

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

n°17

juin 2015

«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

Session Plénière Solennelle 2015

**Risques naturels: séismes, ondes de tempête,
phénomènes climatiques extrêmes**

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

n°17

juin 2015

«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 ASSOBBHEI (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
Risques naturels : séismes, ondes de tempête, phénomènes climatiques extrêmes	11
• Discours du secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques à la séance inaugurale de la session plénière solennelle 2015	13
• Synthèse de la session plénière solennelle 2015	17
• Conférence introductive «Natural and societal-induced environmental hazards: integrate interdisciplinary long-term research strategy for developing countries», Juan Carlos CASTILLA	25
• «The Crust beneath Morocco: from the Surface topography to the Upper Mantle a 700 km long Seismic Section Across Morocco», Ramon CARBONELL	31
• «Integrated Drought Management : A new Paradigm for the 21 st Century», Donald A. WHILHITE	47
Recherche biomédicale et en santé au Maroc	55
• «Propositions pour une relance, de la recherche biomédicale au Maroc», T. CHKILI, R. EL AOUAD, C. GRISCELLI, S. NADIFI, A. SEFIANI	57
L'AVCI, facteurs de risque et impact	61
• Rapport et recommandations de la journée organisée le 28 octobre 2014 par le Collège des sciences et techniques du vivant, S. NADIFI & GMRAVC.....	63
Genomics & Cancers	73
• A summarized review by A. SASSON	75
Formation d'un enseignant scientifique (Colloque du CIRUISEF - Rabat novembre 2014)	87
• «Réflexions sur les liens entre la formation et la recherche dans les sciences», Pr. Omar FASSI-FEHRI (conférence introductive au Colloque organisé par le CIRUISEF, 17-21 novembre 2014).....	89
• Synthèse du Colloque	92
Session ordinaire sur le thème : «Analyses, probabilités et interactions»	99
• Compte rendu, A. BELLOUQUID & E. OUHABAZ.....	101

La Cristallographie pour les générations futures- Legs de l'Année Internationale de Cristallographie .. 107

- Allocution du secrétaire perpétuel à la cérémonie de clôture de l'Année Internationale de la Cristallographie 110

Focus 113

- «A propos des académies», Professeur Ahmadou Lamine NDIAYE 115

Activités de l'Académie 125

- Activités des collègues : bilan semestriel et plan d'action 127
- Nouvelles instances de l'Académie 131
- Nomination des nouveaux membres de l'Académie 132
- Convention «Sciences au Lycée» entre l'Académie Hassan II, l'AREF du Gharb et l'UIT de Kénitra..... 136
- «La lumière», thème des journées «les jeunes et la science au service du développement», édition 2015 137

Conférences à l'Académie 139

- «L'univers a-t-il connu un instant zéro ?», Etienne KLEIN 141
- «L'aventure des nombres», Gilles GODEFROY 142
- «De la Matière à la Vie : Chimie? Chimie!», Jean Marie LEHN 143
- «Big Data : Les enjeux scientifiques», Eric MOULINES 144
- «La médecine du futur», Pierre TAMBOURIN 145
- «Les défis du photovoltaïque», Bernard DRÉVILLON 146

Appui à la recherche scientifique et technique 147

- Programme d'appui à la recherche scientifique et technique: Evaluation et perspectives 149

Nouvelles des académiciens 151

Editorial

Les mouvements de terrain, les inondations, les séismes, les phénomènes climatiques extrêmes..., constituent des risques naturels pouvant menacer la population et les infrastructures. Il s'agit de phénomènes violents ou extrêmes, d'origine interne (au globe terrestre) qui peuvent se déclencher à n'importe quel moment et en n'importe quel point de la planète, sachant que certaines régions sont plus exposées que d'autres à tel ou tel risque, provoquant ainsi des catastrophes naturelles qui entraînent des pertes en vies humaines et en infrastructures.

La prévention des risques naturels est un élément fondamental d'une politique de gestion rationnelle des espaces et d'aménagement du territoire. De nos jours, si l'on ne peut pas, dans certains cas, prévenir ces risques, on peut néanmoins en atténuer les effets par une meilleure connaissance de ceux-ci. C'est pourquoi plusieurs organismes cherchent à mieux connaître cette notion de «risque naturel» pour essayer de comprendre les éventuels dangers encourus et en rechercher les solutions les plus adéquates pour les prévenir.

Le Maroc, vu sa position géographique, est l'un des pays vulnérables en raison de son fort niveau d'exposition à ce type de phénomènes. Les données accumulées lors des événements précédents, au-delà des répercussions majeures sur les populations (vies, biens, organisationnelles et politiques), peuvent et doivent représenter une opportunité pour la correction/élimination d'erreurs et rationaliser les conditions propices à un développement certainement plus durable et juste.

Compte tenu de la vulnérabilité potentielle du territoire ainsi que de la capacité d'adaptation limitée des systèmes naturels aux phénomènes météorologiques extrêmes (inondation, sécheresse), sismiques (séismes, tsunamis), glissements de terrain, ... l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a débattu lors de la session plénière solennelle 2015 de cette thématique, dans un espace réunissant des experts nationaux et internationaux, afin de proposer des stratégies de recherche et de parade ou d'atténuation de l'impact de ces risques. Elle a été également l'occasion de renforcer la capacité endogène d'échange de données et la coopération (à différents niveaux), nationale et internationale.

Le débat sur la thématique a permis notamment de faire des propositions de stratégies de gestion du risque naturel, à travers la transition de la gestion de crise (approche réactive) à la gestion de la connaissance du risque (approche anticipative), l'instauration d'une vigilance face aux risques, le renforcement de la résilience, la mise en place de partenariats de recherche sous forme de réseaux,

consortiums et de pôles entre les divers intervenants en matière de gestion des urgences et le monde de la recherche scientifique et technique. Le renforcement de la multidisciplinarité des équipes et des programmes de recherche aussi bien que la coopération interinstitutionnelle (non seulement scientifique mais aussi avec le Gouvernement, les Administrations, la Société civile, l'Éducation-Enseignement,...) permettront l'amélioration des capacités actuelles de cartographie d'urgence pour offrir par Internet des renseignements sur les urgences de façon opportune et sûre, notamment les données météorologiques, les prévisions, la productivité de scénarios climatiques, l'utilisation des images de télédétection obtenues grâce à la nouvelle génération de satellites dans le traitement de ces risques ...

Ceci constitue donc un vrai défi et nécessite beaucoup de travaux de recherche en amont. Les rencontres internationales en particulier favorisent les échanges et l'interaction pour discuter de ces thématiques fort complexes.

Pr. Ahmed EL HASSANI
Directeur du Collège des sciences et techniques
de l'environnement, de la terre et de la mer





Session Plénière Solennelle 2015
**Risques naturels : séismes, ondes
de tempête, phénomènes
climatiques extrêmes**

**Discours du Pr. Omar FASSI-FEHRI, Secrétaire Perpétuel
de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
à la séance inaugurale de la session plénière solennelle 2015**



**Messieurs les Ministres,
Excellences,
Honorables invités,
Mesdames & Messieurs les Académiciens,
Mesdames & Messieurs,**

C'est toujours un honneur et un plaisir de prendre la parole à l'ouverture de la session plénière solennelle de notre Académie. C'est aussi un moment de grande émotion pour tous ses membres de se retrouver pour s'acquitter d'une des plus importantes activités de notre Compagnie, celle, comme le précise la Loi de sa création, de réunir de façon régulière l'ensemble de ses membres dans l'objectif de développer la concertation et l'échange entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale sur des questions majeures qui préoccupent notre société, et apporter un éclairage sur le progrès continu de la science pour le bien être de l'humanité.

Cette session plénière, à l'instar de toutes les précédentes, s'inscrit dans le cadre des Hautes Orientations de notre Tuteur Sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu Le protège qui, dans Son Discours d'installation de notre Institution avait souhaité «*que notre Académie puisse contribuer à faire de la société marocaine une société productive,*

ouverte sur les sciences et les technologies de l'heure, convaincue des valeurs du dialogue entre les cultures, et fidèle aux nobles idéaux qui ont toujours été les siens et qui se fondent sur la solidarité et la coexistence dans la dignité et le respect de l'autre». A cette occasion nous voulons renouveler notre profonde gratitude et nos remerciements déférents à Sa Majesté Le Roi -que Dieu Le protège- pour Sa bienveillante sollicitude, Ses précieux encouragements, et la Protection Tutélaire dont Il entoure notre Académie.

Nous sommes, cet après-midi, particulièrement honorés de la présence parmi nous à cette cérémonie d'ouverture des personnalités et représentants du Corps diplomatique qui ont bien voulu répondre à notre invitation, nous les remercions très sincèrement et nous leur souhaitons la bienvenue.

Merci également à toutes les éminentes personnalités scientifiques venant du Maroc et de l'étranger (notamment de France, USA, Espagne, Chili, Japon) qui ont répondu à notre invitation à présenter des communications et contribuer aux débats que nous ne manquerons pas d'avoir en liaison avec le thème de la session «**Les risques d'origine naturelle : séismes, ondes de tempête et phénomènes climatiques extrêmes**».

**Excellences,
Mes chères consœurs, mes chers confrères,
Mesdames, Messieurs,**

Comme vous le savez, les catastrophes d'origine naturelle ont toujours existé, leur nombre n'a pas changé, c'est notre vulnérabilité, nos comportements, nos infrastructures, nos bâtis... qui ont changé. En fait, les effets des événements naturels irrépressibles sont catastrophiques parce que nous ne tenons pas compte de leur éventuelle survenue dans un site exposé, et non parce qu'ils seraient les fruits de fatalité, de hasard ou des caprices de la nature...: la nature n'est ni capricieuse ni malfaisante; elle est neutre. Les événements sont naturels, les catastrophes sont humaines parce qu'elles nous affectent.

Le grand volcanologue Haroun Tazieff disait «*on ne supprime pas les catastrophes naturelles, on s'adapte intelligemment à elles*». Face aux catastrophes d'origine naturelle, le Maroc reste malheureusement un pays vulnérable à plusieurs risques naturels plus ou moins graves et généralement irrépressibles comme en témoignent les dernières inondations survenues dans les provinces du Sud du Royaume.

L'objectif recherché par le choix du thème scientifique général de la session étant de contribuer à faire l'état de la connaissance en matière de lutte contre les risques des catastrophes naturelles, à débattre des solutions appropriées, à préciser les tendances de la recherche scientifique et de l'innovation technologique dans ce domaine, pour mieux comprendre ces phénomènes, à discuter des expériences des autres pays dans la gestion des risques naturels et à identifier des axes et projets de recherche porteurs.

Aujourd'hui, il n'existe malheureusement aucune solution scientifique toute faite pour prévenir et contrôler une catastrophe d'origine naturelle. Toutefois, la communauté internationale a acquis une vaste expérience concernant la réduction des risques des catastrophes naturelles en prenant des mesures concrètes capables de réduire la vulnérabilité et les aléas liés aux risques naturels.

Faire face aux risques naturels et les prévenir de façon à permettre le développement durable constituent un défi majeur posé à la communauté internationale.

Les premiers pas vers la réduction des risques naturels résident dans la compréhension scientifique de ces risques et de leurs impacts à tous les niveaux de la société et de l'environnement ce qui implique de faire un bilan de la vulnérabilité et un suivi des facteurs de risque, d'établir sa probabilité d'occurrence, de comprendre son mécanisme et d'analyser les raisons pour lesquelles certains de ces risques se transforment en catastrophes. C'est en fait une opération structurée qui consiste à mettre en œuvre de façon cohérente et rationnelle, des théories et techniques des sciences de la Terre et des techniques de génie civil pour rendre le bassin de risque peu vulnérable..

Pour appréhender cette problématique, nous écouterons donc avec plaisir, au cours de cette séance, la conférence introductive sur «la stratégie de recherche interdisciplinaire à long terme pour réduire les risques naturels et leurs impacts sur la société et l'environnement dans les pays en

développement», qui sera présentée par le Pr. Juan Carlos Castilla, membre associé de notre Académie, membre de l'Académie Chilienne des Sciences et de l'Académie Nationale des Sciences des Etats Unis d'Amérique, que je salue et remercie.

Pour mieux comprendre tous ces phénomènes, il est donc important d'encourager la recherche et l'innovation dans ces domaines. C'est par la science et la technologie que le monde sera plus sûr en cas de catastrophes naturelles.

Ceci étant, je voudrais rappeler ce que répondait le regretté Pr. Paul Germain, ancien Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de France à la question «la science est-elle maitresse ou servante pour l'homme?», il répondait «*la science n'est nullement habilitée à dire à l'homme le mot de sa destinée,... les sciences offrent à l'homme deux grands dons : un monde de l'entendement et une capacité d'agir*» et il ajoute «*ce faisant elles ouvrent de larges espaces de liberté et de responsabilité*». C'est là toute la beauté et l'attrait de la science.

Honorables invités, Mesdames & Messieurs les Académiciens, Mesdames & Messieurs,

La tenue de la session plénière solennelle de cette année est marquée par un événement heureux celui de voir notre Compagnie s'enrichir par l'entrée en son sein d'illustres nouveaux membres; nous saisissons cette occasion privilégiée pour exprimer nos sincères sentiments de gratitude et de reconnaissance à SM le Roi Mohammed VI que - Dieu le Garde -, suite à l'agrément donné par Sa Majesté pour la nomination de nouveaux membres au sein de notre Académie, dont elle a déjà été informée au cours des session ordinaires du 29 septembre et du 11 décembre derniers. L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques saisit cette occasion pour présenter aux nouveaux membres résidents, associés et correspondants ses chaleureuses félicitations pour la Confiance Royale et leur admission au sein de notre Compagnie.

Dans ce cadre, je suis invité à procéder à la présentation des nouveaux membres résidents et associés ; mon collègue, Chancelier de l'Académie, Si Mostapha Bousmina procédera à la présentation des nouveaux membres correspondants.

Le nouveau membre associé est **Madame Catherine Bréchnac**, physicienne, aujourd'hui Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences française et Ambassadeur Délégué à la Science, l'Innovation et la Technologie.

Les nouveaux membres résidents sont, outre **M. Mohamed Kabbaj**, ancien Ministre et actuellement Chancelier de l'Université Euroméditerranéenne de Fès et qui rejoint aujourd'hui le siège anciennement occupé par notre regretté collègue Si Abdelaziz Meziane Belfkih, au sein du Collège «Etudes stratégiques et développement économique», et sept anciens membres correspondants promus aujourd'hui membres résidents et qui avaient eu l'honneur d'être présentés à Sa Majesté Le Roi le 18 mai 2006 à l'occasion de l'installation de l'Académie; avec ces sept collègues nous avons travaillé, et bien travaillé, plus de 8 ans au sein de notre Académie. Il s'agit par ordre alphabétique du **Pr. Omar Assobhei**, spécialiste des biotechnologies, Président de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah; **Pr. Mohamed Berriane**, spécialiste en matière de développement régional et local et d'aménagement du territoire, ancien Doyen de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines – Université Mohamed V; **Pr. Tijani Bounahmidi**, chimiste (ingénierie des procédés), ancien Vice-Président de l'Université Mohamed V - Agdal; **Pr. Rajaa Cherkaoui El Moursli**, physicienne nucléaire, Vice-Présidente de l'Université Mohamed V; **Pr. Sellama Nadifi**, spécialiste de génétique et biologie moléculaire, professeur. à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II- Casablanca; **Pr. Abdelaziz Sefiani**, responsable du Département de génétique médicale à l'Institut National d'Hygiène de Rabat; et **Pr. Khalid Sekkat**, économiste, professeur à l'Université Libre de Bruxelles.

A toutes et à tous je renouvelle mes félicitations. Ils auront l'occasion demain de s'adresser à notre Assemblée.

Mesdames, Messieurs, m'échoient donc aujourd'hui l'honneur et le plaisir de présenter les deux nouveaux membres associé et résident, **Madame Catherine Bréchnac** et **M. Mohamed Kabbaj**.

Nous avons déjà eu le plaisir et l'honneur de recevoir et d'écouter Mme Catherine Bréchnac qui a participé à notre session plénière de l'année dernière et surtout qui a prononcé la conférence inaugurale de la session plénière 2013 portant sur «la physique aujourd'hui» et qui avait pour titre «Où en est-on dans la compréhension des mécanismes qui régissent la matière?».

Présenter Mme Catherine Bréchnac est pour moi un honneur et un plaisir, mais je dois reconnaître que l'exercice me laisse quelque peu perplexe,

car au vu des titres, des prix, des distinctions, des responsabilités, des honneurs que Mme Catherine Bréchnac a accumulés tout au long de sa carrière, j'ai quelques difficultés à faire un choix si je veux respecter les contraintes de temps, qui m'est imparti au cours de cette séance.

Physicienne, née dans une famille dont le père Jean Teillac était déjà un grand physicien nucléaire qui avait travaillé avec Irène Joliot-Curie et Frederic Joliot-Curie, diplômée de l'Ecole Normale Supérieure Fontenay aux Roses, agrégée de physique, Docteur d'Etat es-sciences physiques, elle fait carrière au CNRS; en 1989 elle prend la direction du Laboratoire Aimé-Cotton. Elle devient en 2006 Présidente du CNRS après avoir été son Directeur général. Membre de l'Académie des Sciences depuis 1997 comme membre correspondant puis en 2005 comme membre à part entière; depuis 2010 elle est Secrétaire Perpétuel de cette Académie. En 2010 aussi elle est nommée Ambassadeur délégué à la science, l'innovation et la technologie, et Présidente du Haut Conseil des Biotechnologies; elle est aussi membre du Conseil Scientifique de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.

Permettez-moi de donner maintenant quelques indications sur ses activités scientifiques et sur le domaine de ses recherches. Elle a commencé ses travaux de recherches aux frontières de la physique atomique en interface avec la physique nucléaire. Elle a ensuite développé ce qu'on appelle la physique des agrégats à l'interface entre matière diluée et condensée, précurseurs de «nano-objets» dans un domaine de taille fondamentale, entre quelques atomes et plusieurs milliers pour comprendre les propriétés des systèmes aux échelles intermédiaires entre physique atomique et physique du solide. Auteur de plus de 150 publications scientifiques avec un h-index qui dépasse 30, auteur de plus de 150 conférences invitées dans des congrès internationaux ou des écoles d'été.

Ses distinctions scientifiques et honorifiques sont nombreuses, je me contenterai d'en rappeler quelques unes.

Titulaire de la Médaille d'argent du CNRS, du Prix de l'Académie des Sciences, Docteur Honoris Causa de plusieurs institutions, membre associé dans plusieurs académies des sciences, elle mène sur le plan international au nom de l'Académie française une action soutenue pour la promotion

de la recherche scientifique et le développement de la coopération scientifique au sein de plusieurs organismes scientifiques internationaux comme l'IAP, l'ICSU, le GID, et notamment auprès des communautés scientifiques africaine, méditerranéenne, latino-américaine et asiatique.

Madame Catherine Brechignac a déjà rendu d'immenses services à notre Académie, je suis sûr qu'aux côtés de nos autres collègues associés à qui je voudrais à cette occasion rendre un hommage particulier, elle rendra encore de plus grands services à notre Compagnie; merci Chère Madame.

Mesdames & Messieurs,

Si vous permettez, je voudrais maintenant présenter notre nouveau collègue **M. Mohamed Kabbaj**.

Pour vous présenter, je dois vous avouer, mon cher Si Mohamed, que la même perplexité, que pour Mme Catherine Bréchignac, me saisit, au regard de votre parcours et des multiples hautes fonctions et responsabilités que vous avez assumées.

Lauréat de la prestigieuse Ecole Polytechnique de Paris, plus connue peut être par son surnom l'X, ingénieur de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, diplômé en économétrie, vous avez rejoint à votre retour de France, le grand Département des Travaux Publics, connu pour la qualité de ses cadres et des nombreux grands travaux d'infrastructure qu'il a réalisés depuis l'indépendance du pays; vous avez exercé votre métier d'abord sur le terrain à Tétouan comme délégué des T.P. puis Directeur de la circonscription des TP du Nord, avant de rejoindre l'administration centrale et la capitale du pays comme Directeur des routes, puis chargé de Mission au Cabinet Royal, puis Ministre de l'Equipement, puis Ministre des T.P., de la formation professionnelle et de la formation des cadres; en 2000 vous êtes nommé Conseiller de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI et en 2005 Wali du Grand Casablanca; à travers ce parcours on peut voir toute la diversité et l'importance des missions que vous avez accomplies; nous sommes sûrs que vous allez mettre au service de notre Académie la richesse d'une telle expérience.

Malgré ces charges, M. Mohamed Kabbaj a pu aussi assurer plusieurs fonctions académiques: professeur d'économie à l'Ecole Hassania des Travaux Publics, vice chancelier de l'Université Al Akhawayn, récemment vous avez été nommé par Sa Majesté Le Roi Mohammed VI Chancelier de l'Université Euroméditerranéenne de Fès.

Titulaire de plusieurs distinctions et décorations marocaines et étrangères, M. Mohamed Kabbaj est membre de plusieurs instances internationales, comme membre du Conseil Consultatif International de Lafarge, membre du Conseil Consultatif du FMI pour la Région MENA et Président de l'Association Fès Saiss. M. Mohamed Kabbaj est aussi connu pour le rôle qu'il joue dans la promotion des Arts et de la culture, il est Fondateur du Festival des Musiques sacrées du Monde qui prépare aujourd'hui sa 21^{ème} édition pour mai prochain et qui est devenu un rendez-vous annuel couru par tous les amateurs des musiques sacrées à travers le monde.

Incontestablement M. Mohamed Kabbaj mettra tout son savoir et son savoir-faire au service de notre Académie et du Collège Etudes stratégiques et Développement économique.

Honorable assistance,

Chers collègues,

Avant de passer la parole, je voudrais renouveler mes remerciements à tous ceux qui ont pu répondre à notre invitation, et mes félicitations à tous les nouveaux membres.

Je remercie le Professeur Abdellatif Benabdejil, Chancelier de l'Académie du Royaume et l'ensemble de son personnel pour l'aide qu'ils nous apportent dans l'organisation matérielle de cette session, comme l'avait toujours fait notre regretté collègue Pr. Abdellatif Berbich à qui nous avons rendu hommage au début de cette séance, que Dieu L'ait en Sa Sainte miséricorde, et je saisis cette occasion pour renouveler l'expression de notre sympathie et de notre solidarité à toute la famille du défunt, à Mme Berbich, à ses enfants Omar, Mehdi et Ali.

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 et à notre Académie d'être à la hauteur des objectifs qui lui ont été fixés par son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI -que Dieu Le protège-.

Je vous remercie pour votre attention.

Synthèse de la session plénière solennelle 2015

Risques naturels : séismes, ondes de tempête, phénomènes climatiques extrêmes

1. Introduction

L'homme, pour qui le temps est toujours compté, se mesure désormais au temps infiniment long de la planète qui l'héberge. L'homme, toujours pressé, perd sans cesse la notion du temps long et oublie les événements extrêmes, rares à l'échelle d'une vie, fréquents à l'échelle du temps terrestre. On le voit construire ses habitations dans des zones inondables, bâtir sur des terrains instables, négliger le recul des côtes et les submersions marines périodiques. Heureusement qu'aujourd'hui, la science et la technologie sont là pour assurer, dans le domaine des risques naturels (hydrométéorologiques, littoraux, géologiques) une meilleure connaissance des aléas et des risques associés, pour informer les populations, pour mettre en place des réseaux de surveillance et d'alerte, pour la prise en compte de ces aléas dans les aménagements, la construction des bâtiments et des ouvrages ou dans la gestion des crises.

Le «risque naturel» est un phénomène violent ou extrême, d'origine interne (au globe terrestre), météorologique ou climatique, qui peut se déclencher à n'importe quel moment et en n'importe quel point de la planète. Certaines régions sont plus exposées que d'autres à tel ou tel risque; elles sont alors victimes de catastrophes naturelles qui entraînent des pertes en vies humaines et causent de graves dégâts au niveau des infrastructures.

Si l'on ne peut pas, dans certains cas, prévenir ces risques, on peut en atténuer les effets grâce à une meilleure connaissance de ces derniers. Cette prévention des risques naturels est un élément fondamental d'une politique de gestion rationnelle des espaces et d'aménagement du territoire.

La position géographique du Maroc en fait l'un des pays les plus exposés à ce type de phénomènes. C'est pourquoi l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a débattu en session plénière de cette thématique en réunissant

des experts nationaux et internationaux. C'était l'occasion de renforcer les capacités endogènes et la coopération à différents niveaux. La session a aussi permis de proposer des stratégies de recherche, de parade ou d'atténuation de l'impact de ces risques.

Les exposés et les débats de la session ont permis de:

- faire un état des connaissances sur les phénomènes qui peuvent être dangereux, sur la capacité de les prévoir, sur leurs impacts, ainsi que sur les outils de coordination, de gestion, d'actions concertées, la planification, les réseaux de surveillance et d'alerte (télé-détection par satellite et par d'autres moyens, comme les drones, la robotique);
- proposer des méthodes pour le renforcement de la résilience des Etats et des collectivités face aux catastrophes;
- débattre des prévisions, de l'incertitude et de la vulnérabilité, ainsi que des mesures de mitigation du risque (que pourrait faire la science pour réduire le risque au maximum?).

2. Propositions d'action pour le Maroc: recherche, prédictions et préventions

Face aux risques naturels que sont les séismes et les ondes de tempêtes, voire les tsunamis, le Maroc reste un pays vulnérable, comme le montrent non seulement des événements récents (séisme d'Al Hoceima du 24 février 2004, ou les ondes de tempêtes sur le littoral atlantique du 7 janvier 2014) mais encore les études sur les impacts des séismes et tsunamis anciens (tel le tremblement de terre de Lisbonne de 1755). De surcroît, le Maroc affronte depuis une quarantaine d'années des phénomènes climatiques extrêmes, en particulier des sécheresses récurrentes. Avec le changement climatique global, on enregistre la perte de 40% des ressources en eau. Cela pénalise lourdement l'approvisionnement en eau potable,

mais aussi l'agriculture, où il faut produire plus et mieux, où les efforts de la recherche agronomique tendent à améliorer et accroître la productivité des cultures par unité de volume d'eau utilisée, et pas seulement par hectare et par an. Enfin, en fin d'année 2014, des inondations d'une rare violence ont provoqué des dégâts importants dans le sud du pays. Cela aussi semble devenir un phénomène récurrent.

Les recherches sur ces risques naturels sont nombreuses et de qualité. Par exemple, la Météorologie nationale dispose de moyens et de modèles de prévision des aléas climatiques développés par des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens marocains. Il existe une météorologie de proximité pour gérer les alertes sur les fortes précipitations dans un délai de cinq à six jours à l'avance; les orages peuvent être prévus dans un délai de l'ordre de l'heure. Tout cela grâce à un réseau de 200 stations d'observation et de sept radars. Vagues de chaleur, de froid, chutes de neige sont aussi beaucoup mieux détectées et suivies.

Le Maroc dispose depuis 2002 d'un Plan national de protection contre les inondations, qui comprend une conception des barrages pour le stockage des crues. Outre un système de coordination avec les différents départements concernés, l'hydrométéorologie renforce sa capacité de prévision des risques et d'adaptation à l'impact de ces derniers. Les techniques photosatellitaires, la modélisation qu'elles permettent et aident à la prise de décision. Quant à la prévention et à la protection, les études d'impact, les expériences du passé et la révision des données statistiques contribuent à l'identification des mesures à prendre. Les principaux bassins versants constituent les espaces où se retrouvent toutes les parties prenantes à l'étude, à l'alerte et à la réduction de l'impact de phénomènes climatiques extrêmes, comme les inondations ou les sécheresses.

Dans le domaine de l'étude et de l'observation des phénomènes sismiques, les chercheurs marocains conduisent des travaux qui bénéficient d'une coopération internationale de qualité, en particulier de la part de pays voisins comme l'Espagne qui connaît des phénomènes analogues. Sans doute faudrait-il encore renforcer ces études et ces recherches, accroître la coordination

interinstitutionnelle ainsi que l'interdisciplinarité, voire la transdisciplinarité, entre tous les types de recherche et les spécialités? Certains ont proposé la création d'un Institut national de géophysique, qui pourrait fédérer ces recherches et en accroître l'efficacité et la pertinence.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques soutient sans réserve le renforcement de la recherche sur les risques naturels, dans le cadre de la mobilisation des ressources nationales, du développement humain durable (charte nationale de l'aménagement du territoire et du développement durable) et de la souscription à une économie verte. Un tel renforcement conduit en effet à développer encore l'expertise nationale, à accroître les capacités de vigilance, d'anticipation et de réduction des effets des phénomènes climatiques extrêmes.

Cela est le cas des travaux sur les séismes ou les possibles tsunamis (une prudence s'impose dans l'utilisation de ce terme aux connotations précises), ainsi que de l'amélioration plus que significative des capacités de la Météorologie nationale.

La recherche agronomique du Maroc s'efforce aussi de répondre à la variabilité croissante des précipitations annuelles ainsi qu'à l'accélération de l'aridification du climat sur l'ensemble du territoire et particulièrement dans les zones humides et subhumides. La sélection des variétés végétales et des races animales mieux adaptées donne de bons résultats : plus de 250 variétés de céréales et autres cultures, création d'une banque de gènes depuis 20 ans avec 50.000 accessions ou entrées (qui comprennent des espèces sauvages ainsi que des variétés de nos terroirs). Le Plan Maroc Vert est le cadre national de ces travaux de recherche, qu'il s'agisse de son approche régionale et territoriale, ou de son approche filière. Des cartes de vocation des sols sont disponibles pour une superficie de 6,5 millions d'hectares. L'irrigation au goutte à goutte s'étend pour remplacer l'irrigation gravitaire qui souvent gaspille les ressources en eau. Ces technologies de collecte et d'économie de l'eau bénéficient du soutien de l'Etat, par exemple dans les oasis, les palmeraies et l'arganeraie. Le Maroc dispose de la plus grande collection de variétés de palmier dattier (400) et en particulier de celles qui sont résistantes à la redoutable maladie du bayoud,

causée par un champignon vivant dans le sol. Le remplacement progressif des palmiers dattiers décimés par cette maladie fongique se fait par des plants résistants produits *in vitro* (500.000 par an).

C'est aussi au niveau des bassins versants que peut se faire la coordination de la recherche agronomique et des autres expertises. C'est là également que l'apport de la coopération internationale peut être important, en plus des collaborations bilatérales ou multilatérales sur des thèmes particuliers de la recherche agronomique et vétérinaire.

Toutes ces recherches sur les risques naturels, tous les efforts en cours et à venir, doivent s'inscrire dans l'aménagement du territoire du Maroc. Cela est particulièrement vrai lorsqu'on constate que les dégâts causés par ces risques auraient pu être considérablement réduits si on avait respecté les règles d'aménagement territorial (par exemple, la non construction de logements dans des zones inondables ou littorales vulnérables). Le socle du schéma de l'aménagement du territoire est la Charte nationale de l'aménagement du territoire et du développement durable. L'objectif principal en est de doter chacune des 12 régions du Royaume d'un schéma d'aménagement du territoire et qu'un tel schéma intègre tous les risques. Il s'agit aussi d'envisager tous les étages de l'aménagement territorial autres que la région: les provinces et les communes; de bien repérer les espaces sensibles (montagnes, littoral, oasis). L'arsenal juridique évolue et de nouvelles lois sur les régions et la régionalisation avancée ainsi que sur le littoral devraient permettre une meilleure gestion des risques naturels. On a souvent signalé le non respect de la loi ou la multiplication des dérogations concernant l'application de celle-ci. Pragmatisme et fermeté sont sans doute requis.

Gestion intégrée des risques naturels, gouvernance nouvelle face au changement climatique, résilience nationale vis-à-vis de ce changement, se fondent sur les résultats des recherches et leur intégration dans l'aménagement du territoire. Mais cela nécessite la participation active des populations concernées. La science seule ne suffit pas, il faut s'adresser à la société et créer l'interface entre les deux grâce à l'éducation formelle et informelle, et à la communication. Cet effort indispensable qui

s'adresse aux populations locales (jusque dans les communes et les villages), permet de créer une culture du risque; car la population doit savoir s'adapter à ce risque et à son impact, jusqu'à modifier ses comportements de consommation des ressources. C'est là un vrai défi que d'unir la bonne gouvernance, les moyens financiers et l'éducation des gens.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques soutient, depuis sa création, des manifestations d'information scientifique sous le titre des Jeunes et la Science, en pleine coopération avec le Ministère de l'éducation nationale. L'information scientifique relative aux risques naturels en fait partie. A l'instar de pays comme le Japon, où la culture du risque est bien établie, l'Académie pourra soutenir ou s'associer aux efforts d'éducation en matière de risques naturels.

En conclusion, l'Académie souligne qu'avec l'étude des risques naturels et l'accroissement de la résilience à ces phénomènes extrêmes, on retrouve une source de tension entre les impératifs de développement (démographie, occupation du territoire, consommation des ressources) et l'obligation de réduire l'impact de ces risques naturels (code de construction parasismique, réseaux d'alertes, arsenal juridique, aménagement du territoire, éducation et participation de la population). Une autre source de tension se trouve entre les objectifs à court et moyen termes et les objectifs à long terme. Les moyens d'action requièrent la coordination et l'intégration des recherches (interdisciplinarité). Un effort de formation et de responsabilité du scientifique est indispensable, en même temps qu'une sensibilisation continue des populations concernées à tous les niveaux de l'aménagement du territoire. En d'autres termes, l'étude des risques naturels, leur prévention ou la réduction de leur impact, ne sont pas dissociables de la responsabilité humaine.

3. Résumé des travaux

La session plénière solennelle a débuté par une conférence introductive sur les «*Risques environnementaux naturels et anthropiques: stratégie à long terme de recherche interdisciplinaire intégrée pour les pays en développement*».

Les risques naturels et sociétaux induits concernant les événements géophysiques et océanographiques (éruptions volcaniques, tremblements de terre, tsunamis); hydro-météorologiques (tempêtes, typhons, ouragans, inondations); vagues de sécheresses, incendies, glissements de terrain; les changements climatiques et d'autres événements connexes font partie de ce qu'on appelle «la science des risques naturels et sociétaux induits et risques de catastrophe».

Les impacts dus à ces risques ont augmenté de plus d'un ordre de grandeur par décennie depuis 1900, d'environ 100 pour la décennie 1900-1940, à plus de 3000 par décennie dans les années 2000. Les coûts des catastrophes causés par ces risques naturels ont également augmenté de manière significative et affecté aussi bien les pays développés que ceux en développement. Néanmoins, les pays développés sont dans une meilleure position pour faire face à ces risques, en raison du développement de la recherche scientifique et de l'accumulation de connaissances, qui ont conduit à des mesures de prévention (y compris l'éducation et l'engagement de la population), ainsi qu'à des investissements importants dans la prévention des risques. Les pays en développement doivent s'appuyer sur leur propre expérience ainsi que sur celle des pays développés. Mais, en même temps, ils doivent élaborer des stratégies de recherche propres et appropriées par rapport aux risques naturels, promouvoir la recherche interdisciplinaire et fournir un financement à long terme. Les risques de catastrophe sont généralement des défis nationaux interdisciplinaires, qui combinent la recherche sur les ressources naturelles et en sciences humaines, l'éducation, le savoir écologique local, l'ingénierie et la modélisation. L'engagement avec les populations et l'élaboration de politiques à long terme (comprenant les financements) sont des composantes essentielles des efforts de mitigation des risques encourus en fonction de la vulnérabilité des régions menacées. Dans cette conférence introductive, le Chili a été présenté comme un modèle sur une cinquantaine d'années, du fait de sa forte exposition aux risques naturels (tremblements de terre, tsunamis, éruptions volcaniques, vagues de sécheresse). La

manière dont les stratégies de recherche ont été développées, le niveau de financement alloué et les résultats obtenus au niveau de l'éducation des populations et des mesures de prévention ont été débattus. Ce modèle peut servir à l'élaboration de stratégies de recherche sur les risques naturels dans d'autres pays en développement.

3.1. Phénomènes climatiques extrêmes

S'agissant des phénomènes extrêmes et du changement climatique, le 5^{ème} rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat (GIEC) confirme l'accélération du rythme de ces phénomènes. Les possibilités de limiter les dégâts sont encore possibles, mais la marge de manœuvre est d'autant plus restreinte que toutes les régions et tous les pays sont concernés et restent vulnérables; ce qui nécessite une mobilisation globale. Nous allons donc vers des systèmes d'alerte précoce (Early Warning Systems) qui existent pour chaque type de phénomène, mais dépendent des échelles spatio-temporelles, de la population cible en vue de la décision.

Bien que le Maroc s'achemine vers une vigilance météorologique et climatique développant le Savoir- Réagir- Prévenir, pour passer d'une gestion traditionnelle de la crise à la gestion effective du risque fondée sur la connaissance approfondie de ce dernier, les dégâts provoqués restent encore importants ; les comportements humains ne sont d'ailleurs pas étrangers à l'importance de ces dégâts.

Les observations faites et les tendances qui s'en dégagent confirment qu'au Maroc, l'évolution du climat est marquée par le réchauffement, l'assèchement, surtout à la fin de la saison pluvieuse (période importante pour l'agriculture) et par une semi-aridification vers le nord du pays.

En ce qui concerne les situations météorologiques de forte houle, les côtes atlantiques marocaines sont souvent frappées par celles-ci, à la suite de tempêtes qui prennent naissance dans l'océan Atlantique. Ces vagues peuvent atteindre des hauteurs importantes et avoir des effets destructeurs pour les infrastructures côtières. Elles sont dues à des dépressions bien creuses qui se déplacent au nord du 50^{ème} parallèle, auxquelles sont généralement associés de forts vents de nord-ouest orientés vers les côtes atlantiques

marocaines. Quant aux vagues dangereuses, elles sont engendrées par des dépressions moins creuses qui évoluent sur le 40^{ème} nord, de façon zonale, pour balayer le proche Atlantique marocain.

Les dispositions prises par la Direction de la Météorologie Nationale en cas de fortes houles consistent à :

- élaborer des communiqués de presse pour le grand public, trois jours à l'avance, ainsi que des communiqués techniques destinés aux usagers de la mer et aux autres acteurs, également trois jours à l'avance;
- diffuser des bulletins météorologiques spéciaux (BMS), des cartes de vigilance maritime;
- faire un suivi renforcé de la situation météorologique et bien sûr étudier et archiver une situation donnée.

Cela nécessite le renforcement des moyens de suivi et d'observation sur mer (bateaux, radars, bouées et satellites), l'amélioration des outils de prévision marine, l'utilisation de la carte de vigilance maritime ainsi que le renforcement de la coordination avec les départements concernés et des capacités professionnelles des prévisionnistes.

La fréquence et l'intensité des inondations sont de plus en plus élevées partout dans le monde. C'est le cas au Maroc, où les dégâts causés sont importants. Face à cette situation, il convient de privilégier la gestion intégrée des inondations à l'échelle du bassin versant (par exemple, des barrages pour stocker les eaux des crues). Cette approche est considérée comme essentiellement curative, alors qu'une gestion globale de ce risque exige d'intégrer des stratégies de résilience et d'adaptation, de concilier le développement économique et l'équilibre des milieux naturels. A long terme, pour réduire la vulnérabilité, la gestion intégrée des inondations s'impose : respect du fonctionnement naturel des rivières, de la réglementation et des politiques existantes relatives à la prévention, la préparation, la réaction et la remise en état des zones affectées.

Les sécheresses récurrentes frappent un nombre croissant de pays, dont le Maroc. Une approche réactive de gestion de la sécheresse traite les

symptômes (impacts) de celle-ci, plutôt que les causes sous-jacentes. Grâce à l'adoption de politiques nationales axées vers la réduction des risques et complétées par des plans d'atténuation de la sécheresse ou de préparation à divers niveaux de gouvernance, la capacité d'adaptation peut être améliorée. Les composantes d'une politique nationale de lutte contre la sécheresse sont la surveillance, la prévision, l'alerte précoce et la diffusion de l'information. Elle se fonde sur l'évaluation de la vulnérabilité et l'impact pour permettre l'élaboration de plans d'et concevoir les réponses appropriées.

3.2. Les séismes

L'apport de l'imagerie, fondée sur le bruit sismique, permet d'avoir un suivi temporel des structures géologiques (volcans, failles, injections), grâce aux signaux continus enregistrés par les stations sismologiques, ainsi qu'aux sismogrammes virtuels identiques à ceux qui seraient produits à partir d'une source appliquée à la position d'une station. Cette approche conduit à une exploitation optimale des enregistrements et a permis de réaliser des tomographies locales de haute résolution avec des techniques d'ondes de surface dans diverses régions du monde. Il a été montré récemment que toutes les ondes sismiques peuvent être reconstruites, y compris des phases d'ondes de volume qui ont traversé les structures les plus profondes de la planète. En raison de la permanence du bruit ambiant qui rend possible l'utilisation de cette approche pour mesurer les variations temporelles des propriétés élastiques des roches (grâce à des mesures des variations des vitesses sismiques), il est désormais possible de concevoir des méthodes basées sur le bruit ambiant pour détecter et mettre en image les déformations des couches profondes.

Comparé à d'autres pays de la Méditerranée (Algérie, Italie, Grèce), le Maroc est un pays à sismicité modérée, mais il peut être soumis à de forts séismes locaux comme ceux d'Agadir (1960), d'Al Hoceima (1994, 2004) ou à ceux d'origine océanique (Sud-ouest du cap St Vincent, 1755; 1969; golfe de Cadix, 1964).

Le Maroc se trouve sur la bordure nord-ouest de la plaque africaine, qui est en mouvement continu de rapprochement et de collision avec la plaque

eurasienne. Ce mouvement est responsable d'une grande partie de l'activité sismique enregistrée dans le pays et pouvant donner lieu à des tremblements de terre atteignant une magnitude proche de 6,5 (Al Hoceima, 2004), qui sont destructeurs compte tenu de la faible profondeur de leurs épicentres.

Mal définie il y a encore une trentaine d'années, la sismicité du Maroc commence à être connue avec précision, grâce au développement et à l'extension du réseau sismologique et aux nombreux travaux de recherche et aux missions de terrain réalisés. Une délimitation précise des zones potentiellement sismogènes et une analyse sismotectonique permettant d'identifier les failles actives, aboutissent à un zonage sismique qui est indispensable à l'évaluation de l'aléa sismique.

La recherche nationale et la coopération internationale ont permis aux chercheurs marocains de mieux connaître la structure du sous-sol du Maroc sur des dizaines de kilomètres de profondeur. Grâce à cette coopération, des projets multisismiques ont été élaborés visant à comprendre la structure du sous-sol, la composition et le scénario tectonique depuis le sud-est du pays (Tafilalt) jusqu'à la chaîne Bétique (Espagne), via la cordillère du Rif et le bassin ouest-méditerranéen. Des profils (NS et EW) ont été réalisés et ont permis de mieux comprendre et interpréter la structure de la croûte terrestre et fournir des modèles sismiques pour le Maroc.

Dans la prévision des séismes, qui a pour but de limiter les pertes en vies humaines et les dégâts matériels, quatre paramètres principaux doivent être pris en compte : le lieu, la date, la magnitude et les effets que le séisme peut entraîner à la surface du sol. Comme il est actuellement impossible de prédire de manière précise l'avènement d'un séisme, la prévention reste le seul moyen pour réduire au mieux les dommages causés. Dans les régions sujettes aux séismes, toute décision en matière d'urbanisme, d'aménagement de l'espace ou de génie parasismique doit s'appuyer sur les caractéristiques des séismes connus et probables. L'application des règles parasismiques aux constructions neuves est en principe obligatoire au Maroc depuis 2002 pour la quasi-totalité des bâtiments situés dans les zones sismiques. En revanche, aucune

obligation de renforcement préventif n'existe en ce qui concerne le patrimoine déjà bâti. Or, la vulnérabilité de ce dernier aux séismes est parfois très élevée et, dans les zones les plus exposées, de nombreuses pertes en vies humaines pourraient être occasionnées par des tremblements de terre de forte intensité ; par conséquent, dans certaines villes surpeuplées, les quartiers ou bâtiments anciens présentent un risque considérable face aux séismes. Malheureusement, les dispositions parasismiques figurant dans les normes de construction sont souvent peu ou pas respectées, par ignorance ou indifférence, par commodité ou par négligence. La prévention antisismique doit être complétée par des programmes de sensibilisation des citoyens, des élus et des autorités aux méfaits des séismes. Il faudra également mettre en place une organisation pour la formation, la qualification des entreprises ; et améliorer le contrôle de l'application des règles de construction.

