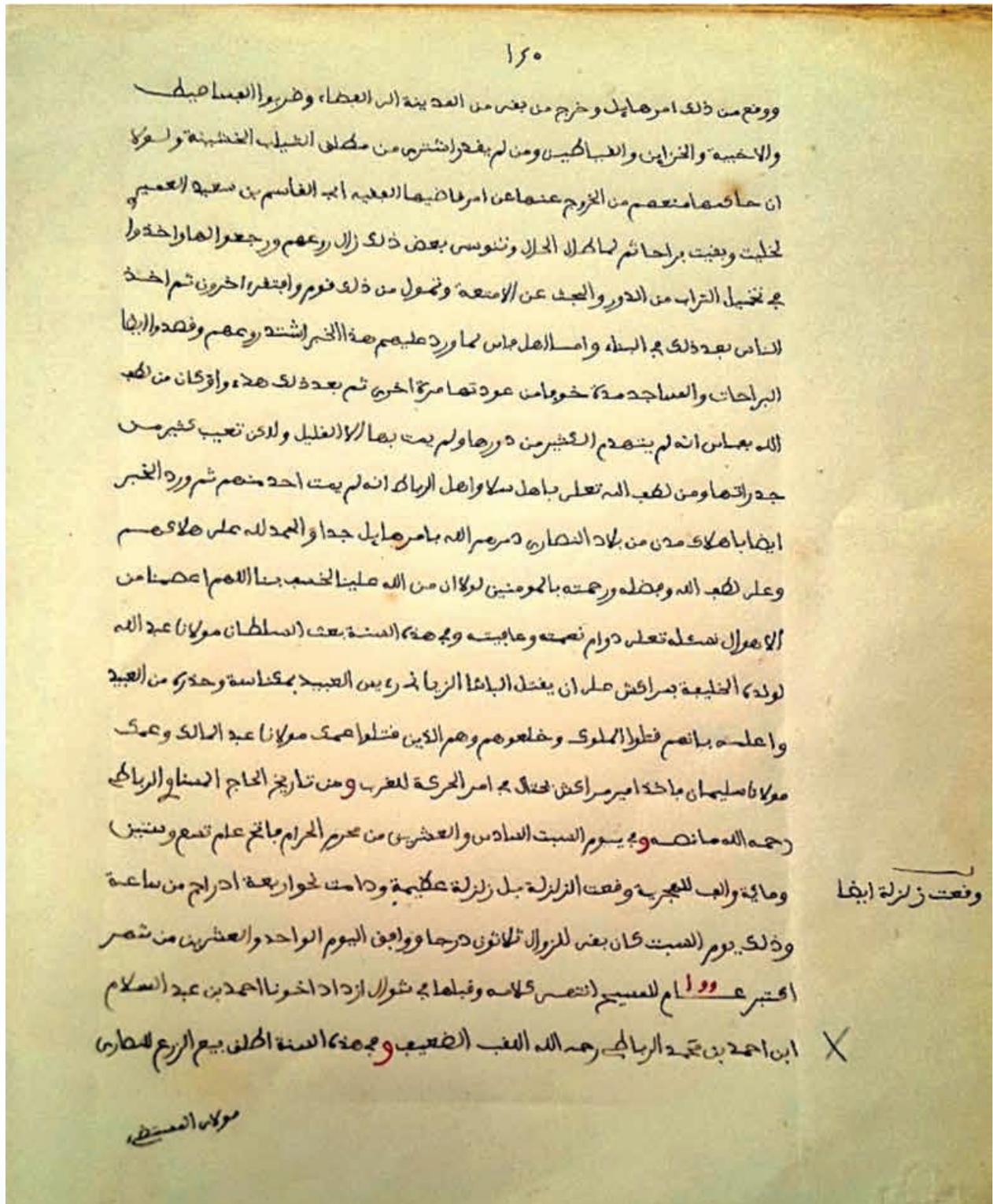


Figure 6: Extrait d'une page de «Tarikh ad-dawla al alawya» (Histoire de la dynastie alaouite) d'Eddaif Mohammad Abi Abdellah Ar-Ribati (m. 1818) : Manuscrit cote 660, Bibliothèque nationale du royaume du Maroc, Rabat

Le savant imam, l'érudit Abdelkader Al-Fassi Al-Fihri quand on lui posa la question sur l'origine du séisme qui a secoué Fès le 10 ramadan 1075 H (28 mars 1665), il expliqua «*que l'histoire du taureau portant la terre sur une corne est sans fondement, et que le saint Coran dit 'Nous n'envoyons des miracles que pour avertir'*»¹⁸, et d'ajouter «*qu'Avicenne explique l'origine des séismes par la formation des gaz (ventus) à l'intérieur de la terre... Dieu seul le sait*» (Al-Kettani, 2004)¹⁹.

Par ailleurs, après la réplique du 18 novembre 1755, et quand les gens de Fès apprirent l'ampleur de la catastrophe à Meknès, ne trouvèrent rien de mieux que de courir «*...et se réfugièrent dans la campagne et dans les mosquées par crainte d'un*

retour du phénomène» (Al-Qadiri 1977-1986, Eddaif²⁰, 1818).

Le même genre de comportement a été aussi observé à Mazagan²¹ où «*...les Chrétiens de la ville s'enfuirent dans l'église, laissant leurs maisons ouvertes*» (Al-Nasiri, 1954-1956). Généralement, les lieux de culte sont remplis par les fidèles après une catastrophe pour implorer le pardon de Dieu.

Une enquête par questionnaires a été organisée dans la ville d'Agadir entre 2002 et 2004 sur 250 survivants du tremblement de terre d'Agadir (1960)²² montre que l'éducation joue un rôle important dans la détermination du comportement des hommes face au risque sismique (figure 7).

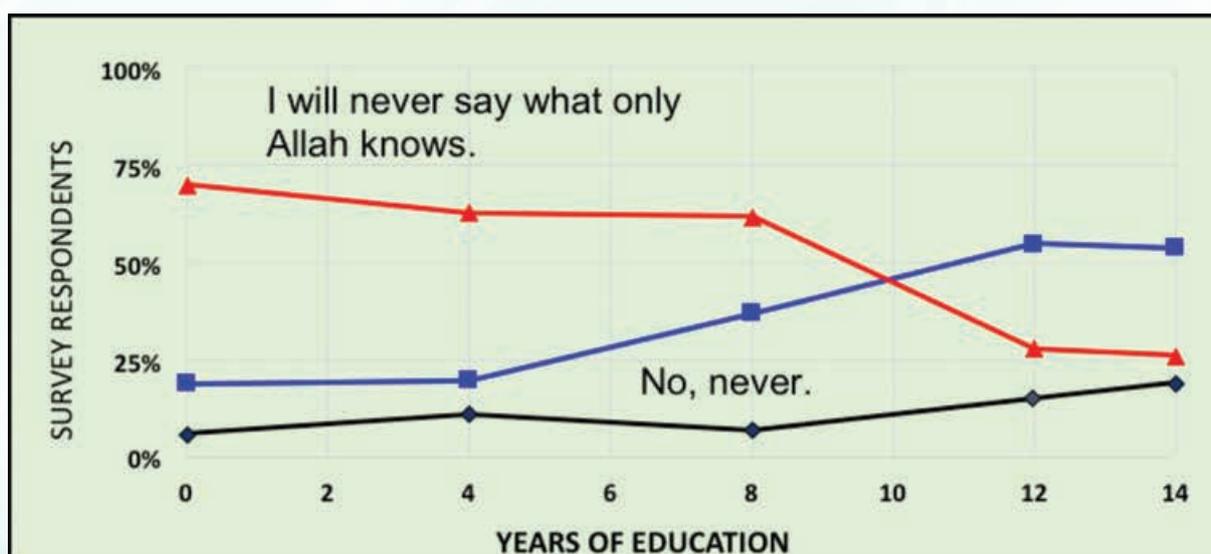


Figure 7: Les résultats de l'enquête menée à Agadir montre bien l'influence positive du niveau d'instruction de la population sur leur perception du risque sismique (Paradise, 2012).

18- «وما نرسل بالآيات إلا تخويفا» : Coran, sourate Al-Israe (Le voyage nocturne) n° XVII, verset 59.

19- Mohamed Ibn Jaafar Al-Kettani, l'un des grands théologiens marocains, né et mort à Fès entre 1858-1927. Connu par son ouvrage *Salwat al-anfas wa-muhadatha al-akiyas mi-man uqbira min al-ulama wa al-sulata bi-Fas*, t. 1, p.355.

20- Mohammed Ibn Abdessalam Addaif Arribati (1752-1818), Historien, chroniqueur et voyageur indépendant. Auteurs de plusieurs ouvrages dont «Histoire d la dynastie alaouite».

21- El Brija (le fortin) fut appelée par les Européens Mazagan, située au sud de l'embouchure de l'oued Oum Rabie. Sous occupation portugaise de 1502 à 1769. Laissée en état de ruine par les Portugais avant leur départ et fut abandonnée pendant plusieurs années. En 1824, My Abderrahmane ordonna la reconstruction de la ville et lui donna le nom d'El Jadida (La Nouvelle).

22- Le 29 février 1960, un violent séisme a frappé la ville d'Agadir faisant plus de 12 000 morts et des milliers de blessés et la destruction de 85% de la ville (Cherkaoui, 1991).

4.3. Panique générale mais pas de scènes de pillage

Le violent tremblement de terre de 1755 a créé une tragédie humaine inimaginable et a produit un choc émotionnel ressenti à travers tout le pays. Les nouvelles circulèrent rapidement de Meknès à Fès, de Salé à Tétouan, de Marrakech, de Rabat, etc. Les répliques se succédèrent pendant plusieurs mois en traumatisant la population, probablement jusqu'au 19 novembre 1756 (Martínez Solares & Mezcu Rodríguez, 2002). D'après Ibn Danan (2007)²³, «A Meknès, les gens sont restés sous les tentes jusqu'au 1 iyar²⁴». D'après Al-Qadiri (1977-1986) «il y eut deux cent secousses sismiques».