Pour ce qui est du risque de «tsunami», il était utile d'évoquer et d'expliquer les causes du tsunami du 26 décembre 2004 en Asie du Sud-Est, qui a été à l'origine d'une prise en conscience générale, de la part des scientifiques et des décideurs politiques, de la gravité de ces risques pour la grande proportion de la population mondiale concentrée le long des côtes. Le tsunami du 11 mars 2011 au Japon n'a fait qu'accentuer encore cette prise de conscience.

Ce risque peut aussi frapper le Maroc, qui, comme le Portugal et l'Espagne, a déjà été dévasté par des tsunamis, dont le plus connu est celui qui a suivi le tremblement de terre dit de Lisbonne ($M = 9$), survenu le 1er novembre 1755; les vagues ont alors envahi l'ensemble des villes situées le long de la côte atlantique marocaine, comme l'ont décrit plusieurs historiens et navigateurs. Les effets de ce cataclysme sont toujours visibles dans le paysage sous la forme de blocs épars, ainsi que dans les sédiments estuariens sous la forme de minces lits marins incrustés dans les sédiments vaseux.

Bien que le risque de tsunami par décollement d'un panneau du volcan de La Palma aux Canaries reste réel, le Maroc est surtout exposé aux tsunamis liés aux séismes atlantiques, qui ont lieu régulièrement le long de la Zone de Failles Azores-Gibraltar. Cette dernière souligne la limite entre les plaques Eurasie et Afrique avec un jeu dextre qui, au niveau du

Maroc, devient complexe en raison de l'existence de blocs à mouvement variable. Les études récentes au moyen du GPS indiquent que le mouvement de la plaque africaine par rapport à l'Eurasie fixe atteint 5 mm/an au niveau du Maroc, le Rif et les Atlas accommodant en majorité cette déformation.

Concernant la région atlantique, les études océanographiques menées récemment ont permis de déterminer quatre failles pouvant engendrer des tsunamis; celles bordant le Banc de Gorringer et la plaine du Fer à Cheval, la faille du Banc de Guadalquivir et la faille du Marqués de Pombal. Différents scénarios ont récemment été envisagés par plusieurs équipes scientifiques du Portugal, d'Espagne et du Maroc pour simuler les conséquences d'un tsunami lié au jeu de ces failles et pour proposer un système d'alerte régional similaire à ceux mis en place ailleurs. D'autres études récentes ont porté sur les effets potentiels de l'inondation de plusieurs villes telles que Casablanca, Rabat-Salé et El Jadida, en prenant comme référence le tsunami de 1755. Les principaux résultats concernent la distribution géographique des quartiers à risque et la vulnérabilité des bâtiments.

Comme la plupart de ces études se font dans un cadre académique et sont dispersées, et comme les gestionnaires des villes ont rarement accès à ces informations, **l'Académie Hassan II des sciences et techniques propose la création d'un organe interministériel permanent en charge de ces risques et regroupant tous les acteurs afin d'agir efficacement en cas de menace.**

3.3. Stratégies d'adaptation

Quelles sont alors les stratégies pour passer de l'échelle globale à celle des territoires, en ce qui concerne les changements climatiques? Quelles sont les stratégies de réduction des risques de catastrophe? Quel rôle pour la science et la technologie?

Au cours des dernières décennies, une part importante des recherches sur le climat a été consacrée à établir le niveau de danger global associé à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre. Mais l'adaptation au changement climatique doit aussi prendre en compte la conservation de la biodiversité, les situations de pauvreté ou d'inégalité, souvent à

une échelle locale. L'anticipation des conséquences locales ou régionales de ce changement au cours des prochaines décennies, constitue une exigence nouvelle pour la science du climat, en raison de l'imprévisibilité partielle des évolutions climatiques à ces échéances et sur un territoire déterminé. Il est alors nécessaire de travailler de manière un peu différente, en déterminant la vulnérabilité de différents systèmes écologiques, sociaux ou économiques à des risques climatiques, qui peuvent survenir de manière inattendue et dont la fréquence est appelée à croître avec l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Il faudrait donc passer d'une « science de l'alerte » à une « science de la gestion ou de la prise de décision », ce qui implique un saut qualitatif et quantitatif : difficulté de passage du diagnostic global au diagnostic local; transition d'une prévision déterministe à une culture du risque; rapport du risque climatique à d'autres risques. Cela implique aussi l'articulation des outils de la science avec ceux du débat public.

La stratégie de réduction des risques de catastrophe est d'une extrême importance pour les décideurs, quand on sait que de telles catastrophes peuvent anéantir, en quelques jours, quelques heures, voire quelques secondes, des années d'efforts de développement économique et social. Cette stratégie doit être adaptée aux conditions nationales et locales, grâce à une bonne gouvernance, à la mise en place d'un flux d'information hiérarchique mais coordonnée à une flexibilité et une planification à long terme. Il faut aussi garder à l'esprit que chaque désastre sera unique et pourrait dépasser toute prévision ; c'est pourquoi la stratégie ne doit pas être statique mais dynamique, et intégrer les expériences ou les leçons des catastrophes survenues à l'échelle nationale et mondiale.

Néanmoins, cette stratégie, développée de pair avec les progrès de la science, ne pourra pas être mise en œuvre sans l'apport de solides connaissances scientifiques et technologiques, et surtout sans le soutien de l'Etat pour la réduction des risques des catastrophes naturelles. A l'instar de plusieurs pays (par exemple l'Indonésie, les Philippines, le Pakistan) qui l'ont conçue et mise en œuvre, la stratégie de réduction des risques de catastrophe, qui n'est pas un processus simple, peut être mise en place si une nation

est déterminée à faire les efforts nécessaires, en tirant les leçons du passé et en s'inspirant des expériences relevées dans le monde.

4. Conclusions

Les travaux de la session plénière 2015 sur les risques naturels ont permis des échanges d'expérience sur certains phénomènes physiques liés au risque naturel, sur la modélisation numérique de ces phénomènes, en vue d'apporter des réponses aux besoins sociétaux, exprimés dans les plans de prévention, d'intervention et de sauvegarde mis en œuvre par le pouvoir politique.

Ces travaux ont également permis de proposer des stratégies de gestion du risque naturel, qui consistent à passer de la réaction à l'anticipation, fondée sur une meilleure connaissance scientifique du risque et sur une vigilance accrue, avec pour conséquence le développement de la résilience. Il s'agit en effet d'améliorer les capacités actuelles de cartographie d'urgence pour offrir par Internet des renseignements sur les situations d'urgence de façon opportune et sûre. Le contenu de ces cartes doit inclure des informations et des données météorologiques, des prévisions, des scénarios climatiques. Il s'agit aussi de mieux utiliser les images de la télédétection, obtenues grâce à la nouvelle génération de satellites, dans le traitement des risques naturels, et de tirer profit

des plus récentes informations géospatiales, fournies par divers programmes internationaux relatifs aux risques naturels.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques contribuera aux efforts déployés dans notre pays pour établir des partenariats de recherche, des réseaux ou des consortiums, en vue de promouvoir la recherche scientifique et technique dans le domaine des risques naturels. Elle apportera ainsi son concours au renforcement de l'interdisciplinarité des programmes de recherche, ainsi qu'à la coopération interinstitutionnelle. A cet effet, elle envisage de soutenir l'organisation d'un séminaire national pour donner suite à la session plénière avant la fin de l'année 2015. Une telle action est d'autant plus pertinente que les risques naturels sont l'objet d'une attention particulière au niveau international, comme en témoignent la tenue au Japon de la troisième conférence des Nations Unies sur la prévention des catastrophes naturelles, du 14 au 18 mars 2015 ; ainsi que l'organisation au Maroc, en 2016, de la conférence des parties (COP-22), à la suite de la tenue à Paris, en décembre 2015, de la Conférence des Nations Unies sur le changement climatique.

**Le Collège des sciences et techniques
de l'environnement, de la terre et de la mer,
en collaboration avec le Pr. Albert SASSON**



Les membres du Collège des sciences et techniques de l'environnement, de la terre et de la mer, lors d'une réunion au siège de l'Académie.

Natural and societal-induced environmental hazards: integrate interdisciplinary long-term research strategy for developing countries *

Juan Carlos CASTILLA

Facultad de Ciencias Biológicas & Centro Interdisciplinario de Cambio Global. Pontificia Universidad Católica de Chile. Casilla 114-D. Santiago, Chile. Associate (Foreign) Member of the Hassan II Academy of Science and Technology, Kingdom of Morocco. jcastilla@bio.puc.cl

Abstract

Natural stochastic and societal-induced hazard events (S-IHEs), such as meteorological, climate, hydrological, geophysical and biological, are part of the so called “science of natural and societal-induced hazards and disaster risk”.

In the past 50 years world impacts due to natural and NS-IHEs have increased about one order of magnitude, showing severe increases in economical damages. Moreover, over 90% of the population affected by them refers to events such as flooding, windstorms and droughts, with a mean of about 200,000 people directly affected per year. In my view the “hard-science” behind natural and S-IHEs involve basic disciplinary research as well as in the so called mission

integrative and multidisciplinary research. In the are of natural hazards and S-IHEs there is an urgent need for disciplines to truly “talk-each-other” in an integrative way. Chile is a developing country facing numerous and dreadful natural and S-IHEs and therefore, scientific research (preparation, response, recovery, mitigation) and linkages with policy making and government, need to be part of integrate interdisciplinary long-term scientific research strategies. The paper describes, with details, a research multidisciplinary initiative (FONDAP Programs) highlighting long-term results regarding first world class publications, that may serve as an example for building natural and S-IHEs investigative and the design of public policy strategies in other developing countries.

1. Introduction and definitions



Natural stochastic and societal-induced hazard events (S-IHEs), some times sudden and violent and extreme in magnitude such as: a) meteorological (windstorms, typhoons, hurricanes extreme temperatures); b) climate (droughts, wildfires); c) hydrological (flooding, landslides); e) geophysical (earthquakes, volcano eruptions, tsunamis); f) biological (infectious diseases), are part of the so called “science of natural and

societal-induced hazards and disaster risk” (other type are the so called technological impacts, such as those related to oil spills, explosions, transport , other). When these events cause severe damage to society are called disasters or catastrophes (in the last case referring to an extreme disaster event). According to the International Agreed Glossary of Basic Terms to Disaster Management [1] the definition for disaster is: “*Situation or event, which overwhelms local capacity, necessitating a request to national or international level for external assistance*”. Although, natural disaster specialists (www.atlantisireland.com/hazards.php) had suggested an alternative definition as following: “*A physical natural event (and/or societal-induced event) that kills people or overwhelms local capacity for damage control or recovery*” (parenthesis introduced by the author).

* Paper accepted for publication in the journal : *Frontiers in Science and Engineering* of The Hassan II Academy of Science and Technology.

In this paper I have introduced the concept of societal-induced hazard event as a complement to fully natural hazard events. The goal is to call attention not only to the fact that there is an increase interaction between natural hazards and societal conditions (i.e. due to poverty, overpopulation, human modification of the environment, inadequate human settling areas, other), that has led to an every-day increase risky hazard-prone areas; but moreover, to the fact that the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [2] reported that: *“The IPCC is now 95% certain that humans are the main cause of current global warming. In addition, the SYR finds that more human activities disrupt the climate, the greater the risks of severe, pervasive and irreversible impacts for people and ecosystems, and long lasting changes in all components of the climate system”*. This, indeed, is directly linked to several of the above listed recurrent “natural hazards”, particularly those related with meteorological, hydrological, climate and biological factors. Furthermore, the IPCC [2] Report indicates: *“anthropogenic green house gas emissions have increased since the pre-industrial era, driven largely by economic and population growth, and are now higher than ever. This has led to atmospheric concentrations of CO₂, methane and nitrous oxide that are unprecedented at least in*

the last 800,000 years. Their effects, together with those of other anthropogenic drivers, have been detected throughout the climate system and are extremely likely to have been the dominant cause of the observed warming since the mid-20 century”.

So, today there is **“a very likely probability”** (= 90-95%; [2]) that many extreme weather and climate changes events are linked to societal influences. For instance: decreases in cold temperature extremes, increases in warm temperature extremes and abnormal heavy precipitations, have been observed in numerous regions of the world, and many of them are directly linked to flooding, waves of droughts, wildfires and landslides hazard events; ought to be considered as societal-induced or driven environmental hazard events.

Between 1960 and 2009 hazard impacts due to natural and NS-IHEs have increased from 450 in the decade 1960-1969 to 4308 in the decade 2000-2009; showing highly severe increases in economical damages (Fig.1). Moreover, for the period 1994-2013 over 90% of the population affected by these hazards refers to: a) flooding, b) windstorms, c) droughts; with a mean of about 200,000 people directly affected per year. For that period reports show over 1, 300, 000 people deaths; with over 50% referring to earthquakes and tsunamis [3, 4].

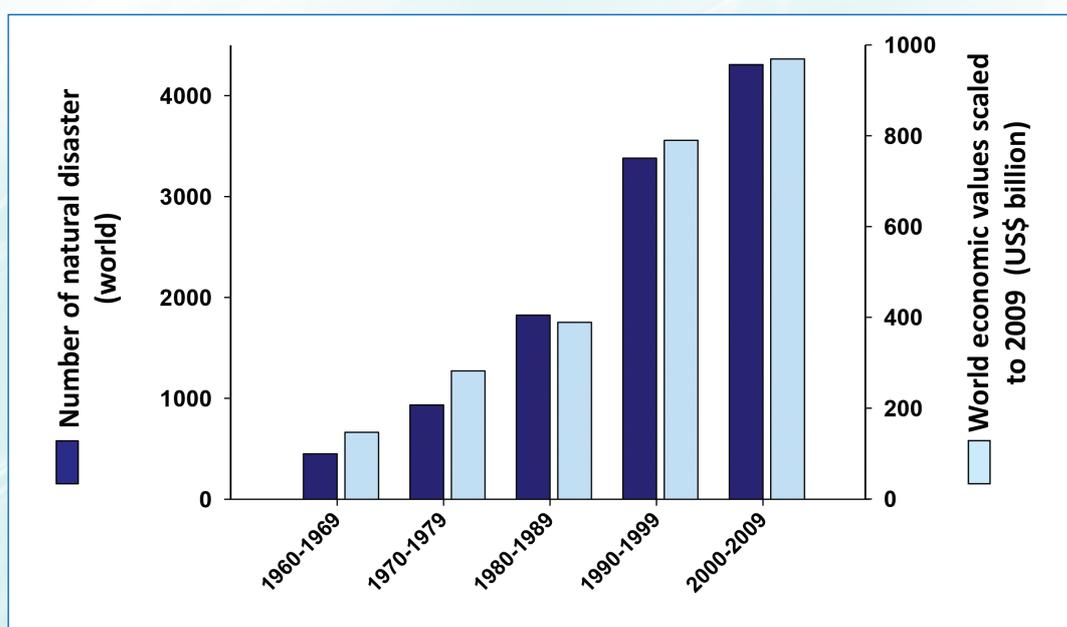


Figure 1. Total number of world natural disaster (meteorological, climate, geophysical and biological) grouped per decade and their economic values (losses) in US \$, scaled in real prize to 2009 (information taken from [3]; scaled US \$ to real prize from 1960 to 2009 by the author from [www. measuringworth.com](http://www.measuringworth.com))

2. The scientific perspective of natural and S-IHE environmental hazard events

There are many possible approaches for the development of scientific research and linkages on environmental hazard studies and programs (academic, governmental, state, other institutions). They range, in one extreme, from extremely focal, specialized or disciplinary studies or, in the other extreme, to overarching multidisciplinary scientific approaches. In any case, most of international, and many regional or national strategies, research programs on environmental hazards tend to focus on disaster risks, disaster reductions, damage control and recovery [5]. Risks depend on the type and magnitude of the hazard event and on vulnerability (= the loss from natural or S-IHEs) and this makes environmental hazard research programs indeed a multidisciplinary discipline.

Among other, the discipline of risk analysis considers physical, biophysical, health, human and societal elements; incorporating humanities, education, social and natural sciences. This, includes the study, analysis and evaluation of the type and probability of hazard occurrence, the range of intensities, effects and modeling; as well as, human behavior, local ecological knowledge, societal impacts and importantly the political decision-making chain-process, from the hazard impact (ideally previous to the occurrence), all the way to control and recovery stages. Then, there is a need for integrated approaches, not only across disciplines but across spatial, temporal and the different levels of governance. Moreover, there is a critical need to be able to build strong databases on environmental hazards events [5].

In my view the “hard-science” behind natural and S-IHEs lays both in the Basic Research or Bohr’s Quadrant as well as in the Pasteur’s or Mission Oriented Quadrant [6, 7]. In fact, regarding environmental hazards events at the local scale (i.e. country or region) basic disciplinary science is much needed (i.e. geology, climate, oceanography, sociology, political science, economy, modeling, other). Nevertheless, interdisciplinary scientific approaches are critical and they can not be limited to the study of local situations but need to be integrated into wider national and international scientific approaches, and must be based on long-term research teams, strategies and funding [5].

Interdisciplinary research (overarching research on a particular problem or subject) is difficult to be achieved, since it usually considers both the quest for fundamental understanding as well as aspects aiming to bridge over applied and/or societal problems. The scientific programming on natural and S-IHEs is a case in point. But, also is the case for other societal problems or challengers, for instance interdisciplinary studies on: Biodiversity Losses and Impacts on Society; Sustainable Aquaculture and Feeding the Poor; The Challenge of Ageing or Drug Abuses and Society.

In developed countries, with long traditions and considerable research funding, interdisciplinary research, focusing on above examples and many other have flourished, particularly following the end of the Second World War [6]. Such appears not to be the case in many developing or emerging countries, where incentives for interdisciplinary research is absent or weak. Under those circumstances, and with limited research funding, the usual situation in these countries is one in which it may exist the development of several disciplinary sciences (depending on funding and trained scientific personnel), but where the disciplines “do not talk-each-other”; even if some of them are well developed. In this case research funding agencies (governments) need to develop new research strategies and above all to provide incentives.

3. A model to develop and incentive interdisciplinary studies: the Chilean strategy

In 1967 Chile, presently a country member of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) started a plan to seriously develop science, technology, innovation and the training of human capital. That year it was established the Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) (National Commission for Scientific and Technological Research), under the Ministry of Education, as an advisory body to the President of the Republic. CONICYT mission is: “*advancing the training of human capital, and promoting, developing, and disseminating scientific and technological research..... aiming to contribute to Chile’s economy, social, and cultural development*”. CONICYT provides resources for highly competitive funding calls and creates opportunities for coordination, networking and

designs strategies to implement scientific public awareness. Presently this agency administers a set of 12 different major programs, for example on: Equipment Funding, Science Divulcation and Fellowships (www.conicyt.cl).

Additionally, in 1982 was created the Fund for National Scientific and Technological Development (FONDECYT), that has financed several competitive research programs; out of which, one of the most important one is the so called "FONDECYT: Regular Scientific Program in all scientific disciplines: Natural, Cultural and Formal Sciences (www.fondecyt.cl), with financing windows of 2-4 years per project. Furthermore, this agency, manages a special fund that focus on long-term (up to 10 years per Center) interdisciplinary national scientific excellence and mission oriented scientific programs [6, 7], selecting Chilean priorities areas, call FONDAP "Fund for Research Centers on Priority Areas" (Fondo de Financiamiento de Investigaciones en Areas Prioritarias". FONDAP Programs started in 1997 and provide long-term funds for research centers of excellence for Chile's development. The goal being to articulate teams of national outstanding researchers (selected on the basis of scientific productivity) in priority areas, aiming to consolidate them guided by interdisciplinary, national and international networking approaches and, centrally, aiming to the training of young scientists (human capital). A third Program is called FONDEF, directed to strategic-problem solving aspects of science, technology or industry, which is jointly financed with the industry (up to 4 years per project). The scientific policy behind these programs, especially behind the FONDAP initiative, is aiming for networking, first world class paper productivity and first world class personnel training [8, 9]. Selection of proposals and controls occur every 2-3 years under the responsibility of international panels of experts.

Among the main incentives for researchers engaged in FONDAP Centers are: a) Long-term temporal window of funding; initially 5 years and extended for another 5 years (based on international evaluations); b) Sustained funding of about 1-1.5 million US dollars per year per Center; c) Economic incentives, on top of salaries, for researchers engaged in the Center, d) Interdisciplinary approaches, national and international networking, e) Funding for Ph.D

and Post-doctoral young scientists, f) Funding for equipment, g) Incentives to access matching, national and international, research funds.

Since 1997 funds for 20 FONDAP Centers have been allocated in Chile, and in 2015 there are 11 FONDAP Centers in operation, with an annual budget of approximately 18 millions of US dollars. Examples of such Centers are: a) "*Multidisciplinary Center for Intercultural and Indigenous Studies*"; b) "*Center for Climate Change and Resilience*"; c) "*Center for Solar Energy Research*"; d) "*Center for Sustainable Urban Development*"; e) "*Interdisciplinary Center for Sustainable Aquaculture Research*", f) "*Center for Astrophysics*"; g) "**National Research Center for the Integrated Management of Natural Disasters**" (www.fondap.cl).

Furthermore, in 1999 it was initiated a second and similar set of Scientific Research Centers of Excellence, now under the Ministry of Economic Affairs, call the Millennium Scientific Institutes (MSI) and the Millennium Scientific Nucleus (MSN) [10]. Further, promoting outstanding research, the training and reinsertion of Chilean scientists. In the future, it is hope, that both initiatives, FONDAP and MILENIO, will be merged.

4. The FONDAP "National Research Center for the Integrated Management of Natural Disasters" (CIGIDEN)

CIGIDEN (2012-2017) is a recently financed FONDAP Center of excellence; in this case is based at the Pontificia Universidad Católica de Chile, School of Engineer, and has 3 other associated Chilean Universities. With a total of about 50 researchers and 6 main research lines; under 6 main principal investigators and 6 associated investigators. Some of research lines are: Surface waters; Disaster Risk Vulnerability-Physical and Sociological Systems; Management of Disaster and Risk Mitigation. The Center is linked to main national services (i.e. geology, seismology and climate) and Hazard-Disaster National Offices. One of the main objectives of CIGIDEN is to develop, integrate, and convey knowledge allowing the creation of a system that can respond effectively to extreme natural phenomena, achieved through the preparation, response, recovery, and mitigation stages. CIGIDEN is an integrating, interdisciplinary research initiative, which contributes to address the need of mitigating the impact of natural disasters on Chilean society, physical infrastructure, and economic development.

CIGIDEN is the basis to generate new knowledge and technology that will enhance the understanding and mitigation of the global implications of natural and societal-induced disasters in the country, along with the establishment of territories that are less exposed and of communities that are more resilient (www.cigiden.cl).

5. Developing countries: science, technology investment, research strategy

Chile is an emerging country (ca. 20,000 US dollar per year, per capita), and member of the OEDC. In the area of Science and Technology (S&T) Chile operates, so far, with research financing agencies (see above) and has not contemplated a Ministry of Science and Technology. In 2012, S&T Chile's investment was of around 0.35% of GDP (ca. 700-800 million of US dollars); while the mean S&T investment for OEDC countries was of 2.4% of GDP. The low Chilean investment in S&T means that research strategies need to be thoroughly

thought. Hence, it is my view that experience gained along nearly 50 years of well organized and highly respected (by scientists and society) S&T funding system in Chile has paved its academic and societal way to maturity. Part of that has been to maintain a major basic research program (Regular FONDECYT Research Program; with investment of around 50 million of US dollars per year; as well as a S&T Research Strategic Programs, Fellowships, other), based under a predictable and regular financing system. On the other hand, the FONDAP initiative can be highlighted as the most scientifically successful program in Chile and of high world standard. For instance, 85% of FONDAP Centers originated papers that are published in Quartile 1 (Q1) indexed journals and the normalized impact of those publications are about 10% above the world mean. Furthermore, Chile is a leader country in scientific publications (and paper impacts) within the Latin-America subcontinent [9].



Figure 2. Impacts of the February 27th 2010, 8.8 Mw mega-earthquake and tsunami hitting Central Chile [see 11, 12, 13]. A. Rock uplifted >2 m in Isla Mocha, Central Chile (former brown intertidal algae can be seen at top of the rock). B. Tubul bridge, Central Chile, destroyed by the earthquake. C & D. Damages and losses due to tsunami in small-scale artisan boats at Isla Santa María and Tubul villages.

Chile is a country facing numerous, repetitive and dreadful natural and S-IHEs, such as earthquakes and tsunamis (Fig. 2; [11, 12, 13]), volcano eruptions, flooding, drought and large wildfire and landslide events.

Therefore, scientific research (preparation, response, recovery, mitigation) and linkages with policy making and government agencies need to be part of integrate interdisciplinary long-term research strategies. The Chilean S&T FONDAP initiative is one of them; and a highly successful one; that perhaps it may be used as a model by other developing or emerging countries. Above all the FONDAP model may be used as a template to incentivize and get going interdisciplinary S&T research of first world class in third world countries. The scientific disciplines (Natural, Cultural and Formal sciences) have to talk-each-other. Moreover, this is a must in developing world countries, where the number of scientists is low and showing rather poor financing schemes.

Acknowledgements. I sincerely thank Professor Albert Sasson and the Permanent Secretary, Omar Fassi-Fehri of the Hassan II Academy of Science and Technology, Kingdom of Morocco and my Academy colleague and friend Ahmed El Hassani, for inviting me to deliver this Inaugural Conference on the theme “Natural Hazards: Earthquakes, Storms and Extreme Climate Phenomena”, during the February 2015 Plenary Session of the Academy in Rabat. I also thank Veronica Ortiz for technical help with graphs.

References

- [1] United Nations Department of Human Affairs (UN-DHA). Glossary of Basic Terms to Disaster Management. Geneva. 81 pp. 1992
- [2] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the IPCC (Core writing team, Pachauri R.K. & LA. Meyer; eds). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2015.
- [3] Guha-Sapir D., R. Below & Ph. Hoyois. Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). EM DAT: International Disasters Database. Universite Catholique de Louvain. Brussels, Belgium. 2009. www.emdat.be
- [4] United Nations International Strategy for Disaster Reductions (UN-ISDR). Geneva, Switzerland. www.unisdr.org
- [5] International Council for Science (ICSU). A Science Plan for Integrated Research on Disaster Risk. Addressing the challenge of natural and human-induced environmental hazards. 64 pp. 2008.
- [6] Stokes D.E. Pasteur Quadrant: Basic Science and Technology Innovation. Brookings Institution Press. Washington, D.C. 1997.
- [7] Castilla, J.C. Revisiting the Pasteur Quadrant, post-normal science and strategies for research on natural hazards and disasters. Actes de la Session Pleniere Solennelle III: Physique et Scinces de l’Ingenieur. Academy Hassan II des Sciences et Techniques, Royaume du Maroc. Pp. 277-288. 2013.
- [8] Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad, Chile (CNIC). Agenda de Innovación y Competitividad 2010-2020. 2011 Evaluation Report of National Innovation Strategy for Competitiveness. Chile International Panel. Santiago. Pp. 111-156. 2011
- [9] de Moya-Anegón, F & collaborators. Principales Indicadores Cientométricos de la Actividad Científica Chilena. Informe 2014: Una mirada a 10 años. SCImago Research Group. CSIC-CCHS, Instituto de Políticas y Bienes Públicos. Madrid-Valparaíso. 286 pp. 2014.
- [10] Iniciativa Científica Milenio (ICM). Vínculos con la Industria, el sector público y al educación de los Institutos y Núcleos Científicos Milenio: 2002-2013. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo Chile. 39 pp. 2013. www.iniciativamilenio.cl / www.icm.gob.cl
- [11] Castilla, J.C., P. Manríquez & A. Camaño. Effects of rocky shore coseismic uplift and the 2010 Chilean mega-earthquake on intertidal biomarkers species. Marine Ecology Progress Series 418: 17-23. 2010.
- [12] Farías, M., G. Vargas, A. Tassara, S. Carretier, S. Baize, D. Melnick & K. Bataille. Land-level changes produced by the Mw 8.8 2010 Chilean earthquake. Science 329 : 916. 2010.
- [13] Marín, A., S. Gelcich, G. Araya, G. Olea, M. Espíndola & J. C. Castilla. The 2010 tsunami in Chile: devastation and survival of coastal small-scale fishing communities. Marine Policy 34: 1381-1384. 2010.

The Crust beneath Morocco: From the Surface Topography to the Upper Mantle a 700 km long Seismic Section Across Morocco

Ramon Carbonell¹, J. Díaz¹, Mimoun Harnafi², Ahmed El Hassani², P. Ayarza³, A. Gil¹, Josep Gallart¹, M. Torne¹, F. Mancilla⁴, I. Palomeras⁵, A. Levander⁵

(1) CSIC-Inst. Earth Sciences Jaume Almera, Lluís Solé I Sabarís s/n, Barcelona, Spain

(2) Institute Scientifique, Univ. Mohammed V., Rabat, Morocco

(3) Univ. of Salamanca, Spain. (4) Univ. of Granada, Spain. (5) Rice University, Houston, TX, USA

Abstract

The most characteristic topographic features of Morocco are the Atlas Mountains and the Rif Cordillera. These two orogenic belts are the response of different geodynamic processes acting at lithospheric scale caused by a complex plate interaction. Both are located within the diffuse plate boundary zone separating Africa and Europe. The boundary zone is characterized by a relatively broad zone of deformation that includes mountain chains in southern Iberia, the Betics and in Morocco, the Rif Cordillera, separated by the Alboran basin. The zone delineates an arcuate arc system known as the Gibraltar arc. The area is characterized by a relatively large amount of earthquake activity at various depths and with a broad spectra of focal mechanisms. Within the last decade a large international effort have been devoted to the area. The topic has fostered a strong collaborations between Spanish and international research teams from Europe and USA. Key multi-seismic projects have been developed that aim to constrain the structure, composition and tectonic scenario from south of the Atlas to the Betics, across the Rif cordillera and the Alboran basin. The multidisciplinary research program included: natural source (earthquakes) recording with temporal deployments of broad band (BB) instrumentation and, controlled source seismic acquisition experiments where, spatially dense recording of wide-angle seismic reflection shot gathers were acquired. The natural source

experiments consisted on a transect from Merzouga across the Gibraltar Arc and into the Iberian Peninsula (until south of Toledo) and, a nearly regular grid of BB. The controlled source data-sets were able to constrain the crustal structure and provide seismic P-wave propagation velocity models from the coast across the Rif and the Atlas. From south to north the crust features a relatively moderate crustal root beneath the Middle Atlas which can reach 40 km clearly differing from the 35 km thickness value observed at both sides of this root. Travel time inversion results position the crustal root just south of the High Atlas defining a thrust mantle wedge and, also a limited crustal imbrication is suggested in the Middle Atlas. The most surprising feature is a prominent and unexpected crustal root (over 50 km) located beneath the external Rif and identified by both the wide-angle data and receiver function studies. To the east of this feature the crust thins rapidly by 20 km across the Nekor fault zone, suggested to be related to the sharp change in crustal thickness. On shore-offshore recording of marine shots reveal further complexities in the transition to the Alboran basin. The low values of the Bouguer gravity anomalies beneath the Rif Cordillera are consistent with the crustal models derived from the new seismic data. The detailed knowledge on the crustal structure achieved by this high resolution imaging geophysical techniques is an asset to evaluate the earthquake and potential tsunami hazard for the coasts of North Africa and western Europe.

1- Introduction



The Gibraltar Arc constitutes the western tip of the Mediterranean which marks the vertex of the closure of the Thetis. This feature is part of a broad and diffuse deformation zone caused by the collision between two continental masses

Africa and Eurasia (Fig. 1). This area of the western Mediterranean, includes the westernmost range of the Alpine-Himalayan system, the orogens of the Betic and Rif. These are considered to be part of the same orogen curved around the Alboran back-arc extensional basin (Fig. 1). The surface geology has suggested a number of relatively different tectonic models (Platt et al., 2013). Since the Miocene, the broad region extending from the Atlas Mountains in the South, in Morocco, to the Betic Mountains or even perhaps to the Central Iberian system in the North (Iberia Peninsula) has been affected by the oblique collision process resulting from the Africa-Eurasia convergence. For the last decade

the area has attracted the attention of the Earth Science community as a relevant effort has been dedicated to the area with the development of a large number of international research projects.

The earthquake activity in the region is frequent and relatively strong, it is distributed (Fig. 1) in the wide deformation zone and/or diffuse plate boundary. The continental collision zone has been referred by different authors as the Azores-Gibraltar-Alboran plate boundary (Udias et al., 1976; Buforn et al., 1988; Jimenez-Munt et al., 2011; among others). This earthquake activity is evidenced by the occurrence of many historical tsunami events that affected the Western coasts of Morocco and Iberia. History documents for example the strong events of 60-63 BC, which destroyed Cadiz, the 1531, 1722 and the 1755 Lisbon earthquake. The latter was the largest and generated anomalously high sea waves that cause a lot of damage on the coasts of Morocco and Iberia (Simoes et al., 1992; Batista et al., 1998). The seismogenic zone is relatively broad band as suggested by the scattered number of hypocenters spanning in depth from shallow to some 100km. The focal mechanisms reveal an overall NNW-SSE trending compressional stress regime. However, in detail these mechanisms vary. The area, from the tectonic point of view is characterized by a number of compressional structures, that affect both the continental margins and the oceanic crust. These structures that affect a wide sector were formed by the convergent motion since Cenozoic times, some can be considered the result of the inversion of previous extensional features. The area is a geologic and structurally complex and, intriguing, furthermore, it is a broadly recognized as a seismogenic zone.

Although the area has been the research topic of a large number of studies resulting in a variety of geodynamic ideas and models [see Plat et al., 2013 for a review] it has not been until recently that a detailed and integrated scientific program has been carried out. The research programme benefited from the very strong collaboration between Moroccan and Spanish research groups as well as research teams from USA, Ireland and Germany. This major effort aimed to acquire a variety of new geophysical data (including natural and control source seismic recording, potential field (Gravity, magnetotellurics, geology, etc) with an unprecedented resolution. The initiative included a series of large scale research projects as Topo-Iberia (Díaz et al., 2009) and PICASSO (Program to Investigate Convective Alboran Sea System Overturn) A key issue was to fill in the missing knowledge specially constrain the seismic

crustal structure of Morocco from the South, beneath the Atlas to the North Beneath the Rif (Fig. 1). The crustal thickness and the topography of the crust-mantle boundary were important targets to unravel, as very few data were available so far. These were the main objectives of projects based on control source seismic exploration carried out during the last few years. These are: the SIMA project across the Atlas Mountains (Seismic Imaging of the Moroccan Atlas; Ayarza et al., 2014); the RIFSIS sampling the Rif orogen (Seismic Investigations across the Rif; Gallart et al., 2012), and the GASSIS-WestMed (Gràcia et al., 2012) sampling the Alboran Basin. Note that, an additional coordination effort was carried out between the latter two projects resulting in the acquisition of piggy-back onshore-offshore wide-angle recordings. This contribution aims to summaries the new knowledge and unexpected findings derived from this international collaboration efforts. Special emphasis is devoted to the research that mobilized over a 100 multinational researchers in an unprecedented cooperation effort during the development of the control source seismic projects.

2- Tectonic, Geologic & Geophisic Framework

The configuration of the Western Mediterranean and as a result its topographic relief is, to a major degree, the result of an ongoing slow oblique collision between African and European plates. This convergence is active since the Cretaceous. The broad deformation zone includes from South to North the mountain chains of: The Atlas and The Rif, in Morocco, and, The Betic in the Iberia Peninsula. The latter two jointly feature a horseshoe shape, the Gibraltar Arc, around the Alboran basin.

The Atlas Mountains form an intra-continental asymmetric orogenic system almost 2000km long. It can be traced (west-east) from the Atlantic coast in Morocco to the Mediterranean coast in Tunisia (Fig. 1). They include the High and Middle Atlas in Morocco, Saharan Atlas and Aurès Mountains in Algeria, and Tunisian Atlas in Tunisia. The asymmetry is marked by the existence of the Mesetas (Moroccan and Oran) in the western part of the belt mostly revealed by tabular nearly undeformed domains. The Atlas can be considered an uplift, a structural inversion of Triassic-Jurassic rift grabens associated to the opening of the Atlantic and the Alpine Tethys [e.g., Frizon de Lamotte et al., 2008, and references therein]. Relatively small shortening is accumulated across the belt. Shortening estimates of 15–30% have been reported for the High Atlas [Beauchamp et al., 1999; Teixell et al., 2003] and 10% or lower

for the Middle Atlas [Gomez et al., 1998; Frizon de Lamotte et al., 2009; Teixell et al., 2009]. For an intra-continental orogenic belt the relatively small shortening estimates in the High Atlas are inconsistent with the topographic elevation which in this area can reach over 4000m. This is not the case for the eastern Atlas (Sahara and Tunisian Atlas Aureas Mountain where the elevations are more moderate. The available geophysics suggest that crustal thickness of the Moroccan and Eastern Atlas are similar. Therefore, additional factors are needed to account for the high elevations of the Moroccan Atlas [Ayarza et al., 2005]. Furthermore, the Moroccan Atlas are flanked by

two young upwarps that locally reach elevations of 2000 m the Anti Atlas and the Moroccan Meseta. These also feature little deformation of Cenozoic age. The Moroccan Meseta, and the Anti-Atlas are located on the northern edge of the West African Craton [Hefferan et al., 2000; Ennih and Liegeois, 2001]. Taking into account that the entire orogen features similar crustal thickness and a unique geologic history [Frizon de Lamotte et al., 2009] this suggests that some other factor, a mantle component, is required to contribute to the buoyancy to maintain this topographic profile [Ayarza et al., 2005; Teixell et al., 2005; Missenard et al., 2006; Frizon de Lamotte et al., 2009].

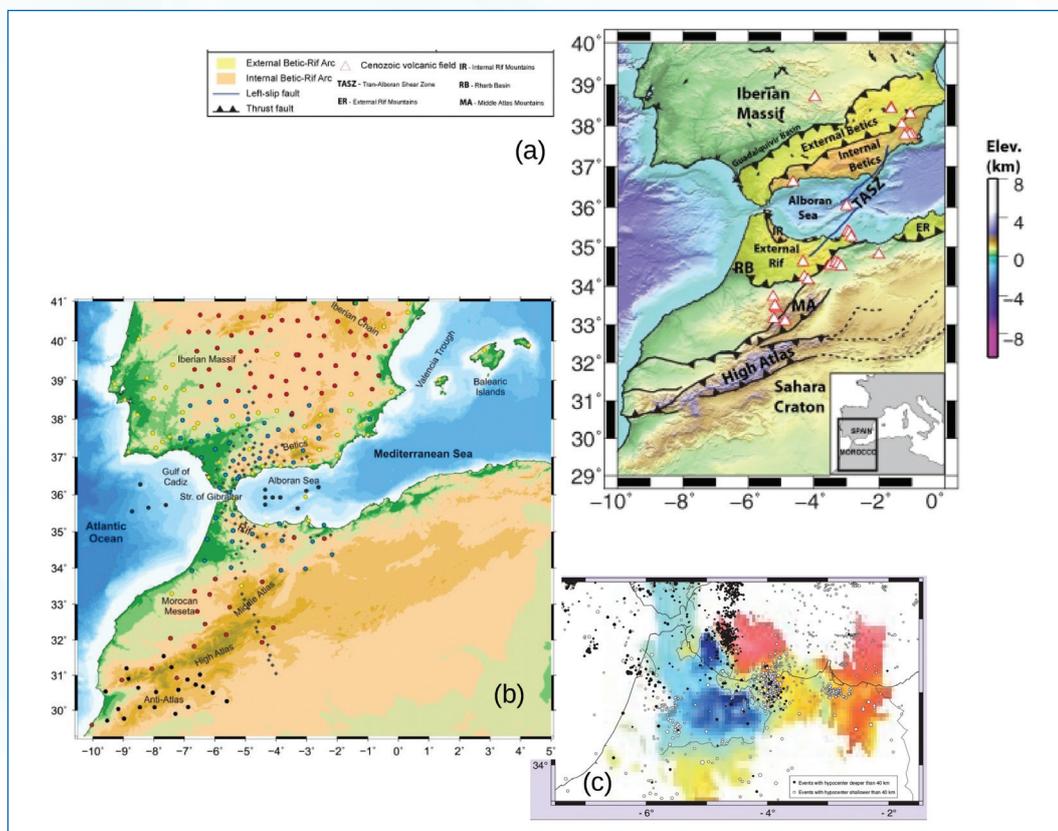


Figure 1. Location of the study area, southern Iberia peninsula and Morocco in northern Africa, geology and geodynamic setting. (a) Sketch map of the Iberian Peninsula, southern part, and Morocco with the location of the most significant geologic domains, the Atlas in the South the Rif with the horseshoe shape of the Gibraltar arc and the location of the Trans-Alboran Shear Zone (TAZS) obliquely crossing the Alboran basin. This map also reveals the topography. (b) Map of the study area revealing the distributions of the broad-band (BB) seismic stations in the Iberia Peninsula and Morocco. Note that the grid of stations, backbone of BB feature an, approximately 60x60 km grid. (c) The abundant seismicity of the area, separated by depth, earthquakes located within the crust avice 40 km (black filled circles) and the earthquakes located at greater depth (white circles) in the study area. This reveals the relatively large amount of seismic activity of the area.

Volcanic activity has been widespread in the Atlas. The oldest extrusives, found in the High Atlas, are basalts associated with Mesozoic rifting. Paleogene to Quaternary alkaline basalts erupted in the Middle Atlas and along the southern border of the Western High Atlas. Middle and Late Miocene, Pliocene, and Quaternary volcanic

units are also found in the Alboran basin, Southern Iberia, and North Africa. The composition of these units changes in time and space from calc-alkaline in southern Spain and the Alboran Sea during the Miocene, to alkali basalts in North Africa during the Pliocene and Quaternary [Duggen et al., 2004]. In the Iberian Massif of central Spain, Late Miocene-

Quaternary volcanics created the Calatrava Volcanic Province (Ciudad Real), intracontinental volcanism that has been related to extensional tectonics [Lopez-Ruiz et al., 1993].

The Rif Mountains in Morocco together with the Betic Mountains in Iberia peninsula form the westernmost Mediterranean Alpine belt, the Gibraltar Arc. It is a horseshoe shaped belt that partially encircles a deep sedimentary basin over the extended crust of the Alboran Sea. They all developed roughly synchronously with the orogenic belt during the Miocene [Verges and Fernandez, 2012; Platt et al., 2013]. Three different geologic domains can be distinguished in the Rif and Betic Mountains (Fig. 1): the Flysch Domain, the Internal Zone, and the External Zone. The Internal zones are formed by Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic sequences, including metamorphic complexes all affected by Alpine deformation since the Eocene-Late Oligocene [Chalouan et al., 2001, 2008]. In the Rif the External Zones feature carbonate and pelitic Mesozoic and Cenozoic units, mostly limestone and marls. They constitute a fold-and-thrust belt detached along Late Triassic evaporite beds above the thinned continental crust of the North Africa passive margin [Wildi, 1983; Chalouan et al., 2008]. The Flysch units consists of Cretaceous-Lower Miocene detrital rocks. They overthrust the External Rif units and include klippe located on the Internal Zones [Chalouan et al., 1995, 2008]. The Internal Zones, jointly with the Alboran Sea crust, are termed the Alboran Domain, an allochthonous unit that separated from the eastern Iberian margin and drifted to its current position during Cenozoic subduction rollback [e.g., Rosenbaum et al., 2002]. Well known Peridotitic bodies outcrop along the eastern flank of the Gibraltar Arc, the Ronda in Spain and Beni-Boussera in Morocco.

The Gharb (or Rharb) and Guadalquivir basins are the associated foreland basins in Morocco and Spain, respectively. The former is a foredeep separating the Rif belt from the Moroccan Meseta and Middle Atlas. This basin contains part of the Prerif nappe underlying a large amount of continental sediments, that reach a maximum depth of 8 km toward the west [Hafid et al., 2008]. It was moreover filled with sediments of marine origin during the Tertiary and continental formations during the Quaternary, except for a coastal fringe [Hafid et al., 2008]. The Gharb Basin, like its counterpart in the Iberian Peninsula (the Guadalquivir Basin), evolved as a foreland basin as the basement was loaded by the thrust sheets of the External Units [Fernandez et al., 1998; Garcia-Castellanos, 2002] during the Miocene.