A Meknès, où la plupart des maisons et des édifices avaient été démolis, les miraculés ont déserté la ville vers la campagne, «il a fallu l'intervention du gouverneur de la ville qui, sur le conseil du *cadi*, invité la population à revenir dans ses murs» sans cela «Meknès serait demeurée déserte» (Al-Qadiri (1977-1986)).

Des scènes de panique et de désolation lors du violent tremblement de terre ont été observées un peu partout dans le pays et particulièrement dans les deux grandes cités: Meknès et Fès. Les sources historiques témoignent des grandes pertes en vies humaines et des dégâts matériels considérables subits par les deux villes les plus peuplées du Maroc à cette époque.

Malgré ces scènes de chaos, les textes historiques ne mentionnent pas de véritables actes de pillage. D'après Al-Qadiri (1977-1986), qui décrit avec une remarquable précision le comportement des habitants de Fès lors du séisme du 1^{er} novembre: «... Les commerçants abandonnèrent leurs magasins ouverts avec ce qu'ils contenaient, les bureaux, les ateliers des tisserands cessèrent de fonctionner et les souks furent désertés.»; et d'ajouter qu'à Meknès, après un certain temps, que la terre s'est calmée et «les habitants réoccupèrent la ville, déblayant les maisons et recherchant les meubles qui s'y trouvaient c'est ainsi que d'aucuns qui étaient pauvres s'enrichirent pendant que d'autres qui étaient riches s'appauvrirent.»

Al-Nasiri (1954-1956) donne encore plus de détails sur la situation à El Jadida «...les chrétiens de la ville s'enfuirent dans l'église, laissant leurs maisons ouvertes. Malgré cela, rien ne fut volé, tout le monde étant préoccupé de se sauver.», Goulven (1917) confirma ces propos et affirma que «...la confusion régnait partout à un tel degré, que personne ne rentra voler dans les maisons vides.»

A Meknès, une partie de la muraille du mellah²⁵ fut détruite par le séisme et les répliques, les Juifs de la ville ont mis «des gardiens pour surveiller tout le temps le quartier par crainte des voleurs de nuit» (Ibn Danan, 2007).

4.4. Gestion des corps

Les premiers moments qui suivirent la catastrophe furent ceux de la stupeur. A Meknès la première secousse fut si violente que «...de nombreuse maisons, mosquées, synagogues tombèrent ensevelissant sous leurs ruines beaucoup de Maures et de Juifs» (Père Guardiam, 1755²⁶). D'après les sources historiques, le tremblement de terre aurait fait des milliers de victimes à travers le pays. Partout, l'odeur pestilentielle de la mort dégagée par les cadavres enterrés sous les gravats des maisons qui se sont effondrées. Ibn Danan (2007) rapporte ce qui est arrivée à Meknès après la deuxième secousse «Dans la nuit du mercredi 25 kisle²⁷, il y a eu grand tremblement de terre à Meknès, beaucoup de maisons se sont effondrées, plus de 200 âmes des Enfants d'Israël ont péri et enterrés sous leurs demeures. Après le tremblement de terre, les survivants enlèvent la terre sur eux puis les enterrent. La plupart des morts ont été enterrés de cette façon : on creusait une grande fosse, et on y enterrait 10 personnes ou plus.»

Il paraît donc plausible que les morts ont été enterrés à la hâte dans des fosses communes pour prévenir les épidémies, surtout que le pays vient de sortir de deux périodes épidémiques sévères: entre 1742 et 1744 et entre 1747 et 1751 (Al Bezzaz, 1992) dont les conséquences politiques et démographiques ont été catastrophiques pour le Maroc.

23- Ibn Danan ou Abendanan désigne une dynastie de rabbins d'Espagne (entre le XIII^e et le XV^e siècle) puis à Fès à partir du XV^e siècle.

24- 1^{er} mai 1756.

25- Quartier juif entouré de hautes murailles? Celui de Meknès fut construit vers 1540.

26- Le père franciscain Guardiam, témoin oculaire à Meknès du séisme du 1 novembre 1755 et de ses répliques.

27- Cette date correspond au samedi 29 novembre, une erreur de datation comme c'est souvent le cas dans la sismicité historique.

Conclusion

Il est certain que le séisme catastrophique de 1755 n'a pas été perçu de la même façon au Maroc qu'en Europe occidentale. S'il a provoqué un débat théologique, philosophique et scientifique en Europe, au Maroc, il a été perçu comme une calamité naturelle et une punition divine sur laquelle il ne fallait pas trop s'attarder. A cela, il faut ajouter la rareté de sources historiques marocaines contemporaines de l'événement. Les deux textes dont nous disposons, du moins à notre connaissance, sont ceux d'Al-Quadiri et d'Ibn Danan, alors que le reste des documents émanent de témoins ou des contemporains étrangers: des ecclésiastiques, des diplomates, des officiers des ports occupés, des prisonniers chrétiens, etc., influencés par leurs passions, par leurs modes intellectuelles, et bien entendu par leurs religions. On est donc amené à se poser la question du degré de fiabilité que l'on peut accorder à ces sources?

Références citées

- Al Bezzaz M.A. (1992): *Histoire des épidémies et des famines au Maroc pendant les 18 et 19^{ème} siècles* (en arabe). Publications de la Faculté des Lettres de Rabat, 430p.
- Al-Kettani, Mohamed Ibn Jaafar (2004): *Salwat al-anfas wa-muhadatha al-akiyas mi-man uqbira min al-ulama wa al-ʿUlaʿa bi-Fas*. T. 1, Dar At-Taqafa, Casablanca, 452p.
- Al-Nasiri Al-Salâwi (1954-1956) : *Kitâb al-Istiqsâ li-akhbâr duwal al-Maghrib al-Aqsa*. 9 vol., imp. Dâr al-Kitâb, Casablanca. Traduction française E. Fumey. Archives Marocaines, Vol IX. Paris 1906.
- Al-Qadiri Muhammad b. Al Tayyib (1977-1986): *Nashr al-matâni li-ahl al qarn al-hâdi âshar wa Tâni*. 4 volumes, imp. Al-Talib, Rabat. Traduction A. Graulle et P. Maillard. Archives Marocaines XXI, 1913.
- Anonyme 1 (sans date): RELATION «Des terribles ravages occasionnés en Afrique par le cruel tremblement de terre qui a détruit la plus grande partie du Royaume du Maroc: avec un détail de tout ce qui est arrivé depuis le premier novembre jusqu'à présent». Manuscrit de la Bibliothèque Nationale de Paris, cote 0 342.
- Anonyme 2 (1755): *Relação do grande terremoto que houve na Praça di Mazagam em o primeiro de Novembro de 1755*. Lisboa, Com as licenças necessarias, 7p.
- Anonyme 3 (1756): *Account of the earthquake that happened in Barbary on the 1st, 15th and 19th November 1755*. Manuscrit anglais provenant des archives de Gibraltar conservées au Public Record Office, cote C.O.91/12.
- Baptista, M.A., Miranda, J.M., Chierici, F., & Zitellini, N. (2003): New study of the 1755 earthquake source based on multi-channel seismic survey data and tsunami modeling. *Nat. Hazards Earth Sys. Scien.*, 3, 333-340.
- Benhadda A. (1987): Le XVIII^e siècle, un siècle difficile. In «Les Alaouites : XVII^e et XVIII^e siècles». *La grande encyclopédie du Maroc, vol. Histoire*, pp : 109-118.
- Berg, M. (1757): *Beskrifning öfwer Barbariska Slafweriet Uti Kejsardömet Fez ock Marocco*. Stockholm, 164p. Description de l'esclavage barbaresque dans l'Empire de Fez et au Maroc. Trad. en arabe par A. Hozal, Afrique-Orient, Casablanca, 2011, 185p.
- Blanc P.L. (2009): Earthquakes and tsunami in November 1755 in Morocco: a different reading of contemporaneous documentary sources. *Natural Hazards and Earth System Scinences*, n°9, pp. 725-738.
- Chegraoui K. (2007): Le Maghreb et l'Afrique, une histoire mouvementée, continuité et conflits de l'interrégional au continental : le Maroc en voisinage. In «*Les identités régionales et la dialectiques sud-sud en question*. CODESRIA, Dakar, Sénégal, pp: 49-63.
- Cherkaoui T.-E. (1991): *Contribution à l'étude de l'aléa sismique au Maroc*. Thèse de l'Université Joseph Fourier; Grenoble; 246p.
- Cherkaoui T.-E. (2013): L'aléa sismique dans la ville de Rabat. In «Rabat: géodiversité et patrimoine socioculturel.» Ouvrage collectif, Editions Maarif, Rabat, pp: 99-111.
- Eddaif Mohammad Abi Abdellah Ar-Ribati (m. 1818): *Tarikh Eddaif, tarikh ad-dawla al alawya* (Histoire de la dynastie alaouite). Manuscrit de la Bibliothèque Générale, n°227, Rabat.
- Elmrabet A., T. (1991): *Histoire sismologique du Maroc*. Doc. 3^{ème} cycle, Fac. des Lettres, Univ. Mohammed V, Rabat, 375p (en arabe).
- Elmrabet T. (2005): *Les grands tremblements de terre de la région maghrébine et ses effets sur l'homme et son environnement*. CNRST, Rabat, 478p (en arabe).
- Galbis Rodriguez J. (1932): *Catalogo sismico de la zona comprendida entre los meridianos 5°E y 20°W de Greenwich y los paralelos 45° y 25°N*. I; Inst. Geogr. y Catastral; 807p.
- Galbis Rodriguez J. (1940): *Catalogo sismico de la zona comprendida entre los meridianos 5°E y 20°W de Greenwich y los paralelos 45° y 25°N*. II; Inst. Geog. y Catastral; 207p.
- Gentil, L. (1922): *Titres et travaux scientifiques*. Ed. Larose, Paris, 116p.