In Early-Middle Miocene, after crustal thickening and metamorphism, the region began to undergo EW to NE-SW extension, thinning the continental crust along normal faults and forming the Alboran Basin [Chalouan et al., 2008]. The basin has thick Neogene material that overly deep crustal rocks, most probably of the Sebides-Alpujarride complex. Since the Late Miocene, compression developed large folds and reverse faulting in the mountain front, and normal faults within the upper crust of the Internal Zones, resulting in the current topographic relief of Rif.

A singular feature across the Alboran Basin, a major bathymetric high runs obliquely from the northeast, the eastern Betics, to the Alhoceima region this is known as the Trans-Alboran Shear Zone (TASZ). This is a broad fracture zone, composed of different left-lateral strike-slip fault segments that extends onshore at both sides of the basin with the development of an analog system of left-lateral strike-slip faults. In Iberia the Alhama de Murcia and Carboneras faults are possibly part of this system and in Morocco the Nekor and associated faults. The TASZ accommodates the escape of Central Rif toward the SW [Perouse et al., 2010] and affects the Neogene basins of the region [Udias and Buforn, 1992; Martinez-Diaz et al., 2001]. Perhaps one of the most seismically active areas in Morocco is the Nekor fault, it is linked to the normal faults beneath Alhoceimas region [Booth-Rea et al., 2012]. More detailed descriptions of the geology of the Gibraltar Arc can be found elsewhere [e.g., Chalouan et al., 2008; Platt et al., 2013, and references therein].

Previous geophysics constrain the crustal thickness to 30 km beneath the Gharb Basin [Hatzfeld and Bensari, 1977]. Beneath the Alboran Sea seismic data constrained depth to the Moho of 18-20 km beneath the central part of the basin and, beneath the southernmost Rif thicknesses of 35 km were determined from refraction recordings of quarry blasts [Wigger et al. 1992]. Integrated potential field methods (including modeling and inversion) by various authors constrained the crustal thickness to a moderately thick crust underneath the Rif and Betics (32–34 km), and a thin continental crust (18–22 km) beneath the Alboran basin [Torne et al. 2000; Frizon de Lamotte et al., 2004; Zeyen et al., 2005; Fullea et al., 2010, 2014]. This basin progressively thins toward the east, reaching values below 16 km depth at the transition to the Algerian basin. Onshore within Morocco, crustal thickness increases to 38 km below the highest elevations of the High Atlas, then it decreases to the southeast to 30–32 km. It is important to point out that a three major Bouguer gravity anomalies

can be identified, all of them with similar values, these are located, one in the High Atlas, a second in the Rif and the third in the highest topography of the Betic Mountains. Although, with similar values, the expected crustal thicknesses is, probably, very different between them.

A laterally heterogeneous upper crust characterized by resistive and conductive bodies has been determined by a Magnetotelluric (MT) NW-SE oriented traverse across the Rif [Anahnah et al., 2011]. In the uppermost crust (10km) resistive anomalies have been imaged within the Internal Zones, and conductive anomalies within the External Zones and foreland basin. Their variable thicknesses suggest basement highs possibly related to blind frontal thrusts between the Gharb Basin and the External Zones. A major crustal decollement separates the shallow geological units from the probable Variscan basement. At depths below 5 km, a high resistivity anomaly appears below the frontal part of the Rif. The MT image across the southern Rif reveals a wide and thin low resistivity anomaly which could be associated to detrital rocks that alternate with marl and carbonates [Anahnah et al., 2011].

Constraints on the convergence rate and directions are provided by GPS measurements from permanent and temporary deployments [Fadil et al., 2006; Vernant et al., 2010; Koulali et al., 2011]. Eurasian convergence relative to Africa trended south during the Late Cretaceous-Paleogene, and has trended southeast oblique to the African margin from the Miocene. The present-day tectonic motions show south to southeast motion at 5 mm/yr of the Rif region relative to stable Nubia.

3. Integrated Seismic Projects: Experiments Setup & Data

The strong Moroccan & Spanish collaboration was established within the framework of the PICASSO research initiative. This represented an effort developed in parallel with the Spanish TOPOIBERIA research project. TOPOIBERIA was a multi-institutional effort a singular project within Earth Sciences in Spain. It involved more than 100 Earth scientists from 10 different research groups within the country, all doing coordinated research aimed to establish an integrated framework to develop multidisciplinary geoscientific studies within the Iberian peninsula. In the project innovative, frontier research on its topography and 4-D geodynamic evolution. The objective of TOPOIBERIA was to understand the interaction between deep, superficial and atmospheric processes, integrating research on geology,

geophysics, geodesy and geotechnology. The research team was very aware that the knowledge on the relief changes and its causes is of great social impact concerning the climate change and the evaluation of natural resources and hazards. The seismic part of this mega-initiative involved the deployment of a back-bone of broad-band (BBB) autonomous seismic station distributed within a grid, similarly to what EARTHSCOPE was developing in USA. The Spanish research group got support from the Spanish institutions to extend the BBB over to Moroccan territory. This was possible by the invaluable collaboration of the Moroccan colleagues of the Institut Scientifique of the Université Mohammed V at Rabat. An nearly 60 x 60 km array was installed in Morocco covering the Rif orogen.

The PICASSO initiative aimed to increase the BBB coverage in the area close to the Gibraltar Arc in Morocco and in Spain to an average spacing of 5x5 km (Fig. 1). Instrumentation from different institutions in USA (including instruments from the IRIS-PASSCAL Instrument center) were deployed to achieve this dense coverage. Constraints on the crustal structure were a key target to be able to develop full scale geodynamic models for the tectonic evolution of the area, as well as to be able to refine the velocity models derived from teleseismic tomography. An important and crucial target was the crustal thickness. To achieve constraints on the crustal structure, three major control source seismic data acquisition projects were launched. These were: the SIMA project across the Atlas Mountains; the RIFSIS to characterize the Rif orogen, and the GASSIS-WestMed to address the structure of the Alboran Basin and its margins.

The structure of the Atlas Mountains was targeted by the almost 700 km SIMA traverse (Fig. 2). Along the profile the energy released by six explosions was recorded by 939 Reftek 125a stations (Texans) from the IRIS instrument pool (Fig. 3). This vertical component seismic stations were deployed between Tanger and the Sahara desert, with an average spacing of 400 m from the S of Fes to Merzouga and with a 1000 m spacing from Fes to Tanger. The shots were distributed between the first one located a few kilometres north of the Middle Atlas and the last one located just south of Merzouga, with an average spacing of 70 km between each of them. The charge (approximately 1 TM) was distributed in 2–4 boreholes per shot point at depths of 30-to-60 m. The quality of the data varies along the profile [Ayarza et al., 2014].

The RIFSIS experiment consisted in two wide-angle seismic reflection profiles oriented,

approximately, EW and NS (330 km-long and 430 km-long, respectively) (Fig. 3). The design follows the overall Rif strike and dip directions and conform to the major and minor axes of the shape of the Bouguer anomaly. The EW transect extends from the Gharb Basin to the Algerian border. The NS line follows the trace of the SIMIA profile, starting at the Middle Atlas, en extends to the north 70km into Iberia resulting in a unique 700km-long traverse from the northern Sahara

desert into southernmost Iberia. As in the SIMA acquisition the 5 sources consisted of 1Tn of chemical explosives in 2 boreholes. The shots were recorded by the IRIS-PASSCAL Texans (almost 900 instruments). Up to 402 seismographs were deployed along the EW profile and 443 along the NS profile including 35 in Spain. The average receiver spacing was of 750 m. Shots R1 through R3 were located along the NS line, and R3–R5 were along the EW line (Fig. 3).

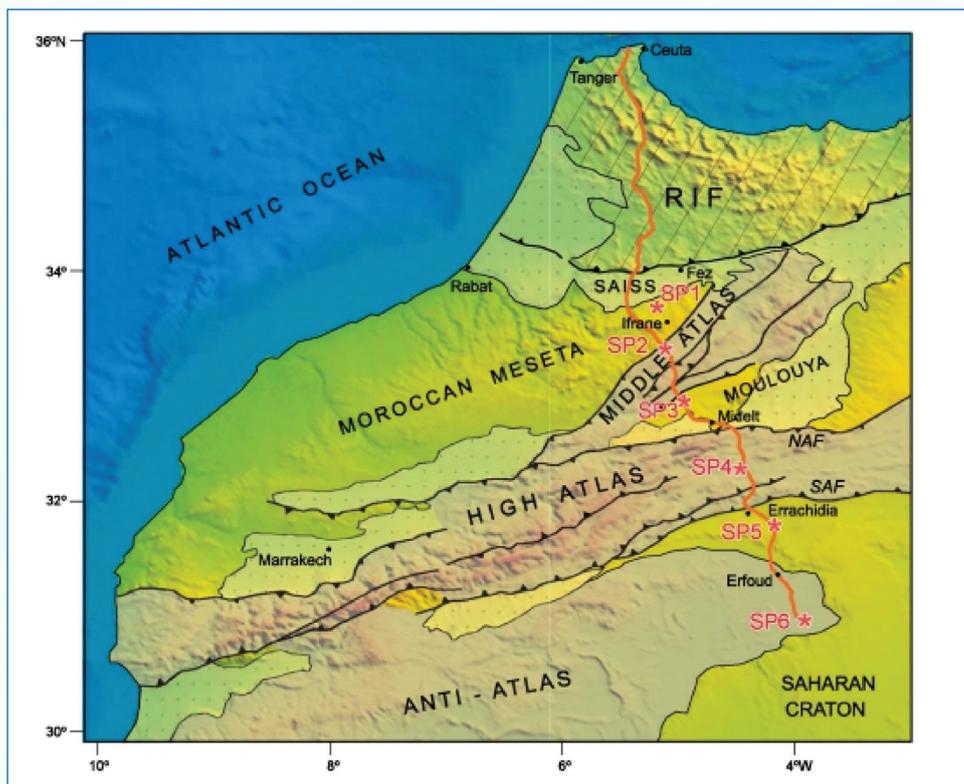


Figure 2. Sketch map of the trace of the SIMA controlled source experiment. This is a 700 km long transect that starts close to Merzouga, north of the Saharan craton and goes across the Atlas mountains following a major communication route (road). The transect crosses the Middle Atlas, the Rif and ends at the tip of the Gibraltar arc.

This figure also shows the most prominent geodynamic features including the surface trace of the major fault structures and surface morphologies, like the Moroccan Meseta, the Atlas, the Anti-Atlas, Middle Atlas and the Rif.

The GASSIS-WestMed targeted the active faults in the Alboran basin as these broad fracture zones are the key structures that accommodate the crustal deformation due to the NW-SE convergence (4.5-5.6 mm/yr) between the African and Eurasian plates. Structures like the TASZ consist of extensional, compressive and large strike-slip faults with significant seismic activity SE of the Iberian Peninsula. The seismicity is characterized by continuous, shallow seismic events of low to moderate magnitude ($M_w < 5.5$) although, large destructive earthquakes (MSK Intensity IX-X) have also occurred in the region (e.g. 1522 Almeria, 1910 Adra, 1994 and 2004 Al-Hoceima). The main objectives of the multichannel marine acquisition was to determine the shallow and

crustal structure of seismogenic/active faults and fractures and, evaluate their seismic potential which can represent a significant earthquake and potential tsunami hazard for the coasts of Morocco and Southern Iberia. The program included seismic reflection traverses across the southern terminations of the Eastern Betic Shear Zone at sea, such as the left-lateral Carboneras and Al-Idrissi faults and, the associated structures (e.g. the dextral Yusuf fault). The prominent Alboran Ridge, a large compressional and potentially tsunamigenic structure was also an objective of GASSIS. Other profiles sampled the extensional features in the Adra region, (an example of fault growth and linkage).

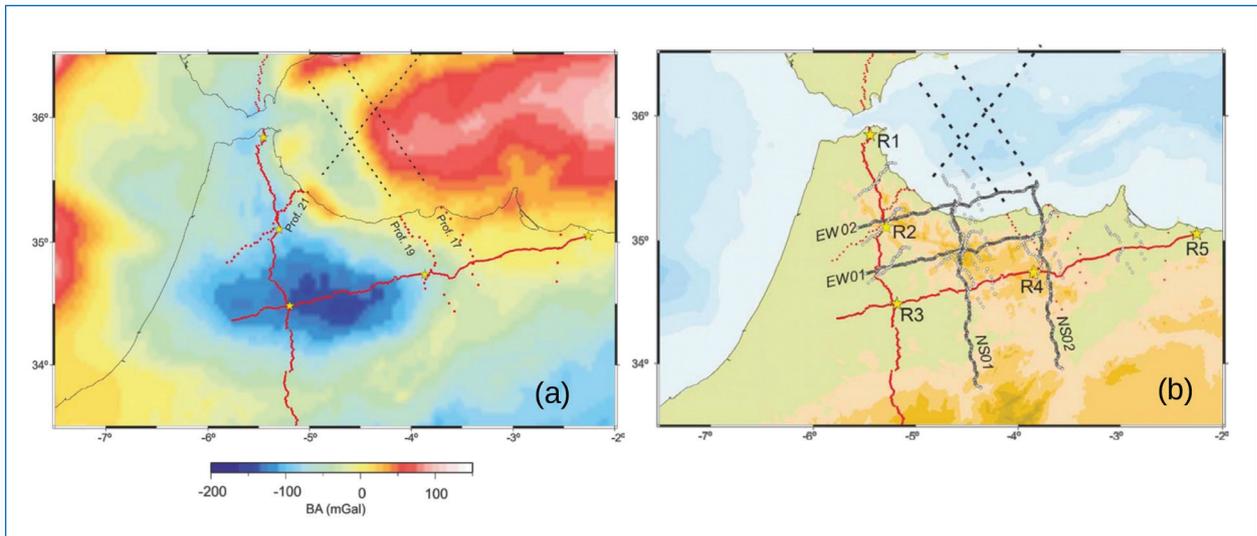


Figure 3. Acquisition geometry of the RIFSIS controlled source wide-angle seismic reflection experiment acquired across the Rif mountains. Two nearly perpendicular transects, roughly oriented NS and EW were acquired. (a) Reveals the positions of the transects with respect to the Bouguer gravity anomalies. Note that both transects nearly intersect on top of the Bouguer gravity minima. (b) Reveals the geometry and location of the acquisition transects with respect to the topography. These transects correspond to the location of the receivers (over 900 TEXANS from the IRIS-PASSCAL (USA) instrument center). (b) Also reveals the location and geometry of the CDP's estimated from the midpoints of the wide-angle shot records. Mid point between the source location and receiver location. Note that the gravity anomaly can be imaged by two transects. The location and geometry of the 3 lines of the marine seismic reflection data acquisition of the GASIS project that were also recorded by land instruments are also displayed. The mid points of the wide-angle offshore-onshore recordings are also marked. R1, R2, R3, R4, R5 refer to the location of the shot points.

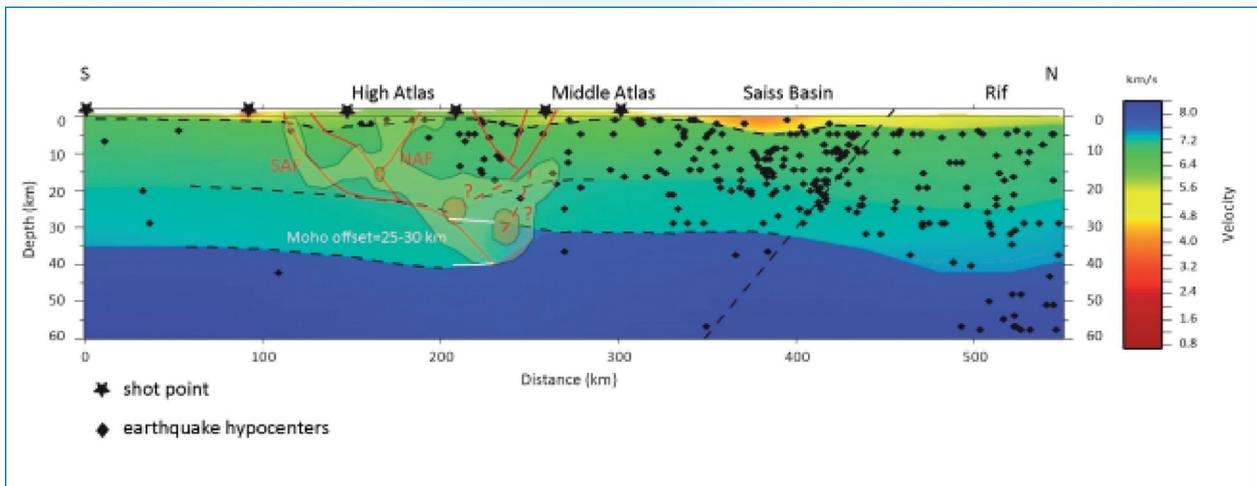


Figure 4. V_p seismic velocity model derived from the wide-angle shot records acquired during the SIMA seismic experiment across the Atlas. This cross-section reveals the distribution of the seismic velocities as well as an overlay of the MT (resistivity models by Anahnah et al., [2011]). It is important to point out the low resistivity anomaly that overlays the root zone to the north of the High Atlas. This MT anomaly closely overlaps with the estimated trace of the reactivated faults of the original agraven, rif structure. Note also the relatively large amount of earthquake foci concentrated within the crust to the north of the root zone. The velocity models clearly mark the surface expression of the deep basins such as the Saiss Basin. Stars along the surface of the velocity model indicate the position of the shot points. The discontinuous south dipping line that outcrops between the Saiss Basin and the Rif marks the end of the well resolved model determined from the SIMA project. The root zone imaged to the north is constrained from the RIFSIS dataset (Ayarza et al., 2013).

4. Seismic Constraints on the Crust & Lithospheric structure

The multi-seismic data acquisition has resulted in a large data volume which can be analyzed using a variety of approaches, techniques. Details on the individual analysis, methods and interpretations of these dataset either have been developed and published and/or the most new approaches are on the processes of being published [Bezada et al., 2013; Ayarza et al., 2014; Palomeras et al., 2014; Thurner et al., 2014; Levander et al., 2014; Gil et al., 2014, among others]. Therefore, within this section a relatively short summary of the main results is being developed. The section is separated in two parts one considering the controlled source seismic data and a second centered on the natural source, earthquake recordings. The former have been processed and interpreted using conventional ray-tracing and iterative modeling of travel time of interpreted reflections. The latter has involved finite frequency tomography of surface waves, of body waves and receiver function analysis.

4.1 Control Source Seismic Reflections Constraints

The control source seismic reflection data acquired within SIMA and RIFSIS consists on densely space wide-angle seismic reflection records. In all shot gathers traces are spaced less than 1 km thus providing a relatively high lateral resolution. This type of data can be processed using several different approaches. These include: conventional iterative trial-and-error forward modeling by ray tracing [Zelt and Smith, 1992]; inversion of first arrival travel times; low fold stacking; depth migration. The former two provide maps of the distribution of physical properties (V_p and V_s if possible), the latter two provide low resolution structural images. For detail processing and the interpretation of the SIMA wide-angle seismic reflection data see Ayarza et al., [2014] and for the RIFSIS see Gil et al., [2014].

The crustal section across the Atlas is imbricated, develops a root slightly N of the Axis of the High Atlas axis. The maximum depth of the Moho across the Atlas reaches 40–41 km, and its position is displaced to the North of the highest topography of the High Atlas. Ayarza et al. [2005] already suggested this geometric location differences between the deepest Moho and the highest topography from the analysis and modeling of gravity data. The trend of the Bouguer anomaly (NE–SW) is oblique to that of the High Atlas (ENE–WSW) thus the High Atlas root has been

modeled to the N of the highest topography, coinciding with the minimum Bouguer anomaly values. The root is most probably the result of a crustal NW-dipping thrust-fault that offsets the Moho and under-thrusts the Sahara lower crust to the N (Fig. 4). This structure would be similar to other inverted continental rifts like the Pyrenees [Beaumont et al., 2000; Choukroune and Team, 1989; Daignieres et al., 1994; Teixell, 1998] or the Donbas fold belt [Maystrenko et al., 2003], which show thrust offsets of the lower crust and Moho. Some characteristics of the Atlas root constrained by the V_p velocity model indicate a positive lateral gradient towards the north with velocities approaching those of the mantle revealing an under-thrust of the lower crustal which can be estimated to be on the order of 30 km in length. This is on the order of the estimated shortening [Teixell et al., 2003, Ayarza et al., 2013]. Perhaps the key structural feature that defines the Atlas root is the still tectonically active South Atlas frontal thrust which overlaps a low resistivity anomaly in the MT models [Schwarz et al., 1992]. Note that this structure has most probably accommodated the Cenozoic shortening [Sebrier et al., 2006] and coincides with the location of the seismicity.

Following the transect to the North just after the root the crust is about 35 km thick across the Middle Atlas and the southern part of the External Rif domain. One of the most spectacular features imaged by the RIFSIS transect across the Rif is the unexpected and approximately 50 km deep crustal root beneath a topography that does not reach 1.5 km in height (External Rif). The increase in crustal thickness is identified by two shot records (R3 and R4) (Fig. 5). Both shots reveals a high amplitude PmP phase. Travel time fitting requires this notable increase in crustal thickness. Further to the north the first shot record (R1) retrieves the base of the crust at an average depth of 42–43 beneath the Internal Rif domain (Fig. 5). The sedimentary basins are imaged as relatively low seismic V_p velocities on the order of 3 km/s. Note that R3 is located on a relatively thick (5.0 km) Neogene sedimentary basin. Along the transect the upper, middle and lower crusts are constrained by the different seismic arrivals (including refracted and reflected phases, labeled accordingly --Pg, PiP, PcP, PmP--). The overall average velocities within the crust are 5.9, 6.2, 6.8 and 8 km/s for the upper mantle (below the Moho).

Very marked lateral variations of the Structure Beneath the External Rif Domain are imaged by the East-West transect from the Gharb Basin to the Algerian Border (Fig. 5). The bottom of the deep

Gharb Basin is identified at 10 km depth by shot R3 recorded along the EW deployment. The basin itself is mapped as a low velocity anomaly in the Vp velocity model. In the EW direction the crustal thickness increases laterally reaching a maximum depth over 50 km located closely beneath shot R4. This shot reveals a travel time difference between the east and western branches of the PmP arrival of almost 5 s. The anomalous increase of crustal thickness is very well constrained as it is sampled in both directions (reverse coverage using shots R3 and R4). Further to the east the crust is only approximately 29-30 km in thickness. The relatively thin crust corresponds to the crust beneath the foreland ant Atlasic terranes up to the Algerian border. The change in thickness is rather sharp and is located beneath the surface expression of the Nekor fault/TASZ and, it corresponds to the eastern end of the Bouguer gravity anomaly over the Rif. If this two structural features, sharp crustal thinning and the surface outcrop of the Nekor fault/TASZ are related is unclear and cannot be resolved by the currently

available data. Further high resolution studies are required to address this issue.

4.2 Analysis of the Natural Source Data (Earthquake)

The analysis and inversion of the Surface waves reveals that the Iberian Massif and the Moroccan Meseta feature similar velocity structure. 3.5 km/s at the mid-crustal depths from 15 km, approximately, until the Moho then, a sharp increase to 4.3 km/s is identified. This velocity increases to values over 4.4 km/s between 55-75 km depth decreasing back to 4.3 km/s at 110-120 km. The eastern and western Alboran Sea can be differentiated in terms of S velocities. Down to 20 km low velocities approaching 3.2 km/s are mapped. Beneath the east Alboran velocities increase sharply to values over 4.1 km/s increasing steadily with depth and at 90 km depth S velocity reaches 4.5 km/s. Beneath the western Alboran velocity increases to 4.0 km/s at 20 km depth, then at 40 km depth it decreases down to 3.9 km/s to sharply increase again so that at 75km it reaches values of 4.6 km/s.

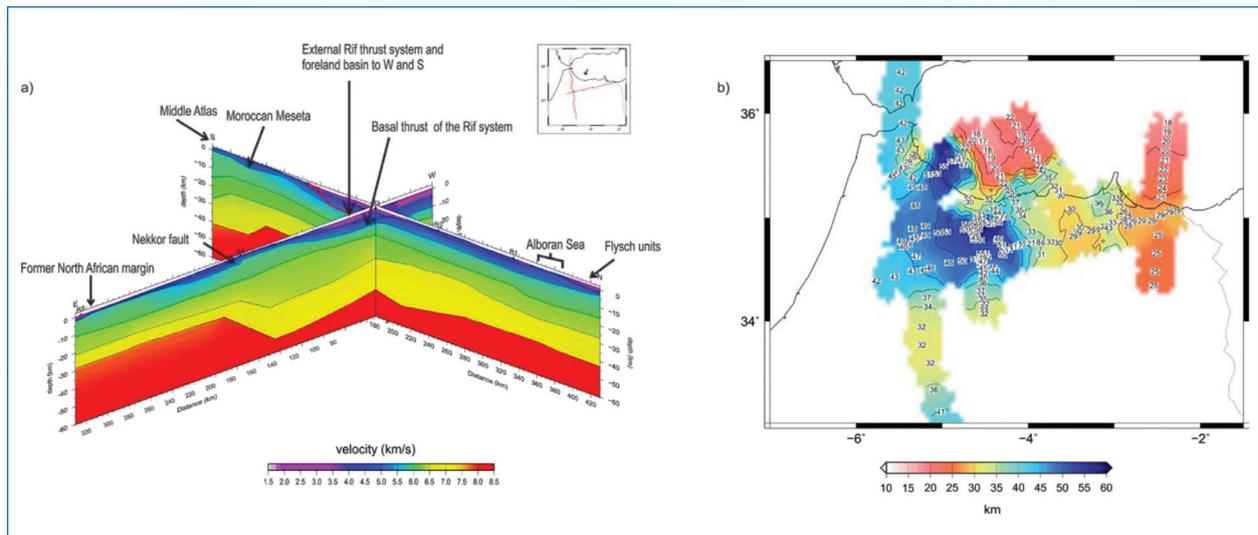


Figure 5. Crustal velocity model derived from the wide-angle seismic reflection point acquired by the RIFSIS experiment. (s) Three dimensional perspective of the velocity model across the Rif Mountains with the location of the root zone. Map with the Moho topography estimated from the control source seismic reflection data (Alba et al., 2014).

The velocity models reveal different shear velocities for the Betics and Rif Mountains [Palomeras et al., 2004] although they are part of the same mountain system, similar lithologies have been identified at surface [Plat et al., 2013]. Lower shear velocities are mapped for the middle and lower crust in the Rif than in the Betics. At roughly the base of the crust velocity changes sharply to 4.2 km/s and it increases gradually down to 80 km depth. Under the Granada Basin and the

Sierra Nevada Mountains velocity is systematically lower increasing from 3.9 to 4.0 km/s at 35 km depth then it increases to 4.2 km/s at 55 km and it increases further to 4.6 at, approximately 75km. Velocity, at 150 km depth, starts decreasing reaching 4.5 km/s at 250 km depth. This behaviour is similar beneath the Rif. There the Shear velocity increases from 3.6 km/s at 25 km depth to 4.1 km/s at 55 km where the crust-mantle boundary or Moho discontinuity has been interpreted from

the controlled source data [Gil et al., 2014]. Then the velocity features a smooth increase to 4.6 km/s by 65 km depth. Below 95 km, velocity goes back to 4.3 km/s at 150 km depth. Similar low velocities (3.6 km/s) are mapped in the Strait of Gibraltar, to 60 km depth, increasing to 4.4 km/s down to 75km depth, where it increases again to 4.6 km/s.

The velocity model is able to differentiate between the High and Middle Atlas, and the western Atlas. Starting at 15 km depth, beneath the High and Middle Atlas where velocity is of 3.4 km/s it increases to 3.7 km/s at 25 km increases, further, to values of 4.4 km/s at 250 km depth. Between the Rharb Basin and the Middle Atlas under the eastern Moroccan Meseta, mantle S velocities are lower than in the overall Moroccan Meseta. Velocity is approximately of 4.1 km/s at 45 km

depth increasing to 4.2 km/s at 130 km depth (Fig. 6). The location of this low velocities projects at surface beneath a middle Miocene-late Pliocene basaltic volcanic field. The low upper mantle velocities are interpreted to be the source region for these basalts. Mantle velocity below Moho increases to 4.3 km/s, defining a thin mantle lid at approximately 45 km depth where velocity starts decreasing to 4.1 km/s. Beneath this low-velocity zone, velocity gradually increases with depth being 4.4 km/s at 250 km depth. Lower velocities are observed in the crust of the western Atlas at 15km depth (3.3 km/s) lower than in the High Atlas (Fig. 6). Then velocity increases at 25km depth to 4.3km/s at 35 increasing to almost 4.5km/s at 65km depth. At 140 km depth velocity decreases over a 3%.

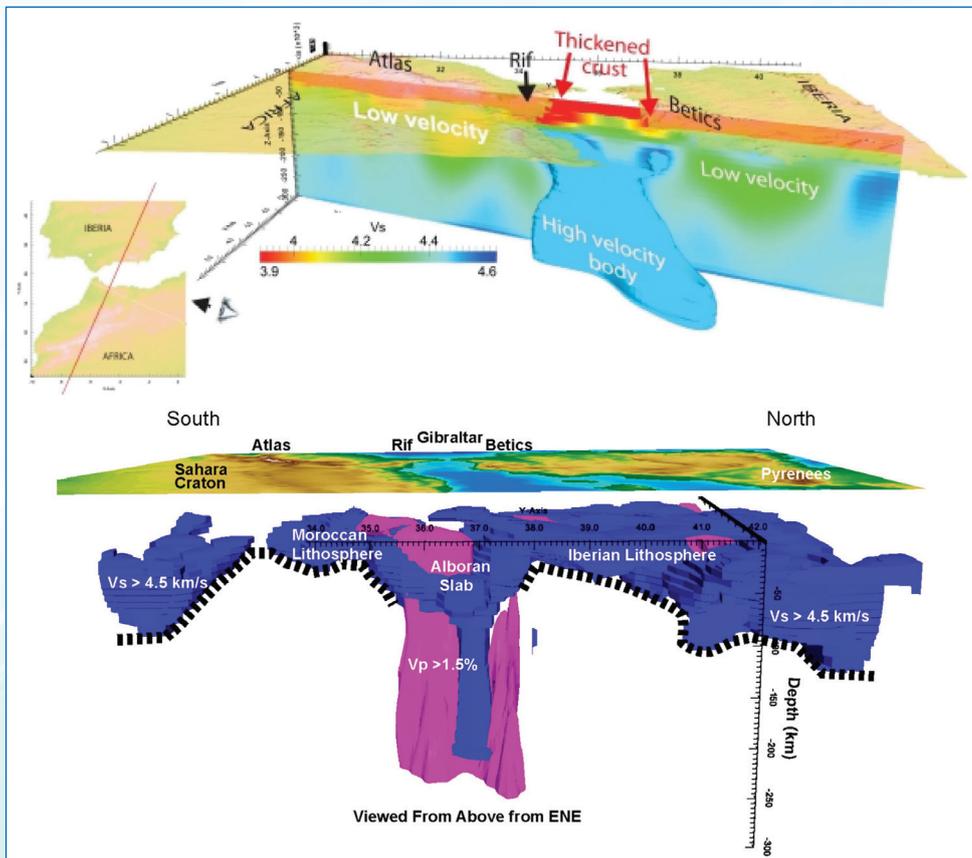


Figure 6. (a) Three dimensional view of the S-wave velocity models derived from the natural source data, finite frequency surface wave tomographic velocity model obtained by Palomeras et al., [2014]. It includes a small scale inset map that denotes the location of the transect imaged in the main part of the figure. The relative high S-wave velocity domain that can be most probably interpreted as the slab. The red arrows mark the surface location of the thickened crust. The one on the south (Morocco) located beneath the Rif corresponds to root evidenced by the Rif Controlled source wide-angle seismic reflection data. (b) This is a 3D view of the velocity anomalies and the interpretation of the anomalies interms of the different domains of the lithosphere (This is a modified from Levander et al., 2014). The lithosphere beneath the complex bounrady zone of africa an Iberia is estimated from the volume of the velocities with values over 4.5 km/s. The alboran slab is also indicated. The major surface topographic features are also indicated for reference.

Finite frequency seismic tomography by Bezada et al., [2013] also reveals P-wave velocity anomalies that reveal an almost vertical feature centered at the Gibraltar arc. Bezada et al., [2013] seismic tomography image in general reveals similar geometries as the seismic tomography models determined for the area by other authors [Gutscher et al., 2002; Spakman and Wortel, 2004]. All reveal a high velocity anomaly descending from W to E, nearly vertically beneath the Alboran Sea and reaching the mantle transition zone beneath southernmost Iberia. The images also show a low velocity anomaly beneath the western Alboran Sea between 50 and 100 km [Seber et al., 1996a; Morales et al., 1999] suggesting that this high velocity anomaly is not connected to the surface. The geometry of this relatively high velocity anomaly correlates with the S wave velocity anomaly structure already described.

Beneath the Atlas similarly to the shear velocity model, low seismic P-wave velocities are localized under the Middle and the Central High Atlas. The location of these anomalies correlate with the high topographic reliefs and the areas with thinnest lithosphere.

Discussion: Structural Models & Geodynamic Implications

As recently mentioned the high velocity anomaly descends near vertically from W to E, beneath the Alboran Basin. The anomaly reaches the mantle transition zone beneath the study area. Beneath west Alboran a relatively low velocity anomaly is imaged between 50-100 km depth. This almost vertical, slightly east dipping high velocity anomaly has been interpreted in several ways by different authors: convective removal of thickened lithosphere [Platt and Vissers, 1989]; lithospheric delamination [Seber et al., 1996a; Calvert et al., 2000] and, east dipping subduction [Lonergan and White, 1997; Gutscher et al., 2002; Spakman and Wortel, 2004]. To differentiate among these different models further observations are required. The data recorded within the Moroccan-Spanish research initiative reveals dispersion of arrivals coming from the east in the Gibraltar area. Also the SKS splitting studies by Diaz et al., [2010] reveal a rotation of the fast polarization direction along the arc suggest that a fast slab rollback is perhaps the most appropriate model to explain the geodynamics of the Alboran region. Thus, the data acquired within the Moroccan-Spanish collaboration provided geophysical evidence to rule out models featuring a mantle lithosphere instability. Furthermore, at depth between 60 to 160 km, the Alboran slab is surrounded by slow

mantle. This low velocities can be indicative of partial melting, below 100 km this involves anomalously hot mantle. The slab rollback could drive the ascent of asthenospheric mantle jointly or coupled with toroidal flow around the slab [Funciello et al., 2006; and Piromallo et al., 2006 and Alpert et al., 2013]. The up-flowing mantle (to fill in the gap) caused by the roll back of the slab would melt by decompression during ascent.

The crustal thickness observations across the Atlas Mountains obtained from the wide-angle controlled source data constrained a relatively thin crust with a limited root zone. This results, jointly with the limited shorting measured from surface geology (which is estimated to be smaller than 25% [Beauchamp et al., 1999; Teixell et al., 2003; Arboleya et al., 2004]) poses difficulties on how to explain the relatively high topographic relief (it can reach 4000 m). Integrated modeling studies using: topography, heat flow, geoid elevation and Bouguer gravity, [Teixell et al., 2005; Zeyen et al., 2005; Missenard et al., 2006; Fulla et al., 2010; Jimenez-Munt et al., 2011] solves this issue by compensating the orogenic belt at deep levels evidencing a thin lithosphere. In this models beneath the High Atlas, the lithosphere is thin <70 km. Thus, the relatively shallow and, hot (buoyant) asthenosphere would then be considered the supporting mechanism [Teixell et al., 2005; Zeyen et al., 2005; Missenard et al., 2006; Fulla et al., 2010; Jimenez-Munt et al., 2011] of the Atlas Mountains.

Deep earthquake activity (Fig. 1) identified beneath the Atlas has been reported at depth below 80 km. However, if the 3-D tomographic velocity model is used in the relocation, the focal depths reduce to values below 5 km, indicating that these events are mostly related to intracrustal seismicity. As a result, beneath the Atlas the low velocity anomalies revealed by the models can be interpreted or associated to the asthenosphere. Despite the model resolution, the new images of the anomalies feature well defined, relatively sharp, edges. Gradational limits of the anomalies would, most probably, result from thermal erosion by conductive heating mechanisms (Fig. 6). On the other hand, well defined, relatively sharp, edges can be taken as an indication that, the lithosphere was lost by advective processes, (e.g. delamination). The large-scale removal process most probably occurred by some form of whole scale delamination or vigorous drip-like convection. The asthenosphere would fill in the gap providing an additional buoyancy that would provide a mechanism to compensate an isostatically uncompensated orogenic belt.

These interpretations would be consistent with the widespread volcanic activity (Fig. 7) in Southern Iberia and Morocco. The composition of these volcanic units changes in space and in time from calc-alkaline units in southern Iberia and the Alboran basin during the Miocene, to alkali basalts in North Africa during the Pliocene and Quaternary [Duggen et al., 2004]. Middle and Late Miocene, Pliocene, and Quaternary volcanic units are

found in the study area (including: Alboran basin, Southern Iberia, and North Africa). The oldest basalts in the high Atlas are associated to rifting (during Mesozoic) these are the oldest volcanics. In the Iberian Massif, in central Spain, the Calatrava intracontinental volcanic Province (Ciudad Real) has been related to extensional tectonics [Lopez-Ruiz et al., 1993].

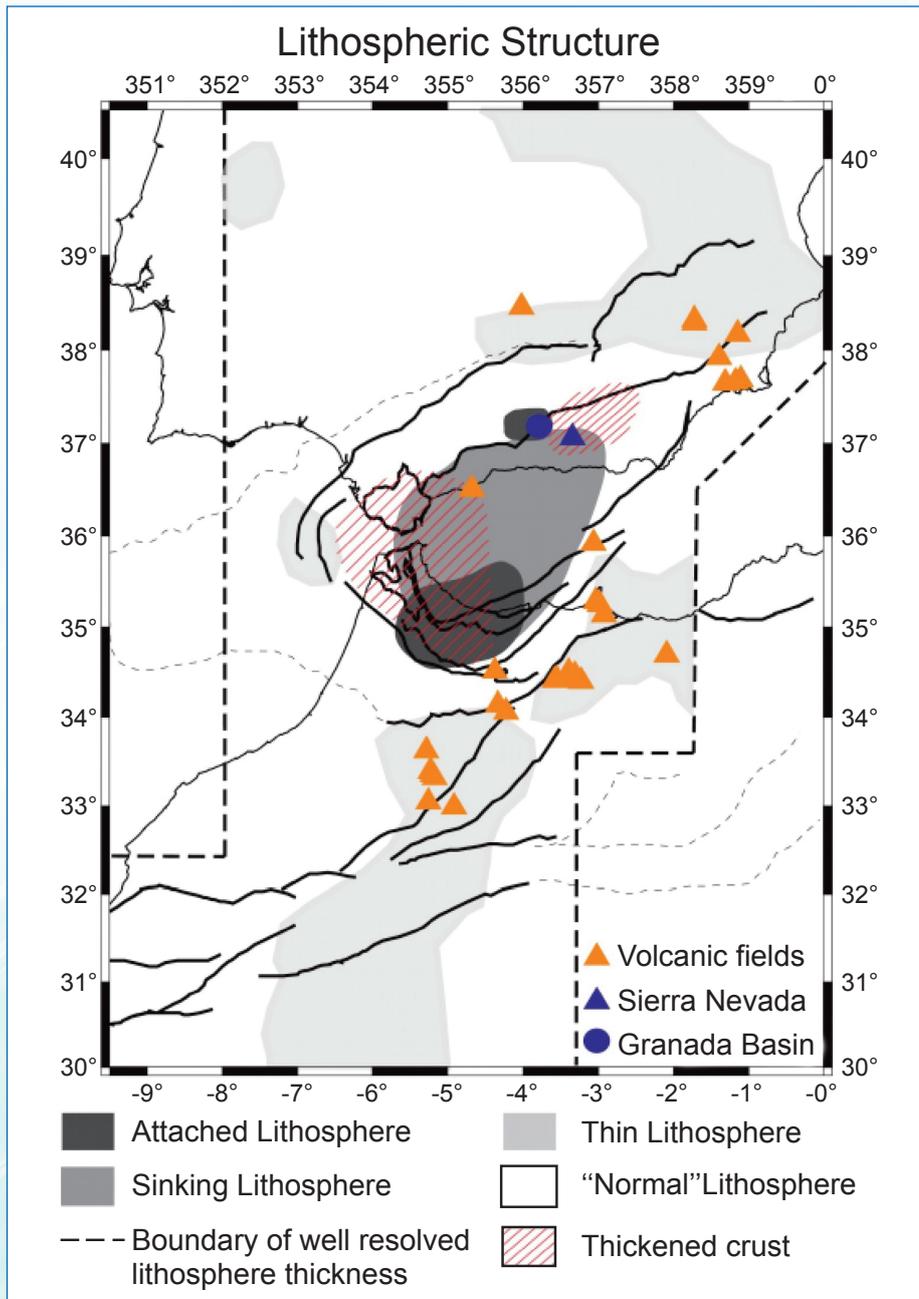


Figure 7. This is a composite plot that includes the most significant imp locations of the velocity and structural models constrained by the seismic data acquired in this joint international, Spanish-Moroccan collaboration. Specifics characteristics of the models can be found elsewhere (Bezada et al., 2013, Palomeras et al, 2014, Thruner et al, 2014). The image reveals in a map view specs on the lithosphere including the shallow reometrie of the LAB constrained by the integration of potential field (gravity, geoid) heat flow, topography measurements obtained by Fullea et al., 2014. The surface location of volcanic fields is also marked. See text for an explanation.

Conclusions

The international collaboration carried out in the broad zone of deformation driven by the collision between the African continent and Iberian micro plate has resulted in a unique high resolution seismic data set which is an asset to constraint the lithospheric processes, geodynamics that take place in the area and are responsible for the topographic relief and its characteristic earthquake activity. The mountain chain of the Betics in southern Iberia, the Rif and the Atlas in Morocco have been and still are intriguing orogenic belts. These are the response of different geodynamic processes acting at lithospheric scale caused by a complex plate interaction. The zone delineates an arc system, the Gibraltar arc. A large amount of earthquake activity covering a variety of depths and focal mechanism characterizes the area. The topic has build up strong collaborations between Moroccan and Spanish and, international research teams from Europe and USA. Key multi-seismic projects have been developed aiming to constrain the structure, composition and tectonic scenario from south of the Atlas to the Betics, across the Rif cordillera and the Alboran basin. The multidisciplinary research program included: natural source (earthquakes) recording with temporal deployments of broad band (BB) instrumentation and, controlled source spatially dense seismic acquisition recording of wide-angle reflection data. The natural source experiments consisted on a transect from Merzouga across the Gibraltar Arc and into the Iberian Peninsula (until south of Toledo) and, a nearly regular grid of BB distributed throughout Morocco. The controlled source wide-angle seismic reflection data constrained the crustal structure and provide seismic P-wave propagation velocity models from the coast across the Rif and to the Atlas. From south to north the crust features a relatively moderate crustal root beneath the Middle Atlas which can reach 40 km clearly differing from the 35 km thickness value observed at both sides of this root. Iterative travel time inversion-modeling positions the crustal root just south of the High Atlas the geometry defines a thrusting mantle wedge and, a limited crustal imbrication in the Middle Atlas. An unexpected crustal root, over 50 km, was determined beneath the external Rif and identified by both the wide-angle data and the receiver function studies. To the east of this feature the crust thins rapidly by 20 km across the surface lineament of the Nekkour fault. On shore-offshore recording of marine shots reveal further complexities in the transition to the Alboran basin. The low values of the Bouguer gravity anomalies beneath the Rif

Cordillera are consistent with the crustal models derived from the new seismic data. The detailed knowledge on the crustal structure achieved by this high resolution imaging geophysical techniques is an asset to evaluate the earthquake and potential tsunami hazard for the coasts of North Africa and western Europe. Complex but well constrained structural and geodynamic models are the key result of this fruitful collaboration. These models are strong candidates to unravel the lengthy discussions on the geodynamics proposed for this intriguing area. Special mention is the coordination and integrated effort dedicated to this research by more than 100 multinational researchers in this unique and unprecedented data acquisition project in Morocco.