- Goulven, J. (1917): *La Place de Mazagan sous la domination portugaise (1502–1769)*. Larose, Paris, France, 245 pp.
- Hée A. (1932): *La séismicité dans l'Afrique du Nord de 1911 à 1931. Matériaux pour l'étude des calamités*, 28, Genève, 291-337.
- Ibn Danan (2007): *Livre des histoires, ou histoire de Fès*. Tra. de l'hébreu: A. Chahbar, Pub. Fac. Scien. Tétouan, 2e ed., 160p.
- Johnston, A. (1996): Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions: III. New Madrid, 1811-1812, Charleston 1886 and Lisbon 1755. *Geophysical Journal International* 126, 314-344.
- Kaabouben F., Baptista A., Iben Brahim A. & El Mouraouah A., Toto A. (2009) : On the Moroccan tsunami catalogue. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n°9, pp. 1227-1236.
- Kárník V. (1969): *Seismicity of the European area. Part I. (Prague and Dordrecht-Holland)*; 364p.
- Kleiman O., Rousseau P. & Belo A. (coord.) (2014): *Le tremblement de terre de Lisbonne de 1755. Perceptions d'un événement*. Atlante 1, Revue d'études romanes, automne 2014, 353p. http://cecille.recherche.univ-lille3.fr/pdf/atlante/ATLANTE_1_DEF.pdf
- Larcán A. (2006): Le tremblement de terre de Lisbonne, ses enjeux et ses conséquences. *Mémoires de l'Académie de Stanislas*, 8, XX, 135-162. <http://www.academie-stanislas.org/TomeXX/Larcán.pdf>
- Levret A. (1988): Les effets au Maroc su séisme de «Lisbonne» du 1^{er} novembre 1755. Rapport du Dép. d'analyse de sureté, IPSN, CEA. Communication présentée à «European gophysical society, XIIIe General Assembly, Symposium. Multidisciplinary evaluation of historical seismicity». 21-25 mars 1988, Bologne, Italie, 28p.
- Levret A. (1991): The effects of the November 1, 1755 «Lisbon» earthquake in Morocco. *Tectonophysics*, 193, 83-94.
- Martínez Solares J.M. & Mezcua Rodríguez J. (2002): *Catálogo sísmico de la Península Ibérica (880 a. C.-1900)*. Monografía núm. 18, Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 253p.
- Martínez Solares, J. M. M. & Arroyo, A. L. (2004): The great historical 1755 earthquake. Effects and damage in Spain. *J. Seismol.*, 8, 275 pp.
- Mezcua Rodríguez J. & Martinez Solares J.M. (1983): *Sismicidad del area Ibero-Mogrebi*. Inst. Geog. Nacional; 203; 301p.
- Moreira V.S. (1984) : *Sismicidad historica de Portugal continental*. Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, 79p.
- Morsy M. (1975): Le tremblement de terre de 1755 d'après les témoignages de l'époque. *Hespéris Tamuda*, vol. 16, pp: 89-98.
- Munuera J.M. (1963): *Datos básicos para un estudio de sismicidad en el área de la península ibérica (seismic data)*. Mem. Inst. Geogr. y Catastral; XXXII; Madrid; 97p.
- Paradise, T. (2012): "The Influence of Islam on the Assessment of Earthquake Hazards and Seismic Risk," *Open Journal of Earthquake Research*, Vol. 1 No. 1, 2012, pp. 1-12. doi: [10.4236/ojer.2012.11001](https://doi.org/10.4236/ojer.2012.11001).
- Père Guardian (1755): Copia de Huma Carta escrita pelo Padre Guardian do Real Convento de Maquinês, e Vice-Prefeito das Santas Missoens, que nas partes de Barbaria conserva a Religiosa Provincia de Sao Diego» Dos RR.PP. Franciscanos Desgalços, Ao Padre Procurador délias. Lisboa 1756.
- Perrey A. (1847): Notes sur les tremblements de terre en Algérie et dans l'Afrique septentrionale et sur les tremblements de terre de la Péninsule Ibérique. *Mémoires de l'Académie des sciences, arts et belles-lettres de Dijon, années 1845-1846*.
- Perry A. (1848): Note sur les tremblements de terre en Algérie et dans l'Afrique septentrionale. *Mém. Acad. Scien. Arts et Belles-Lettres; Dijon; pp: 299-323*.
- Quenet, G. (2005): *Les tremblements de terre aux XVIIe et XVIIIe siècles : La naissance d'un risque*. Editions Champ Vallon, 586p.
- Roux G. (1934) : Notes sur les tremblements de terre ressentis au Maroc avant 1933. *Mém. Soc. Scien. Nat. Maroc, XXXIX, 42-71*.
- Soyris, Mr. (1755) : Extrait d'une lettre de Maroc en date du 5 novembre 1755 : de Soyris à Guys, Archives Nationales de France, Marine B7/403.
- Vogt J. (1984): Mouvements de terrain associés aux séismes en Afrique du Nord. In: Méditerranée, troisième série, tome 51, 1-2. Actes du colloque «Effets des séismes sur les reliefs de forte énergie». pp. 43-48; doi : 10.3406/medit.1984.2230. http://www.persee.fr/doc/medit_0025-8296_1984_num_51_1_2230
- Vogt J. (1985): Révision d'anciens séismes ibéro maghrébins. In «*Etudes de sites de faisabilité d'une première centrale électronucléaire au Maroc*». Rapport inédit; Sofratome et Office National d'Electricité, Maroc, 69p.