Acknowledgments

This work has been primarily funded by the Spanish MEC project CGL2007–63889. Additional funding was provided by projects CGL2010–15416, CSD2006–00041, and CGL2009–09727 (Spain), CGL2008–03474-E, 07- TOPO_EUROPE_FP-006 (ESF Eurocores) and EAR-0808939 (US, NSF). Seismic stations and field technicians were kindly provided by IRIS-Pascal. We thank the numerous geoscientists from Spanish, Moroccan, and US institutions that helped with the station deployment along the profiles. Institut Scientifique-Université Mohammed V-Agdal, Rabat, provided access to the Ifrane Geophysical Station which was used as the operations centre during the controlled source seismic reflection data acquisition. Diego Cordoba from the Universidad Complutense de Madrid provided help and managed the Texans instruments deployed in Spain.

References:

- Anahnah, F., et al. (2011), Deep resistivity cross section of the intraplate Atlas Mountains (NW Africa): New evidence of anomalous mantle and related Quaternary volcanism, *Tectonics*, 30, 1–9.
- Arboleya, M. L., A. Teixell, M. Charroud, and M. Julivert (2004), A structural transect through the High and Middle Atlas of Morocco, *J. Afr. Earth Sci.*, 39, 319–336.
- Ayarza, P., F. Alvarez-Lobato, A. Teixell, M. Arboleya, E. Teson, M. Julivert, and M. Charroud (2005), Crustal structure under the central High Atlas Mountains (Morocco) from geological and gravity data, *Tectonophysics*, 400(1-4), 67–84, doi:10.1016/j.tecto.2005.02.009.
- Ayarza, P., et al. (2014) Crustal thickness and velocity structure across the Moroccan Atlas from long offset wide-angle reflection seismic data: The SIMA experiment, *Geochem. Geophys. Geosyst.* Doi: 10.1002/2013GC005164.

- Batista, M.A., S. Heitor, J.M. Miranda, P. Miranda and L. Mendes-Victor, 1998a, The 1755 Lisbon tsunami; evaluation of the tsunami parameters, *J. Geodyn.*, 25 (2), 143-157.
- Batista, M.A., P. Miranda, J.M. Miranda and L. Mendes-Victor, 1998b, Constraints on the source of the 1755 Lisbon tsunami inferred from numerical modeling of historical data on the source of the 1755 Lisbon tsunami, *J. Geodyn.* 25(2), 159-174.
- Beaumont, C., J. A. Muñoz, J. Hamilton, and P. Fullsack (2000), Factors controlling the Alpine evolution of the central Pyrenees inferred from a comparison of observations and geodynamical models, *J. Geophys. Res.*, 105, 8125–8145.
- Bezada, M. J., E. D. Humphreys, D. R. Toomey, M. Harnafi, J. M. Davila, and J. Gallart (2013), Evidence for slab rollback in westernmost Mediterranean from improved upper mantle imaging, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 368, 51–60, doi:10.1016/j.epsl.2013.02.024.
- Bezada, M. J., E. D. Humphreys, D. R. Toomey, M. Harnafi, J. D. Davila, and J. Gallart (2013), Evidence for slab rollback in westernmost Mediterranean from improved upper mantle imaging, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 368, 51–60, doi:10.1016/j.epsl.2013.02.024.
- Bezada, M.J., Humphreys, E.D., 2012. Contrasting rupture processes during the April 11, 2010 deep-focus earthquake beneath Granada, Spain. *Earth Planet. Sci. Lett.* 353–354, 38–46.
- Booth-Rea, G., A. Jabaloy-Sanchez, A. Azdimousa, L. Asebriy, M. Vazquez-Vilchez, and M. Martinez Martinez (2012), Upper-crustal extension during oblique collision: The Tamsamani extensional detachment (eastern Rif, Morocco), *Terra Nova*, 24, 505–512, doi:10.1111/j.13653121.2012.01089.x.
- Bufo, E., Udias, A. and Colombas, M.A., 1988b. Seismicity, source mechanisms and seismotectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152: 89-118
- Calvert, A., E. Sandvol, D. Seber, M. Barazangi, F. Vidal, G. Alguacil, and N. Jabour (2000), Propagation of regional seismic phases (Lg and Sn) and Pn velocity structure along the Africa-Iberia plate boundary zone: Tectonic implications, *Geophys. J. Int.*, 142(2), 384.
- Chalouan, A., A. Michard, Kh. El Kadiri, F. Negro, D. Frizon de Lamotte, J. I. Soto, and O. Saddiqi (2008), The Rif Belt, in *Continental Evolution: The Geology of Morocco*, edited by A. Michard et al., pp. 203–302, Springer, Berlin.
- Chalouan, A., A. Ouazani-Touhami, L. Mouhir, R. Saji, and M. Benmakhlof (1995), Les failles normales a faible pendage du Rif interne (Maroc) et leur effet sur l'amincissement crustal du domaine D'Alboran, *Geogaceta*, 17, 3.
- Chalouan, A., A. Michard, H. Feinberg, R. Montigny, and O. Saddiqi (2001), The Rif mountain building (Morocco): A new tectonic scenario, *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 172(5), 603–616.
- Choukroune, P., and E. Team (1989), The ECORS Pyrenean deep seismic profile reflection data and the overall structure of an orogenic belt, *Tectonics*, 8, 23–39.
- Daignie`res, M., M. Seguret, M. Specht, and E. Team (1994), The Arzacq-Western Pyrenees ECORS Deep Seismic Profile, *Eur. Assoc. Petrol. Geol. Spec. Publ.*, 4, 199–208.
- Diaz, J., and J. Gallart (2009), Crustal structure beneath the Iberian Peninsula and surrounding waters: A new compilation of deep seismic sounding results, *Phys. Earth Planet. Int.*, 173, 181–190, doi: 10.1016/j.pepi.2008.11.008.
- Diaz, J., J. Gallart, A. Villaseñor, F. de L. Mancilla, A. Pazos, D. Cordoba, J. A. Pulgar, P. Ibarra, and M. Harnafi (2010), Mantle dynamics beneath the Gibraltar Arc (western Mediterranean) from shear-wave splitting measurements on a dense seismic array, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L18304, doi: 10.1029/2010GL044201.
- Duggen, S., K. Hoernle, F. Hauff, A. Klugel, M. Bouabdellah, and M. Thirlwall (2009), Flow of Canary mantle plume material through a subcontinental lithospheric corridor beneath Africa to the Mediterranean, *Geology*, 37(3), 283, doi:10.1130/G25426A.1.
- Fadil, A., P. Vernant, S. McClusky, R. Reilinger, F. Gomez, D. B. Sari, T. Mourabit, K. L. Feigl, and M. Barazangi (2006), Active tectonics of the western Mediterranean: GPS evidence for roll back of a delaminated sub-continental lithospheric slab beneath the Rif mountains, *Geology*, 34, 529–532, doi:10.1130/G22291.1.
- Fernández, M., I. Marzán, and M. Torne (2004), Lithospheric transition from the Variscan Iberian Massif to the Jurassic oceanic crust of the central Atlantic, *Tectonophysics*, 386(1–2), 97–115, doi:10.1016/j.tecto.2004.05.005.
- Fernandez, M., X. Berastegui, C. Puig, D. Garcia-Castellanos, M. J. Jurado, M. Torne, and C. Banks (1998), Geophysical and geological constraints on the evolution of the Guadalquivir foreland basin, Spain, in *Cenozoic Foreland Basins of Western Europe*, edited by A. Mascle et al., pp. 29–48, Geol. Soc., London, U. K.
- Frizon de Lamotte, D., B. Saint Bezar, R. Brace`ne, and E. Mercier (2000), The two main steps of the Atlas building and geodynamics of the western Mediterranean, *Tectonics*, 19(4), 740–761, doi:10.1029/2000TC900003.
- Frizon de Lamotte, D., M. Zizi, Y. Missenard, M. Hafid, M. E. Azzouzi, R. C. Maury, A. Charrie`re, Z. Taki, M. Benammi, and A. Michard (2008),

- The atlas system, in *Continental Evolution: The Geology of Morocco*, edited by A. Michard et al., pp. 133–202, Springer, Berlin.
- Frizon de Lamotte, D., P. Leturmy, Y. Missenard, S. Khomsi, G. Ruiz, O. Saddiqi, F. Guillocheau, and A. Michard (2009), Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): An overview, *Tectonophysics*, 475(1), 9–28, doi:10.1016/j.tecto.2008.10.024.
- Fullea, J., M. Fernandez, J. C. Afonso, J. Verges, and H. Zeyen (2010), The structure and evolution of the lithosphere-asthenosphere boundary beneath the Atlantic-Mediterranean Transition Region, *Lithos*, 120(1-2), 74–95, doi:10.1016/j.lithos.2010.03.003.
- Fullea, J., J. Rodriguez-Gonzalez, M. Charco, Z. Martinec, A. Negredo, and A. Villasenor (2014), Perturbing effects of sub-lithospheric mass anomalies in GOCE gravity gradient and other gravity data modelling: Application to the Atlantic-Mediterranean transition zone, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, doi:10.1016/j.jag.2014.02.003.
- Funiciello, F., M. Moroni, C. Piromallo, C. Faccenna, A. Cenedese, and H. A. Bui (2006), Mapping mantle flow during retreating subduction: Laboratory models analyzed by feature tracking, *J. Geophys. Res.*, 111, B03402, doi:10.1029/2005JB003792.
- Gallart, J., A. Gil, J. Diaz, M. Harnafi, A. Levander, I. Palomeras, and D. Cordoba (2012), Variations of the crustal structure in the Rif Cordillera, N-Morocco, from wide-angle seismic data, Abstract presented at 2012 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif. Abstract T32D-05.
- Garcia-Castellanos, D. (2002), Interplay between lithospheric flexure and river transport foralend basins, *Basin Res.*, 14(2), 89–104, doi:10.1046/j.1365-2117.2002.00174.x.
- Gomez, F., R. Allmendinger, M. Barazangi, A. Er-Raji, and M. Dahmani (1998), Crustal shortening and vertical strain partitioning in the Middle Atlas Mountains of Morocco, *Tectonics*, 17(4), 520–533, doi:10.1029/98TC01439.
- Gomez, F., W. Beauchamp, and M. Barazangi (2000), Role of Atlas Mountains (northwest Africa) within the African/Eurasian plate boundary zone, *Geology*, 28, 775–778.
- Gil, A., J. Gallart, J. Diaz, R. Carbonell, M. Harnafi, and A. Levander (2013), Crust structure across the Rif Cordillera from 'RIFSIS' seismic refraction and wide-angle reflection experiment, *Geophys. Res. Abstr.*, EGU2013-4887-1, 15.
- Gutscher, M. A., J. Malod, J. P. Rehault, I. Contrucci, F. Klingelhoefer, L. Mendes-Victor, and W. Spakman (2002), Evidence for active subduction beneath Gibraltar, *Geology*, 30, 1071–1074.
- Hafid, M., G. Tari, D. Bouhadioui, I. El Moussaid, H. Echarfaoui, A. Ait Salem, M. Nahim, and M. Dakki (2008), Atlantic Basins, in *Continental Evolution: The Geology of Morocco*, edited by A. Michard et al., pp. 303–330, Springer, Berlin.
- Hatzfeld, D., and D. Bensari (1977), Grands profile sesmiques dans la region de l'arc de Gibraltar, *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 7(XIX-4), pp. 749–756.
- Hefferan, K. P., H. Admou, J. A. Karson, and A. Saquaque (2000), Anti-Atlas (Morocco) role in Neoproterozoic Western Gondwana reconstruction, *Precambrian Res.*, 103(1–2), 89–96, doi:10.1016/S0301-9268(00)00078-4.
- Hildenbrand, T. G., R. P. Kucks, M. F. Hamouda, and A. Bellot (1988), Bouguer gravity map and related filtered anomaly maps of Morocco, U.S. Geol. Surv. Open-File Report: 88–517, 15 p
- Jimenez-Munt, I., M. Fernandez, J. Verges, D. Garcia-Castellanos, J. Fullea, M. Pérez-Gussinyne, and J. C. Afonso (2011), Decoupled crust-mantle accommodation of Africa-Eurasia convergence in the NW Moroccan margin, *J. Geophys. Res.*, 116, B08403, doi:10.1029/2010JB008105.
- Koulali, A., D. Ouazar, A. Tahayt, R. W. King, P. Vernant, R. E. Reilinger, S. McClusky, T. Mourabit, J. M. Davila, and N. Amraoui (2011), New GPS constraints on active deformation along the Africa-Iberia plate boundary, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 308(1–2), 211–217, doi:10.1016/j.epsl.2011.05.048.
- Loneragan, L., and N. White (1997), Origin of the Betic-Rif mountain belt, *Tectonics*, 16, 504–522, doi:10.1029/96TC03937.
- Lopez-Ruiz, J., J. M. Cebria, M. Doblas, R. Oyarzun, M. Hoyso, and C. Martin (1993), Cenozoic intra-plate volcanism related to extensional tectonics at Calatrava, central Iberia, *J. Geol. Soc. London*, 150, 915–922.
- Martinez-Diaz, J. J., E. Masana, J. L. Hernandez-Enrile, and P. Santanach (2001), Evidence for coseismic events of recurrent prehistoric deformation along the Alhama de Murcia fault, southern Spain, *Acta Geol. Hispanica*, 36(3-4), 12.
- Morales, J., I. Serrano, A. Jabaloy Sanchez, J. Galindo-Zaldivar, D. Zhao, F. Torcal, F. Vidal, and F. Gonzalez-Lodeiro (1999), Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea, *Geology*, 27, 735–738, doi:10.1130/0091-7613(1999)027<0735.
- Missenard, Y., H. Zeyen, D. Frizon de Lamotte, P. Leturmy, C. Petit, M. Sebrier, and O. Saddiqi (2006), Crustal versus asthenospheric origin of relief of the Atlas Mountains of Morocco, *J. Geophys. Res.*, 111, B03401, doi:10.1029/2005JB003708.
- Missenard, Y., H. Zeyen, D. Frizon de Lamotte, P. Leturmy, C. Petit, M. Sebrier, and O. Saddiqi

- (2006), Crustal versus asthenospheric origin of relief of the Atlas Mountains of Morocco, *J. Geophys. Res.*, 111, B03401, doi:10.1029/2005JB003708.
- Maystrenko, Y., et al. (2003), Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine, *Geology*, 31, 733–736.
- Palomeras, I., S. Thurner, A. Levander, K. Liu, A. Villasenor, R. Carbonell, and M. Harnafi (2014), Finite-frequency Rayleigh wave tomography of the western Mediterranean: Mapping its lithospheric structure, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 140–160, doi:10.1002/2013GC004861.
- Perouse, E., P. Vernant, J. Chery, R. Rellinger, S. McClusky, 2010, Active surface deformation and sub-lithospheric processes in the western Mediterranean constrained by numerical models, *Geology*, 28, 823–826, doi: 10.1130/G30963.1
- Piomallo, C., and A. Morelli (2003), P wave tomography of the mantle under the Alpine-Mediterranean area, *J. Geophys. Res.*, 108(B2), 2065, doi:10.1029/2002JB001757.
- Platt, J. P., and R. L. M. Vissers (1989), Geology Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc, *Geology*, 17, 540–543, doi:10.1130/0091-7613(1989)017<0540.
- Platt, J.P., Behr, W.M., Johannesen, K., Williams, J.R., 2013. The Betic–Rif arc and its orogenic hinterland: a review. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 41, 1, doi: 10.1146/annurev-earth-050212-123951.
- Rosenbaum, G., Lister, G.S., Duboz, C., 2002a. Relative motions of Africa, Iberia and Europe during Alpine orogeny. *Tectonophysics* 359, 117–129.
- Rosenbaum, G., Lister, G.S., Duboz, C., 2002b. Reconstruction of the tectonic evolution of the western Mediterranean since the Oligocene. *J. Virtual Explorer* 8, 6, doi: 10.3809/jvirtex.2002.00053.
- Rosenbaum, G., Lister, G.S., 2004. Neogene and Quaternary rollback evolution of the Tyrrhenian Sea, the Apennines, and the Sicilian Maghrebides. *Tectonics* 23, TC1013.
- Schwarz, G., H. G. Mehi, H.G. Ramdani, and V. Rath (1992), Electrical resistivity structure of the eastern Moroccan Atlas System and its tectonics implications, *Geol. Rundsch.*, 81, 221–235.
- Seber, D., M. Barazangi, B. Tadili, M. Ramdani, A. Ibenbrahim, and D. Ben Sari (1996), Three dimensional upper mantle structure beneath the intraplate Atlas and interplate Rif mountains of Morocco, *J. Geophys. Res.*, 101, 325–338.
- Sebrier, M., L. Siamé, E. M. Zouine, T. Winter, Y. Missenard, and P. Leturmy (2006), Active tectonics in the Moroccan High Atlas, *Comp. Rend. Geosci.*, 338, 65–79.
- Simoës, J.Z., Afihado, A., and L. Mendes-Victor, 1992, Assessing the tsunami risk using instrumental and historical records, *Sci, Tsunami Hazards*, 10(1), 3-8.
- Spakman, W., and M. J. R. Wortel (2004), A tomographic view on western Mediterranean geodynamics, in *The TRANSMED Atlas-The Mediterranean Region from Crust to Mantle*, edited by P. Ziegler, pp. 31–52, Springer, Berlin.
- Teixell, A., G. Bertotti, D. F. de Lamotte, and M. Charroud (2009), The geology of vertical movements of the lithosphere: An overview, *Tectonophysics*, 475(1), 1–8, doi:10.1016/j.tecto.2009.08.018.
- Thurner, S., I. Palomeras, A. Levander, R. Carbonell and C. T. Lee (2014), Ongoing Lithospheric removal in the Western Mediterranean: Evidence from Ps receiver functions and thermobarometry of Neogene basalts (PICASSO Project), *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 1113–1127, doi:10.002/2013GC005124.
- Torne, M., M. Fernandez, M. C. Comas, and J. I. Soto (2000), Lithospheric structure beneath the Alboran Basin: Results from 3D gravity modeling and tectonic relevance, *J. Geophys. Res.*, 105, 3209–3228, doi:10.1029/1999JB900281.
- Udias, A., and E. Buforn (1992), Sismicidad y sismotectónica de las Béticas, *Física de la Tierra*, 4, 109–123.
- Udias, A., López Arroyo, A. and Múzcuca, J., 1976. Seismotectonics of the Azores-Alboran region. *Tectonophysics*, 31: 259-289.
- Wigger, P., G. Asch, P. Giese, W. D. Heinsohn, S. O. E. Alami, and F. Ramdani (1992), Crustal structure along a traverse across the Middle and High Atlas mountains derived from seismic refraction studies, *Geol. Rundsch.*, 81(1), 237–248, doi:10.1007/BF01764552.
- Verges, J., and M. Fernandez (2012), Tethys-Atlantic interaction along the Iberia-Africa plate boundary: The Betic-Rif orogenic system, *Tectonophysics*, 579, 144–172, doi:10.1016/j.tecto.2012.08.032.
- Vernant, P., A. Fadil, T. Mourabit, D. Ouazar, A. Koulali, J. M. Davila, J. Garate, S. McClusky, and R. Reilinger (2010), Geodetic constraints on active tectonics of the Western Mediterranean: Implications for the kinematics and dynamics of the Nubia-Eurasia plate boundary zone, *J. Geodyn.*, 49, 123–129, doi:10.1016/j.jog.2009.10.007.
- Zeyen, H., P. Ayarza, M. Fernandez, and A. Rimi (2005), Lithospheric structure under the western African-European plate boundary: A transect across the Atlas Mountains and the Gulf of Cadiz, *Tectonics*, 24, 1–16.
- Zelt, C., and R. Smith (1992), Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure, *Geophys. J. Int.*, 108, 16–34.

Integrated Drought Management: A New Paradigm for the 21st Century

Donald A. WILHITE

Professor of Applied Climate Science, School of Natural Resources,
University of Nebraska, Lincoln, Nebraska 68583 U.S.A.
(dwilHITE2@unl.edu)

Abstract

There is increasing concern worldwide about the ineffectiveness of current drought management practices that are largely based on a crisis management approach.

These practices are reactive and, therefore, only treat the symptoms (impacts) of drought rather than the underlying causes for the vulnerabilities associated with impacts. Through the adoption of national drought policies that are focused on risk reduction and complemented by drought mitigation or preparedness plans at various levels of government, the coping capacity of nations to manage droughts can be improved. However, given the complexities of drought, both physical and social, the development process must be integrated across sectors through the inclusion of all appropriate ministries and key stakeholders. The time for

adopting an approach that emphasizes drought risk reduction is now, given the spiraling impacts of droughts in an ever-increasing number of sectors and the current and projected trends for the increased frequency, severity and duration of drought events in association with a changing climate. This paper discusses the principles and objectives of national drought policies and a template for the development of national drought policies for governments as a follow up to the High-level Meeting on National Drought Policies held in Geneva, Switzerland in March 2013.

Key Words

Drought policy, integrated drought management, drought preparedness, drought planning, early warning systems, vulnerability assessment, drought mitigation.

Introduction



The implementation of a drought policy based on the philosophy of risk reduction can alter a nation's approach to drought management by reducing the associated impacts (risk). This concept helped motivate the World Meteorological

Organization's (WMO) Congress, at its Sixteenth Session held in Geneva in 2011, to recommend the organization of a "High-level Meeting on National Drought Policy (HMNDP)." Accordingly, WMO, the Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD),

and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), in collaboration with a number of UN agencies, international and regional organizations, and key national agencies, organized and held the HMNDP in Geneva from 11 to 15 March 2013. The theme of the HMNDP was "Reducing Societal Vulnerability – Helping Society (Communities and Sectors)."

Concerns about the spiraling impacts of drought on a growing number of sectors, the current and projected increase in the incidence of drought frequency and severity for many regions, and the outcomes and recommendations emanating from the HMNDP have drawn increased attention from governments, international and regional organizations, and non-governmental organizations. Given the complexities of drought and the multitude of ministries and stakeholders

that must be involved in the development of a national drought policy and preparedness plans, this process must include the three pillars of the policy, i.e., monitoring, prediction, early warning and information delivery; vulnerability and impact assessment; and mitigation and response, and be integrated across all appropriate ministries and inclusive of key stakeholders.

The impacts associated with drought, regardless of the setting, can only be partially attributed to deficient or erratic rainfall. Drought is a complex natural hazard, and the impacts associated with it are the result of numerous climatic factors and a wide range of societal factors that define the level of societal resilience. Population growth and redistribution and changing consumption and production patterns are two of the factors that define the vulnerability of a region, economic sector, or population group. Some other factors include poverty and rural vulnerability; ineffective or outdated natural resource policies; increasing water demand due to urbanization; poor soil and water management practices, climate variability and change; changes in land use; environmental degradation; and greater awareness of the need to preserve the integrity of ecosystems. Although the development of drought policies and preparedness plans can be a challenging undertaking, the outcome of this process can significantly increase societal resilience to these climatic shocks. However, this new paradigm is essential in the 21st Century as the frequency and severity of drought increase for many regions and societal vulnerability increases.

National Drought Policy: Background

Simply stated, a national drought policy should establish a clear set of principles or operating guidelines to govern the management of drought and its impacts in an integrated manner. The overriding principle of drought policy should be an emphasis on risk management through

the application of preparedness and mitigation¹ measures (HMNDP, 2013). This policy should be directed toward reducing risk by developing better awareness and understanding of the drought hazard and the underlying causes of societal vulnerability along with developing a greater understanding of how being proactive and adopting a wide range of preparedness measures can increase societal resilience. Risk management can be promoted by encouraging the improvement and application of seasonal and shorter-term forecasts, developing integrated monitoring and drought early warning systems and associated information delivery systems, developing preparedness plans at various levels of government, adopting mitigation actions and programs, creating a safety net of emergency response programs that ensure timely and targeted relief, and providing an organizational structure that enhances coordination within and between levels of government and with stakeholders. The policy should be consistent and equitable for all regions, population groups, and economic sectors and consistent with the goals of sustainable development.

As vulnerability to and the incidence of drought has increased globally, greater attention has been directed to reducing risks associated with its occurrence through the introduction of planning to improve operational capabilities (i.e., climate and water supply monitoring, building institutional capacity) and mitigation measures that are aimed at reducing drought impacts. This change in emphasis is long overdue. Mitigating the effects of drought requires the use of all components of the cycle of disaster management (Figure 1), rather than only the crisis management portion of this cycle. Typically, when drought occurs, governments and donors have followed with impact assessment, response, recovery, and reconstruction activities to return the region or locality to a pre-disaster state. Historically,

1- Mitigation, in the context of natural hazards, refers to actions taken in advance of an event (e.g., drought) to reduce or avoid the impacts associated with that event. It differs from the application of this term when referring to climate change mitigation, which is associated with the reduction of greenhouse gas emissions.

little attention has been given to preparedness, mitigation, and prediction/early warning actions (i.e., risk management) and the development of risk-based national drought management policies that could reduce future impacts and lessen the need for government and donor interventions in the future. Crisis management only addresses the symptoms of drought, as they manifest themselves in the impacts that occur as a direct or indirect consequence of drought. Risk management, on the other hand, is focused on identifying where vulnerabilities exist (particular sectors, regions, communities, or population groups) and addresses these risks through systematically implementing mitigation and adaptation measures that will lessen the risk to future drought events. Because societies have emphasized crisis management in past attempts at drought management, countries have generally moved from one drought event to another with little, if any, reduction in risk. In addition, in many drought-prone regions, another drought event is likely to occur before the region fully recovers from the last event. If the frequency of drought increases in the future, as projected for many regions, there will be less recovery time between these events.

characteristics of drought and the lack of a universal definition. Drought shares the distinction of being a creeping phenomenon with climate change in terms of getting people to recognize changes that occur slowly over a long period of time. These characteristics of drought make early warning, impact assessment, and response difficult for scientists, natural resource managers, and policy makers. The lack of a universal definition often leads to confusion and inaction on the part of decision makers since scientists may disagree on the existence and severity of drought conditions (i.e., the onset and recovery time differences between meteorological, agricultural and hydrological drought). Severity is also difficult to characterize since it is best evaluated on the basis of multiple indicators and indices, rather than on the basis of a single variable or index. The impacts of drought are also largely non-structural and spatially pervasive. These features make it difficult to assess the effects of drought and to respond in a timely and effective manner. Drought impacts are not as visual as the impacts of other natural hazards, making it difficult for the media to communicate the significance of the event and its impacts to the public. Public sentiment to respond is often lacking in comparison to other natural hazards that result in loss of life and property.

Associated with the crisis management approach is the lack of recognition that drought is a normal part of the climate. Climate change and associated projected changes in climate variability will likely increase the frequency and severity of drought and other extreme climatic events. In the case of drought, the duration of these events may also increase and, thus, the period between severe drought episodes which leads to a reduction in recovery time. Therefore, it is imperative for all drought-prone nations to adopt a more risk-based approach to drought management in order to increase resilience to future episodes of drought. This approach must be integrated across all phases of the policy development and preparedness planning process.

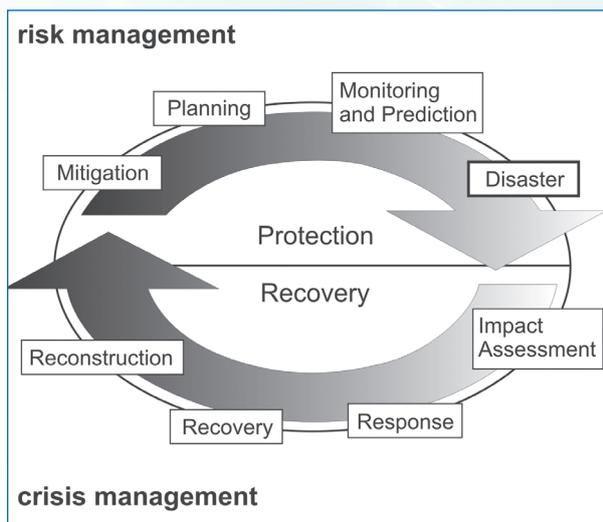


Figure 1. Cycle of Disaster Management. (Source: National Drought Mitigation Center)

Progress on drought preparedness and policy development has been slow for a number of reasons. It is certainly related to the slow-onset

It is important to note that each occurrence of drought provides a window of opportunity to move toward a more proactive risk management policy. Immediately following a severe drought episode, policy makers, resource managers, and all affected sectors are aware of the impacts that have occurred and the deficiencies that existed in the government's response. This is the appropriate time to approach policy makers with the concept of developing a national drought policy and preparedness plans in order to increase societal resilience.

Drought Policy Development: A Template for Action

To provide guidance on the preparation of national drought policies and planning techniques, it is important to define the key components of drought policy, its objectives, and steps in the implementation process. An important component of national drought policy is increased attention to drought preparedness in order to build institutional capacity to deal more effectively with this pervasive natural hazard.

A constraint to drought preparedness has been the dearth of methodologies available to policy makers and planners to guide them through the planning process. Drought differs in its characteristics between climate regimes, and impacts are locally defined by unique economic, social, and environmental characteristics. A methodology developed by Wilhite (1991) and revised to incorporate greater emphasis on risk management (Wilhite et al., 2000; Wilhite et al., 2005) has provided a set of generic steps that can be adapted to any level of government (i.e., local, state or provincial, or national) or geographical setting for the development of a drought preparedness or mitigation plan.

The Integrated Drought Management Program (IDMP), launched by the Global Water Partnership (GWP) and the World Meteorological Organization (WMO) at HMNDP in 2013, recognized the urgent need to provide nations with guidelines for the

development of national drought management policies (<http://www.droughtmanagement.info/>). To achieve this goal, the drought preparedness planning methodology referred to above was modified to define a generic process that governments can follow for the development of a national drought policy and associated drought preparedness plans at various levels of government that support the principles of that policy (IDMP, 2014). This policy development process is provided on the IDMP website in all of the languages of the United Nations and, thus, is not described in this paper. The goal of this 10-step process is to provide a template for governments and organizations to follow to reduce societal vulnerability to drought. A national drought policy can be a stand-alone policy or a subset of a natural disaster risk reduction, sustainable development, integrated water resources or climate change adaptation plan that may already exist.

Drought Policy: Characteristics and the Way Forward

As a beginning point in the discussion of drought policy, it is important to identify the various types of drought policies that are available and have been utilized for drought management. The most common approach followed by both developing and developed nations is post-impact government (or nongovernment) interventions. These interventions are normally relief measures in the form of emergency assistance programs aimed at providing money or other specific types of assistance (e.g., livestock feed, water, food) to the victims (or those experiencing the most severe impacts) of the drought. This reactive approach, characterized by the hydro-illogical cycle, Figure 2, is seriously flawed from the perspective of vulnerability reduction since the recipients of this assistance are not expected to change behaviors or resource management practices as a condition of the assistance. Although drought assistance provided through emergency response interventions may address a short-term need, it may in the longer term actually decrease the coping capacity of individuals and communities by

fostering greater reliance on these interventions rather than increasing self-reliance. This reliance on the government for relief is contrary to the philosophy of encouraging self-reliance through an investment in appropriate mitigation actions that can improve drought coping capacity. Government assistance or incentives that encourage these investments would be a philosophical change in how governments respond and would promote a change in the expectations of livestock producers as to the role of government in these response efforts. The more traditional approach of providing relief is also flawed in terms of the timing of assistance being provided. It often takes weeks or months for assistance to be received, at times well beyond the window of when the relief would be of greatest value in addressing the impacts of drought. In addition, those livestock producers who previously employed appropriate risk reduction techniques are likely ineligible for assistance since the impacts they experienced were reduced and therefore do not meet the eligibility requirements. This approach rewards those that have not adopted appropriate resource management practices.

important for the purpose of moving toward a more proactive risk management approach that the two drought policy approaches described below become the cornerstone of the policy process.

The second type of drought policy approach is the development and implementation of policies and preparedness plans, which would include organizational frameworks and operational arrangements developed in advance of drought and maintained between drought episodes by government or other entities. This approach represents an attempt to create greater institutional capacity focused on improved coordination and collaboration within and between levels of government and with stakeholders in the primary impact sectors and with the plethora of private organizations with a vested interest in drought management (i.e., communities, natural resource or irrigation districts or managers, utilities, agribusiness, farm organizations, and others).

The third type of policy approach emphasizes the development of pre-impact government programs or measures that are intended to reduce vulnerability and impacts. This approach could be considered a subset of the approach listed above. In the natural hazards field, these types of programs or measures are commonly referred to as mitigation measures. Mitigation in the context of natural hazards is different from mitigation in the context of climate change, where the focus is on reducing greenhouse gas (GHG) emissions. Mitigation in the context of natural hazards refers to actions taken in advance of drought to reduce impacts in the future. Drought mitigation measures are numerous, but they may be more confusing to the general public in comparison to mitigation measures for earthquakes, floods and other natural hazards where the impacts are largely structural. Impacts associated with drought are generally non-structural, and thus the impacts are less visible, more difficult to assess in a timely fashion (e.g., reductions in crop yield), and do not require reconstruction as part of the recovery process. Drought mitigation measures would include

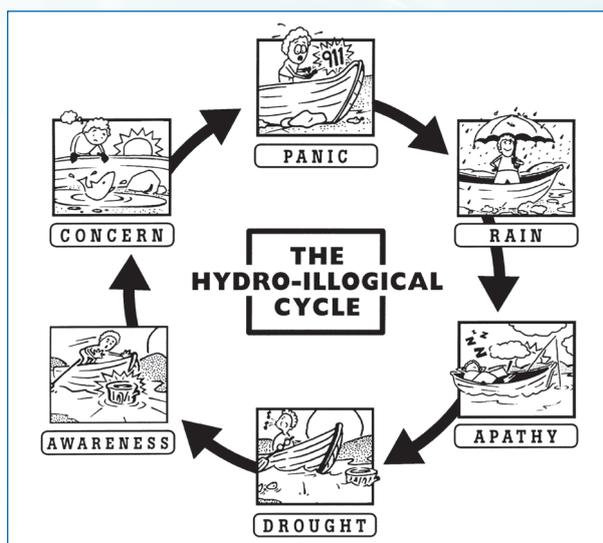


Figure 2. The Hydro-illogical Cycle. (Source: National Drought Mitigation Center)

Although there is at times a need to provide emergency response to various sectors (i.e., post-impact assessment interventions), it is critically

establishing comprehensive early warning and delivery systems, improved seasonal forecasts, increased emphasis on water conservation (demand reduction), increased or augmented water supplies through greater utilization of ground water resources, water reutilization and recycling, construction of reservoirs, interconnecting water supplies between neighboring communities, drought preparedness planning to build greater institutional capacity, and awareness building and education.

In some cases, such water resource augmentation measures are best developed jointly with a neighboring state (or country), or at least such measures should be coordinated if they might have an impact on the other riparian state (or downstream use in general). Insurance programs, currently available in many countries, would also fall into this category of policy types.

Principal Elements of a Drought Risk Reduction Policy Framework

Drought policy should emphasize four principle components during the development process: (1) risk and early warning, including vulnerability analysis, impact assessment, and communication; (2) mitigation and preparedness, including the application of effective and affordable practices; (3) awareness and education, including a well-informed public and a participatory process; and (4) good governance and an effective policy framework, including political commitment and responsibilities (UNISDR, 2009). Another important component of this framework is the inclusion of policy options for emergency response and relief. In all cases, when severe drought occurs, governments and other organizations must provide some form of emergency relief to those sectors most affected. However, it is crucial, as a part of a drought risk reduction policy, for this assistance to be provided in a form that does not run counter to the goals and objectives of the national drought policy, which would include a strong emphasis on the sustainability of the natural resource base. For example, a food for

work program is often used as an emergency response measure. If the work associated with this program is directed towards building small water storage systems, the outcomes of this work will lead to future risk reductions associated with water shortages for domestic water supplies or irrigation.

National Drought Management Policy: A Process

The challenge that nations face in the development of a risk-based national drought management policy is complex. It requires political will at the highest level possible and a coordinated approach within and between levels of government and with the diversity of stakeholders that must be engaged in the policy development process. A national drought policy could be a stand-alone policy. Alternatively, as noted previously, it could contribute to or be a part of a national policy for disaster risk reduction with holistic and multi-hazard approaches that is centered on the principles of risk management. It could also be part of a climate change adaptation strategy since drought risk reduction is a key element of climate change adaptation.

The policy would provide a framework for shifting the paradigm from one traditionally focused on reactive crisis management to one that is focused on a proactive risk-based approach that is intended to increase the coping capacity of the country and thus create greater resilience to future episodes of drought.

The formulation of a national drought policy, while providing the framework for a paradigm shift, is only the first step in vulnerability reduction. The development of a national drought policy must be intrinsically linked to the development and implementation of preparedness and mitigation plans at the sub-national level (provincial/state and local). These plans will be the instruments through which a national drought policy is executed.

The 10-step process mentioned above and outlined below is intended to provide a template or roadmap that countries can follow in the development of an

integrated national drought management policy and drought preparedness/mitigation plans at the sub-national level. In other words, the process is not intended to be prescriptive, but rather to be adapted by countries to reflect their institutional infrastructure, legal framework, etc. This process was modified from a 10-step drought planning process or methodology developed in the United States for application at the state level. Currently, 47 of the 50 U.S. states have developed drought plans, and the vast majority of these states have followed the guidelines provided by the 10-step process in the preparation or revision of drought plans (<http://www.drought.unl.edu/Planning/PlanningInfoByState.aspx>). This drought planning methodology has also been followed in other countries in the development of national drought strategies. The process, originally developed in the early 1990s, has been revised numerous times, placing greater emphasis on mitigation planning with each revision. Now, this original methodology has been modified once again to reflect an emphasis on capacity development for a national drought management policy, including the development of drought preparedness plans that are necessary in support of a national policy.

The 10 steps below provide an outline of the process for policy and preparedness planning. As indicated above, the process is intended to be generic, i.e., applying this methodology in each country setting would require adapting it to the current institutional capacity, political infrastructure, legal frameworks, and technical capacity. The reader is referred to a more complete description of this policy development process recently published by the IDMP (2014).

The 10 steps in the drought policy and preparedness process are:

Step 1: *Appoint* a national drought management policy commission

Step 2: *State* or *define* the goals and objectives of a risk-based national drought management policy

Step 3: *Seek* stakeholder participation; define and resolve conflicts between key water use sectors, considering also transboundary implications

Step 4: *Inventory* data and financial resources available and identify groups at risk

Step 5: *Prepare/write* the key tenets of a national drought management policy and preparedness plans, which would include the following elements:

- Monitoring, prediction, early warning and information delivery
- Vulnerability/risk and impact assessment
- Mitigation and response

Step 6: *Identify* research needs and fill institutional gaps

Step 7: *Integrate* science and policy aspects of drought management

Step 8: *Publicize* the national drought management policy and preparedness plans and build public awareness

Step 9: *Develop* educational programs for all age and stakeholder groups

Step 10: *Evaluate* and revise national drought management policy and supporting preparedness plans

Summary and Conclusion

For the most part, previous responses to drought in all parts of the world have been reactive, reflecting what is commonly referred to as the crisis management approach. This approach has been ineffective (i.e., assistance poorly targeted to specific impacts or population groups), poorly coordinated, and untimely; more importantly, it has done little to reduce the risks associated with drought. In fact, the economic, social, and environmental impacts of drought have increased significantly in recent decades. A similar trend exists for all natural hazards.

The intent of the drought policy development and planning process included in this paper and referenced (IDMP, 2014) is to provide a set of generic steps or guidelines that nations can use to develop the overarching principles of a national drought policy that is integrated across sectors and aimed at risk reduction through a national drought policy commission. This policy would be implemented at the sub-national (i.e., provincial, state or local) level through the development and implementation of drought mitigation and preparedness plans that follow the framework or principles of the national drought policy.

Following these guidelines, a nation can significantly change the way they prepare for and respond to drought by placing greater emphasis on proactively addressing the risks associated with drought through the adoption of appropriate mitigation actions. These guidelines are generic in order to enable governments to choose those steps and components that are most applicable to their situation.

The risk assessment methodology embedded in this process is designed to guide governments through the process of evaluating and prioritizing impacts and identifying mitigation actions and tools that can be used to reduce the impacts of future drought episodes. Both the policy development process and the planning process must be viewed as ongoing, continuously evaluating the nation's changing exposure and vulnerabilities and how governments and stakeholders can work in partnership to lessen risk.

References

- HMNDP. 2013. Final Declaration from the High-level Meeting on National Drought Policy. (<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/hmndp13/>)
- IDMP (Integrated Drought Management Programme). 2014. National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action. Prepared by D.A. Wilhite. Global Water Partnership and the World Meteorological Organization. (<http://www.droughtmanagement.info/>)
- UNISDR. 2009. Drought risk reduction framework and actions. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. Geneva, Switzerland.
- Wilhite, D.A. 1991. Drought planning: A process for state government. *Water Resources Bulletin* 27(1):29–38.
- Wilhite, D.A., M.J. Hayes, C. Knutson, and K.H. Smith. 2000. Planning for drought: Moving from crisis to risk management. *Journal of the American Water Resources Association* 36:697-710.
- Wilhite, D.A., M.J. Hayes, and C.L. Knutson. 2005. Drought preparedness planning: Building institutional capacity (Chapter 5). In: D.A. Wilhite (ed.), *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 93-136.
- WMO/GWP Integrated Drought Management Programme (IDMP) (2014) National Drought Management Policy Guidelines – A Template for Action (D.A. Wilhite). Tools and Guidelines Series 1. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden.



**Recherche biomédicale
et en santé au Maroc :
propositions pour une relance**

Recherche biomédicale et en santé au Maroc : Propositions pour une relance

T. CHKILI, R. EL AOUAD, C. GRISCELLI, S. NADIFI et A. SEFIANI

Membres du Collège des sciences et techniques du vivant



Taïeb CHKILI



Rajae EL AOUAD



Claude GRISCELLI



Sellama NADIFI



Abdelaziz SEFIANI

Ainsi que cela a été indiqué dans la première partie de cette étude (cf. Bulletin N°15, juin 2014, pp.49-57), l'examen attentif de tous les indicateurs de la recherche biomédicale et en santé (RBMS) au Maroc (ressources humaines, ressources financières, qualité de la production scientifique, formation, etc.), permet de constater que durant les douze dernières années, ce secteur a connu une régression significative et qu'il continue de souffrir d'un certain nombre de faiblesses et de dysfonctionnements. C'est pourquoi la communauté scientifique médicale et les décideurs politiques se doivent de donner aujourd'hui un nouveau souffle au système de recherche en santé pour l'adapter aux nouveaux enjeux et d'en faire un véritable levier de développement. Une stratégie claire ainsi que des plans d'action sur les court, moyen et long termes s'imposent.

I. Définition d'une stratégie nationale

Cette stratégie devrait s'efforcer d'atteindre les sept objectifs suivants :

1. Faire de la recherche biomédicale et en santé un choix national stratégique, conforté par une volonté politique au plus haut niveau de l'Etat. Les budgets qui lui sont alloués sont des investissements, pouvant avoir non seulement un impact positif sur l'état de santé de la population et garantir le droit à la santé, mais aussi une importante rentabilité économique.

En effet, alors que la pratique médicale est de plus en plus fondée sur les progrès des connaissances et des technologies, et que la valorisation des résultats de la recherche ainsi que l'innovation contribuent de façon significative à l'amélioration de l'état sanitaire, social et économique des populations, l'investissement dans la recherche peut avoir un impact important sur la croissance économique.

2. Considérer que la recherche biomédicale et en santé joue un rôle-clé dans l'amélioration de la qualité de la formation médicale et paramédicale.

3. Orienter la recherche biomédicale et en santé vers l'excellence, l'ouverture et la compétitivité internationale dans tous les champs disciplinaires. Les actions suivantes seraient dès lors indispensables :

- allocation des ressources humaines et financières aux équipes les plus performantes ;
- incitation des équipes de recherche à se regrouper et à répondre à cette exigence de qualité, grâce à une plus grande ouverture, au travail collaboratif et à la pratique de la multidisciplinarité,
- respect de l'éthique et de la transparence ;
- adoption des indicateurs de performance permettant une évaluation objective des activités de recherche, menées dans le cadre d'une synergie entre recherche fondamentale et recherche- développement.

4. Définir le processus d'établissement et d'actualisation des priorités nationales en santé, en tenant compte des données démographiques et épidémiologiques, des besoins du développement

sanitaire et humain du pays, afin d'identifier les grandes thématiques de recherche.