Nouvelles des académiciens

**Nomination du Professeur R. EL AOUAD au
«Committee on Improving Scientific Input to Global
Policymaking : Strategies for Attaining the
Sustainable Development Goals»**



Le Professeur Rajaa EL AOUAD a été nommée membre du "Committee on Improving Scientific Input to Global Policymaking: Strategies for Attaining the Sustainable Development Goals", dont le terme s'étend du 1^{er} août 2016 au 30 Juin 2019. Le comité en charge d'accompagner ce projet aura pour objectif de renforcer les capacités des organisations scientifiques à travers le monde à fournir aux décideurs les conseils et les données de haute qualité, basés sur l'évidence scientifique dans les domaines relatifs aux Objectifs du Développement Durable (SDGs) énoncées par les Nations unies. Le dit projet est soutenu par la Corporation Carnegie à New York.

Par ailleurs, le Professeur EL AOUAD a représenté l'Académie pour la candidature au Comité exécutif de l'IAP for Health à Beijing où elle a donné une conférence sur "TRANSFORMING THE HEALTH SECTOR: BUILDING HEALTH CAPACITY" à la Conférence "Health Promotion" qu'elle a préparée en tant que membre du comité scientifique.

Enfin, le Professeur EL AOUAD a participé au Sommet Mondial de la Santé qui s'est tenu à Berlin du 9 au 11 Octobre 2016 où elle a donné une conférence sur "Challenge of implementing One Health in developing countries and the way forwards".



Les membres de l'IAP for Health lors de l'Assemblée Générale 2016

**Le Professeur Mohamed Ait Kadi représente
l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
à la 8^{ème} Assemblée Générale du Partenariat
Inter-Académies des Sciences (IAP)**



Sur invitation de l'Académie des Sciences d'Afrique du Sud (ASSAf), l'IAP a tenu sa huitième Assemblée Générale à Hermanus, Afrique du Sud, le 2 mars 2016. Soixante-quatre Académies y ont participé. Elle a été notamment marquée par l'adoption des textes juridiques portant création du Partenariat Inter Académies qui regroupe dans une même organisation le Réseau Global des Académies des Sciences (IAP), le Panel Inter Académies de Médecine (IAMP) et le Conseil Inter Académies (IAC) tout en gardant leurs identités respectives mais en changeant leurs dénominations comme suit: L'IAP devient «l'IAP pour la Science»; l'IAC devient «l'IAP pour la Recherche» et L'IAMP devient «L'IAP pour la Santé».

L'Assemblée Générale a été précédée par la Conférence triennale de l'IAP sur le «Conseil Scientifique» organisée du 28 février au 1^{er} mars, 2016. Cette conférence fait suite à celle organisée à l'initiative du Conseiller Scientifique du Premier Ministre de Nouvelle Zélande sur le «Conseil Scientifique aux gouvernements» en partenariat avec le Conseil International pour la Science (ICSU). Cette rencontre a été sanctionnée par la décision de renforcer le Réseau International pour le Conseil Scientifique aux Gouvernements (INGSA).

Le contexte était aussi celui d'une année 2015 prolifique en accords internationaux fondés sur la science. Il s'agit notamment (1) de l'Accord Cadre de Sendai pour la Réduction des Risques des Catastrophes (2015-2030) avec son mécanisme spécial relatif à l'intégration de la science et de la technologie, (2) le lancement par les Nations Unies des 17 Objectifs de Développement Durable avec leurs cibles à atteindre en 2030 et (3) de l'accord sur le changement climatique conclu à la COP21 visant à contenir le réchauffement moyen en dessous de 2°C voire 1,5°C.

Les Académies des Sciences, de Médecine et d'Ingénierie s'emploient à offrir un conseil crédible et indépendant aux décideurs politiques sur la base des connaissances scientifiques les plus récentes. Mais, elles ne sont pas les seuls acteurs dans ce domaine car les gouvernements font appel à d'autres sources de conseil dans leurs pays respectifs comme leurs conseillers scientifiques, les comités d'experts et bien d'autres mécanismes. Ces modalités ont été examinées par la Conférence à travers les 4 thématiques suivantes:

- a) L'écosystème du Conseil Scientifique,
- b) Le Conseil Scientifique au moment des catastrophes et des situations d'urgence,
- c) Le Conseil Scientifique dans la scène internationale en focalisant spécialement sur la Biologie Synthétique (Synthetic Biology),
- d) L'aptitude des pays pour le Conseil Scientifique,
- e) L'interaction Conseil Scientifique – Politiques – Média.

Participation du Professeur A. BENYOUSSEF à la Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques d'Expression Française (CIRUISEF)



Abdelilah Benyoussef, Professeur de la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed V de Rabat et membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a été invité à la Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques d'Expression Française (CIRUISEF) qui s'est tenue à Marseille du 23 au 27 mai 2016 et dont le thème était:

"La recherche scientifique et ses interfaces disciplinaires."



Le programme de la Conférence a été structuré autour de quatre axes:

- * Interfaces des disciplines: exemples de travaux associant plusieurs disciplines en interdisciplinarité et de leurs applications concrètes.
- * Interfaces disciplinaires dans les enjeux planétaires: exemples de thèmes transdisciplinaires comme l'énergie, l'eau, la santé, les aliments, la robotique, etc.
- * Interfaces de la recherche scientifique et la Société: quels enjeux, quelle valorisation, quelle confiance pour la Société?
- * Interfaces géographiques: valorisation des collaborations multilatérales entre universités des pays francophone, thèses en co-tutelle.

Le Professeur Benyoussef a dans ce cadre donné une conférence sur «*L'utilisation des énergies renouvelables pour la production d'hydrogène: vecteur énergétique propre et renouvelable prometteur*».

L'utilisation des énergies renouvelables pour la production d'hydrogène: vecteur énergétique propre et renouvelable prometteur

L'hydrogène est un élément à fort pouvoir calorifique, très abondant sur terre et propre. Sa combustion ne produit pas de gaz à effet de serre; il est donc un bon candidat pour remplacer les carburants à base de ressources fossiles. Cependant, sa production et son stockage posent encore problème, surtout que cette production doit être propre sans gaz à effet de serre.

Ainsi, pour que l'hydrogène soit un vecteur énergétique propre, il faut qu'il soit produit à partir des énergies renouvelables par des procédés qui ne libèrent pas de gaz à effet de serre. Parmi ces procédés, on cite:

- l'électrolyse par photovoltaïque, par solaire thermique à concentration (CSP) et par éolienne;
- la thermolyse et la thermochimie par l'énergie solaire concentrée;
- ou encore la photo-électrolyse par photovoltaïque et par solaire thermique à concentration.

Les énergies renouvelables, propres et durables, représentent une alternative sérieuse aux ressources fossiles dont les réserves mondiales, en diminution, ont un impact négatif sur l'environnement causant un réchauffement climatique. Cependant, en plus du fait que le coût des énergies renouvelables reste élevé comparé aux ressources fossiles, certaines énergies renouvelables comme le solaire et l'éolienne souffrent du problème d'intermittence. Pour y remédier, un grand intérêt a été porté aux moyens de stocker l'énergie de façon efficace. Ainsi, la recherche scientifique s'est orientée vers le développement des batteries et en particulier les batteries à ions de lithium.

Le stockage de l'énergie sous forme d'hydrogène est un domaine qui a reçu beaucoup d'intérêt de la part des chercheurs; c'est un domaine prometteur. L'hydrogène est considéré comme un bon vecteur énergétique. L'hydrogène qui est produit de façon propre doit être stocké de manière efficace, avec une bonne gravimétrie, volumétrie, cinétique et thermodynamique. C'est-à-dire un réservoir léger, de petite taille, qui se remplit et se vide rapidement, et fonctionne à des températures et pressions normales. Ce réservoir doit avoir des performances supérieures à celles des réservoirs utilisés actuellement, qui ont pour défaut d'avoir une pression trop élevée (stockage sous compression), trop coûteux (stockage par cryogénie) en plus des problèmes de fuites.

La recherche d'un tel réservoir est une activité de recherche scientifique intense dans le domaine des hydrures sous différentes formes covalent, métallique et complexe et différentes dimensions massives, couches minces, nanofiles, nanotubes et nanoparticules.

Le besoin d'utiliser l'hydrogène comme carburant a conduit au développement d'une recherche scientifique sur les piles à combustibles à membrane d'échange de protons ou à oxyde solide, qui convertissent l'énergie chimique contenue dans l'hydrogène en énergie électrique. L'intégration de cette technique dans un système contenant un stockage optimisé de l'hydrogène dans les hydrures permettrait de réaliser un transport propre dans les villes et sur les routes.



Science for Peace and Security Programme



Participation du Professeur E. Essassi au programme «Science for Peace and Security» de l'OTAN

Le Professeur El Mokhtar Essassi, membre du Collège des Sciences Physiques et Chimiques, a participé, en tant que co-directeur du NATO-ASI (Advanced Study Institute), au programme «Science for Peace and Security» de l'OTAN qui s'est tenu à Calabria (Italie) du 9 au 16 Avril 2016 et dont le thème était «Molecular Technologies for the Detection of Chemical and Biological Agents».



Les membres de NATO-ASI à Calabria

Molecular Technologies for the Detection of Chemical and Biological Agents

The mission of this NATO-ASI was to bring together leading experts in the fields of modern molecular analyses and in the biological effects of chemical and biological warfare agents. The topics covered included the detection of chemical and biological agents with state-of-the-art sensors and various tandem mass spectrometric technologies; the effect of exposure of various agents such as toxins, bacteria, viruses, and chemical agents; description and protocols of new innovative molecular detection technologies; assessment of the effects of exposure on short term and long term health; procedures for safe removal/decontamination of these agents and monitoring of these processes.

This NATO ASI also presented the fundamental aspects and applications of molecular technologies, especially mass spectrometry, for the detection of chemical and biological agents and for assessment of their effects on human cells.

The mission of this NATO-ASI # G4915 was an achievement, as it brought together leading experts in the fields of modern molecular analyses with those experts in the biological effects of chemical and biological (CB) warfare agents.