5. Adopter une politique de partenariats et de collaboration interuniversitaire concertée afin de favoriser la mise en œuvre d'actions de coopération internationale d'envergure.

6. Mettre à contribution la communauté scientifique marocaine à l'étranger pour développer des partenariats avec les grands centres de recherche dans le monde, notamment en Europe et en Amérique du Nord, et faciliter ainsi leur participation aux projets de recherche nationaux.

7. Faire de l'évaluation un instrument d'orientation et d'amélioration de la qualité et de l'efficacité de la recherche en santé.

II. Recommandations pour promouvoir la recherche biomédicale et en santé

Ces recommandations concernent :

1. les organes de gouvernance;
2. la formation initiale et continue des cadres, leur motivation et leur gestion;
3. le financement;
4. l'évaluation indépendante des projets de recherche;
5. l'encadrement éthique des activités de recherche biomédicale et en santé;
6. la valorisation des résultats de la recherche et leur contribution aux politiques de santé publique.

A. Quel type d'organisation pour la recherche biomédicale et en santé?

Les études comparatives des modes de gouvernance, notamment en France et dans les pays anglo-saxons, ainsi que les préconisations des rapports des experts européens et de l'OMS, conduisent à proposer un nouveau mode de gouvernance comprenant :

- la création, au niveau national, d'une instance spécifique à la recherche biomédicale et en santé;

- la mise en place de groupements régionaux de coopération et de mise en œuvre des projets et programmes de recherche.

1. Création d'une Agence nationale, dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière sous la tutelle du Chef de gouvernement. Cette Agence est chargée de contribuer à la politique de l'Etat en matière de recherche biomédicale et en santé. A cet effet, elle devrait:

- a. arrêter les priorités nationales, les orientations et les choix stratégiques en matière de recherche en santé, ainsi que les plans et programmes d'action pluriannuels pertinents;
- b. mobiliser et administrer les financements nécessaires à la mise en œuvre de ces plans et programmes pluriannuels;
- c. définir les normes et standards de qualité scientifique et d'éthique, et promouvoir les bonnes pratiques dans la conduite des travaux de recherche;
- d. assurer le suivi et organiser l'évaluation des plans et programmes de recherche.

Une «Fondation nationale de coopération scientifique pour l'appui à la recherche biomédicale et en santé» serait créée, sur décision de l'Agence nationale, et conformément à la réglementation en vigueur, pour mener toutes les actions de sensibilisation du public, d'appel aux dons et legs; et cela vue de renforcer les capacités des réseaux thématiques de recherche avancée et conduire des projets d'excellence scientifique. Cette fondation jouirait de la personnalité morale de droit privé, à but non lucratif, soumise aux règles relatives aux fondations reconnues d'utilité publique.

2. Groupements régionaux de coopération

Ces groupements de coopération en RBMS, représentés au sein de l'Agence nationale, ont pour mission de contribuer à la mise en œuvre des plans et programmes de recherche dans une région donnée. Ils sont à créer autour des facultés de médecine et des centres hospitalo-universitaires (CHUs); ils impliquent aussi les facultés des sciences, des sciences humaines et

sociales, ainsi que l'ensemble des partenaires publics, privés ou associatifs, actifs dans la RBMS.

B. Propositions relatives aux ressources humaines

Ces propositions sont capitales pour la relance de la recherche biomédicale et en santé ; certaines sont indiquées dans le document publié par l'Académie Hassan II des sciences et techniques, intitulé «Développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité» (2013). Il convient de souligner celles qui sont relatives : à la formation initiale et continue des chercheurs selon des standards internationaux, avec des mécanismes d'attractivité des meilleurs éléments; à une formation solide à la recherche et à l'enseignement; à une incitation à la mobilité nationale et internationale; à la maîtrise des langues étrangères, notamment la langue anglaise; à des modes transparents de recrutement et de promotion, fondés sur le mérite et la productivité scientifique.

Il convient de mettre un accent particulier sur:

- la nécessité d'une formation scientifique solide, comprenant la préparation de masters et doctorats scientifiques, en plus du doctorat en médecine, ou encore la préparation d'une thèse mixte de médecine et de sciences qui reste à développer;
- le règlement du temps plein aménagé (TPA), avec un respect strict de son exercice au sein de l'hôpital «intramuros», et, le cas échéant, sa suppression totale;
- le recrutement de scientifiques, d'ingénieurs, de statisticiens, de spécialistes en sciences humaines et sociales, de bio-informaticiens dans les groupes de recherche biomédicale et en santé;
- l'instauration - en attendant la refonte du statut des enseignants-chercheurs - d'une prime à la production scientifique évaluée d'après le nombre, la qualité des publications scientifiques et l'obtention de brevets (de tels indicateurs restent à définir).

C. Propositions relatives à la valorisation des résultats de la recherche

Comme cela a été préconisé par l'OMS et de nombreuses autres instances (InterAcademy Medical Panel, Institute of Medicine/ National Academy of Sciences/USA, Sommet mondial de la santé, Banque mondiale), dans leurs rapports respectifs, il est recommandé de promouvoir l'utilisation des résultats de la recherche dans l'élaboration des politiques de santé, l'orientation des stratégies et des interventions en santé ainsi que pour le développement de bonnes pratiques.

D. Propositions relatives au financement de la recherche biomédicale et en santé

Il est recommandé de distinguer les financements de la recherche scientifique et technique par secteur, afin d'en apprécier la proportion consacrée à la santé, qu'il s'agisse du budget de l'Etat ou des financements provenant de la coopération internationale. Il est aussi recommandé :

- d'accroître les opportunités de financement de la recherche biomédicale et en santé, par exemple grâce à l'encouragement des partenariats public- privé, l'appel aux dons et la création de fondations;
- d'améliorer la gestion des budgets alloués à la recherche biomédicale et en santé, en instaurant un système de contrôle a posteriori, en attendant que se réalise une réelle autonomie des universités et des structures de recherche qui leur sont affiliées;
- d'assurer des activités de formation des chercheurs en matière d'enregistrement de brevets.

E. Propositions relatives à la bioéthique

Le Collège des sciences et techniques du vivant de l'Académie Hassan II des sciences et techniques a constitué en 2012-2013 un groupe de travail relatif à la bioéthique. Ce dernier a rappelé que les applications de la recherche dans les sciences de la vie et de la santé laissent entrevoir de grandes possibilités d'amélioration de la santé et du bien-être des individus et de l'humanité ; elles

suscitent aussi des inquiétudes et des craintes. D'où la nécessité d'une réflexion de nature éthique pour accompagner les recherches sur le vivant et anticiper l'impact de leurs applications. Cette réflexion éthique est partie intégrante de la conduite de ces investigations.

Si les dons d'organe (sang, rein, cornée) au Maroc sont régis par la loi et ne posent pas de questionnement majeur en termes d'éthique, la thérapie génique et tissulaire, l'assistance médicale à la procréation (AMP) préoccupent les professionnels et le grand public. Pourtant, l'absence de débat sur la bioéthique au Maroc contraste avec l'installation et le développement de la culture bioéthique dans des pays de niveau social et économique similaire à celui du Maroc (par exemple, Tunisie, Egypte, Cameroun, Equateur, Liban, Chili et Bulgarie). Le Maroc devrait se doter d'un «Comité national consultatif d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé». Une proposition a été faite dans ce sens au Secrétaire général du gouvernement; elle insiste sur l'urgence de la création de ce comité, car en son absence la recherche en sciences de la vie et de la santé ne pourra pas réellement progresser.

III. Conclusions

A l'instar de la recherche scientifique et technique en général, la recherche biomédicale et en santé doit être aujourd'hui relancée pour qu'elle soit :

- plus adaptée aux nouvelles réalités sociales, démographiques, épidémiologiques et sanitaires du pays;
 - mieux encadrée par les priorités nationales;
 - planifiée sur le court et le moyen termes;
 - financée de manière appropriée;
 - exécutée, évaluée et valorisée afin de servir d'outil d'orientation des politiques publiques; et;
 - encadrée juridiquement sur le plan éthique.
- Cette relance indispensable implique :
- la réorganisation des instances nationales de gouvernance de la recherche et, en particulier, la création d'une Agence nationale, dotée de la personnalité morale et de l'autonomie budgétaire et financière, assurant la gouvernance globale de ce secteur, la définition des priorités nationales, la proposition des lois de programmation et le financement;
 - la création autour des facultés de médecine et des CHUs, de groupements régionaux de coopération, d'harmonisation et d'utilisation optimale des moyens disponibles;
 - la mise en place d'une instance d'évaluation réellement indépendante, qui constituerait un élément important du Système de recherche national, garantissant l'efficacité et la qualité des activités de recherche-développement.



L'AVCI, facteurs de risque et impact

L'AVCI, facteurs de risque et impact *

Sellama NADIFI ¹, avec la collaboration du GMRAVC ²

1- Membre du Collège des sciences et techniques du vivant

2- Groupe marocain de recherche sur l'AVCI



INTRODUCTION

Les accidents vasculaires cérébraux (AVC) représentent un problème majeur de santé publique. Ils constituent la première cause de handicap acquis chez l'adulte, la deuxième cause de démence (après la maladie d'Alzheimer) et une cause majeure de dépression tant chez les patients que dans leur entourage. Ils exposent à un risque élevé de décès au cours des premiers mois et à long terme à des séquelles qui peuvent être tragiques par leurs conséquences physiques, neuropsychologiques, familiales et professionnels.

Les AVC faisaient partie, il y a 20 ans, des pathologies médicales mobilisant peu de ressources techniques et humaines car atteignant les sujets âgés et ne disposant pas de thérapeutiques efficaces. Le développement de l'épidémiologie de populations des AVC a permis de démontrer qu'ils n'étaient pas l'apanage du sujet âgé et que 25% d'entre eux survenaient avant 60 ans et en période d'activité professionnelle.

Si d'importants progrès ont été réalisés durant ces dernières années dans le domaine de leur prise en charge diagnostique et thérapeutique et de leur prévention, leur traduction sur le terrain prend un retard inquiétant. Il en résulte le maintien à domicile des malades, des hospitalisations tardives, des retards de prise en charge intra-hospitalière, une quasi-absence de structures spécialisées et de graves insuffisances dans la prise en charge diagnostique et thérapeutique en milieu hospitalier.

A l'occasion de la journée Mondiale des «AVC», le Collège des sciences et techniques du vivant (CSTV) de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, en collaboration avec le Groupe Marocain de Recherche sur l'AVCI «GMRAVC», a organisé le 28 octobre 2014 une journée dédiée aux AVC avec comme thème : l'AVCI, facteurs de risque et impact. Cette manifestation a impliqué la communauté des chercheurs et des experts nationaux dans les domaines de la neurologie, de la cardiologie, de la génétique et la biochimie métabolique.



SYNTHESE DES PRESENTATIONS

1- L'enquête épidémiologique populationnelle

L'étude épidémiologique a été faite en deux étapes, une pré-enquête qui avait pour objectif de valider le questionnaire et la faisabilité de l'enquête, puis l'enquête proprement dite. Ces deux étapes ont été réalisées par des enquêteurs

et des jeunes neurologues des deux services des CHU Rabat et Casablanca.

1-1- la Pré-enquête : afin d'étudier la pertinence du questionnaire et avoir une expérience du terrain, nous avons mené une enquête pilote en octobre 2008. Elle a concerné 600 ménages soit 2500 personnes de milieu urbain et rural.

Pour évaluer la sensibilité et la spécificité du questionnaire, tous les ménages qui ont signalé la présence d'un AVC ont été visités par les neurologues afin de confirmer ou pas les données rapportées par les enquêteurs.

La spécificité et la sensibilité du questionnaire ont été évaluées en utilisant la méthode proposée par Gouri-Devi et al (1997). Ainsi, nous avons trouvé que la sensibilité était de 100% en milieu

* Rapport et recommandations de la journée organisée le 28 octobre 2014 par le Collège des sciences et techniques du vivant.

rural et urbain et la spécificité de 76,4% en milieu urbain et de 76,1% en milieu rural.

Le comité d'éthique de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Rabat a approuvé cette étude. Étant donné qu'une proportion importante de la population enquêtée est illettrée, les participants à l'enquête ont été invités à donner leur consentement après avoir écouté une note de présentation de l'étude lue en arabe dialectal. Seuls 3% des ménages ont décliné leur participation à cette enquête.

Toute l'analyse statistique a été réalisée en utilisant STATA 11.0 [StataCorp. 2009. Stata Statistical Software: Release 11. College Station, TX: StataCorp LP].

1-2- l'enquête épidémiologique a été réalisée entre novembre 2008 et avril 2009. Elle a concerné la Wilaya de Rabat-Salé-Zemmour-Zair (milieu urbain et rural) et le Grand Casablanca (urbain). L'échantillon enquêté est un échantillon stratifié et aléatoire. Il a été constitué avec les experts de la division des statistiques du Haut-Commissariat au Plan. L'enquête s'est déroulée en deux étapes. La première étape a été assurée par des enquêteurs pour recueillir des données démographiques, socio-économiques, nutritionnelles et médicales et dépister un éventuel AVC ou un décès par AVC. La deuxième étape est réalisée par des neurologues qui avaient pour tâche de confirmer ou non le diagnostic d'AVC ou le décès par AVC.

Lors **de la première étape**, les enquêteurs ont fait du porte-à-porte et ont interrogé les membres des ménages, en utilisant un questionnaire composé de quatre parties. La première partie a été focalisée sur la composition du ménage : l'âge, le sexe, le statut matrimonial, l'occupation, et le niveau d'instruction. La deuxième partie incluait des questions relatives à l'état de santé. Elle a précisé les antécédents de maladies chroniques telles que l'hypertension artérielle, le diabète, une maladie cardiaque, respiratoire, rhumatismale ou des troubles neuropsychiatriques (dépression,

anxiété). Le style de vie a été apprécié par des questions sur les habitudes alimentaires, l'activité sportive, la consommation d'alcool ou l'usage du tabac. La troisième partie a permis d'apprécier le niveau économique des ménages (type de logement, présence ou non d'électricité, d'eau courante, de sanitaires, les biens possédés: télévision, réfrigérateur, téléphone, voiture, etc). La quatrième partie a utilisé un questionnaire médical spécifique pour repérer les ménages ayant un malade présentant un AVC ou un antécédent de décès par AVC.

La deuxième étape de l'enquête a été réalisée par 12 neurologues formés au diagnostic des AVC et à l'évaluation des différents handicaps; ils étaient encadrés par 4 neurologues seniors. Les neurologues ont visité tous les foyers signalés par les enquêteurs comme ayant une personne souffrant d'un éventuel AVC ou ayant eu une personne décédée d'un AVC. Ils ont examiné les malades à leurs domiciles, rempli une fiche clinique exhaustive et évalué l'état fonctionnel et l'autonomie du patient par les échelles de Rakin-modifié, Barthel et par l'échelle d'activité quotidienne, l'IADL (Instrumental Activity of Daily Living) ; l'état cognitif et l'humeur sont évalués par le MMSE (MiniMental State Examination) et la MADRS (Montgomery-Asberg Rating Scale). L'AVC a été diagnostiqué selon les critères de l'OMS (2006); nous avons considéré tous les types d'AVC mais nous avons exclu les accidents ischémiques transitoires.

Les résultats de l'étude épidémiologique ont conclu que le nombre des personnes enquêtées était de 60 031 avec 36 756 en milieu urbain et 23 275 en milieu rural, réparties en 13 000 ménages, (8 000 en milieu urbain et 5 000 en milieu rural). La prévalence globale des AVC, observée dans notre enquête, est de 284/100 000 habitants, discrètement plus élevée chez l'homme (289/100 000) que chez la femme (278/100 000) et plus en milieu rural (348/100 000) qu'en milieu urbain (248/100 000).

Taux de prévalence selon le sexe et le milieu de résidence

	Hommes	Femmes	Total	I C
Urbain	221,27	273,64	248,44	[193,72-313,78]
Rural	400,00	288,60	344,08	[260,07-445,57]
Total	288,88	279,06	283,85	[236,69-337,64]
I C	[238,17-390,01]	[199,7-336,63]	[236,69-337,64]	

Elle augmente nettement avec l'âge (2 500/100 000 après 65 ans). Cependant, 30% des cas d'AVC surviennent avant 65 ans.

	Effectif	Nbr de cas	Prévalence	IC	SEGI	OMS
> 35 ans	22449	121	539,00	[447,44-643,37]	547,74	600,36
> 55 ans	7265	103	1417,76	[1158,65-1716,84]	1757,45	1933,20
> 65 ans	3280	82	2500,00	[1993,15-3093,76]	3202,82	3765,60

Le taux d'incidence globale ajusté à la population mondiale est de 106 pour 100 000 habitants (IC: 56-92). Il y aurait actuellement 25 000 nouveaux cas d'AVC par an et leur nombre atteindrait 50 000 en 2030.

Plus du quart de ces patients meurent au cours de la première année; ceci pourrait être expliqué par la sévérité des AVC chez notre population et au manque des structures de soins à la phase aiguë. La moitié des malades ne sont pas soignés en milieu hospitalier, du fait du manque flagrant de lits de neurologie en milieu urbain et l'absence totale de soins hospitaliers spécialisés en milieu rural.

58% des patients ont un handicap neurologique important avec perte d'autonomie totale ou partielle.

Les signes cliniques retrouvés lors de l'examen neurologique étaient: l'hémiplégie (82%), l'aphasie (20%), la démence (17%) et l'ataxie dans 4% des cas.

Les facteurs de risque retenus dans cette étude sont dominés par l'HTA (55,1%), le tabac (24,4%) et le diabète (20%).

	Urbain	Rural	Total
HTA	58,6 %	50,9%	55,1%
Diabète	28,6 %	10,5%	20,5%
Tabac	30,0 %	17,5%	24,4%
Ethylisme Chronique	8,6 %	1,8%	5,5%
Cardiopathie	15,7%	21,1%	18,1%
Valvulaire	1,4%	7,0%	3,9%
ATCD d'AIT D'AIC :	13,0%	5,5%	9,5%
ATCD Familial d'AVC :	14,5%	21,0%	17,5%

L'évaluation du handicap neurologique par les échelles de Rankin-modifié et de Barthel a montré que 58% des patients ont un handicap neurologique

important responsable d'une perte d'autonomie totale ou partielle. Le handicap est plus important chez les femmes (67%) que chez les hommes (50%), il est plus sévère chez les sujets âgés de plus de 65 ans. Il est aussi plus fréquent en milieu urbain (62%) qu'en milieu rural (52%), probablement par le fait que les personnes vivant en milieu rural survivent plus rarement à un AVC grave.

Le scanner cérébral était réalisé au cours du mois suivant l'AVC chez 83,5% des patients (85,7% en milieu urbain et 80,7% en milieu rural).

En suivant la classification de Feigin et al (2003) qui classe les AVC en quatre types physiopathologiques, nous avons trouvé que les AVCI sont les plus fréquents (70,9% des cas), suivi des formes hémorragiques intracérébrales (8,7%), les hémorragies sous-arachnoïdiennes (3,9%) et les AVC d'étiologie indéterminée (16,5%).

Concernant l'hospitalisation, seuls 43,3% des patients ont été hospitalisés (45,7% en milieu urbain et 40,4% en milieu rural).

Enseignements de l'étude épidémiologique

Les AVC sont fréquents au Maroc, pour une prévalence de 282/100 000; leur nombre serait actuellement de 64 000 cas, dont plus de la moitié souffrent d'un handicap neurologique permanent, ceci est dû à la fois à l'insuffisance de la prise en charge à la phase aiguë et au manque criant de structures de rééducation dans notre pays. Les projections épidémiologiques estiment le nombre de cas en 2030 à 85 000 cas. Les AVC atteignent non seulement des personnes âgées mais aussi des adultes relativement jeunes. Ils sont plus fréquents en milieu rural qu'en milieu urbain; ceci est dû probablement au retard sanitaire encore plus important dans les campagnes marocaines que dans les villes.

L'incidence est plus élevée chez les personnes âgées. Plus du quart de ces patients meurent au cours de la première année. Du fait de la transition épidémiologique en cours au Maroc, le nombre des AVC augmentera très rapidement, il est donc urgent de mettre en place une politique de santé cohérente pour lutter contre les maladies cérébro-vasculaires.

Cette politique doit se baser sur l'information et l'éducation de la population, la prévention primaire des facteurs de risque vasculaire et leurs traitements (hypertension, diabète, tabac, cardiopathies), par un diagnostic précoce de l'AVC (qui passe nécessairement par la généralisation des scanners dans les hôpitaux généraux), l'acheminement de ces patients le plus rapidement possible vers les lieux de soins appropriés (nécessite de mettre en place des SAMU régionaux), l'augmentation de lits spécialisés de neurologie et de réanimation dans les hôpitaux généraux, la mise en place dans les services de neurologie d'unités spécialisées dans le traitement des maladies cérébro-vasculaires à phase aiguë, Unités Neuro-vasculaires (Stroke Units), qui seules permettront l'utilisation de la thrombolyse dans des conditions de sécurité pour les patients.

La thrombolyse est actuellement le traitement optimal pour soigner les AVC ischémiques à la phase aiguë en permettant de déboucher le vaisseau obstrué mais elle ne peut être utilisée que dans les 4 heures qui suivent l'installation de l'infarctus cérébral. Ce traitement est actuellement largement utilisé dans les pays industrialisés et il est en cours de développement dans plusieurs pays en développement.

Il est donc important de mettre en place des structures de médecine physique, de rééducation, réadaptation et réhabilitation (Unités de Neuro-Réhabilitation) au niveau des services universitaires et dans les centres de santé.

2- Profil clinique évolutif et étiologique de l'AVCI

Cette partie du projet avait pour objectifs d'étudier les données cliniques (neurologiques, cardiovasculaires), radiologiques et biologiques, de classer les AVCI en fonction des mécanismes physiopathologiques et de corrélérer les données

cliniques aux résultats génétiques et métaboliques.

Methodologie: il s'agit d'une étude prospective réalisée par deux services cliniques de neurologie, le service de neurologie A, hôpital des spécialités CHU de Rabat et le service de neurologie du CHU de Casablanca sur 4 années (2008-2012). Les patients étaient admis dans un délai maximal de 5 jours pour un AVC ischémique confirmé par une TDM ou une IRM cérébrale. Tous les patients ont eu une exploration cardiologique (ECG, ETT, ETSA) et un bilan biologique initial puis en dehors de la phase aiguë. L'évaluation initiale était basée sur le score de Rankin et le Score NIHSS : 3 catégories de sévérité croissante ont été définies (0; 1 à 12 et > 12) et le diagnostic étiologique était fait selon la classification TOAST (atteinte des gros vaisseaux (GV), origine cardio-embolique (OC), atteinte des petits vaisseaux (PV), étiologies combinées (EC) et étiologies indéterminées (EI)).

Les résultats ont montré que 197 patients ont été colligés dont 56% d'hommes et 44% de femmes. L'âge moyen des patients est de 60 ans, avec 48% qui ont moins de 60 ans et 14% qui ont plus de 70 ans. Le taux global d'analphabétisme est de 60%. Par ailleurs, seuls 22% des malades bénéficient d'une couverture sociale et 40% seulement ont été hospitalisés dont uniquement 2% dans les 4 premières heures. Dans la quasi-totalité des cas, le patient est arrivé à l'hôpital en véhicule non médicalisé. Le retour directement au domicile à la sortie de l'hôpital a été quasi-systématique.

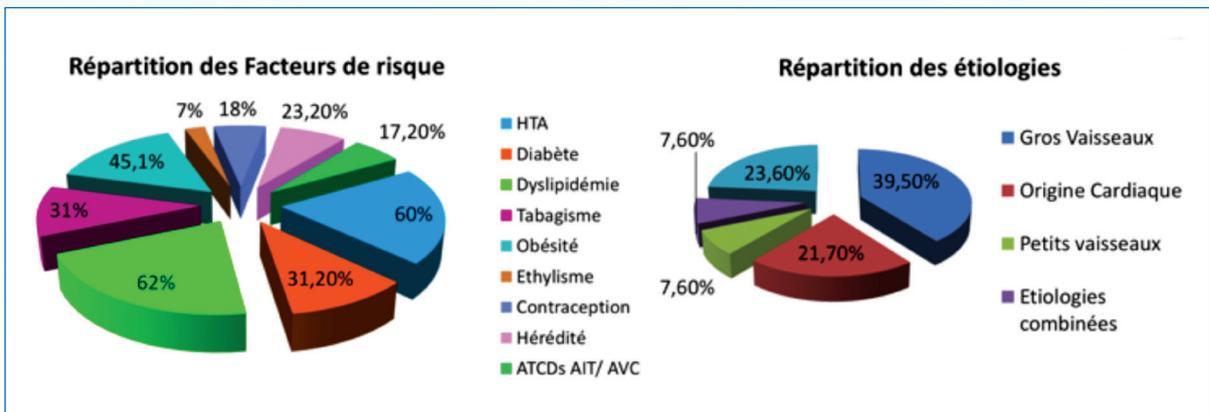
Les facteurs de gravité relevés dans cette étude sont marqués par l'hémiplégie (89%), des troubles de la vigilance (25%), le score de Rankin modifié à 4 ou à 5 dans 70% des cas et le décès précoce noté dans 13% des cas.

La répartition des facteurs de risque montrait une prédominance de la dyslipidémie (62%) et de l'HTA (60%). L'AVC était l'évènement révélateur du facteur de risque dans 11,6% des cas pour l'HTA alors qu'il était révélateur de la dyslipidémie dans 81,6% des cas. L'association d'au moins 2 facteurs de risque (en dehors de l'âge et du sexe) était notée chez 78,3% des patients et celle de 3 facteurs de risque cardio-vasculaires (FDRCV) au moins dans 40% des cas.

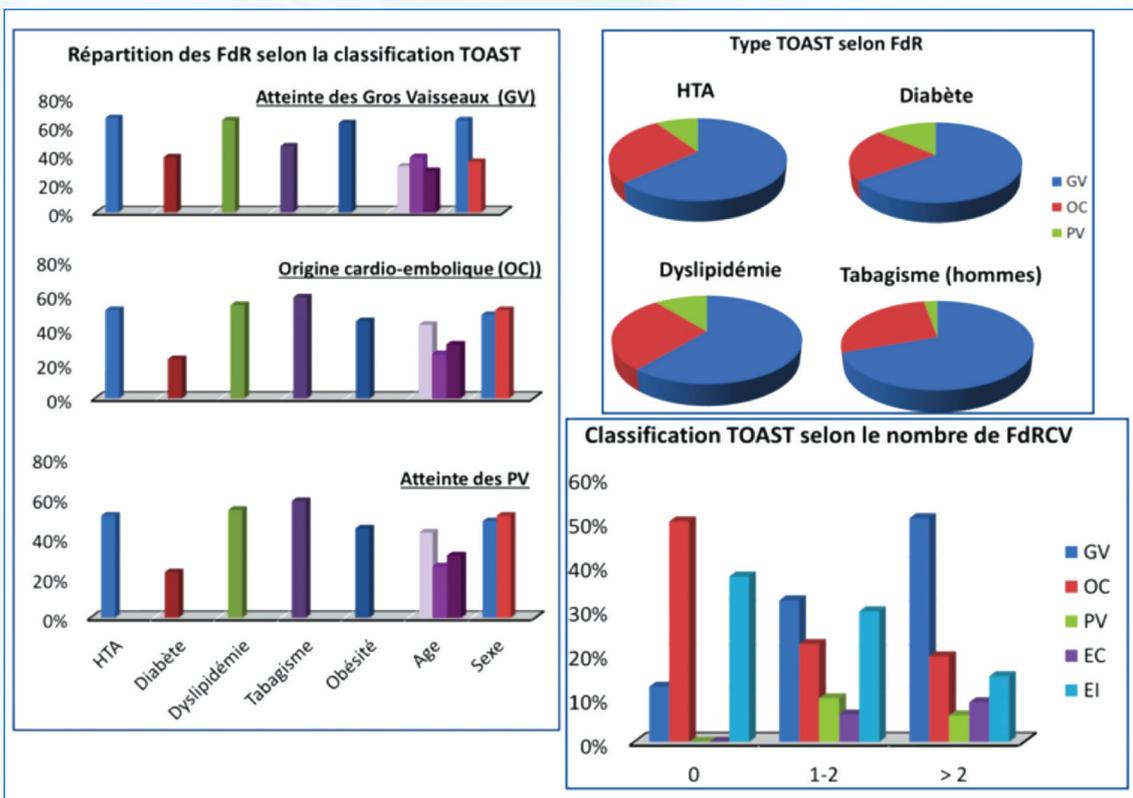
L'étude comparative de la prévalence des FDRCV entre la population générale et les patients AVC souligne le lien entre la dyslipidémie (62% Vs 45%), l'HTA (60% Vs 6,2%), le diabète (31,2% Vs 3,9%), le tabagisme (31,8% Vs 11%) et la survenue d'AVC ischémique. Une sous population de 100 patients a bénéficié d'un bilan cardio-vasculaire exhaustif et a retrouvé une origine thromboembolique dans 15% des cas d'AVC : une valvulopathie (11%), un trouble de

rythme (15%), une thrombose carotidienne (15%), une thrombose vertébrale (2%), un traitement aux AVK (9%).

La classification étiopathogénique TOAST a montré que dans près de 40% des cas, il s'agissait d'une maladie des gros vaisseaux; le mécanisme cardio-embolique était noté dans près de 25% des cas, celui des petites artères dans moins de 10% des cas.



En conclusion, on peut dire que l'AVCI a été retrouvé dans l'ensemble, sous une forme assez sévère au Maroc, avec un retard de diagnostic, une méconnaissance des signes cliniques, absence de structures à contacter en urgence (Samu, ambulances, numéro vert, etc...), absence d'unités spécialisées «Stroke Units» et absence de centre de rééducation fonctionnelle.



L'association de plusieurs facteurs de risque modifiables chez la population AVC marocaine et la place prépondérante de la dyslipidémie est à souligner. L'étude de ces facteurs de risque est à réaliser sur de plus larges échantillons. Elle constitue un préalable nécessaire à toute stratégie de prévention.

3- Etude génétique

L'AVC est une pathologie multifactorielle, dont les causes peuvent dépendre de facteurs de risque multiples, environnementaux, médicaux et génétiques.

L'étude génétique des AVC fait l'objet de plus en plus de recherche. Actuellement plus de 2300 gènes candidats sont actuellement répertoriés. Les mutations et polymorphismes des gènes les plus étudiés sont ceux qui interviennent dans des voies physiopathologiques tels que la coagulation, le métabolisme de l'homocysteine, le système rénine angiotensine, le métabolisme lipidique ou encore l'inflammation. Parmi les mutations les plus étudiées, on peut citer le Facteur V (FVL & C2491T), FII (G20210A), MTHFR (C667T), ACE (Dél/Ins), ApoE (ε4). D'autres mutations ont été explorées sans qu'il y ait de consensus (ENos, PON, LPL, FGA/FGB/FGG, F7, F13A1, vWF, F12, SERPINE1, ITGB3, PLA2, ITGA2B, ITGA2, GP1BA, AGT, NOS3, LPL, PON1, PDE4D, ALOX5AP, MTR, CBS, NINJ2), PAI 675_676delinsG.

La population marocaine est ethniquement hétérogène; compte tenu de sa situation géographique, elle a été soumise à une pression du flux migratoire à travers l'histoire. De ce fait, la population marocaine a toujours été un modèle privilégié pour les généticiens.

Notre objectif était d'évaluer l'impact de certaines mutations et polymorphismes d'une dizaine de gènes et vérifier leur corrélation avec l'AVCI. Ces mutations sont le T-1131C du gène ApoA5, G894T du gène eNOS, SG13S114 du gène Alox5AP et 4G/5G du gène PAI-1, (C667T) du gène MTHFR, FVleiden, FV (C2491T), FII de prothrombine dans la pathogenèse des AVCI au Maroc.

Nous avons mené au Laboratoire de Génétique et Pathologie Moléculaire à la FMPC de Casablanca

une étude cas-témoins randomisée sur une série de 197 patients atteints d'AVCI recrutés aux services de neurologie CHU Ibn Rochd de Casablanca et CHU Avicenne à Rabat sur la période de 2009-2012 et 185 témoins prélevés parmi des donneurs de sang volontaires bien portants et sans antécédent d'AVCI ni de troubles cognitifs.

Les critères d'inclusion des patients : il s'agissait de patients âgés de 40 ans ou plus admis aux services de neurologie de Rabat et Casablanca avec AVCI confirmé.

Les critères d'exclusions concernaient les patients atteints d'AVCI dont l'âge est inférieur à 40 ans, les patients avec AVC hémorragiques, IDM, ou ayant des troubles psychiatriques et cognitifs. Ont été exclus également tous les patients avec dossier médical incomplet ou n'ayant pas signé leur consentement.

Les génotypages ont été réalisés à partir de l'amplification d'ADN génomique par différentes techniques de biologie moléculaire (PCR multiplex, RFLP, HRM..).

L'analyse statistique a été réalisée par les Logiciels SPSS 11.0 et MedCalc 11.5.1.0 bvba avec études d'association: Test des OR, équilibre de Hardy-Weinberg et l'étude des corrélations par le test exact de Fisher.

Les résultats de ce travail ont mis en évidence une association entre certains variants géniques et l'AVCI notamment, les polymorphismes des gènes ApoA5 (T1131C), eNOS(G894T) et Alox5AP (SG13S114T/A), FII (20210G>A), MTHFR(677C>T), FVC(C2491T). Ils pourraient être considérés comme des marqueurs génétiques indépendants de l'AVCI dans la population marocaine. Les autres variants notamment l'ACE, PDE4D, ALOX5AP 4G/5G, PAI-1 FV leiden -.1691G>A, PAI 675_676delinsG n'ont pas montré d'associations.

Nous avons également mené un travail de modélisation de ces facteurs de risque et mis en place un simulateur.

La partie génétique a permis la publication de 17 articles tous dans des revues indexées, avec soutenance de 3 thèses Es-Sciences et deux thèses de médecine et plusieurs Masters.

4- Modélisation des facteurs de risque

Le principe de la modélisation est de développer des modèles mathématiques et informatiques d'aide à la décision destinés aux experts dans le domaine médical. Ce travail a été mené pour modéliser les facteurs de risque et leur influence sur la survenue de l'AVCI. Ainsi, nous avons étudié les rôles spécifiques joués par les facteurs génétiques, biologiques et cliniques.

La première phase a consisté en la construction d'un modèle mathématique sous forme d'équations. La seconde phase consiste à calibrer ce modèle, en y intégrant des données correspondant à l'AVCI. Nous avons analysé la base de données de l'étude «Cas Témoins appariée», réalisée au laboratoire de Génétique et Pathologie Moléculaire de la Faculté de Médecine de Casablanca (LGPM). L'échantillon de départ était composé de plus 725 individus dont 195 ont un AVCI. Nous avons retiré de cet échantillon les individus de moins de 40 ans, l'échantillon restant comporte 330 individus âgés de 40 ans et plus, dont 165 malades et 165 témoins. Cette analyse a concerné 9 gènes (MTHFR, FII, ACE, FV, APOE, PAI, ENOS, APOA5, ALOX5AP).

Les données de notre échantillon ont été analysées à l'aide du logiciel de statistique le plus complet de Microsoft «XLSTAT», basée sur le langage Visual Basic. Le code de XLSTAT utilise à la fois ce code (VBA, pour l'affichage) et du code C++ (pour les calculs), compatible avec les plateformes Windows et Mac.

Nous avons utilisé le modèle de régression logistique qui permet de prédire la probabilité pour qu'un AVCI arrive (valeur 1) ou non (valeur 0) à partir de l'optimisation des coefficients de régression. Le résultat varie toujours entre 0 et 1. Lorsque la valeur prédite est supérieure à 0,5, l'événement (AVCI) est susceptible de se produire, et lorsque cette valeur est inférieure à 0,5, il ne l'est pas.

Il a été nécessaire d'étudier et d'analyser les liaisons entre chacune des variables explicatives et la variable dépendante: on a réalisé une analyse univariée; les odds-ratios calculés sont bruts. Nous avons été contraints d'essayer plusieurs stratégies afin de parvenir à un modèle final qui

devrait porter le maximum d'informations tout en ayant un nombre limité de variables, afin de faciliter l'interprétation. Nous avons opté pour les procédures les plus employées «pas à pas descendantes ou pas à pas ascendantes». Notre Modèle a consisté à modéliser la probabilité de la survenue d'un AVCI chez un individu i en fonction des facteurs génétiques.

AVCI = 1 s'il y a AVCI AVCI = 0 si pas d'AVCI,

où AVCI est une variable latente qui peut s'écrire comme la somme d'une combinaison linéaire de caractéristiques propres à chaque individu et d'un terme aléatoire.

$$AVC = \beta x_i + \varepsilon_i$$

- x est un vecteur de variables explicatives ;
- β est le vecteur associé des paramètres ;
- ε est l'aléa ;

Enfin pour calculer la probabilité, il a été nécessaire de spécifier une distribution statistique pour les ε_i . Les deux lois statistiques les plus couramment utilisées sont la loi logistique et la loi normale, qui donnent alors le modèle qualitatif binaire appelé Logit «Le modèle Logit offre un avantage car la technique d'estimation des paramètres et son fondement mathématique est relativement simple».

Le modèle Logit suppose que F suit une loi logistique.

$$P = F(x) = \frac{\exp(\beta_i x_i)}{1 + \exp(\beta_i x_i)} \quad \text{ou} \quad P = F(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_i x_i)}$$

On peut transformer cette expression de la façon suivante:

$$\exp(\beta_i x_i) = \frac{P}{1 - P} \quad \text{d'où} \quad \beta_i x_i = \ln \left(\frac{P}{1 - P} \right)$$

Le résultat de cette transformation : $\beta_i x_i$ est appelé Logit. Il est égal au logarithme de «l'odds» $\frac{P}{1 - P}$

Son expression est : $\text{Logit}(P) = \ln \left(\frac{P}{1 - P} \right)$ où P est défini sur]0 ; 1[

Remarque : l'odds est également appelé «cote»

Sur l'intervalle [0,1], la cote est une fonction croissante de P. Elle vaut 0 quand la probabilité P=0, et quand P tend vers 1, la cote tend vers l'infini. Lorsque les coefficients β_i ont été déterminés, l'expression (1) permet de calculer la prévision de la probabilité P selon les valeurs de x, en passant par le Logit $\beta_i X_i$. Ainsi, lorsque

$\beta_i X_i = 0$, alors : P = 50% $\beta_i X_i = 5$, alors : P = 99,3%

Dans ces conditions, la probabilité qu'un individu ait une AVCI s'écrit :

$$P(\text{AVCI}=1) = \frac{\exp(\beta_i X_i)}{1 + \exp(\beta_i X_i)}$$

Par conséquent, la probabilité de ne pas avoir cette maladie sera donnée par :

$$P(\text{AVCI}=0) = \frac{1}{1 + \exp(\beta_i X_i)}$$

Ecriture finale du modèle :

$$\text{AVCI} = \beta_0 + \beta_1 \text{âge} + \beta_2 \text{FII} + \beta_3 \text{MTHFR} + \beta_4 \text{APOE} + \beta_5 \text{F5C} + \beta_6 \text{ACE} + \beta_7 \text{ENOS} + \beta_8 \text{PAI} + \beta_9 \text{APOA5} + \beta_{10} \text{ALOX5AP}$$

Nous avons par la suite mesuré l'effet de variable explicative par les Odds Ratio et effet marginal et la significativité du coefficient, en utilisant le test de Wald W.

$$W = \frac{\hat{\beta}_i^2}{\hat{\sigma}_i^2}$$

Elle suit une loi χ^2

Nous avons sélectionné les variables explicatives à introduire dans le modèle. Comme pour une régression linéaire et afin de ne pas surcharger le modèle de variables sans intérêt (risque de multicollinéarité, sur-spécification, difficulté d'interprétation des résultats), nous avons procédé à un tri préalable des facteurs explicatifs en faisant des traitements bivariés entre inputs, pour éviter les redondances (donc la multicollinéarité) entre chaque input et la cible : une variable avec une p-value supérieure à 0.2 aura peu de chance d'être retenue dans le modèle multivariable. Cependant, il fallait tenir compte des connaissances théoriques et de la taille de l'échantillon (si elle

est faible, on accepte plus facilement l'hypothèse $b=0$. S'il y a beaucoup d'inputs, plutôt que de tous les introduire à la fois dans le modèle, on donnera une préférence à ceux dont la p-value est la plus faible.

Nous avons également appliqué la procédure en pas à pas ascendante (forward) qui consiste à inclure toutes les variables sélectionnées au préalable et à retirer progressivement celles qui n'apportent pas suffisamment d'information au modèle. Avec ces méthodes, on a sélectionné le modèle le plus significatif en laissant de côté les variables qui ne sont pas significatives.

Les résultats de la modélisation ont montré que les facteurs génétiques pourraient être des facteurs de risque puissant pour les AVCI. Cependant, le taux d'erreur est de $65/330 = 19,7\%$. Les courbes ROC ont été utilisées pour apprécier la valeur de notre modèle de régression logistique (valeur de l'aire sous la courbe $> 0,8$ jugée satisfaisante). Les patients observés ont été comparés aux patients estimés par ce modèle. L'analyse des courbes ROC (aire sous la courbe entre 0,81 et 0,89) montre une bonne valeur prédictive de ce Simulateur dans la population étudiée.

La statistique du rapport de vraisemblance LAMBDA est égale à 190 et la probabilité critique associée est 0. Le modèle est donc globalement très significatif; il existe bien une relation entre les variables explicatives (FII, MTHFR, APOE, F5C, ACE, PAI, ENOS, APOA5, ALOX5AP...) et la variable expliquée. Cependant, après une étude individuelle, des coefficients liés à chaque variable explicative, nous avons constaté que les gènes ACE et ENOS ne semblent pas jouer un rôle significatif dans cette analyse.

5- Etude des facteurs métaboliques

Les prélèvements ont été réalisés entre J3 et J5 après l'AVC, puis stockés à -20°C jusqu'à analyse. L'étude a été faite en utilisant l'Electrochimiluminescence ECLIA et l'Immunoturbidimétrie sur système automatisé. Les marqueurs étudiés sont ProtS-100b, NSE, IL-6, D6dimères, et la CRPus.

Les résultats obtenus ont montré que la protéine S100b NSE n'est informative que chez le 1/3 des patients. La CRP qui reflète l'état inflammatoire est

présente chez la majorité des patients, de même que le D-dimères (Processus de Fibrinolyse).

6- Expérience française

Deux conférences ont été données :

- «L'AVCI à la phase aigüe: quels modèles d'organisation pour les urgences neurovasculaires?», Pr. Thierry MOULIN, Université de Franche Comté,
- «Organisation de la prise en charge des AVC en Franche-Comté», Dr. Benjamin BOUAMRA, Médecin du RFC-AVC (Réseau Franc-Comtois des AVC).

Synthèse des discussions et propositions de recommandations à la lumière des présentations des Prs. T. MOULIN et B. Bouamra concernant l'expérience française dans la thrombolyse

La journée a permis des regards croisés très enrichissants. Les résultats du projet reflètent la pluri et multidisciplinarité du Consortium, que ce soit d'un point de vue transrationnel incluant biochimie et génétique, que transdisciplinaire (cliniciens, biologistes, mathématiciens).

Le projet dans son ensemble a abouti à une Big Data et des outils d'expertise pour l'aide à la décision.

La présentation épidémiologique a montré la forte prévalence et incidence, prévoit un accroissement de 30% à l'avenir et souligne les grosses insuffisances dans la prise en charge aussi bien à la phase aigüe que chronique de l'AVCI.

La présentation des facteurs de risque met l'accent sur un déficit flagrant de Formation/Information, particulièrement concernant le dépistage et la prévention primaire.

La présentation génétique et des biomarqueurs, montrent nettement que les technologies sont acquises et stabilisées avec un grand intérêt des phénotypes (travail coopératif avec les cliniciens et des outils de standardisation) avec possibilité de pouvoir exploiter le «SI-AVC avec aide à la décision intégrée» dont dispose actuellement le laboratoire de génétique de Casablanca.