This event consisted of lectures presented by the experts and forty (10 minutes) lectures presented by all the attendees and small group discussions. To our Knowledge, this is the first time that a NATO-ASI occasion was advertised in the internet and that all the lectures were also immediately posted therewith after it was presented. The relaxed atmosphere of this venue stimulated discussions between faculty and trainees concerning additional details of the lecture subjects and advanced protocols and technologies.

The main scientific consensus proposed by our NATO-ASI participants was as follows: While there is no single detection method that provides rapid and accurate detection of CB agents, the onus is on NATO countries to keep abreast of the powerful, mass spectrometry state-of-the-art detection technologies that can help protect the public from emerging food and environmental chemical/biological threats. There is a need to make sure that all NATO countries use the same protocols and identical MS instrumentation for the detection of CB agents.

Finally, this NATO-ASI has contributed to the critical assessment of existing knowledge on new and important detection technologies. It helped to identify directions for future research and to promote closer working relationships between scientists from different professional fields.

The participants of this NATO-ASI consisted of advanced graduate students, post-doctoral fellow and young/beginning faculty and industrial scientists. All participants were kept in close contact with the lecturers in order to foster individual learning experiences learning and establish collaborations where appropriate. The forty participants Students presented short oral presentation (5 to 10 minutes) and a poster. For the first time the participants will be allowed to have their contribution ready for publishing in NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology (SPRINGER) as a short note.

The NATO-ASI participants were taught how CB agents are easy to manufacture, conceal and release. The problematics of on-site chemical analysis of the chemical agents and their primary environmental degradation pathways were discussed. The advantages, disadvantages, and relative performance of the sample preparation techniques are discussed. The participants were exposed to the manufacture of new entropic explosives tri-acetone-triperoxide (TATP), also known as the "Mother of Satan", and

hexamethylene triperoxide diamine (HMTD), which chemical sensor detection techniques were only discovered lately. This lack of watchfulness makes prediction of chemical bioterrorism threats very difficult.

Furthermore, the ability to quickly detect and characterize a deliberate biological attack or an outbreak of an emerging infectious disease caused by biological agents (BA) is critical to saving lives and minimizing the impact of such an event. For these reasons and to provide more comprehensive situational awareness, several newly developed biosensors were described allowing for the simultaneous detection of complementary pathogen and host-response targets.

Mass spectrometry (MS) and tandem mass spectrometry (MS/MS) with the various ionization sources (ESI, DESI, APPI, APCI...) are powerful tools for both the qualitative and quantitative analysis of wide array of CA and BA analytes. MS technology is simple in design and practice, and offers the advantages that analysis times are very short, the mass range is virtually unlimited, and sensitivity is high. MS is the ideal detector for CA and BA and surpasses and outranks all other known sensors ever used. Recently, it was shown that matrix assisted/ laser desorption ionization time-of-flight-mass spectrometry or MALDI-TOF-MS-based identification of high-consequence bacterial pathogens can access a high-quality local database, containing mass spectral profiles (MSP) of biothreat bacterial agents and near-neighbour species, developed by Bruker Daltonics custom library generation standards. Accordingly, Biothreat agent MSPs created in Biotyper software can be, used for bacterial identification, and assessment for possible species-specific biomarker peaks. Recently, Imaging Mass Spectrometry (IMS) was shown to be a powerful tool for the in situ analysis of endogenous biomolecules and exogenous BAI compounds in thin tissue sections. Hundreds to thousands of analytes can be detected and mapped in a single imaging experiment without a priori knowledge of the exact molecules present in the section. Also, mass spectrometric techniques are widely used in environmental toxicology and one of the major applications, is the quantitative determination of CA in environmental compartments. This is increasingly linked with biological effects assessment in an approach called effect-directed analysis, which, as the term says, allows focusing on samples that cause an effect in in vitro or in vivo test systems. Following CAs identification of the causing an effect is done by submitting the active sample to a classical target analysis using established methods. This then allows for a refined risk assessment is the determination of actual internal concentrations in organisms, which reduces uncertainties in predicting toxicity thresholds across chemicals and species.

The role of public health in food safety is to monitor trends in and detect, investigate, and control outbreaks of foodborne illnesses in humans. Using information generated from whole genome sequences of cultures, metagenomic assays that include sequencing the pathogens directly from the clinical specimen are especially designed to ideally provide the same information that is generated by whole genome sequencing of cultures. In addition, it is well known that the official analysis methods for the certification of food content and analyses are outdated. Ironically, there are no methods devised for the detection of both CA and BA agents in food. Unfortunately, food analysis is often based on very old and aged procedures, which can be easily manipulated. In this new century, it is now time to introduce worldwide protocols for food certification and detection of external agents based on high tech-analytical methods. In this respect Mass Spectrometry plays a fundamental role. The detection of the new phenethylamine, the Jihadist's drug, and the analysis of vaccines, viruses, virus-like particles and bacteria were also described.

Additionally, several topics on ecological relationships, parasitism, immunological defenses and infectious disease mechanisms of lethal bacteria, viruses, fungi, prions and spores were discussed. Special emphasis was placed on Gram-positive *Bacillus anthracis*, smallpox and polio viruses, SARS, Ebola and Marburg viruses, novel flu viruses, etc.