Il est nécessaire, en terme de prévention, de mutualiser les ressources et d'opter pour une stratégie nationale intégrative incluant la

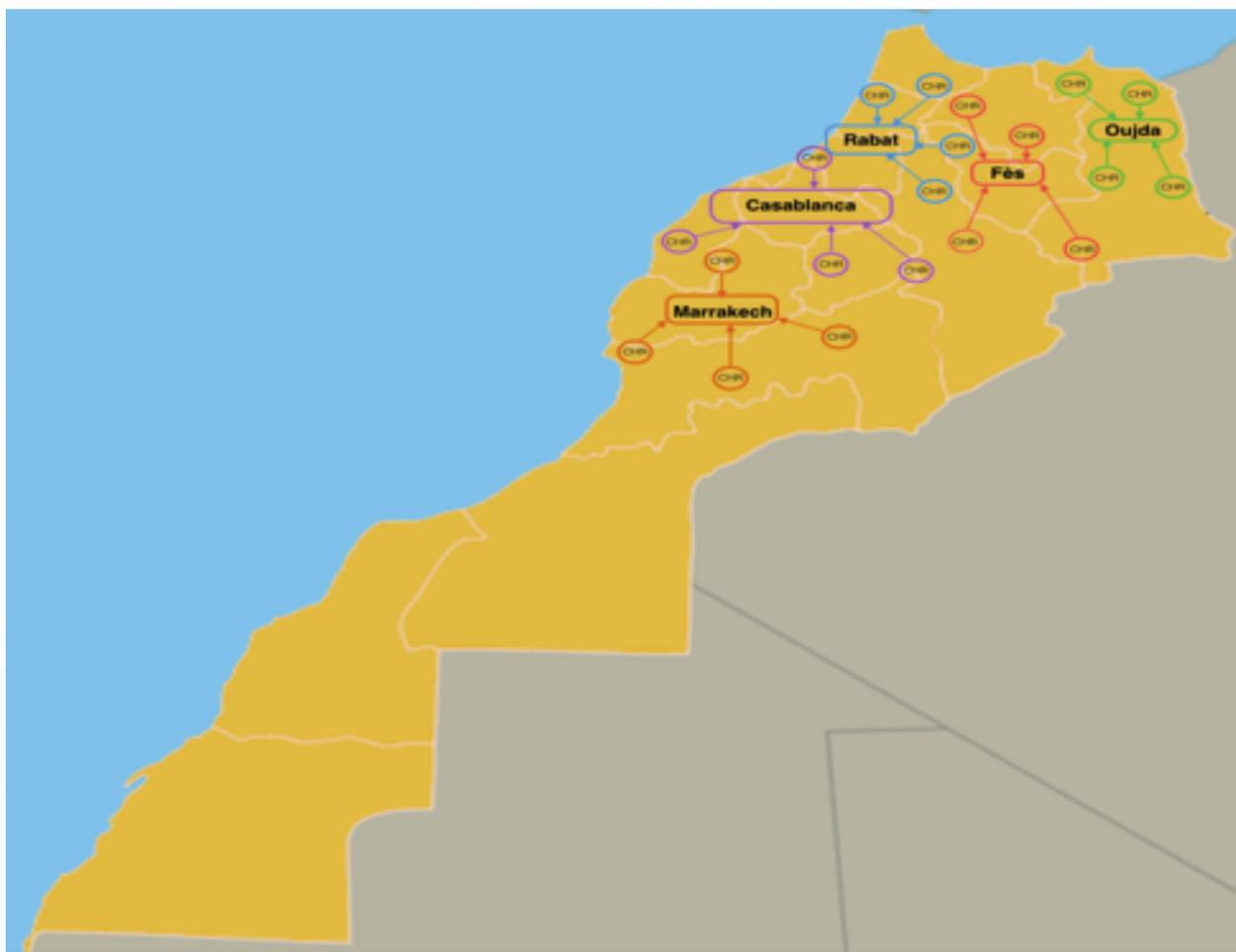
prévention de l'AVCI à celle des cardiopathies, de l'insuffisance rénale, du dépistage et du traitement de l'HTA, du diabète et des dyslipidémies. La sensibilisation, l'information des professionnels et des populations devraient constituer le premier maillon de la chaîne.

Il est urgent d'adopter une stratégie de santé adéquate en matière de gestion de l'AVCI à la phase aigüe et de favoriser la mise en place d'Unités d'Urgence Neuro-Vasculaire (UNV) afin de développer la thrombolyse et de réduire la morbi-mortalité liée à l'AVCI. On pourrait imaginer la création d'un réseau progressif de prises en charge des AVC, en 1^{er} étape avec les CHU (Rabat, Casablanca, Oujda, Marakech, Fès), et en 2^{ème} étape pour les centres hospitaliers régionaux en développant la télémédecine avec les CHU (stroke wards).

La mise en place des outils de télémédecine d'emblée est urgente pour faire diffuser les compétences neurologiques à partir des CHU (TeleStroke in Morocco).

Pour respecter le délai de 4h30 et faire bénéficier une proportion plus large de la population, la télémédecine déclinée en «téléStroke», telle qu'elle a été adoptée dans divers pays dont la France, apparaît comme une solution judicieuse. Cela consiste en la création de réseaux progressifs centrés sur les divers CHU et intégrant les centres hospitaliers régionaux (TeleStroke in Morocco).

La mise en place des outils de télémédecine, et cette organisation en réseau permettent l'admission et le bilan du patient dans le CHR de proximité. L'examen, l'analyse de l'imagerie et la prise de décision de la thrombolyse s'effectueraient en collaboration et à la lumière de l'expertise du centre de référence universitaire. A ce niveau également, la multidisciplinarité, le transfert et le partage d'expériences sont fondamentaux. Nous pourrions bénéficier du soutien des sociétés françaises de Neuro-Vasculaire et de télé-médecine (SFNV, SFT-Antel). C'est aussi une opportunité d'ouverture sur le monde de l'entreprise et sur le savoir-faire marocain: associer des compétences technologiques (ingénierie électronique, informatique, mathématique, ...) à un projet médical. L'Académie pourrait, de part sa vocation, soutenir ce travail de recherche opérationnelle.



«Télé Stroke in Morocco» : schéma de mise en place des premières unités d'urgence neuro-vasculaires (UNV).

Le dernier point souligné lors de cette journée est l'insuffisance des moyens de prise en charge de l'AVCI à la phase chronique, notamment en médecine rééducationnelle et ce, aussi bien en centre de rééducation de proximité qu'en lits hospitaliers de moyen et long séjour en médecine réadaptationnelle et qu'en ressources humaines (MPR, kinésithérapeutes, psychologues, orthophonistes....).

Enfin, les participants marocains de tous bords et les invités étrangers ont souligné :

- l'intérêt capital d'une telle enquête;
- la pertinence du consortium créé;
- la nécessité et l'urgence de conjuguer tous les efforts afin de mieux répondre à ce problème sanitaire majeur actuel et surtout futur.



Genomics & Cancers

Genomics and cancers A summarized review

A. SASSON

Director, Hassan II Academy of Science and Technology, Life Sciences and Biotechnology Section



What is cancer?

Hopes were high when Richard Nixon declared war on cancer in 1971. But over 45 years later ca. 15 million people worldwide still die from the diseases that fall under the broad name of cancer. Can it therefore be said that the war on cancer has failed? No, says Paul Marks in his book *On the Cancer Frontier: One Man, One Disease, and a Medical Revolution*, co-authored with James Sterngold and published in 2014. According to the former head of Memorial Sloan-Kettering Cancer Center in New York, the goal should be containment, not victory, because the enemy is uniquely intractable. "Medical science has never faced a more inscrutable, more mutable, or more ruthless adversary", wrote P. Marks who has taken part in many of the developments that have enhanced the understanding of the disease.

Cancer is actually a term that embraces hundreds of specific ailments caused by an even larger number of genetic and epigenetic traits. Cancer is not just one disease, it is hundreds, potentially thousands. And not all cancers are caused by just one agent – for instance a virus or a bacterium that can be destroyed. Cancer is an intricate and potentially lethal collaboration of genes that do not function correctly, of cell-growth inhibitors gone missing, of hormones and epigenomes changing and cells escaping any control. "This disease is much more complex than we have been treating it, and the complexity is stunning," stated Phillip Sharp of the Massachusetts Institute of Technology (MIT), a Nobel Laureate molecular biologist who studies the genetics of cancer.

The old ways of characterizing cancer by the anatomical site of its initiation (e.g. kidney or prostate gland) and the histology of its cells, seem increasingly out of date. Instead, thanks to genomics, researchers have unprecedented information on the nuclear changes which propel it. But one should make a difference between genomics and heredity. Only 10% of cancers are hereditary, but all cancers are genetical, i.e.

associated with DNA instability often caused by environmental factors (e.g. tobacco and smoking, alcohol, food, sun exposure, viruses, chemicals), and consequently not inherited from our genitors. In other words, cancer(s) is (are) always a DNA disease that is generally acquired (in 90% of cases).

For several years the analysis of certain mutations associated with the development of a cancer is being carried out. Also the mutations of gene coding for tumour-growth factors can be detected through the study of the tumour after a biopsy or surgical removal. Therapies targeting these mutations have been developed for about 15 years: monoclonal antibodies and inhibitors of tyrosine-kinase enzymes. In France, for instance, the National Cancer Institute (INCa, French acronym) has been in charge of disseminating the main first-generation genetic tests.

These tests are now considered outdated. The Human Genome Project, terminated in 2003 after 13 years of work, had resulted in the sequencing of the 3 billion nucleotide pairs of human DNA and in the identification of our 22,000 genes, starting from the analysis of a few individuals' DNA. In ten years the cost of sequencing the whole DNA has the analysis of the extreme complexity of the genetic, and therefore biological modifications, of tumour cells. The sequencing of one or two genetic markers that led to simplifications is followed by the sequencing of the whole genome of tumour cells that lead to clearcut conclusions such as: there is not one gene for cancer, but a large number of variants that differ from one patient to another. Each cancer is therefore a unique illness, that is propelled by DNA mutations and not by one punctual modification.

This complexity of the genome of tumour cells explains the rapid development of resistance to anticancer therapies and must lead to a redefinition of therapeutic strategies. Physicians need to apply cocktails of therapies targeted at several features of tumour cells, which implies that the whole DNA

of the tumour cell must be deciphered, while the present tests decipher only one millionth.

Cancer by the numbers

In 2012, worldwide, 14 million new cases of cancers have been recorded, or 182 cases per 100,000 persons. Also in 2012, 8 million deaths were caused by cancers, or 102 deaths per 100,000 persons. The most frequent cancers (per 100,000 persons) were: for women, breast cancer (43.3), colorectal (14.3) and lung (13.6); for men, lung (34.2), prostate (31.1) and colorectal (20.6). In 2014, according to the World Health Organization (WHO), ca. 15 million people died from cancers throughout the world. This figure may be higher because in many countries a large part of the population has no access to any kind of cancer diagnosis.

In the United States, according to the American Association for Cancer Research, the number of new cancer diagnoses or cases was ca. 1.7 million in 2013, compared with 1.4 million in 2005. This figure was not including non-invasive in situ carcinomas as well as skin and baso-spinocellular cancers. In 2013, the leading types of new cancer cases were: breast (235,030), prostate (233,000), lung and bronchus (224,210), colon (96,830), melanomas (81,220) and brain cancers (23,380). Cancer is the United States' most deadly disease: an estimated 580,350 people died from the disease in 2013, according to the National Cancer Institute. It has been estimated that in 2008 the costs of cancer amounted to US\$77.4 billion (medical costs) and to US\$124.0 billion (lost productivity).

The probability of developing some type of cancer over one's lifetime was estimated at 1 in 2 for men and at 1 in 3 for women, in the United States. On the other hand, more Americans who have a history of cancer (including those cancer-free and in treatment) are alive today than in the past: 10.8 millions in 2004; 12.0 millions in 2008; and 13.7 millions in 2012. Five-year survival rates are climbing: 68% in 2002-2008, compared with 56% in 1987-1989 and 49% in 1975-1977. That is why Paul Marks claimed America was winning this particular war against cancer. The death rate from cancer has fallen, although total deaths were up because of a growing and ageing population. *Cancer is now a less lethal enemy, but P. Marks doubts it can be eliminated.*

In France, in 2012, and according to the National Cancer Institute, 355,354 new cases of cancers have been recorded, including 200,350 among men and 155,504 among women. During the same year, 148,378 deaths were associated with cancers, including 85,255 men and 63,123 women. The incidence of cancer has been increasing: 362.6 cases per 100,000 men and 252 cases per 100,000 women in 2012, while mortality has been falling : 133.6 cases per 100,000 men and 73.2 cases per 100,000 women in 2012, compared with the figures recorded in the 1980s and 1990s. The most deadly cancers were in 2012: for men, lung cancer (21,300 deaths; 28,200 new cases), colorectal cancer (9,200 deaths; 23,200 new cases) and prostate cancer (8,900 deaths; 56,800 new cases); for women, breast cancer (11,886 deaths; 48,800 new cases), lung cancer (8,700 deaths; 11,300 new cases) and colorectal cancer (8,400 deaths; 18,900 new cases).

In France, cancer remains the disease where social inequality is more pronounced than in other pathologies. Reducing the social inequalities associated with cancer is the main objective of the third Cancer Plan for the period 2014-2018, presented on 4 February 2014 by the French president, François Hollande. The second Cancer Plan had also that main objective, but inequalities have not decreased. In a report published by the National Cancer Institute (INCa) and titled *Cancers in France in 2013*, it has been shown that the risk to die from cancer between the ages of 30 and 65 years was twice higher among workers than among white collars and liberal professions. Mortality due to breast cancer was lower among female white collars, while the incidence of that cancer was higher among them. These disparities were related to the various risk factors (smoking, alcohol drinking, lack of exercise, food and environment) versus the prevention behaviours (in other words with respect to the impact of the relevant health-care messages, and the capacity for these to be disseminated and followed). The disparities are therefore noted in the reliance on early or regular detection tests as well as in the access to health care. In addition the INCa mentions the so-called "intermediary determinants", such as living and working conditions. Consequently the persons belonging to less privileged social categories are exposed to a higher risk of suffering from cancer and to die because of it. The case of cancers associated with specific working conditions is

striking: in France, of the 2.37 million employees exposed to carcinogens during their work, 70% are workers, who are also exposed to the risks of smoking and alcohol drinking.

It is worth mentioning the striking increase in the number of persons suffering from breast cancer. A study published in *The Lancet* on 15 September 2011 revealed that the number of new cases of breast cancer detected annually worldwide had been multiplied by three in 30 years. The new cases of cervix cancer had also increased, but to a lesser extent: + 20 % during the same period, worldwide. Based on an analysis of the data on breast and cervix cancers, recorded in 187 countries between 1980 and 2010, American researchers from the University of Washington, Seattle, and Australian scientists from the University of Queensland, have calculated that the incidence of breast cancers increased from 641,000 cases per year to 1,643,000 cases in 2010. The number of deaths due to breast cancer also climbed up to 425,000 in 2010, from 250,000 in 1980. This increase was less pronounced and might reflect the benefits resulting from an earlier diagnosis and more effective treatments in the industrialized countries. The increase in the number of cases and deaths due to breast cancer was the result of the interaction of different factors, according to the researchers : “the increase in the number of women during the most exposed part of their lifetime and the ageing of the population which heightens the average age in most of the regions of the world.”

Regarding cervix cancers, their number reached 454,000 in 2010, compared with 378,000 in 1980; the increase in the number of new cases was higher in Asia, Latin America and Africa, while there was a decrease in the wealthier countries. The deaths due to this type of cancer have increased moderately: from 174,000 in 1980 to 200,000 in 2010. Both the American and Australian researchers have observed that 51% of the new cases of breast cancer and 76% of those of cervix cancer occurred in the developing countries. Among the women aged between 15 and 49 years, breast cancers were twice more frequent in developing countries than in the industrialized ones.

Cancer: a result of bad luck rather than of “bad” genes or environmental factors?

A paper published on 2 January 2015 in *Science* (Variation in cancer risk among tissues can be

explained by the number of stem cell divisions, www.sciencemag.org) by Cristian Tomasetti and Bert Vogelstein of the Sidney Kimmel Cancer Center (Johns Hopkins University, Baltimore), suggested that two-thirds of human cancers were caused by nothing more than bad luck. The American researchers were looking at why cancers are more frequent in some parts of the body than in others. They wanted to know if the rate was related to the frequency of division of cells in these tissues. Every time a cell replicates, there is a chance of mutation; more divisions means more mutations and perhaps more cancers. C. Tomasetti and B. Vogelstein plotted the average number of times a stem cell divides during the course of a lifetime in 31 types of tissue against the lifetime risks of cancer developing in those tissues. They found that two-thirds of the variation in cancer risk among different tissues was caused by chance mutations associated with cell divisions. This is not the same as saying that two-thirds of cancer cases are caused by chance, because the results do not offer any information about the relative rates of occurrence of the cancers in question. Moreover, C. Tomasetti and B. Vogelstein were unable to include two of the most common cancers – breast and prostate – in their analysis, because the relevant stem-cell data were not available for these.

What the study does explain is the long-known but curious phenomenon that apparently similar parts of the body suffer different rates of cancer. Thus the risk of having a malignant tumour during a lifetime reaches 6.9% for the lung, 0.6% for the brain and only 0.00072% for the larynx cartilages. Stem-cell turnover means for instance that tumours of the small intestine are twenty times less frequent than those of the colon and rectum, while basal-cell carcinomas in the skin are commoner than melanomas.

The American researchers have distinguished two groups of cancers: the first one includes 22 cancers (including those of the pancreas, melanomas and lung tumours among non-smokers) where the role of chance seemed prominent; the second one includes nine tumours (including colon cancers and lung cancers among smokers) where other factors play a significant role. Even in this second group the dynamics of tissue renewal play an “essential” role; the impact of environmental factors and genetics is added to the effect of stem-cell division rate. Regarding the cancers of the first

group, preventive measures would not be efficient and it is therefore better to rely on early detection. Conversely, prevention would be justified in the case of tumours where the role of environmental factors is prominent.

Fabien Calvo of the French Institut Gustave-Roussy and scientific director of Cancer Core Europe, which networks six European centres for cancer research, was of the opinion that the conclusions of the American researchers were quite attractive and he found their graphs impressive. "In fact their results consolidate the classical theory according to which cancers are a disease of ageing, the risks being proportional to the total number of stem-cell divisions," he stated. Fabrice Denis, an oncologist and associated researcher at the University of Rouen, north-west of France, agreed with Fabien Calvo, when he stated that "for a few years much emphasis has been laid on the exogenous causes of cancer, such as pollution and food diet, but the work carried out by the American researchers confirm that cancers are above all diseases of old persons; they also give some credit to the idea that, when life expectancy increases rapidly – which is the case for human beings where life expectancy has trebled over two centuries – biology does not follow suit."

None of this, though, is reason for fatalism. Cristian Tomasetti did make a clarification about the interpretation of the results of their work: "We have not showed that two-thirds of cancer cases are about bad luck. Cancer is in general a combination of bad luck, bad environment and bad inherited genes." Copying errors during cell division are by no means the only source of cancer-causing mutations. Chemicals that damage DNA, ultraviolet light, ionizing radiation and viral infections are all culprits too – and causes that can often be avoided by thoughtful behaviour.

Overall, according to research carried out in the United Kingdom by Cancer Research UK, a charity, 42% of cancer cases are tied to factors within an individual's control. These include smoking (which, through the carcinogenic chemicals it creates, causes 86% of lung cancer, 65% of oesophageal cancer, 37% of bladder cancer and 29% of pancreatic cancer), poor diet (51% of stomach cancer and 56% of head and neck cancer), overexposure to sunlight (86% of malignant melanomas) and infection with papilloma virus (almost 100% of cervical cancer). Obesity, alcohol and lack of exercise play also a role.

That was also the opinion of Annie Thébaud-Mony, a sociologist, honorary research director at the French National Institute for Health and Medical Research (INSERM, French acronym) and researcher associated with the Groupement d'intérêt scientifique sur les cancers professionnels (GISCO93, scientific association on professional cancers) of the University of Paris-XIII. She reacted strongly to the paper authored by C. Tomasetti and B. Vogelstein and published in *Science*, in an article published in the French daily newspaper *Le Monde* on Wednesday 7 January 2015.

She underlined that the American researchers omitted to mention that a stem cell does not spontaneously evolve into a cancer cell. This occurs further to mutations that are themselves caused by exogenous carcinogenic factors, e.g. asbestos, ionizing radiation, diesel fumes, pesticides and other toxic compounds whose carcinogenic effect has been known for a long time. The second comment made by A. Thébaud-Mony dealt with the social disparities within the French population (and also most likely in the American population) regarding the occurrence of cancers in the various social categories, e.g. a worker runs a much higher risk (10 times) of dying from cancer (and before the age of 65) than a highly qualified civil servant or engineer or scientist. According to an inquiry carried out by the French labour ministry, named Sumer 2010, workers are ten times more exposed to carcinogenic factors in their working conditions than highly qualified civil servants.

Finally, A. Thébaud-Mony highlights the fact that cancer which affects an individual is the result of the repeated exposure to toxic agents during his/her personal life, behaviour and lifestyle, and of the body's defence reactions which are extremely variable among individuals. The more frequent is the presence of toxic compounds during daily life, the more numerous are the mutagenic or carcinogenic effects of each one of these compounds, as well as the synergy between them and the ways these processes interfere with the body's defence mechanisms. A. Thébaud-Mony's main conclusion is that the statistical work carried out by the American researchers, once again, tends to underestimate the lethal effects of exogenic factors associated with industrial risks. She even added that this kind of published scientific work and its impact on public opinion support the contaminating industries' cause. In her

opinion, cancers can be avoided to a very large extent if carcinogenic compounds are completely eliminated in the working place, the environment and from of a wide range of products (e.g. foodstuffs, cosmetics, genetically modified crops).

Regarding the role of genes that make persons susceptible to cancer, it should be underlined that they are involved in 5% to 10% of cancers and their inventory is far from being terminated. Human genomics discoveries will therefore shed new light on the occurrence of cancers and tumour cells. Without underestimating the role and impact of genomic factors, many oncologists agree that the impact of some exogenous factors such as tobacco remains a major one: for instance, in the case of lung, the "spontaneous" risk is multiplied by 70. Tobacco, which plays a significant role in 17 types of cancer, causes more than 20% of deaths caused by these diseases globally.

Sequencing tumour-cells' genomes

On 20-22 March 2012 was held in Cannes, southeast of France, the sixth scientific conference of the International Cancer Genome Consortium (ICGC) which started in 2008: 14 countries, including France, have launched a vast programme of sequencing the genomes of the main types of cancers. Initially 47 projects were to be carried out in order to determine the genetic basis or identity of various cancers. To that end, the analysis of tens of thousands of individual tumours will be necessary. Around 25,000 were proposed in the initial project, but there will be more by the end of the project because of the very fast progress in the sequencing techniques and their plummeting cost. In 2012, the cost of sequencing the genome of a type of cancer cell amounted to US\$10 million or €7,5 million, i.e. half of the foreseen initial cost. It was estimated that in 2015 this kind of work would be carried out in two hours at a cost of less than US\$1,000. It should be emphasized that the whole sequencing of a tumour cell's genome generates a very huge number of data, the analysis of which relies on supercomputers.

With the current classification of tumours, a type of cancer sometimes includes tens of distinct diseases, prognoses and health-care approaches. For instance, lung tumours are subdivided into epidermoid carcinomas, adenocarcinomas, small-cell tumours, etc. According to Fabien Calvo, "the genetic approach will enable the physicians to

improve their diagnosis and to optimize therapeutic strategies, thanks to targeted therapies. In the medium or long term, biomolecular analysis will replace the histological test which is presently used to define the tumours."

At the time of the ICGC conference in Cannes (March 2012), more than 22,000 tumour samples had been sequenced. The sequencing work included not only the tumours' genes, but also their epigenome and their transcriptome (messenger RNAs from the expressed genes). The existing colossal data-base is available to the scientific community. As underlined by F. Calvo, "a cancer can involve about 1,000 mutations, which are of a diverse nature: nucleotide change, deletion, etc. But one has to distinguish the anomalies that are important from those which just express genetic instability." In the early 2000s, herceptine, a monoclonal antibody, has been used in targeted therapies in 20% of breast cancers with a mutation on the HER2 gene. Since then 15 other molecules had been authorized in targeted cancer therapies, and in 2012 about one hundred of similar anticancer drugs were being developed.

British researchers presented at the ICGC conference their findings concerning mutations – like those of the Pi3kinase – that are specific to some breast tumours with a good prognosis. The French research team of Jessica Zueaman-Rossi, on the other hand, has been studying 24 types of liver cancer and has identified a genotoxic signature of liver tumours associated with excessive uptake of alcohol or with overeating. According to F. Calvo, "such strategy enables the researchers to trace back the origin of cancer development and to identify different mechanisms depending on the causal factors; that will be particularly useful in the case of environmental toxic compounds, where the epidemiological analysis is not sufficient to make a clearcut judgement.

The Cancer Genome Atlas, a project launched by the United States' National Institutes of Health (NIH), part of the ICGC, has assembled genetic data on thousands of tumours and had made them available to anyone who wants to analyze them. Two papers, published in September 2013 in Nature Genetics, are early fruits of that endeavour. One study carried out by Rameen Beroukhim of the Broad Institute in Cambridge, Massachusetts, looked at cancers with an unusual number of copies of certain sections of their DNA. R. Beroukhim

examined 4,934 specimens from 11 traditionally defined types of cancer and found 140 regions of DNA that were sometimes either multiplied repeatedly or deleted altogether. Only 35 of these regions contained either genes known to suppress tumours or those, known as oncogenes, which when mutated trigger cancer development.

The other study, carried out by Chris Sander of Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, in New York, proposed a way of categorizing tumours by the genetic and epigenetic changes in their cells, rather than by anatomy and histology. C. Sander developed an algorithm to examine 3,299 tumours from 12 traditionally defined types of cancer. He created two overarching groups : those with somatic genetic mutations (i.e. mutations that have occurred in a person's body cells during his/her lifetime, and which are not inherited) and those, like R. Beroukhim's, which had an unusual number of copies of some sections of their DNA. Tumour cells with many somatic mutations rarely had many unusual copy numbers. But less surprising, was that within C. Sander's two main classes of cancer he recognized 31 subclasses. As cancer biologists have long suspected, tumours from the same type of tissue often had different genetic traits, while those from different tissues were frequently similar genetically. For instance, a type of lung cancer shared characteristics with a type of head and neck cancer. This has practical implications. Both diseases might be good candidates for a specific combination of drugs that are targeted to their specific combination of mutations. Increasingly, chemical trials of drugs are likely to span conventional categories of cancer by pooling those in different parts of the body that have similar genetic characteristics, and to test more than one medicine at a time.

The work of R. Beroukhim and C. Sander has been made possible thanks to advances in genomics and computational biology. These studies are just the start of better understanding cancer. Scientists at the United States' National Cancer Institute published the most complete genomes yet of the more than 20,000 genes in a set of 60 tumour-cell lines that include breast, prostate, lung and colon cancers (2013). Previous sequencing projects have focused on mapping only specific genes or discrete sets of genes that induce tumours. Scientists have used 60 cell lines to test anticancer drugs since the 1980s; 16,000

compounds have been screened and about 300 approved by the Food and Drug Administration. With the added gene-sequencing data, some of the failed candidates could be retested against previously unidentified mutations. *To take full advantage of that possibility, researchers will have to sequence thousands more tumour-cell genomes; such enhanced data-bases could produce a new generation of precisely targeted drugs.*

In fact, hundreds of tumour-cell lines are cultivated *in vitro* with a view to testing new therapeutic molecules. On 29 March 2012, two studies published in Nature describe how their genetic profile and several biomarkers could be used in order to predict anticancer-drug efficiency. In the first study, 24 active molecules have been tested on 500 tumour-cell lines; in the other study, 130 molecules have been tested on 600 types of cancer cells. The data obtained were made available in the public domain. *All these new tools aim at better targeting the candidate anticancer drugs to be tested in clinical trials, thanks to the knowledge of the genetic characteristics of the patient's tumour cells. At a later stage, this could lead to a more personalized health care and medicine.*

Specifically tailored anticancer drugs

Knowing which genes are going wrong (mutated), it would be possible to develop specifically tailored anticancer drugs. In August 2011, the United States' Food and Drug Administration approved a medicine called Xalkori (generically, crizotinib) for patients who have a particular type of non-small-cell lung cancer, the most common form of that disease. Xalkori blocks the growth of tumours caused by a mutant form of the gene encoding a signaling molecule known as anaplastic lymphoma kinase. This mutation occurs in 3%-5% of lung-cancer patients and in trials Xalkori caused a dramatic shrinkage of the tumour in around half of those treated.

However, the respite does not last. Typically, someone will respond for about a year, but after that the tumour will grow again and the disease continues on its course. This is a pattern seen very often with the new generation of drugs that genomics helped to create : they slow the disease, but only for a few months. The presumption is that further mutations are arising in a tumour all the time, and that eventually one of them makes a molecular change that nullifies the effect of the drug.

One way of restoring the sensitivity of tumour cells to Xalkori was presented by René Bernards of the Netherlands Cancer Institute at a meeting of the American Association for Cancer Research, held in San Francisco on 18 September 2011. The solution discovered by R. Bernards could be applied to many other cases in which an anticancer drug is having its effectiveness hampered by the development of resistance. It must be recalled that the mutations which cause cancer are often hidden in a large number of others that have no direct bearing on the disease. Normal DNA sequencing cannot distinguish which mutations are important for tracking cancer and which are not. But R. Bernards considers he can, by using molecules called short hairpin RNAs. The assumption was to make a hairpin RNA with an appropriate gene sequence so that it will combine strongly with the messenger RNA of a specific gene to form a double-stranded RNA molecule (double-stranded RNA does not exist in mammalian cells, but mostly in viruses; if a cell's defence mechanisms detect double-stranded RNA they destroy it, to protect against infection). R. Bernards synthesized hairpin RNAs that combined with the messengers of 20,000 genes, to see which, if any, are involved in the development of resistance to Xalkori.

He found three. *Mediator-12 (MED12)* which helps to transcribe genes from DNA into messenger RNAs. The other two genes help maintain the structure of chromosomes. R. Bernards and his colleagues looked for hairpin RNAs that restored sensitivity to Xalkori in cells whose *MED12* messengers were being blocked and they found one. Disabling the messenger of the gene that encodes a protein called TGF beta-R2, found on cell surfaces, caused cells that had once been resistant to Xalkori to shrivel in its presence. Moreover, treating these same Xalkori-resistant cells with an experimental drug designed to block TGF beta-receptors restored sensitivity to Xalkori; though it had no effect on cancer cell growth on its own.

Subsequent studies by members of R. Bernards' group have revealed that interfering with *MED12* messenger RNAs causes resistance to numerous other drugs, including Iressa and Tarceva, which are prescribed for lung cancer, Zelboraf, effective against melanoma, and Nexavar, which is used for kidney and liver cancers. If these laboratory-based results were confirmed in people then *TGF beta-*

receptor inhibitors may prove a way of extending the useful lives of many medicines.

Indeed, at least three other research teams are using short hairpin RNAs to study cancer in the same way as R. Bernards' group. One of them, led by William Hahn of the Dana-Farber Cancer Institute in Boston, has found what may be an important molecular link in the development of ovarian tumours. Turning these sorts of laboratory discoveries into treatments is a long process that often fails. However, *the work of R. Bernards and his colleagues on short hairpin RNAs is just the vanguard and, like for the Human Genome Project, it opens the way for understanding the functioning of genes involved in the generation of cancer.*

A team-based, cross-disciplinary approach to winning the war on cancer

"You no longer do science and medicine differently," stated Lynda Chin, director of the Institute for Applied Cancer Science at MD Anderson Cancer Center, in 2013. "It brings science and medicine together." In 2008, Stand Up to Cancer (SU2C) was founded: an organization started by entertainment-industry figures unhappy with the progress being made against cancer in the United States. SU2C raises money through foundations and corporate, organizational and private donors, and then grants it to teams in the form of unusually large amounts (up to US\$18 million, vs about US\$500,000 for a typical grant from the National Institutes of Health, NIH) to produce results in a short time, initially three years. All the chosen projects are monitored by the American Association for Cancer Research. An SU2C scientific committee, headed by Phillip Sharp and other renowned scientists, reviews each team semiannually. *The team model is also disrupting the normal course of business across the medical research community.* For investigators, it means changes in the way careers are developed, the way data – and especially credit for achievement – are shared. For institutions, team research means changes in contracts, compensation, titles and the path of intellectual property. For pharmaceutical companies, it means restructuring the way experimental drugs are allocated and clinical trials are conducted.

This model is being adopted by the NIH itself. Francis Collins, the NIH director, who led the team (public research) at the Human Genome

Project, stated that under his watch the 27 institutes he oversees will be less independent organizations pursuing their own goals, and more trustworthy collaborators can be teamed up to answer common and complex biomedical issues. And for patients, Ronald DePinho, president of MD Anderson Cancer Center, is adopting a similar collaborative approach and around what the world renowned institute calls its Moon Shots programme, assembling six multidisciplinary groups to mount comprehensive attacks on eight cancers : lung, prostate, melanoma, breast, ovarian and three types of leukaemia. R. DePinho is planning to receive US\$300 million annually over the next decade, thanks to reallocating existing research funds and soliciting new donations. *As in the SU2C effort, teams will be judged by patient outcomes, not by the number of research papers published.* He stated : “It is about integration across the entire cancer continuum and it is about execution. People will be judged by whether they have reduced mortality in cancer.”

This kind of institutional transformation is not easy, but it is the only way to take advantage of the fast scientific and technological advances that have occurred in just three years (2010-2012) – advances in bioengineering, nanotechnology, drug compounds and data gathering, including protein data, splicing data and mutation data. R. DePinho’s use of the moon-shot analogy is not a marketing gimmick. In 1961, when President John F. Kennedy announced that the United States was going to the moon, the idea was no longer science fiction. The physics were understood. What remained was a giant engineering project: use and apply enough funds and aerospace engineers in order to enable Neil Armstrong to put his feet on the moon. When President Richard Nixon announced the war on cancer in 1971, victory was not remotely possible. “It was as if someone had announced a moon shot in 1820,” said Lewis Cantley, head of the Cancer Center at Weill Cornell Medical College and New York Presbyterian Hospital in New York City.

Although some teams of researchers have been able to reduce to two years the time from the discovery of a specific mutation to a drug to treat it, “cancer does not wait two years,” stated Daniel Haber, director of the Massachusetts General Hospital Cancer Center. D. Haber, an oncologist, has partnered with Massachusetts

General Hospital biomedical engineer Mehmet Toner to lead an SU2C-backed team that has designed and built a smart chip device to trap circulating tumour cells (CTCs) in a blood sample. Many tumours release cells into the bloodstream; if a CTC starts to grow in another organ, that is metastasis. The breakaway cells are not easy to spot; there are a billion blood cells for everyone of them but detecting their presence is critical to stopping their spread. The device used by the research team uses antibodies to bind to certain cell proteins to isolate and capture the CTCs. It is possible the device will change the standard of care for treating several cancers, beginning with metastatic prostate cancer. *The CTC chip’s role as a trapper is also being applied to lung cancer, where mutations can help direct powerful new therapies, to see how CTCs change and evolve during the course of treatment.*

L. Cantley is a co-leader of a team backed by the SU2C that targets a mutation known as Pi3K, for phosphoinositide 3-kinase, existing in three women’s cancers : ovarian, endometrial and especially breast, which involves the Pi3K mutation in 30% of cases. L. Cantley stated : “It is the most frequently mutated oncogene in cancer.” Drug companies have long been targeting mutations like this one to develop compounds, that will interfere with the defective biochemical pathways. There are hundreds of drugs that may have some effect against some of the mutations, but there is a 95% failure rate for new products and half of phase III trials – the last step before approval – are not successful. “If I have 100 different drugs I can use in combination, then 100 times 100 is 10,000. You cannot do 10,000 trials,” stated MIT’s Phillip Sharp. But which one can you do and should you do and on which patients? Since Pi3K mutations are the most common type, those seemed like a perfect place to start for L. Cantley’s team, which is co-led by Gordon Mills of MD Anderson, along with women’s cancer specialists from Massachusetts General Hospital, Dana Farber (Harvard), Vanderbilt, Columbia University, Beth Israel Deaconess and Memorial Sloan-Kettering Cancer Center. In one of the best examples of the new model, L. Cantley, Gerburg Wulf and José Baselga, proposed combining a Pi3K inhibitor with a PARP inhibitor to combat a particularly pernicious mutation in the BRCA1 gene that results in high risk for developing ovarian cancer and a severe type of breast cancer known as triple-

negative. PARP is the abbreviation for a group of enzymes that repair damaged DNA strands. *Working on mouse models, the team obtained cures for BRCA1 mutant and triple-negative breast cancers when they combined a Pi3K inhibitor and PARP inhibitor, which had never happened with other therapies.*

To move on to a human trial the team needed a Pi3K inhibitor from Novartis and a PARP inhibitor from AstraZeneca. Neither drug was approved for cancer treatment and it is unusual to conduct a trial in which two unapproved drugs are combined. Because of concerns about intellectual property and other issues, companies are wary of collaboration. The success of the Cantley-Mills team had drug firms lining up, and the result was almost without precedent : *a human trial at five institutions with two unapproved drugs from two companies within about a year of discovery.*

In the case of pancreatic cancer – whose less than 25% patients make it to one year – Daniel Von Hoff who leads a SU2C's pancreatic team with Craig Thompson, CEO of Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, has tried to improve survival rates. The focus of the 28-person team, scattered across five institutions, is to better understand the metabolic changes that characterize pancreatic cancers. It is a collaborative exercise that starts when surgeon Jeffrey Drebin at the University of Pennsylvania removes a tumour from a diseased pancreas. He carries it from the operating room to a laboratory where it is flash-frozen for preservation. A specimen is sent to the Salk Institute's Gene Expression Laboratory, where researcher Geoffrey Wahl and colleagues analyze the state of stellate, or star-shaped cells, that are usually involved in tissue repair but may play a role in cancer as well. Another sample is sent to Princeton, to the laboratory of Joshua Rabinowitz, who analyzes aminoacids, sugar and up to 300 metabolites. Team members at Johns Hopkins and Translational Genomics analyze the genome sequence.

One of the theories emerging from this team is that pancreatic cancer cells communicate with stellate cells that also show up around the tumour and ward off immune responses and build resistance to chemotherapies. The tumour cells seem to uptake glutamine and other aminoacids from the rest of the body to feed the tumour – one reason people with pancreatic cancer lose so

much weight. Preventing the uptake of glutamine and other aminoacids may starve the tumour. The team has also discovered that vitamin D can help stop the scarring around the cancer, giving the immune system or chemotherapies better access to cancer cells. Within two years, they have modelled, evaluated and tested an albumin-containing drug that shows promise in increasing the efficacy of treatments. They enrolled 861 patients in a phase-III clinical trial of a treatment for advanced pancreatic cancer that adds the chemotherapy drug Abraxane, and the results have been encouraging: the combination stabilized the disease in 48% of the patients, doubling the two-year survival rate, to 9%, indicating how it remains difficult to combat pancreatic cancer. Remarkably yet, a few patients had a complete remission.

Something similar was happening at MD Anderson Cancer Center, where physicians and researchers were joining forces in the struggle against breast and ovarian cancers because genetic markers have shown that these cancers are related. Altogether they are accumulating data and expertise, so that they will be able to profile all the relevant mutations. For instance, work is progressing on triple-negative breast cancer – so named because the receptors for estrogen, progesterone and a growth factor known as HER-2/neu are missing. This makes treatment difficult since those are targets for hormone and drug therapies.

More hope for other patients is coming from the new platforms MD Anderson Cancer Center had added around prevention and early detection. If a patient is genetically predisposed to breast cancer, what about other women in the family? If they are offered testing for the same biomarkers, the medical doctors could avoid big trouble by detecting any cancer earlier. Likewise, there are 94 million ex-smokers in the United States (2012), meaning they have elevated cancer risk. Subjecting each of them to an annual CT scan would catch early-stage lung cancers and reduce mortality from the disease by perhaps 20%. Given that there are 175,000 new lung cancers diagnosed every year, that is a lot of lives. But submitting all those people to a CT machine is neither practical nor even possible. *Instead, MD Anderson is developing a simple blood test for a protein marker that could, when used in combination with diagnostic imaging and risk models, detect lung cancer earlier than it is typically found.*

Working in teams is not necessarily appropriate for every aspect of cancer research. Nor it is issue-free. For instance, how long should a team be together? SU2C's initial funding is generally for three years, although some teams have secured money for additional years. The pancreatic cancer team, for instance, received two grants of US\$2 million each from the Lustgarten Foundation and SU2C for another two years. At MD Anderson Cancer Center, R. DePinho is committed to the team concept, but he is also willing to defund or change the leadership of teams that do not perform. On the other hand, the researcher, sitting alone or with a couple of postdocs in a laboratory, will always have a niche in this new approach to combating cancers.

Immunotherapy: a promising approach to mitigating cancers

At the congress of the American Society of Clinical Oncology (ASCO), held in Chicago in June 2013, with 35,000 specialists in attendance, immunotherapy was the focus of the meeting. Immunotherapy consists of stimulating the body's immune defences in order to destroy cancer cells. *It has shown promising results in the treatment of advanced melanomas and lung cancers.*

Melanoma is a malignant skin cancer whose prevalence has been increasing during the last decades and which is often cured through surgery. However, clinicians have been unable to successfully treat advanced forms of melanomas, where surgery was not possible or which are metastatic. About 76,000 Americans were expected to suffer from melanoma in 2014 and 9,700 will die from it, according to the Food and Drug Administration's experts. The latter have underlined that a major cause of the disease was exposure to sunlight.

Melanoma was known in the past to be susceptible to being subdued by the immune system. It was not therefore surprising that immunotherapy drugs had first been approved for that disease. *In 2011, a new era for immunotherapy started with the commercialization of a monoclonal antibody, ipilimumab (Yervoy, produced by Bristol-Myers Squibb) that can improve the survival of patients with an advanced melanoma.* This monoclonal antibody inhibits a receptor of T-lymphocytes, called CTLA-4, which decreases the immune response. The results of a clinical trial were revealed at the ASCO congress, regarding the association

of Yervoy with GM-CSF – a growth factor of leucocytes (Leukine, produced by Genzyme), that reduces the potential important toxicity of the monoclonal antibody. The trial included 245 patients with metastatic melanoma, half of them were treated with both molecules, and the other half received only Yervoy. The survival rate within a year was 68.9% for the first group, 52.9% for the second group; *there was therefore a significant improvement in the reduction of the death rate.*

Another immunotherapy, based on the use of monoclonal antibodies called anti-PD-1, is also promising in the treatment of several cancers, including melanomas. The receptors PD-1 (programmed death receptor 1), located on the surface of T-lymphocytes, reduce the immune response to tumours because of the decrease in the activation of T cells. Anti-PD-1 monoclonal antibodies, such as the lambrolizumab, developed by Merck, can neutralize the PD-1 receptors, as revealed by some presentations at the ASCO. When tested at different dosages in 135 patients with an advanced melanoma, lambrolizumab has induced a response among 38% of them, and this proportion reached 52% when the monoclonal antibody was used at a high dosage. These effects should be confirmed in controlled trials carried out with a larger number of patients.

On Thursday 4 September 2014, the FDA approved the commercialization of Keytruda, developed by Merck for patients with advanced melanoma who have exhausted other therapies. "This is really opening up a whole new avenue of effective therapies previously not available..." and "it allows us to see a time when we can treat many dreaded cancers without resorting to cytotoxic chemotherapy," stated Louis M. Weiner, director of the Georgetown Lombardi Comprehensive Cancer Center in Washington, D.C., and a spokesperson for the American Association for Cancer Research.

Keytruda, a monoclonal antibody known generically as pembrolizumab, that inhibits the action of PD-1, is the sixth new antimelanoma drug approved since 2011, transforming care of a disease that, once it had spread, usually meant a quick death. One of those new drugs, Bristol-Myers Squibb's Yervoy, or ipilimumab was actually the first immunotherapy approved for melanoma.

Keytruda was given accelerated approval by the FDA, allowing to reach the market without going

through the three typical phases of clinical trials needed to show the efficiency of a drug. This has allowed Merck to win a race to market in the United States against Bristol-Myers Squibb (BMS), Roche and AstraZeneca, which were in advanced stages of testing drugs that also block the action of PD-1. BMS' drug, nivolumab (monoclonal antibody), being developed with Ono-Pharmaceutical, was approved in July 2014 in Japan as a treatment for advanced melanoma.

Keytruda was approved on what was essentially an extra-large Phase-I trial involving 173 participants who all received the drug, with no control group. Tumours shrank in about 24% of patients, the FDA stated, with the therapeutic effect lasting at least 1.4 to 8.5 months and continuing beyond this period in most patients. "Even the very preliminary results on a handful of patients, 20 or so, indicated a high degree of activity," stated Richard Pazdur, who oversees cancer drugs at the FDA, in an interview on 4 September 2014. Merck was now expected to conduct two controlled clinical trials to verify that the drug can extend lives and delay the progression of the disease.

Keytruda, which is administrated by infusion every three weeks, is approved for now only for patients who have first tried Yervoy. Patients also have to first try pills known as BRAF inhibitors if they are eligible for uptaking these drugs. Antoni Ribas, a melanoma specialist at the University of California, Los Angeles, stated that patients who failed to respond to both Yervoy and BRAF inhibitors would probably survive only a few months. But in a clinical trial of Keytruda that he helped conduct, 69% of patients were alive after one year including 65% of those who had tried Yervoy.

Inhibitors of PD-1, researchers indicated, activate an immune response more specific to the tumour than Yervoy does, which reduces the risk of side effects. Keytruda's labelling warns that the drug can cause immune-system reactions that could damage the lungs, colon, liver, kidney and other organs. However that warning is not inside a black box, the strongest level of caution.

Keytruda's action on the immune system may contribute to solving a century-old mystery of how cancerous cells manage to evade the body's immune system. And it may work for many types of cancer, although so far the main successes in clinical trials have come against melanoma. In

fact researchers have found that the PD-1 drugs show signs of working for some patients with lung cancer. There are also signs of effectiveness against bladder, gastric and more other types of cancer. Roger M. Perlmutter, head of research and development at Merck, stated the company was testing Keytruda in about 6,000 patients with 30 different tumour types.

The treatment with Keytruda is expensive: on 4 September 2014, Merck said it would cost ca. US\$12,500 a month or ca. US\$150,000 a year. The pharmaceutical company stated nevertheless that the price was in line with that of other anticancer drugs, albeit it seemed to be higher than some. *Many physicians who treat cancer have complained about the rapidly escalating costs of anticancer drugs, which they said could put treatments out of reach for a rather large number of patients.* On the other hand, some Wall Street analysts have indicated that collectively cancer-immunotherapy drugs could achieve annual sales of tens of billions of dollars.

Some conclusions

According to Harold Varmus, director of the United States' National Cancer Institute (NCI), Nobel Laureate (1989) of Physiology and Medicine, *the identification of tumours will still rely on tissue and molecular diagnosis. Both types of tests will coexist.* To identify a mutation associated with a tumour does not imply that treatments targeting such anomaly will be effective. On the contrary, surgery, radiotherapy and conventional drugs are curing one cancer out of two nowadays.

Fabien Calvo has emphasized the huge progress made in cancer genomics since 1976 when the first oncogenes had been discovered. Two wide-ranging programmes have contributed to this leap in our knowledge: *the International Cancer Genome Consortium (ICGC) and the Cancer Genome Atlas (CGA).* *It has been possible to establish the genetic identity card of more than 50 distinct cancers and the numerous genetic anomalies associated with them. Many of them are found in cancers affecting various organs. Also an increasing number of epimutations associated with cancers and affecting genes that interfere with the expression of many other genes, are discovered. This new area of research is expected to have a therapeutic impact quite soon.*

H. Varmus is of the opinion that we must be pragmatic and focus our research on the most frequent genetic modifications – or that enable the prediction of a cancer. In the United States there is a programme devoted to the Ras genes, that are mutated in one-third of lung and colon cancers, and in 95% of pancreatic cancers (for which there are no targeted therapies).

In France and since 2006, 28 “molecular genetics cancer platforms” have been created, under the National Cancer Institute (INCa). That was a pioneering work, and “*in 2013 some 70,000 patients had genetic tests made thanks to these platforms. France is the only country in the world that offers these tests to those who need them,*” stated Agnès Buzyn, president of the INCa. Alexander Eggermont, director-general of the Institut Gustave Roussy, Villejuif, France, has emphasized that “with 28 platforms devoted to tumour genetics, the INCa has set up an organization that the whole world praises.” “Nowadays they identify only a few anomalies, targeted by a few drugs. But in the near future, the whole sequencing of tumour cells’ genomes using high-throughput techniques will have a considerable impact on cancer therapy.” The third Cancer Plan (2014-2018), launched on 4 February 2014, with a budget of €363 million over five years (this funding has been safeguarded, compared with that of the second Cancer Plan 2009-2013), has the following objective : in 2014, a few platforms for high-throughput sequencing were to be set up; the whole tumour-cell sequencing will be carried out in 3,000 patients in 2015, 10,000 in 2017 and 50,000 in 2019, according to A. Buzyn.

Those achievements and prospects would propel France as the most advanced country in the world in personalized medicine and in large-scale clinical trials in oncology. In 2014, with 9.2% of all high-level international publications in oncology, France comes fourth, behind the United States, the United Kingdom and Germany. In addition, clinical research on cancer remains another priority of the third Cancer Plan, which aims to firstly, duplicate the number of patients participating in therapeutic trials in oncology, so as to reach the number of 50,000 in 2019 ; secondly, develop early trials, with special attention to children (two centres for early trials in pediatrics will be created).

According to F. Calvo, *it has been decided that in France all patients having the same molecular anomaly, will have access to targeted therapies, whatever the organ affected by the cancer and even beyond the indications recommended for these therapies* (when they received their authorization for commercialization). That is the objective of the programme called AcSé.

Which are the foreseeable progresses in cancer therapy? According to H. Varmus, to treat every tumour more specifically needs the development of more targeted therapies, that could destroy tumour cells more effectively and overcome the resistance developed by these cells to those treatments. Another challenge deals with the improvement of anticancer immunotherapies. We also must understand why only some patients are sensitive to them. Finally, *we should reduce the costs of these treatments so as to extend them to the largest number of patients.* F. Calvo indicated that in 2014 there were 20 drugs available to target molecular anomalies associated with some cancers. But more than 900 targeted therapies were being assessed in clinical trials. With an annual development of five to six new anticancer drugs, the expectation was to have some 50 targeted therapies in 2019. To whom should these drugs be prescribed and after which tests? To that end, the profiling of tumours using the new techniques of high-throughput sequencing must be developed. On the other hand, genomics could help understand why certain patients are cured, while others are not, after a conventional chemotherapy treatment, radiotherapy or surgery.

H. Varmus recalled that an efficient detection system of cancers reduced the incidence of the illness by 20% (average). *We therefore need to develop new diagnosis tools for the early detection of a cancer in order to be able to determine the probability of occurrence of the disease and its risks for life.* The war on cancer entails the research on such basic issues as: which are the factors that lead a cancer cell to leave its primitive site to form a new tumour elsewhere in the body (metastasis)? Which are the tumour antigens that trigger the anticancer immune response, and the biotic factors that regulate that response? What is the impact of environment on gametes or fetal life in the development of cancers?



Réflexion sur la formation d'un enseignant scientifique

Après un an et demi d'enquêtes préparatoires, de consultations internationales et d'entretiens, la CIRUISEF (Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques d'Expression Française), qui regroupe 142 doyens et directeurs de Facultés et d'UFR scientifiques de 27 pays francophones, a organisé du 17 au 21 novembre 2014 à la faculté des sciences - Université Mohammed V de Rabat - un Colloque international sur le thème «Réflexion sur la formation d'un enseignant scientifique».

Le Colloque a été l'occasion de débattre des techniques d'apprentissage et des programmes scientifiques des enseignements du primaire au secondaire de ces dernières années.

Le secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a prononcé pour l'occasion une conférence introductive au Colloque, dont l'intitulé est : «Les liens entre la formation et la recherche dans l'enseignement des sciences».

Vu la pertinence de la thématique, nous reproduisons ci-après cette conférence, ainsi que la note de presse qui a été diffusée à la suite du Colloque.

Réflexions sur les liens entre la formation et la recherche dans l'enseignement des sciences *

Pr. Omar FASSI-FEHRI

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

**Monsieur le Ministre,
Mesdames, Messieurs,
Chers collègues,**

Je suis particulièrement heureux de prendre la parole à l'ouverture de ce colloque. Je remercie la CIRUISEF (Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques d'Expression Française) et particulièrement sa Présidente Madame le Pr. Evelyne Garnier-Zarli, pour leur invitation. Le Haut Patronage dont Sa Majesté Le Roi a bien voulu couvrir ce colloque nous honore et nous encourage; il montre toute son importance, et combien sont attendus avec intérêt ses résultats et recommandations. Je voudrais féliciter l'ensemble des collègues qui ont veillé à l'organisation et à la préparation de cette réunion, et notamment l'AUF, le Ministère marocain de l'enseignement supérieur de la recherche scientifique et de la formation des cadres, l'Université Mohamed V-Rabat, et son Président Pr. Wail Benjelloun, la Faculté des Sciences, et son Doyen Pr. Saïd Amzazi. Enfin à tous les collègues venus de l'étranger, je souhaite la bienvenue au Maroc et un bon séjour à Rabat.

Chers amis,

Je suis invité à présenter «quelques réflexions sur les liens entre la formation et la recherche dans l'enseignement des sciences». On peut penser qu'il s'agit d'une question ou plutôt d'un sujet bateau, discuté sans cesse, rebattu et répété en permanence; peut-être; je pense toutefois qu'il n'est pas mauvais de s'y attarder encore à l'occasion de ce colloque; parce que vraiment la question est au cœur de notre métier, au cœur de toute activité scientifique, et quant on sait

qu'on trouve aujourd'hui la science derrière la quasi-totalité, disons même la totalité, des activités humaines, il n'est donc pas inutile de s'y attarder une nouvelle fois; à ce sujet la Royal Society anglaise estime : *«les sciences et les mathématiques sont essentielles pour comprendre le monde et fournir les fondements de la prospérité économique»*.

Mesdames, Messieurs,

L'activité scientifique comprend deux dimensions essentielles, la production des connaissances à travers la recherche, et la transmission des connaissances à travers l'enseignement et la formation.

Dans le domaine du développement de la connaissance, disons pure, nous savons que la science évolue de manière continue; contrairement à l'évolution d'un être vivant, ou l'évolution des espèces (qui peut se terminer par l'extinction de certaines espèces), la science connaît une évolution continue et permanente dont la rapidité s'est singulièrement accrue au cours des dernières années. La transmission des connaissances doit traduire cette évolution. Prenons quelques exemples ; dans le cas de la mécanique (et plus généralement la physique), si les origines de la mécanique se perdent dans les brumes de l'histoire, car l'homme qui inventa la roue était déjà mécanicien, elle a incontestablement connu des avancées permanentes depuis des siècles, surtout depuis le XVII^e avec Galilée puis plus tard avec Newton; à l'ère industrielle l'évolution de la mécanique a été marquée par une forte interaction entre développement scientifique et invention technique, grâce à l'impact de

* Conférence inaugurale du Colloque de la Conférence Internationale des Responsables des Universités et Institutions Scientifiques d'Expression Française, Rabat, 17-21 novembre 2014.

l'aventure industrielle et du développement du machinisme, sur l'enseignement de la mécanique ou des sciences mécaniques.

A la fin du XIX^e siècle, avec la maîtrise de la plupart des phénomènes perçus sur terre (comme l'étude des corps en mouvement et des forces qui en sont l'origine, l'étude des phénomènes ondulatoires auxquels sont rattachées, l'électricité, l'acoustique, la lumière..., et l'étude de la thermodynamique (chaleur en mouvement), les physiciens croyaient qu'ils étaient près de tout comprendre, ce qui a fait écrire au poète Henri Pope ces vers :

Plongé dans la nuit noire, le monde avait grand peur

Que la lumière soit et Newton apparut,

Mais Satan patientait : il attendait son heure

Il fit venir Einstein et la lumière disparut

Aujourd'hui les sciences mécaniques vont de certaines branches frontières comme la météorologie ou la bio-mécanique, jusqu'aux révolutions du début du siècle dernier, la révolution relativiste d'une part avec Einstein, et la révolution quantique d'autre part avec les travaux de Planck, Bohr et Einstein, rejoints un peu plus tard par Louis de Broglie, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Paul Dirac, rejoints eux-mêmes plus tard par Richard Feynman qui a développé l'électrodynamique quantique et relativiste.

Avec l'expérience conduite en 1887 par Michelson et Morley sur la vitesse de la lumière, la voie était ouverte pour expliquer cette expérience et surtout conduire aux lois de la relativité, alors que les expériences de Max Planck sur le rayonnement du corps noir et l'hypothèse de la quantification de l'énergie conduisirent aux lois de la mécanique et de la physique quantiques.

Le développement des connaissances dans le monde microscopique, celui de l'infiniment petit grâce à la physique quantique est à la base de ce qui est aujourd'hui une caractéristique de notre vie; il est à la base de l'ordinateur, d'internet, de l'IRM, du laser, de l'énergie nucléaire..., comme

le développement des connaissances au niveau de l'infiniment grand, grâce à la théorie de la relativité, est à la base de notre compréhension de l'Univers.

Mesdames, Messieurs,

Ce caractère évolutif de l'activité scientifique a fait écrire à Emile Borel, mathématicien français : *«L'évolution de la science se poursuit et ne s'arrêtera que lorsque l'espèce humaine disparaîtra»*. On peut bien entendu encore multiplier les exemples de disciplines et spécialités qui ont connu et connaissent toutes, comme la mécanique et la physique, des développements extraordinaires grâce à la recherche scientifique. C'est pourquoi l'enseignement au niveau de la formation des futurs cadres, quelle que soit la spécialité, doit intégrer les dernières avancées scientifiques, réalisées par l'enseignant-chercheur lui-même, ou qui sont le résultat de la recherche scientifique mondiale. Dans certaines disciplines et certains métiers, c'est une question vitale et essentielle pour la qualité de la formation, c'est par exemple le cas des sciences médicales, pour le diagnostic médical, ou encore le cas des sciences de l'environnement, et l'étude du réchauffement climatique.

Par ailleurs, il y a incontestablement une interaction directe entre les sciences et les progrès qu'elles connaissent, et la société. Aujourd'hui par exemple l'informatique et les logiciels, développés par les mathématiciens, dominent l'activité humaine. Parfois c'est l'évolution de la société sur les plans économique, social ou culturel qui impose des changements dans les contenus des formations. Peut-on aujourd'hui par exemple former et faire des recherches dans le domaine génétique sans considérer la dimension éthique du problème, comme c'est le cas pour la question du clonage? Peut-on également, dans notre enseignement de la science politique, passer sous silence, sans réfléchir, les questions des droits humains ?

Mesdames, Messieurs,

Le rôle de l'enseignant chercheur dans toute activité scientifique d'enseignement et de

recherche, est essentiel; il est certes difficile, déjà de par sa nature, mais aussi parce que le secteur de l'enseignement est difficile à réformer et à faire évoluer. Karl Popper, un philosophe des sciences, membre de l'Académie anglaise (né à Vienne) écrit: *«réformer l'éducation est un art particulièrement difficile, il est rempli de pièges parce qu'avant de réformer l'éducation, vous devez rééduquer les éducateurs»*, et je pense que beaucoup de réformes échouent, ou ne donnent pas tous les résultats escomptés, à cause de cette difficulté.

Pour ce qui concerne les enseignants du supérieur, on ne peut qu'adhérer à l'opinion du Professeur Claude Cohen-Tannoudji, Prix Nobel de Physique, qui estime *«très difficile de séparer recherche et enseignement. L'enseignement doit être vivifié par la recherche. A l'inverse une recherche qui se développe sans qu'on fasse l'effort de la rendre transmissible, d'en faire la synthèse, d'en extraire*

l'essentiel pour la communiquer devient, de mon point de vue, stérile». Il n'y a pas d'enseignement supérieur de qualité sans recherche; un bon enseignant est celui qui régulièrement doit refondre son cours, car le sujet et la discipline ont évolué. La recherche c'est formateur.

Et je voudrais conclure les quelques réflexions en rappelant quelque uns de ce que Cédric Villani, mathématicien médaillé Fields, appelle «ingrédients», nécessaires à la naissance de nouvelles idées, nécessaires pour faire évoluer nos connaissances; ce sont : *la documentation, la motivation, un environnement propice (Silicon Valley), les échanges, les contraintes (considérées comme un élément de création comme le doctorat, un contrat, l'évaluation,...), le travail et l'intuition, et enfin la persévérance et un peu... de chance.*

Merci pour votre attention.

Synthèse du Colloque sur la formation d'un enseignant scientifique *

1- La situation est alarmante

Les programmes sont pléthoriques, vulgarisés et décousus. Les nouveaux programmes mis en place dans l'enseignement secondaire ne répondent plus aux exigences attendues (connaissance du socle des fondamentaux scientifiques universels, rigueur et capacité d'abstraction) ni pour la formation scientifique du citoyen, ni pour permettre des études de bon niveau dans l'enseignement supérieur scientifique. Qui plus est, le dialogue est pratiquement inexistant entre les concepteurs de programme des différents cycles d'enseignement.

a- Les doyens et directeurs de la CIRUISEF ont rappelé que l'apprentissage des sciences passe par l'apprentissage de la magie des mots et de la magie des nombres. Le terme «magie» utilisé ici, fait référence à toutes les techniques, les procédés et les actions et donc les compétences de l'enseignant, mais aussi à l'émerveillement devant la découverte, qu'il appartient à l'enseignant de savoir toujours renouveler.

Du primaire au secondaire, **la magie des mots** a ses disciplines -la littérature, la poésie, l'histoire, la philosophie- et ses techniques d'apprentissage -l'écriture, la lecture, la grammaire, la rédaction, la dissertation, le commentaire de texte, la synthèse, le résumé. Elle forme peu à peu l'enfant puis l'élève à comprendre, à s'exprimer, à analyser, à synthétiser sa pensée à l'oral et à l'écrit.

De matière tout à fait identique, du primaire au secondaire, **la magie des nombres** a ses disciplines l'arithmétique, l'algèbre, la géométrie- et ses techniques d'apprentissage- le calcul écrit et mental, la résolution par problèmes, le formalisme rigoureux de la démonstration, l'abstraction par le maniement d'équations. Elle forme peu à peu l'enfant puis l'élève à compter, à analyser, à

démontrer, à raisonner et progressivement à faire preuve de capacité d'abstraction.

Les disciplines d'éveil, qui lient à la fois la magie des mots et celle des nombres, comme la physique, la chimie, la biologie et la géologie, ont également leurs techniques d'apprentissage: l'observation, le questionnement, l'expérimentation, la résolution d'exercices concrets. Les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, l'esprit critique et l'intérêt pour le progrès scientifique et technique.

Car rappelons-le, les sciences expérimentales et les technologies ont pour objectif de comprendre et de décrire le monde réel, celui de la nature et celui construit par l'Homme, d'agir sur lui, et de maîtriser les changements induits par l'activité humaine. Ce domaine est construit sur un socle de lois et de principes universels, établis antérieurement, qui doivent être sus et compris avant de penser à innover en recherche fondamentale et appliquée.

b- les constats sont nombreux et illustrent une situation très fortement dégradée. Le calcul mental qui préside à l'appropriation des nombres et développe une agilité cognitive particulière a souvent disparu au profit de la calculette ou de la tablette.

Les mathématiques, discipline «verticale» et base de travail des sciences exactes - pour goûter à une théorie à un niveau supérieur, il faut avoir assimilé ce qui est enseigné aux niveaux inférieurs et acquis les automatismes qui libèrent l'esprit des procédures répétitives- sont réduites à une portion congrue des programmes.

La colonne vertébrale qui forme l'esprit d'un scientifique - à savoir l'analyse et la résolution

* Note de presse.

structurée et concise de problèmes concrets (physique et chimie) et abstraits (mathématiques), s'appuyant sur des lois et principes expliqués, sus et compris, faisant travailler l'agilité cognitive de l'élève, et ce durant plusieurs années- a disparu.

La physique, par exemple, a supprimé l'apprentissage de ces équations et se trouve du coup réduite à une explication de texte de haut niveau scientifique (comme la physique du laser, les muons, etc.), faisant appel à l'intuition faute de mieux, et se terminant par une discussion de type «café du commerce» sur les grands enjeux sociétaux: les élèves ne possèdent pas les acquis suffisants pour comprendre les concepts utilisés. Les élèves de terminale connaissent la physique du laser, alors qu'ils ignorent ce qu'est une tension ou une intensité !

Les élèves de terminale ont entendu parler de tout, possèdent une culture générale scientifique et savent se questionner, mais ne sont plus formés dans leurs fondements cognitifs au langage et à l'analyse des nombres, des signes et des équations. De ce fait, ils utilisent des mots compliqués qu'ils ne maîtrisent pas, et en arrivent à écrire ou à faire, sans se poser de question, des phrases ou des calculs sans aucun sens.

Une confusion s'est mise en place entre la «vulgarisation de la Science» et «la formation d'un esprit scientifique». Bien comprendre un article de la revue «Sciences et Vie» ne suffit pas à être scientifique.

Les programmes en sciences de la vie et de la terre (SVT) sont pléthoriques et abordent des notions et concepts scientifiques qui ne devraient être abordés qu'en licence. Les enseignants du secondaire ne peuvent traiter correctement l'ensemble du programme et des impasses majeures peuvent être faites, entraînant un savoir décousu et parcellaire de la Matière vivante et inerte.

Les résultats de l'enquête PISA¹ dans beaucoup de pays francophones, doivent interpeller les formateurs d'enseignants du primaire et du secondaire.

Enfin, pour ce qui est aujourd'hui le métier des enseignants, la technicité (la forme) a pris le pas sur le fond scientifique de la notion à enseigner et souvent l'enseignant lui-même (en particulier au primaire et au collège) ne domine pas le fondement du concept. Les enseignants ont été formés de manière trop académique et livresque, alors que la compréhension des concepts et des lois scientifiques ne peut se faire que par les travaux pratiques et la mise en situation dans la recherche. Le (trop) grand nombre de formateurs issus des sciences de l'éducation, au détriment de ceux issus des sciences exactes et naturelles, pourrait expliquer cette tendance lourde.

c- le «tout intuitif» en sciences, un concept intéressant qui a totalement dérivé

La réforme du «tout intuitif» en sciences conduit à un déclin inquiétant de l'intérêt des jeunes pour les études scientifiques, attesté par plusieurs études. En Europe, le «rapport Rocard» préconisait en 2007 de renverser la pédagogie utilisée pour enseigner les sciences à l'école, en la faisant passer de méthodes essentiellement déductives à des méthodes basées sur l'investigation afin d'augmenter l'intérêt des jeunes pour les sciences. L'idée était intéressante. Mais dans cette démarche, les pédagogues sont allés trop loin: les techniques d'apprentissage utilisées en sciences humaines remplacent les techniques d'apprentissage mises au point par les scientifiques. Faire se questionner les étudiants est bien, mais encore faut-il qu'ils possèdent certaines clés pour le faire à bon escient.

Sinon le risque est grand, dans le domaine scientifique, de passer son temps à ne réinventer «que» la roue.

En pratique, l'approche «intuitive» des disciplines scientifiques dans l'enseignement secondaire- qui se voulait attractive par sa modernité- s'est révélée désastreuse à plusieurs niveaux.

1- Programme PISA (acronyme pour «Program for International Student Assessment» en anglais, et pour «Programme international pour le suivi des acquis des élèves» en français) est un ensemble d'études menées par l'OCDE et visant à la mesure des performances des systèmes éducatifs des pays membres et non membres.

Elle a conduit les étudiants les plus faibles à croire que la physique se comprend sans effort et juste avec les mots (et les mains), les poussant à construire par eux-mêmes des modèles intuitifs (le plus souvent erronés) pour se représenter des phénomènes physiques divers et variés, et sans leur donner une idée hiérarchique des concepts de la physique. Il en est de même en chimie, où l'étude systématique du quotient de réaction disparaît des nouveaux programmes français, mais de nouvelles notions (difficiles à assimiler sans les bases) apparaissent en chimie organique : spectroscopie, stéréochimie, stratégie de synthèse, formalisme des mécanismes réactionnels.

En conséquence, leurs connaissances sont pléthoriques mais tout à fait superficielles.

Il est quand même étonnant que certains aient pu imaginer qu'un élève, durant ses douze années de scolarité obligatoire, serait capable intuitivement de retrouver et assimiler, seul ou presque, toutes les lois et tous les concepts des sciences exactes et naturelles que l'homme a mis des siècles à découvrir et à démontrer. Gardons les pieds sur terre. L'élève doit être aidé, guidé et accompagné par son enseignant qui a, par avance et aidé par tous les scientifiques du monde, classé et ordonné ses propres connaissances. On n'aborde pas les thèmes de la même manière en philosophie qu'en physique. On ne peut aborder les «équations de Maxwell» en physique comme on aborde le thème de la «liberté» en philosophie. Cela touche au fondement même des sciences. Il y a un ordonnancement dans la progression cognitive des savoirs.

2- Une cacophonie indescriptible provient du monde international de l'éducation

Tout le monde donne son avis et les hérauts des écoles de pensée s'expriment haut et fort et de manière souvent convaincante, influençant par des techniques de «marketing», les protagonistes ciblés et assénant souvent des constats nullement démontrés.

On utilise des mots à tort et à travers, sous les effets, de non seulement des modes, mais surtout à l'aune du vécu personnel de celui qui les emploie.

Ainsi les mots «innovation» et «créativité» sont perçus de manière tout à fait différente chez un musicien, un physicien voire un pédagogue.

Le mot «compétence», en particulier, fait couler beaucoup d'encre et masque les connaissances. L'affirmation qu'enseigner est juste un métier, justifiant ainsi que la forme doit prendre le pas sur le fond, la lettre devenant plus importante que l'esprit.

Dans ce contexte, la CIRUISEF insiste sur plusieurs points:

Les Sciences et les Mathématiques sont au cœur de la vie moderne. «*Ces disciplines sont essentielles pour comprendre le monde et fournir les fondements de la prospérité économique*» écrit par exemple la Royal Society dans un rapport² sur sa vision du futur.

La Russie, le Japon, la Chine, la Corée, l'Inde, l'Afrique du Sud renforcent leurs formations scientifiques alors que l'Europe³ et beaucoup de pays francophones se complaisent dans un ventre mou des intelligences émotionnelles, relayées par les journalistes de la culture, oubliant, ce que tout scientifique sait empiriquement, que l'apprentissage par la magie des nombres et des équations a renforcé des circuits neuronaux particuliers (de mieux en mieux décrits par les recherches en neurosciences) et que l'adrénaline sécrétée après la réussite d'un problème donnait, à l'élève, l'envie de recommencer.

La formation d'un scientifique en sciences exactes ne peut pas être effectuée de manière désordonnée (ni de manière trop condensée) et demande une construction verticale solide où les briques s'empilent les unes sur les autres, permettant la compréhension et l'assimilation

2- Rapport de la Royal Academy: June 2014, 118 pages, ISBN: 978-1-78252-081
<http://www.interacademies.net/File.aspx?id=25298>.

3- Lie Svein, Carl Angell & Anubha Rohatgi: 2011, Interpreting the Norwegian and Swedish Trend Data for Physics in the TIMSS Advanced Study. Nordic Studies in Education, Vol. 32, pp.. 177-195 Oslo1-78252-081.

progressives des connaissances. Une construction cognitive mal maîtrisée comporte le risque de l'approximation conceptuelle, de la confusion des principes, lois et concepts, voire de l'illusion du savoir.

Former un futur scientifique ce n'est pas lui inculquer une culture générale, comme on peut le faire dans d'autres champs disciplinaires. C'est aussi lui inculquer une manière de penser, de travailler et d'organiser son esprit et son travail. La construction d'un esprit scientifique passe par deux phases majeures : la première est l'appropriation des clefs du langage scientifique: celui du langage des mathématiques, de la physique et de la chimie fait de nombres, de signes, de symboles et d'équations et la deuxième est la répétition, année après année, de la résolution de problèmes concrets par la voie de l'analyse et de la rigueur concise et logique de la démonstration s'appuyant sur des lois et des principes universels sus et compris.

Cette colonne vertébrale cognitive et organisationnelle forme depuis des générations des femmes et des hommes pouvant exprimer leur talent dans un grand nombre de métiers, scientifiques ou non.

Le développement des capacités attendues à la fin de la terminale scientifique, ne permet plus, sauf aux très bons élèves, d'envisager sereinement des études scientifiques dans l'enseignement supérieur. Il est à craindre que seuls réussiront les élèves qui bénéficieront de bonnes conditions d'études et qui pourront se faire accompagner. En ce sens, ces nouveaux programmes (de certains pays francophones) vont probablement aggraver les différences sociales.

Il est dit dans certains médias que chacun, actuellement, peut avoir accès aux Savoirs, mais avoir accès, est-ce l'appropriation? La maîtrise? Certainement pas! La Culture, avec un grand C,

n'a jamais été le stockage des Savoirs dans un ordinateur!

Devant ce constat, les participants se sont posés des questions :

- Qui écrit les programmes?
- Ces nouvelles formations des enseignants et des élèves ont-elles été voulues? Et par qui? Des politiques? Des Etats? Des lobbies culturels, des systèmes éducatifs privés, religieux, économiques?
- Est-ce un concours de circonstances? Résultante de la rencontre d'un corps de formateurs de formateurs majoritairement non scientifiques et nourris du seul prisme de réflexion du socio-constructivisme voire du «*behaviorisme*», d'Inspections Générales ne faisant plus de recherche et instruite de manière bibliographique, de scientifiques de haut niveau consultés imposant leur seul sujet étroit de recherche, de scientifiques universitaires d'une Europe et d'un espace francophone s'intéressant peu à la formation des enseignants, car trop occupés à répondre à la pression (*publier ou périr*) qui leur a été imposée en recherche?

Les scientifiques universitaires ne prennent pas suffisamment part au débat qui accompagne les réformes actuelles, laissant la place à d'autres communautés ainsi qu'aux «*théoriciens*» du domaine scientifique⁴. Cette absence remarquée dans les commissions décisionnelles des programmes est en train de déséquilibrer à terme l'enseignement des sciences.

Les tendances actuelles mettent certains élèves en état «*innumérisme*». Ce sont des tendances lourdes de conséquences et le danger est que ces influences, dans les programmes scolaires, sont souvent irréversibles durant de longues années.

4- Certains secteurs disciplinaires des sciences de l'éducation se referment sur eux-mêmes, par l'utilisation d'un langage qu'ils sont les seuls à comprendre. Que les différents secteurs des sciences de l'éducation fassent de la recherche, c'est bien, mais qu'ils séquestrent l'ensemble de la communauté enseignante des pays, en imposant leurs travaux de recherche (sans aucune validation préalable des résultats) dans les écoles de formation des maîtres pose un problème inquiétant. Il n'est pas inutile de rappeler que les bases même de la recherche scientifique sont la validation sans équivoque des résultats expérimentaux (et leur valeur ajoutée) avant leur diffusion et leur prescription.

Les doyens et directeurs scientifiques de l'espace francophones sont inquiets et dénoncent cette idéologie diffuse du refus de la transmission (*vision rousseauiste qui voudrait «laisser» l'enfant s'épanouir dans son état naturel*) faite aux futurs enseignants dans certaines écoles de formation.

C'est un non-sens pour les scientifiques et pour les universitaires en général: car le fondement même de l'Université est de contribuer par essence au renouveau des Savoirs mais d'en organiser aussi leur conservation et leur transmission vers les étudiants et les futurs enseignants.

3- Dans les ateliers et les tables rondes, plusieurs thèmes ont été travaillés

- Une réflexion sur le socle des fondamentaux scientifiques que les élèves doivent avoir acquis à la fin du primaire, du collège et du lycée.
- Les compétences d'un enseignant scientifique. L'organisation d'une leçon scientifique.
- Le contenu d'un séminaire de «formation pédagogique» d'une quinzaine de jours, pour les enseignants du supérieur, qui serait à suivre, soit dans les Ecoles doctorales, soit durant la première année du recrutement.

4- À l'issue du colloque, la CIRUISEF a fait des recommandations

- Une réflexion collégiale doit présider à la conception des programmes, avec des femmes et des hommes, représentatifs de leur secteur disciplinaire⁵ en capacité de s'écouter, se comprendre et de se remettre en question. La formation d'un élève n'est pas un «marché de quatre saisons» où chacun au gré de ses lobbies vient y placer ce qu'il vend. Le nombre d'heures dévolues à un cursus n'est pas extensible et les rajouts se font au détriment des autres. Actuellement, des chapitres entiers sont

supprimés (comme la géométrie, en France) sans réflexion ni refonte générale du cursus.

- Les méthodes d'apprentissage à la magie des mots et à la magie des nombres doivent être équilibrées. La formation d'un esprit scientifique passe par la résolution de problèmes, mobilisant les connaissances acquises, par le biais d'une démonstration logique et rigoureuse, alliant à la fois l'inductif et le déductif. Cette approche majeure force à une gymnastique cognitive qui structure la pensée et organise les connaissances.
- Un équilibre doit être trouvé entre un «Savoir» structuré par chapitres (XX^{ème} siècle) mais n'assurant pas forcément une cohérence à l'ensemble des notions introduites et le balayage d'une «grande thématique» donnant du sens aux contenus enseignés en explorant des domaines très divers (XXI^{ème} siècle) mais superficiels et non structurés sur des fondamentaux solides, sus et compris.
- Les programmes ne doivent donc pas être une compilation de connaissances toujours plus denses mais doivent être structurés et réalistes, en séparant bien les socles des fondamentaux à comprendre et à s'approprier, des connaissances vulgarisées de la culture scientifique.
- **Concernant la formation des enseignants du domaine scientifique :**

En primaire,

Objectif: faire en sorte qu'un enseignement scientifique construit, simple et attractif puisse être donné aux élèves, afin de leur apprendre à compter et les éveiller au monde réel.

Moyens: formation pluridisciplinaire spécifique en licence et master des enseignants et équilibrant les disciplines issues des sciences humaines et celles des sciences exactes ou «2 classes= 2 maîtres», l'un issu des sciences humaines (magie des mots) et l'autre issu des sciences exactes (magie des nombres et éveil à la Matière réelle)..

5- Nous touchons là, la réelle difficulté rencontrée par les responsables de la conception des programmes: pouvoir s'entourer de femmes et d'hommes en capacité de balayer l'ensemble d'un grand champ scientifique du primaire au master. Les formateurs de formateurs sont instruits horizontalement d'une culture (littéraire) générale scientifique, les universitaires sont instruits verticalement d'un savoir hyper-spécialisé. *Saurons-nous, enfin, allier l'esprit de géométrie et l'esprit de finesse comme le décrivait Blaise Pascal?*

- Dans le second degré,

Objectif: une polyvalence entre plusieurs disciplines scientifiques est nécessaire afin de faciliter l'organisation et la transversalité des savoirs (association de deux ou trois disciplines parmi: Mathématique/ Informatique/ Technologie/ Physique/ Chimie/ Sciences de la vie/ Sciences de la terre). La réflexion sur les différentes associations est un sujet difficile et non encore réfléchi dans la plupart des pays francophones, néanmoins le découpage Mathématiques/Informatique/ Technologie Physique/Chimie- Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) reste le canevas le plus consensuel.

Moyens: formation bi ou tri-disciplinaire (et non majeure-mineure), devant être spécifique en licence et master. Il est rappelé qu'en sciences expérimentales, les disciplines sont imbriquées et s'appuient ou utilisent les objets ou les outils développés par les autres disciplines (il a été souligné que les grandes avancées en Sciences de la Vie (biologie) mettent cette discipline non plus en position descriptive mais en position fonctionnelle et fait appel aux outils mathématiques et informatique et aux lois et concepts de la physique et de la chimie).

Formation aux outils technologiques et aux travaux pratiques de la (les) disciplines, appartenance à une équipe pédagogique.

Etre initié, durant la formation, à la recherche scientifique afin de pouvoir en suivre les avancées.

- Dans l'enseignement supérieur,

Objectif: prise en compte de la pédagogie dans le recrutement et la carrière d'un enseignant-chercheur. Incitation aux initiatives pédagogiques, appartenance à une équipe pédagogique.

Moyens: vacations d'enseignement et formation pédagogique dans les Ecoles doctorales et/ou séminaire pédagogique en première année de recrutement. Il est préconisé de construire une leçon lors de l'examen de recrutement et d'être accompagné en début de carrière par un mentor. la qualité de l'enseignement prodigué doit pouvoir être évaluée et intervenir dans les promotions...

- Une formation continue à développer pour les enseignants scientifiques du primaire et du secondaire,

Objectif: amélioration des points faibles de la formation initiale, maintien des compétences et des savoirs afin d'être toujours en adéquation avec l'évolution des sciences.

Moyens: appartenance à une équipe pédagogique, stages, séminaires, formation à distance...

Un livre, à paraître, synthétisera les travaux de la CIRUISEF sur ces sujets, afin de permettre aux pays francophones de se réapproprier cette réflexion et de l'enrichir à l'aune de leurs débats et de leurs enjeux nationaux.

Il a été dit qu'enseigner est un métier mais aussi un art et que la rencontre avec un enseignant inspirant est un accident du destin qui peut infléchir une vie.



Analyses, probabilités et interactions

Analyse, probabilités et interactions ***Abdelghani BELLOUQUID ¹, Elmaati OUHABAZ ²**

1- Vice directeur du Collège «Sciences de la modélisation et de l'information»

2- Institut de mathématique (IMB), Université de Bordeaux



A. Bellouquid



E. Ouhabaz

Cette session ordinaire a été organisée par le Collège des sciences de la modélisation et de l'information le vendredi 28 novembre 2014 au siège de l'Académie. Elle a réuni 60 participants, venus d'Italie, de France, d'Allemagne et bien sûr des Universités marocaines.

La Session a été ouverte par le Professeur Omar Fassi-Fehri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie. Elle a été suivie de six conférences données par :

- Pr. Nicola Bellomo de l'Ecole Polytechnique de Turin: «*Que représente la foule pour les mathématiciens*»,
- Pr. Abdelhamid Boussejra de l'Université Ibn Toufail de Kénitra: «*Transformation de Poisson dans les espaces Riemanniens Symétriques*»,
- Pr. Wolfgang Arendt de l'Université d'Ulm en Allemagne: «*Tambours iso-spectraux et diffusions*»,
- Pr. Omar El Fallah de l'Université Mohamed V de Rabat: «*Approximation dans des espaces des fonctions analytiques*»,
- Pr. Azouz Dermoune de l'Université de Lille: «*Du théorème de Shannon aux problèmes inverses*»,
- Pr. Youssef Saad de l'Université de Minnesota: «*Algèbre linéaire numérique dans l'exploration des données : un aperçu*».

Les conférences ont été suivies de discussions auxquelles ont pris part des mathématiciens venant des universités de Rabat, Kénitra, Casablanca ou Marrakech.

Parmi les objectifs de cette session figure la mise au point sur plusieurs directions de recherche ayant connu des développements importants lors de ces dernières décennies. Le troisième est de montrer la vitalité de la recherche en mathématiques au Maroc en impliquant des collègues mathématiciens marocains, espérant par la suite d'attirer autres participants de plusieurs universités marocaines impliquées dans d'autres axes de recherche en mathématiques pures ou appliqués.

L'académie a fait un travail important sur l'état des lieux de la recherche scientifique au Maroc. Ce travail a été publié dans un rapport en 2009 qui a été largement diffusé. Ce rapport fournit des informations intéressantes et montre qu'au Maroc, parmi toutes les disciplines scientifiques, les mathématiques ont une assez bonne production scientifique, mesurée en comptabilisant le nombre de publications scientifiques internationales. Ainsi, en mathématiques, sur 1000 publications dans le monde, la part marocaine était de 3,1% en 2006.

Cette bonne place des mathématiques et notamment sur des thèmes d'analyse,

* Synthèse de la session ordinaire organisée le 28 novembre 2014 par le Collège des sciences de la modélisation et de l'information.

probabilités et interactions est visible depuis le début des années 80. On la doit à l'intelligence des mathématiciens qui ont su prendre leur part dans l'explosion à l'échelle mondiale des mathématiques et ont su s'ouvrir vers des aspects divers, notamment des mathématiques appliquées que l'on retrouve en ingénierie, médecine, biologie, économie...

La Session du 28 novembre a permis de mettre en avant les compétences du domaine au travers d'un cycle de conférences, de rassembler une soixantaine de participants d'horizon différents, de présenter un état des lieux sur ces thèmes de recherche et d'offrir aux participants des connaissances approfondies sur l'ensemble

des sujets en lien avec la thématique, et de faire émerger des projets de recherche et développement.

Cette journée a été pour les participants une occasion de confronter des travaux récents. En particulier les jeunes chercheurs, doctorants, pourront diversifier leurs contacts et prendre contact avec d'autres chercheurs. Cette rencontre, de part le large spectre de ses thèmes (variant des aspects théoriques à la modélisation et au calcul scientifique), se veut aussi une occasion pour faire le point sur les récents développements dans le vaste domaine qu'est l'analyse, la probabilité et leurs applications.



Les participants à la session ordinaire devant l'entrée principale de l'Académie Hassan II

Résumés des Conférences

Que représente la foule pour un mathématicien ?

Nicola BELLOMO

ISI Highly-Cited, Mathematics
 Ecole Polytechnique de Turin, Corso duca
 degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy
 nicola.bellomo@polito.it

Cette lecture porte sur la modélisation, l'analyse mathématique et des simulations numériques de la dynamique de la foule, représentée comme un système complexe constitué de populations en interaction. L'approche utilise la théorie cinétique des particules actives [1]. La première partie de la présentation a été consacrée à une analyse détaillée des différents aspects de la complexité de la foule, et la dérivation des structures mathématiques de la modélisation. La seconde partie a traité différents axes liés à la thématique à savoir quelques problèmes initiaux, la dérivation des équations macroscopiques à partir de celles décrites à l'échelle microscopique, et la simulation numérique de la dynamique des foules dans les conditions normales et aussi dans celles où se présentent des phénomènes liés à la panique. La présentation a évoquée aussi de résultats récents présentés dans [2], [3], et notamment, elle a abordée des recherches perspectives.

References:

- [1] N. Bellomo, D. Knopoff, and J. Soler, On the difficult interplay between life, «complexity», and mathematical sciences, *Math. Models Methods Appl. Sci.*, 23 (10), 1861- 1913, (2013).
- [2] N. Bellomo, A. Bellouquid, and D. Knopoff, From the micro-scale to collective crowd dynamics, *SIAM Multiscale Model. Simul.*, 11 (3), 943-963, (2013).
- [3] N. Bellomo, and A. Bellouquid, On multiscale models of pedestrian crowds "From mesoscopic to macroscopic" *Comm.Math. Sciences*, 13(39),

Transformation de Poisson dans les espaces Riemanniens symétriques

Abdelhamid BOUSSEJRA

Département de Mathématiques, Université Ibn Toufail,
 Faculté des sciences,
 Campus Universitaire, BP 241, Kénitra, Maroc
 a.boussejra@gmail.com

Soient $X = G/K$ un espace riemannien symétrique de type non compact et $B = G/P_{min}$ sa frontière de Fürstenberg. Il est alors connu que, pour certains paramètres de λ de a^* , la transformation de Poisson P_λ , est un isomorphisme de l'espace $A'(B)$ des hyperfonctions dans B sur $E_\lambda(X)$, où $E_\lambda(X)$ est l'espace de toutes les solutions F du système d'équations différentielles:

$$DF = \chi_\lambda(D)F, \quad \forall D \in D(X),$$

où $D(X)$ désigne l'algèbre des opérateurs différentiels G -invariants sur X .

Ce résultat, communément appelé conjecture de Helgason, fut établi par Kashiwara et al.

Il est alors naturel de chercher à caractériser l'image par P_λ de sous-espaces de $A'(B)$.

Dans cet exposé, nous considérons le cas des espaces L^p du bord, d'abord dans le cas où X est de rang un, et le paramètre λ est réel. Nous donnerons alors la caractérisation de P_λ en utilisant des techniques d'intégrales singulières sur le bord B , vu comme espace de type homogène au sens de Coifman et Weiss. En seconde partie nous donnerons la caractérisation de P_λ , où $B = G/P$ est une composante quelconque de la frontière de X . Dans la troisième partie de cet exposé, nous présenterons certains résultats autour de la conjecture de Helgason dans le cas où X est un espace hermitien symétrique et où $B = G/P_{min}$ est sa frontière de Shilov.

Tambours iso-spectraux et diffusion**Wolfgang ARENDT**

Institute of Applied Analysis University of Ulm,
D-89069, Germany
arendt@mathematik.uni-ulm.de

Approximation dans des espaces de fonctions analytiques**Omar EL FALLAH**

Département de Mathématiques et Informatique,
Université Mohamed V
Faculté des sciences BP 1014, Rabat, Maroc
elfallah@fsr.ac.ma
arendt@mathematik.uni-ulm.de

Dans cet exposé, on explique le problème posé par Mark Kac:

«Peut-on entendre la forme d'un tambour?»
(Can one hear the shape of a drum?).

Une formulation équivalente consiste à savoir la chose suivante: supposons qu'un opérateur unitaire transforme le semi-groupe de la chaleur sur un domaine en le semi-groupe de la chaleur sur un autre domaine, est-ce que ces domaines sont congruents?. En général la réponse est «Non» comme le montre un exemple célèbre de Gordon-Webb et Wolpert. Par contre comme montre notre résultat principal, si on remplace l'opérateur unitaire par un isomorphisme pour l'ordre alors la réponse est «Oui». Comme l'isomorphisme pour l'ordre transforme les solutions positives de l'équation de la chaleur du premier domaine en solution positive pour le second on peut reformuler le résultat en disant que «la diffusion détermine le domaine». Nous analysons aussi le contre-exemple et nous trouvons une surprise: l'opérateur de Laplace peut être remplacé par un opérateur elliptique quelconque.

References:

W. Arendt: Does diffusion determine the body?
Crelle's J. M. 2000.

W. Arendt, M. Biegert, T. Terelst: Does diffusion determine the manifold? Crelle's J. M, 2012.

W. Arendt, T. Terelst, J. Kenedy, Analytical aspects of isospectral drums, 2013.

Soient X un espace de Banach et T un opérateur borné sur X . Le problème d'approximation associée à (X, T) consiste à caractériser les éléments $x \in X$ dont le sous espace invariant par T , engendré par x est dense dans X . C'est dans ce cadre que s'inscrivent, par exemple, le théorème de Stone-Weierstrass, le théorème Tauberien de Wiener et le théorème de Beurling qui donne une caractérisation complète des sous espaces invariants de l'espace de Hardy.

Dans cet exposé, nous allons donner un aperçu général sur les résultats que nous avons obtenus récemment dans ce sujet. Nous insisterons tout particulièrement sur les espaces de Bergman et sur les espaces de Dirichlet. Nous évoquerons aussi les questions des singularités artificielles et de la caractérisation des ensembles polaires qui jouent un rôle important dans la compréhension des problèmes d'approximation.

Du théorème de Shannon aux problèmes inverses

Azouz DERMOUNE

Université de Lille, Cité Scientifique 59650 villeneuve
d'Ascq, France
azzouz.dermoune@math.univ-lille1.fr

Le célèbre théorème de Shannon nous dit qu'une fonction f ayant une transformée de Fourier à support compact est complètement connue par les observations discrètes $(f(t_i), i = 1, 2, \dots)$, où les instants d'observations t_i sont choisis en fonctions du support de la transformée de Fourier. Dans la pratique (imagerie, discrétisation des EDP, traitement du signal, ...), d'une part les observations $f(t_i), i = 1, 2, \dots$ sont imprécises, c'est-à-dire on observe $y_i = f(t_i) + w(t_i), i = 1, 2, \dots$, et non la suite $f(t_i), i = 1, 2, \dots$. Ici $w(t_i), w(t_2), \dots$ sont des erreurs de calculs ou bien des erreurs de mesures et sont inconnues. D'autre part la transformée de Fourier de f n'est pas à support compact. Dans ces cas le théorème de Shannon est inutilisable.

Le problème de retrouver la fonction f à partir du système $y_i = f(t_i) + w(t_i), i = 1, 2, \dots$, est un problème mal posé et fait partie des problèmes inverses. Dans cet exposé on fera un survol des méthodes analytiques et probabilistes pour donner un sens et résoudre ce problème. Une illustration sera donnée lorsque la fonction f est une spline cubique.

Algèbre linéaire numérique dans l'exploration des données : Un aperçu

Youssef SAAD

Department of Computer Science and Engineering,
University of Minnesota, Minneapolis,
MN, 55455, USA
Saad@cs.umn.edu

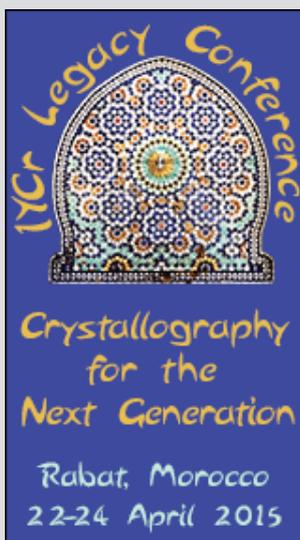
Le domaine de l'exploration des données est la source de beaucoup de nouveaux intérêts, et parfois difficiles des problèmes d'algèbre linéaire. En fait, on peut dire que l'exploration des données et l'apprentissage de la machine commencent maintenant à créer une nouvelle voie dans l'algèbre linéaire numérique, remplaçant la dynamique des fluides et leurs simulations (considérées comme la principale source de problèmes en algèbre linéaire numérique).

La conférence débutera par une présentation des concepts clés, puis une discussion sur des méthodes de réduction de la dimension qui jouent un rôle majeur. Nous allons illustrer ces concepts avec quelques applications, y compris la récupération de l'information, la reconnaissance du visage et de la matrice pour l'achèvement des systèmes de recommandation.

La synergie entre l'informatique de haute performance, des algorithmes efficaces de structure électronique, et l'exploration des données, peut potentiellement conduire à des découvertes majeures dans les matériaux. Nous reportons de notre première expérience dans les "matériaux informatiques" une méthodologie qui allie l'exploration des données et la science des matériaux.



La Cristallographie pour les générations futures - Legs de l'Année Internationale de Cristallographie



23 Nobels ont été récompensés pour leurs travaux sur la cristallographie aux rayons X et ses applications depuis sa découverte par Max Von Laue, prix Nobel de physique 1914, découverte qui a été suivie par les travaux d'analyse des structures cristallines à l'aide des rayons X par William Henry et William Lawrence Bragg (prix Nobel en 1915).

Un siècle plus tard, les réalisations scientifiques de la cristallographie sont innombrables et touchent des domaines aussi variés que la biotechnologie, la nanotechnologie, l'informatique ou l'électronique. Ses applications vont de l'industrie pharmaceutique à celles de l'aéronautique ou de l'agroalimentaire, en passant par les cosmétiques, l'électromécanique ou l'automobile. Omniprésente dans notre vie quotidienne, la cristallographie est à la base aujourd'hui de la préparation de tous les nouveaux matériaux et médicaments.

Méconnue du public, rarement une priorité de gouvernement, la cristallographie reste surtout trop souvent oubliée dans les programmes scolaires et universitaires.

Pour toutes ces raisons, et pour fêter le centenaire de sa découverte, l'Assemblée générale des Nations unies a proclamé l'année 2014 «Année Internationale de la cristallographie».

Dans ce cadre, l'UNESCO a été mandatée pour coordonner et mettre en œuvre des programmes d'éducation et de renforcement des capacités scientifiques tout au long de l'année 2014. En tant qu'organisation leader de cette initiative, elle a organisé plusieurs manifestations à l'échelle de la planète, dans le but principalement de :

- sensibiliser le public à cette discipline fondamentale, à peine connue, mais qui est à la base de toutes les sciences expérimentales, et les informer sur les applications menant aux développements technologiques les plus avancés dans notre société moderne.
- inciter et encourager l'apprentissage et la connaissance de la cristallographie par les jeunes, à travers des expositions, des conférences publiques et des démonstrations dans les écoles et universités.

Cette initiative avait aussi pour but de favoriser la collaboration internationale entre scientifiques du monde entier, en particulier les collaborations Nord-Sud et Sud-Sud et de promouvoir l'éducation et la recherche en cristallographie.

L'Année internationale de la cristallographie 2014 souligne enfin l'importance et le rôle de cette discipline dans l'achèvement des programmes de développement pour l'après-2015, concernant les questions de sécurité alimentaire, d'accès à l'eau potable et aux soins de santé, ainsi que les problématiques d'énergie renouvelable et d'assainissement environnemental. (www.unesco.org)

Ainsi, l'inauguration de l'Année Internationale par l'UNESCO les 20-21 janvier 2014 fut suivi du lancement et de l'ouverture de Laboratoires de démonstration de cristallographie «Open Laboratories» en Afrique, en Asie et en Amérique Latine et ce, tout au long de l'année 2014. Au Maroc, l'OpenLab Morocco a été organisé sous forme de laboratoire itinérant comportant des ateliers et des sessions de cours à Rabat (26-30 mai), El Jadida (9-11 juin) et Agadir (16-20 juin). Des méthodes de résolution de la structure et de raffinement par diffraction des rayons X ont notamment fait l'objet de démonstrations, en faisant usage d'une instrumentation portable.

L'Année internationale de la Cristallographie a de même stimulé la coopération internationale scientifique à travers trois excellentes réunions au sommet dans l'Asie du Sud-Est, en Amérique latine et en Afrique. Il s'agit notamment :

- du Sommet Régional de Cristallographie à Karachi, Pakistan, 28-30 avril 2014 ;
- du Sommet Régional de Cristallographie à Campinas, Brésil, septembre 2014 ;
- du Sommet Régional de Cristallographie à Bloemfontein, Afrique du sud, 15-17 octobre 2014.

Le Maroc a eu pour sa part le privilège d'accueillir la conférence de clôture de l'Année Internationale de Cristallographie, tenue à Rabat du 22 au 24 avril 2015 au siège de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Placée sous le Haut Patronage de SM le Roi Mohammed VI, la conférence a été organisée, à l'initiative de l'Association marocaine de cristallographie et de l'Union internationale de cristallographie, sur le thème «**La cristallographie pour les générations futures- Legs de l'Année Internationale de Cristallographie**».

Près de 200 scientifiques venant de 35 pays du monde y ont participé afin de couronner les activités et les événements scientifiques organisés tout au long de l'Année 2014.



Laboratoires de démonstration de cristallographie «Open Laboratories»

(Source : www.iycr2014.org)

The basic sciences, especially crystallography, are not beyond the reach of any country; crystallography brings together all scientific disciplines, making it the perfect driver to promote quality science education and to train the scientists of tomorrow. Through the International Year of Crystallography and the follow-up initiatives, the International Basic Sciences Programme (IBSP) is harnessing the considerable socio-economic benefits that crystallography can bring to the citizens of the world. (Source : www.iycr2014.org/legacy/conference)

Allocution de Monsieur le secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II à la cérémonie de clôture de l'Année Internationale de Cristallographie

Rabat, 22 avril 2015

Mesdames et Messieurs,

C'est avec un réel plaisir et en même temps un grand intérêt que je participe, aujourd'hui, à la cérémonie de clôture de l'Année Internationale de la Cristallographie, organisée par l'Association Marocaine de Cristallographie, au siège de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. L'importance de cette manifestation est rehaussée encore davantage par la sollicitude dont l'a entourée Sa Majesté le Roi Mohammed VI en lui accordant Son Haut Patronage, signe de la part de Sa Majesté que le respect de la science et des Hommes de science est une tradition fondamentale dans l'histoire de notre pays. Je voudrais saisir cette occasion pour exprimer notre profonde gratitude à Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu le glorifie, pour Sa Haute sollicitude pour cette cérémonie de clôture de l'Année Internationale de la Cristallographie. Sachant que la cérémonie d'ouverture a eu lieu au siège de l'Unesco à Paris les 20 et 21 janvier 2014 en présence du Secrétaire général de l'ONU (en duplex de New York), de la Directrice générale de l'Unesco, des représentants de notre Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres et de plusieurs personnalités scientifiques et politiques.



Vue de l'assistance

Je voudrais aussi mettre en relief le rôle de l'Association Marocaine de Cristallographie qui a proposé de consacrer 2014 année internationale de la cristallographie. Cette initiative a été encouragée par l'Académie Hassan II des Sciences

et Techniques, soutenue par le Ministère marocain des Affaires Etrangères et de la Coopération et présentée par la Mission permanente du Royaume du Maroc aux Nations-Unies. Je voudrais aussi féliciter l'Association Marocaine de Cristallographie pour la réussite des activités et événements scientifiques organisés à cette occasion dans différentes régions du Royaume, notamment, à l'instar des autres pays, comme l'ouverture des laboratoires de démonstration de cristallographie «Open Laboratories» dans plusieurs villes du Maroc, pour célébrer les cent ans de la découverte de la diffraction des rayons X par les cristaux. Découverte qui est à l'origine d'importantes avancées scientifiques qui ont jalonné la science du XX^{ème} siècle et qui ont été couronnées par l'attribution de 28 Prix Nobels de physique, chimie et médecine (dont 23 prix Nobels dans le domaine de la cristallographie).

Mesdames et Messieurs,

Au début du 20^e siècle, il a été démontré que les rayons X pouvaient être utilisés pour «observer» la structure de la matière sans toutefois la perturber. Cette découverte marque l'aube de la cristallographie moderne — soit la science qui étudie l'arrangement des atomes dans les solides. Grâce à la cristallographie aux rayons X, les scientifiques peuvent étudier les liaisons chimiques qui lient un atome à un autre. Plus encore, les cristallographes peuvent non seulement étudier la structure des matériaux, mais aussi utiliser ces connaissances pour modifier la structure de ceux-ci et leur donner de nouvelles propriétés ou modifier leurs comportements. Depuis cette découverte, la cristallographie est devenue le cœur même des sciences structurales : elle a permis de révéler la structure de l'ADN, de comprendre et fabriquer des mémoires d'ordinateurs, elle aide les chercheurs à concevoir chaque jour de nouveaux matériaux et médicaments. Ainsi les applications de la cristallographie sont nombreuses et diversifiées; elles sont présentes dans notre

vie quotidienne et forment l'épine dorsale des industries amenées à développer de nouveaux produits, en particulier dans les domaines de l'agroalimentaire, de l'aéronautique, de l'automobile, des cosmétiques, de l'informatique, ainsi que dans les industries électromécaniques, pharmaceutiques et minières.

Aujourd'hui, la cristallographie peut se définir comme un ensemble de techniques très puissantes pour explorer la composition et la structure de la matière à l'échelle des atomes et des molécules: cristallographie par rayons X, par neutrons ou par électrons. La cristallographie est devenue un outil irremplaçable pour l'étude de toutes sortes de matériaux, qu'ils soient idéalement organisés (cristaux parfaits), partiellement organisés (polymères), cristallisés artificiellement (cristaux de protéines) ou peu organisés (liquides, verres). Elle est aussi à la base de l'élaboration de la plupart des nouveaux matériaux, allant des cellules photovoltaïques aux composites très présents dans la fabrication automobile ou aéronautique.

Pour montrer l'importance capitale de la cristallographie, je voudrais rappeler l'affirmation faite par Ban Ki-moon, le Secrétaire général des Nations Unies, à l'occasion du lancement de l'Année de la cristallographie, je cite : «Aujourd'hui, la cristallographie est au cœur des sciences structurales, révélant la constitution des minéraux et les molécules de la vie, aidant les scientifiques à concevoir des matériaux de nouvelle génération et des médicaments capables de sauver des vies».

Mesdames et Messieurs,

La célébration de l'Année Internationale de la Cristallographie au Maroc a été une excellente occasion pour les chercheurs et les enseignants-chercheurs marocains spécialistes de partir à la rencontre des élèves, des étudiants et du grand public pour leur montrer que la cristallographie, véritable sonde de la structure microscopique de la matière, est au cœur de plusieurs disciplines et source d'innombrables innovations.

Par ailleurs, de nombreuses manifestations sous forme d'expositions, de cycles de conférences, d'ateliers etc. ont été organisés et animés par des chercheurs et des enseignants-chercheurs dans

différentes régions du Royaume créant ainsi de nombreuses opportunités de dialogue entre la communauté scientifique et la société.

Toutes les actions menées au Maroc et coordonnées par l'Association Marocaine de Cristallographie pour célébrer cette année ont sans doute permis de couvrir l'ensemble des disciplines associées à la cristallographie (physique, chimie, sciences de la terre, biologie, mathématiques) et de démontrer l'interdisciplinarité par excellence de cette science qui continue à relever de nombreux défis au carrefour de ces disciplines.



Remise de prix à l'occasion de la cérémonie de clôture de l'Année Internationale de la Cristallographie

L'organisation de la cérémonie de clôture d'aujourd'hui est une occasion pour faire le bilan des actions réalisées et pour discuter des meilleurs moyens permettant de valoriser les recherches de haut niveau ayant trait à la cristallographie, développées au sein des différents laboratoires du pays, et de débattre des conditions qui permettent à cette science d'évoluer et de s'épanouir.

Je suis convaincu que votre rencontre permettra d'approfondir le débat et la réflexion sur l'intégration et l'apport de la Cristallographie dans le développement de la recherche scientifique dans notre pays et également d'identifier des secteurs et niches d'activité vers lesquels un transfert des connaissances et de compétences à partir des laboratoires de recherche est utile pour les besoins de la société et pour apporter les solutions appropriées aux problèmes posés par le développement durable du pays.

En conclusion de cette intervention je renouvelle mes félicitations aux organisateurs de cette rencontre et remercie les collègues étrangers présents et leur souhaite la bienvenue dans notre pays.

Je souhaite plein succès aux travaux de ces deux journées et je vous remercie pour votre attention.



Focus

A propos des Académies

Pr. Ahmadou Lamine NDIAYE

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

Président de l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal



Selon la légende, Academos était un héros d'Athènes qui avait légué à la République un vaste terrain pour y élever un gymnase où les jeunes athéniens pourraient se livrer à des exercices corporels. Le gymnase fut construit et porta le nom du donateur, Academos. Platon venait alors chaque jour se promener sous les arbres du gymnase avec ses disciples et leur exposait sa doctrine. L'École de Platon fut appelée Académie et ses disciples reçurent le nom d'Académiciens. Une Académie peut se définir comme une société de personnes qui s'occupent de littérature, de sciences, de beaux arts, d'où la caractérisation de Société Savante. C'est ainsi que se sont développées de telles Sociétés qui consacrent leurs activités aux différentes branches du Savoir.

Si cette Institution est très ancienne dans les pays industrialisés, avec des académies plus que tri centenaires dans certains pays (Royaume-Uni, France...), leur création est relativement récente en Afrique.

En tout état de cause, les Académiciens acceptent de se mettre, en toute indépendance, au service de la communauté, et en raison de leurs rôles dans la société, jouissent d'une très grande reconnaissance sociale, à la fois nationale et internationale.

1. Place de la Science, de la Technologie et de l'Innovation (STI) dans les processus de développement

Le XXIème siècle avait été annoncé comme le siècle du Savoir, de sorte qu'il y a eu, pour bien préparer son avènement, d'intenses réflexions à la fin du siècle dernier. Rappelons à cet égard :

- La première Conférence Mondiale sur l'Enseignement supérieur, organisée par l'UNESCO en Octobre 1998 à Paris;
- La Conférence Mondiale sur la Recherche, organisée par L'UNESCO en Juin 1999 à Budapest;
- Les nombreuses rencontres, organisées au niveau du Secrétariat Général de l'Organisation des Nations Unies qui ont débouché sur de nombreux programmes spécifiques dont :

- les 8 Objectifs du Millénaire,
- le rapport sur une stratégie de renforcement des capacités en sciences et technologies, à l'échelle mondiale, pour inventer un avenir meilleur,
- le développement de stratégies en sciences et technologies, pour l'amélioration de la productivité agricole et de la sécurité alimentaire en Afrique, afin de réaliser les promesses et le potentiel de l'agriculture africaine;

Il y a aussi, au niveau de l'Afrique, le Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique (NEPAD).

Toutes ces initiatives reposent sur le fait que partout dans le monde, il est reconnu et admis que ce sont les pays qui maîtrisent la STI qui dominent le monde par l'économie, le contrôle des marchés et visent à imposer leur culture.

En un mot, la vitalité, la fertilité, la qualité de la production des activités scientifiques et technologiques et le niveau d'utilisation des résultats pour l'innovation, constituent les facteurs déterminants dans la capacité d'une Nation à assurer son développement socio-économique et donc l'amélioration de la qualité de vie de ses populations.

Les pays dits «nouvellement industrialisés» parmi lesquels le groupe dit BRICS (pour Brésil, Russie, Inde, Chine, Afrique du Sud) en donnent une bonne illustration. Mais peut être que le cas de la Corée du Sud, actuellement puissance mondiale, est encore plus édifiant pour l'Afrique. En 1960, ce pays avait, en termes de PIB, le même niveau de développement que la plupart des pays africains qui, à l'époque accédaient à l'indépendance. Dans les années 70/80, la Corée a mis en œuvre de vastes programmes, visant à créer, dans le pays, des conditions pour développer localement de réelles opportunités pour une formation et une recherche performantes, grâce notamment à des investissements prioritaires dans la STI. Cela a permis de former, sur place, de nombreux cadres nationaux, mais aussi d'attirer ceux de la diaspora. De tels résultats ont été obtenus dans un pays qui a beaucoup moins de ressources naturelles que l'Afrique !

L'Afrique qui, dans le monde, recèle 12% des réserves de pétrole, 40% des réserves d'or, 80 à 90% des réserves en Chrome et Platine, qui possède de vastes ressources en bois, 60% de terres arables non encore cultivées, peut et doit répondre au défi du développement.

Avec tout son potentiel et la demande mondiale croissante, l'Afrique doit cesser de se contenter d'exporter ses matières premières mais de s'engager résolument à les transformer sur place, pour créer de la valeur ajoutée et promouvoir l'émergence, tant de fois annoncée. L'Afrique doit enfin s'engager à définir et piloter son propre programme de développement, tout en restant ouverte à des partenariats avec le reste du monde.

2. Les académies et réseaux d'académies

A l'instar de ce qui se passe dans les autres parties du monde, l'Afrique s'est engagée dans la création d'académies des sciences qui ont un rôle majeur à jouer dans le développement.

A travers le monde, il existe des académies à adhésion individuelle, et de nombreux réseaux d'académies.

A titre d'exemples :

Les académies nationales. Constituées sur une base nationale, chacune d'elles définit ses structures, son mode de recrutement, d'organisation et de fonctionnement dans des statuts et règlement intérieur qui leur sont propres. L'Afrique compte actuellement 21 Académies nationales.

Les académies continentales. Ici, l'adhésion est toujours individuelle; le recrutement est fait à l'échelle d'un continent.

A titre d'exemple, citons :

L'Académie Africaine des Sciences (AAS). L'AAS a été créée en 1985. Son siège est à Nairobi, (Kenya), situé dans des locaux, construits sur un terrain mis à disposition par le Gouvernement du pays hôte. L'AAS, gouvernée par une Assemblée générale et un Conseil Exécutif, dispose d'un secrétariat permanent dirigé par un Directeur exécutif. Actuellement (fin 2014), l'AAS compte environ 350 membres élus, provenant des 5 régions du continent.

The Third World Academy of Sciences(TWAS). La TWAS est une académie qui, elle aussi, recrute sur une base individuelle. Elle a été créée en 1983, à l'initiative d'un groupe de scientifiques de haut niveau, originaires des pays en développement, avec à leur tête, le Professeur Abdul Salam, d'origine pakistanaise, lauréat du Prix Nobel de physique. Dénommée Académie des Sciences du Tiers Monde, son nom actuel est «the World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries». Elle a son siège à Trieste (Italie) et reçoit un très important support financier et matériel du Gouvernement de l'Italie. La TWAS compte actuellement plus de 1.100 membres à travers le monde, dont cependant plus de 85% sont originaires des pays en développement. La TWAS a un bureau régional dans chacune des cinq régions du monde. Le bureau régional pour l'Afrique sub saharienne qui était hébergé dans le siège de l'AAS a déménagé, en Mars 2015, au siège de l'Académie des Sciences d'Afrique du sud.

En ce qui concerne l'AAS et la TWAS, les académies nationales, notamment celles d'Afrique, doivent encourager leurs membres à y adhérer.

Les réseaux d'académies. De nombreuses académies sont regroupées en réseaux plus ou moins vastes, au niveau régional ou mondial.

En Afrique, il y a :

Le réseau des Académies des Sciences d'Afrique (Network of African Science Academies (NASAC). Le NASAC a été créé, à l'initiative de l'AAS, en décembre 2001, à Nairobi (Kenya). Ce réseau regroupe actuellement toutes les académies nationales d'Afrique, dont les statuts garantissent les caractéristiques fondamentales

d'une Académie. Le Secrétariat permanent du NASAC est logé au siège de l'AAS.

Le Tableau ci-dessous indique les académies membres du NASAC. **Académies africaines membres du NASAC (Mars 2015).**

No	Academy	Création
1	Madagascar's National Academy of Arts Letters and Sciences	1902
2	Ghana Academy of Arts and Sciences (GAAS)	Nov-59
3	Nigerian Academy of Sciences (NAS)	8-Jan-77
4	Kenya National Academy of Sciences (KNAS)	2-Nov-83
5	African Academy of Sciences (AAS)	10-Dec-85
6	Cameroon Academy of Sciences (CAS)	1990
7	Academy of Science of South Africa (ASSAf)	May-96
8	Académie des Sciences et Techniques du Sénégal (ANSTS)	9-Nov-99
9	The Uganda National Academy of Sciences (UNAS)	20-Oct-00
10	Zimbabwe Academy of Sciences (ZAS)	Oct-04
11	Tanzania Academy of Sciences (TAS)	24-Feb-04
12	Sudanese National Academy of Science (SNAS)	tcb
13	Zambia Academy of Sciences (ZaAS)	16-Sep-05
14	Mauritius Academy of Science and Technology (MAST)	20-Feb-06
15	Académie Hassan II des Sciences et Techniques du Maroc	18-May-06
16	Academy of Sciences of Mozambique (ASM)	Feb-09
17	Ethiopia Academy of Science (EAS)	27-Mar-10
18	Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Benin (ANSALB)	27-Dec-10
19	Académie Nationale des Sciences et Technologies du Congo	27-Dec-11
20	Académie des Sciences, Arts et Lettres du Togo (ANSALT)	24-Avr-12
21	Académie Nationale des Sciences du Burkina (ANSB)	8-Jun-13

Il y a aussi le NASIC, Réseau des Académies du Monde Islamique (Network of Académies of Sciences of the Islamic Countries).

Il existe de nombreux autres réseaux régionaux, en Europe, en Asie, en Amérique latine....

Le réseau mondial des Académies. Il existe à travers le monde, plus d'une centaine d'académies à adhésion individuelle. Toutes ces académies qui dépassent la centaine, ont constitué, avec d'autres réseaux, un réseau mondial, dénommé **Panel Inter Académique, (Inter Academic Panel IAP)**. Le siège de ce réseau est hébergé dans les locaux de la TWAS, en Italie. Ce réseau est en train d'être

réformé pour un plus vaste regroupement et en mettant d'avantage l'accent sur le partenariat entre ses membres. Ce réseau devient alors Inter Academic Partnership, (toujours donc IAP).

3. Quelle est la particularité de la place des Académies dans le combat pour le développement des sciences?

Les objectifs et missions des académies, sont comparables. La particularité par rapport aux autres structures notamment de formation et de recherche reposent sur la position des académies et le plaidoyer qu'elles développent.

La position des Académies. De par la qualité de leurs membres, les académies, qui sont des institutions consultatives, donnent des avis et recommandations dont les fondements sont :

- *l'expertise des membres*, avec la mobilisation de brillants scientifiques, reconnus et consacrés par leurs pairs,
- *l'indépendance*, découlant de toute absence de pression politiques, gouvernementales ou de toutes autres natures, sur les académies et leurs membres.
- *l'objectivité*, reposant sur une démarche, mettant à l'abri, les académies et leurs membres, de tout conflit d'intérêt,
- *la vérité*, par une démarche, utilisant les meilleurs résultats scientifiques disponibles,
- *l'intégrité*, en s'assurant de la rigueur de la démarche qui a conduit aux résultats utilisés.

Tous ces éléments renvoient la communauté scientifique en général, et celle des académiciens, en particulier, à l'Éthique et à la Déontologie, questions fondamentales dans le milieu scientifique. Il s'y ajoute qu'en raison du fait que les membres des académies ont exercé ou exercent encore des activités dans les structures de formation et /ou de recherche, parfois dans plusieurs d'entre elles, ils les connaissent bien et savent identifier, avec suffisamment de recul, leurs besoins essentiels, pour les rendre plus performantes.

Le Plaidoyer des Académies. En plus de leurs engagements dans la formation, la recherche et la valorisation des résultats de la recherche, les académies sont également engagées, dans un vaste plaidoyer, à plusieurs facettes, en direction des pouvoirs publics mais aussi de la communauté scientifique.

Aux pouvoirs politiques, les académies doivent continuer à rappeler le rôle de pilier du développement de la STI qui est, chaque jour, illustré à travers le monde. Dans la plupart des Etats africains, une partie encore importante du financement de la recherche, secteur stratégique par excellence pour notre développement, provient des partenaires au développement; il s'y ajoute que ces financements sont alloués à des projets et non à des programmes, donc ne donnent pas toujours la durabilité que requiert la recherche.

A la communauté scientifique, les académies doivent toujours rappeler les multiples impacts («économiques, environnementaux, sanitaires, culturels...»), de la mondialisation, dans un contexte de plus en plus marqué par les déséquilibres entre les différentes parties du monde.

La complexité de la science, de plus en plus marquée par son caractère multidisciplinaire et la recherche de l'efficacité, impose de bâtir des complémentarités entre les pays mais aussi, et surtout, entre les institutions de recherche et les chercheurs.

Les complémentarités renforcent l'efficacité des chercheurs dans la production de plus en plus de reconnaissances, dont la valorisation par la technologie et l'innovation conduit à un mieux être des populations. Par ailleurs, l'Afrique doit bâtir ces complémentarités en matière de STI, avec un système allant au-delà des barrières linguistiques héritées de la colonisation.

Il s'agit en un mot, pour les académies, en remplissant leurs missions, de rapprocher les structures de formation et de recherche, en œuvrant à la mise en place de réseaux pertinents. Ces réseaux contribuent à optimiser les dispositifs et les moyens, tant au niveau national que régional et international; il s'agit de bâtir le pont indispensable entre le Pouvoir Politique, la Communauté Scientifique et le monde socio-économique, par un dialogue constant et confiant.

La Communication et la Diffusion. Les académies doivent aussi développer et encourager la mise en place d'une bonne stratégie de Communication et de Diffusion, grâce à un partenariat avec les médias et, pourquoi pas, disposer d'un temps d'antenne dans la grille des programmes des radios et télévisions d'Etat.

4. Présentation de l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal (ANSTS)

L'académie des Sciences et Techniques du Sénégal a été créée *en novembre 1999*, après une longue période de réflexion et de concertation de ses promoteurs, depuis 1990. Ces promoteurs, étaient, pour la plupart, des scientifiques nationaux, déjà membres d'Académies étrangères, comme l'Académie des Sciences du Tiers Monde (TWAS), l'Académie Africaine des Sciences, l'Académie Islamique des Sciences et d'autres académies étrangères. Ils furent, pour l'essentiel, les 22 membres fondateurs de l'ANSTS.

Pour promouvoir mais surtout faire connaître la place et le rôle que jouent la STI dans le développement, il avait été institué une biennale des Sciences et de la Technologie, dénommée AFRSTECH. La première édition de cette manifestation a eu lieu en Novembre 1993, suivie de celles de Novembre 1995, 1997 et 1999.

Cette 4^{ème} édition d'AFRISTECH, qui avait coïncidé avec la naissance de l'ANSTS, avait été organisée conjointement avec la 7^{ème} Réunion de la Conférence Générale de la TWAS, à Dakar, à l'invitation du Gouvernement, du 22 au 26 Novembre 1999.

Le Décret No 2006/289 du 03 Avril 2006, porte approbation des Statuts de l'ANSTS et indique, dans son article 3: «l'élection des membres de l'Académie ainsi que la désignation du Président et du Secrétaire Perpétuel sont approuvées par Décret du Président de la République, sur proposition du Ministre chargé de la Recherche Scientifique».

Selon les dispositions *statutaires*, l'ANSTS a pour objet :

- d'assister l'Etat, dans la définition et la mise en œuvre de la Politique Nationale en matière de science et technologie; d'encourager la recherche scientifique, d'initier, d'impulser et de développer des programmes, dans les domaines de la science et de la technologie;
- d'aider à la promotion et à la valorisation des résultats de la recherche;
- de faciliter les échanges avec les organismes similaires;
- de décerner des prix et récompenses à des personnes qui se sont particulièrement distinguées par leurs travaux en matière de science et technologie;
- de susciter des vocations scientifiques auprès des jeunes et des femmes.

Organisation de l'ANSTS.

Depuis sa création, l'Académie comporte actuellement un total de 71 membres titulaires parmi lesquels il y a eu 8 décès dont les sièges sont vacants. Le nombre des membres associés est de 11; les membres institutionnels dont le directeur siège parmi les membres associés sont de deux (2), (l'Institut Pasteur de Dakar et l'Institut de Recherche pour le Développement IRD).

Les membres sont regroupés dans quatre (4) sections, devant recevoir chacune un nombre maximum de 20 membres titulaires vivants et 1/3 de membres associés. Ces sections sont :

- La Section des Sciences agricoles;
- La Section des Sciences économiques, juridiques et sociales;
- La Section des Sciences fondamentales, appliquées et l'Innovation;
- La Section des Sciences de la santé.

Elle comporte aussi cinq Commissions transversales dont la création est décidée par l'Assemblée générale. Actuellement existent :

- La Commission des finances,
- La Commission scientifique et des publications,
- La Commission des relations avec les partenaires,
- La Commission médiats et communication,
- La Commission de l'enseignement des Sciences et des relations avec les jeunes.

De nouvelles Sections peuvent être créées par l'Assemblée générale, sur proposition du Bureau.

Chaque Section est dirigée par un Président élu par l'AG, sur proposition de la Section et ses Présidents sont les vice-président de l'ANSTS.

L'Assemblée Générale regroupe les membres titulaires et les membres associés. Elle est l'instance suprême, souveraine, sur toutes les questions relatives à la vie de l'Académie. Elle se réunit en session ordinaire une fois par an et en session extraordinaire, en cas de besoin, selon, naturellement, des procédures définies. «L'AG ordinaire élit le Bureau, approuve le rapport d'activités et financier du Bureau, ainsi que le programme annuel de travail, désigne les commissaires aux comptes, modifie les statuts et règlements et prend des sanctions» (Art 11 des Statuts).

L'Assemblée générale se réunit en session ordinaire une fois par an, à la fin du mois de Décembre.

Le Bureau est constitué du Président, du Président sortant, du Secrétaire perpétuel, des quatre (4) Vice-présidents, d'un Secrétaire adjoint, d'un Trésorier, d'un Trésorier adjoint, des Présidents des Commissions et de 4 membres élus, à raison d'un représentant par Section. Les membres du

Bureau, à l'exception du Secrétaire Perpétuel, sont élus pour un mandat de 3 ans, qui peut être renouvelé une fois. Le Bureau se réunit le premier Mercredi de chaque mois.

Le Secrétaire Perpétuel, sous l'autorité du Président, administre l'Académie, assisté d'un cabinet administratif, financier et technique.

Les différentes catégories de membres de l'ANSTS sont :

Les membres fondateurs. Les membres fondateurs sont constitués, en majorité, par des sénégalais qui étaient déjà membres d'académies étrangères, et qui avaient au préalable donné leur accord.

Les membres titulaires élus selon la procédure définie dans les statuts et le règlement intérieur. Lorsqu'une Section atteint l'effectif de 20, des candidats peuvent être reçus comme membres correspondants.

Les Membres Associés qui sont des scientifiques de haut niveau et de notoriété internationale, non Sénégalais, qui ont contribué ou pourraient contribuer dans le développement scientifique et technologique au Sénégal. Siègent également dans le collège des membres associés, les directeurs des Membres Institutionnels.

Les membres d'Honneur. Ce titre peut être conféré par l'Assemblée Générale, à de hautes personnalités scientifiques et (ou) politiques, nationales et étrangères, qui ont apporté une contribution significative dans le domaine de la science et de la technologie

Les Membres Emérites. Ce titre peut être décerné, par l'AG, à des membres titulaires, qui ne peuvent plus participer aux Séances de l'Académie. Le passage à l'éméritat entraîne la déclaration de vacance du siège du titulaire.

Les ressources de l'ANSTS. Le budget de l'ASTS est alimenté par diverses sources, notamment :

- Une subvention annuelle de l'Etat,
- D'autres subventions d'organismes nationaux, publics et privés,
- Des dons et legs
- Des ressources provenant des produits de la vente des publications et autres prestations de l'ASTS
- Toutes autres ressources autorisées par les Lois et Règlements.

Les différentes activités de l'ANSTS. L'ANSTS déroule son programme d'activités selon différentes modalités :

Une séance académique solennelle annuelle, rehaussée de la présence de Monsieur le Président de la République. Cette séance consiste, après étude d'un thème de portée nationale ou internationale, à soumettre les conclusions et recommandations, directement à l'attention du Chef de l'Etat.

Des séances académiques mensuelles publiques ayant lieu l'après midi du dernier Jeudi de chaque mois. Elles permettent à des chercheurs de présenter des résultats de recherche qui font l'objet de discussion. Une présentation à de telles séances est obligatoire pour tout candidat à l'Académie.

Des sessions spéciales, nationales ou internationales, consistant en des séminaires, ateliers, symposiums, conférences, sur des thèmes choisis par l'Académie ou en partenariat avec d'autres institutions.

L'organisation de la célébration de la Journée de la Renaissance Scientifique de l'Afrique (JRSA).

Cette commémoration annuelle vise à relayer le cri du cœur des hommes de science d'Afrique, lancé à Brazzaville, à l'issue de leur première rencontre. Les travaux de ce premier congrès ont été sanctionnés par l'adoption d'une déclaration, dite Déclaration de Brazzaville (Voir annexe No1). Par la suite, l'Organisation de l'Unité Africaine puis l'Union Africaine ont institutionnalisé cette célébration, le 30 Juin de chaque année, par les Etats membres.

Le Gouvernement, à travers le Ministère chargé de la Recherche, à confié à l'ANSTS, la préparation de cette manifestation. Ainsi, chaque année, l'ANSTS propose un thème à discuter, sous l'égide du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

L'ANSTS a d'autres activités comme :

L'organisation du Grand Prix du Président de la République,

La création de deux Prix :

- Le Prix aux meilleures thèses des Ecoles doctorales du pays; il récompense, chaque année, trois lauréats à raison d'un par école

doctorale. Les récompenses sont remises lors de la célébration de la JRSA.

- Le Prix de Mathématiques Souleymane NIANG (Mathématicien, qui fut le premier Président de l'ANSTS), organisé tous les deux ans, à compter de 2015.

Enfin l'ANSTS offre des Prix aux lauréats, en Mathématiques et Sciences Physiques, des classes de terminale, du Concours général.

L'ANSTS participe activement à la création de nouvelles Académies des Sciences en Afrique francophone (Bénin, Burkina Faso, Congo, Togo qui ont été admises comme membres du NASAC).

L'ANSTS a un solide et vaste partenariat avec des Académies et des Réseaux d'Académies, (AAS, TWAS, Académie Hassan II des Sciences et Techniques du Maroc, l'Académie des Sciences de l'Institut de France, le GID, le COPED, le NASAC, le NASIC, l'IAP....). D'autres protocoles d'Accord sont en cours de signature ou en cours d'élaboration, à l'instar de l'Accord de Partenariat avec l'Université du Québec à Trois Rivières (UQTR) et le partenariat avec l'Initiative Prospective Agricole et Rurale (IPAR).

Pour conclure, signalons le programme de l'ANSTS pour le développement de la culture scientifique.

L'enseignement des Sciences. Le rôle de la Science, la Technologie et l'Innovation (STI), dans le développement socio-économique d'un pays d'une part, les faibles performances des élèves dans le domaine de l'enseignement des Sciences et de la Technologie dans les différents ordres d'enseignement de notre pays d'autre part, ont conduit l'ANSTS à mettre en place un programme majeur, pour participer activement au développement de la culture scientifique de la l'ANSTS. D'autres académies travaillent aussi sur ce thème depuis 2003.

En 2003, les recommandations de l'ANSTS avaient conduit à la mise en place, en 2004, par Arrêté du Ministre de l'Education Nationale, d'un Comité National de Pilotage du Projet de Développement de l'Enseignement des Sciences et de la Technologie (CNPDEST).

En 2013 l'ANSTS a présenté, lors de sa séance académique solennelle, les résultats de l'étude ayant conduit à «**une nouvelle Vision de l'enseignement des sciences et de la technologie, du pré scolaire au supérieur**».

Toujours en 2013, le Sénégal a organisé une Concertation Nationale sur l'Avenir de l'Enseignement Supérieur. Lors du Conseil Présidentiel consacré à l'examen du rapport final de cette importante question, la première décision du Président de la République est d' «**orienter les formations supérieures vers les Sciences, la Technologie, les Sciences de l'Ingénieur et les Mathématiques, les filières courtes, techniques et professionnelles**».

Formation à la rédaction et communication scientifiques. Toujours dans le cadre du développement de la culture scientifique, l'ANSTS travaille également sur un autre programme portant sur **la formation à la rédaction et communication scientifiques**. Ce programme, résulte d'un partenariat avec l'Académie Nationale de Médecine de France (ANMF), l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques du Maroc, l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal, avec le soutien du Réseau Mondial des Académies de Médecine. A l'origine, il visait, d'une part, à préparer les jeunes scientifiques à la rédaction médicale et d'autre part à former des formateurs africains, capables de remplacer les partenaires du Nord qui encadrent les ateliers de formation.

En 2013, à la demande de l'ANSTS et de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques du Maroc, le programme est élargi pour s'orienter vers la création, avec des Universités de ces deux pays, **de Centres de ressources** pour la formation de formateurs, (avec un Centre au Sénégal pour l'Afrique de l'Ouest et un second au Maroc, pour l'Afrique du Nord).

Cet élargissement du programme va aussi prendre en compte, la préparation de nos jeunes chercheurs à s'engager d'avantage dans les compétitions d'appels à candidatures pour les financements de programmes de recherche et de bourses.

Annexe

DECLARATION DE BRAZZAVILLE SUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE

A l'issue du premier congrès des Hommes de Science d'Afrique, tenu du 25 au 30 juin 1987 à Brazzaville, la déclaration suivante, connue sous le nom de Déclaration de Brazzaville fut rendue publique.

1. Nous, Hommes de Science d'Afrique, réunis à l'initiative du Secrétariat de l'Organisation de l'Unité Africaine (OUA), en notre Premier Congrès à Brazzaville (République Populaire du Congo), du 25 au 30 Juin 1987;

Nous souvenant que dans la passé, l'Afrique a été le berceau de la Science;

CONVAINCUS que la Science et la Technologie peuvent jouer un rôle important dans le développement économique et social du continent africain;

CONSCIENTS que les énormes ressources naturelles et humaines de l'Afrique peuvent Conduire à sa renaissance scientifique;

CONVAINCUS que dans un continent si balkanisé, seule la coopération et une stratégie Globale, continentale ou régionale peuvent aider nos pays à résoudre tous les Problèmes posés par la science et la Technologie;

RESOLUS à apporter notre concours au succès du Plan de Lagos pour le développement économique de l'Afrique (Avril 1980), et au Programme prioritaire pour assurer la formation dans les domaines appropriés de la Science en vue du Redressement économique de l'Afrique adopté en Juillet 1985, par la Session spéciale de l'Assemblée Générale des Nations Unies :

ADOPTIONS la présente Déclaration dite «**Déclaration de Brazzaville sur la Science et La Technologie**»

2. Nous, en notre qualité d'hommes de science africains,

Reconnaissant que l'information scientifique est à la fois notre contribution fondamentale, sommes

décidés à créer l'infrastructure nécessaire qui nous permettra de communiquer entre nous.

A cette fin, nous déclarons ce Congrès comme l'Assemblée Générale qui a créé l'Union Panafricaine non Gouvernementale de la Science et de la Technologie, conçue comme un Réseau et une Fédération d'Associations et d'Institutions Africaines Scientifiques et Technologiques, œuvrant en vue du développement de l'Afrique et à laquelle peuvent aussi adhérer à titre individuel, les Hommes de Science africains.

3. Les Hommes de Science africains réunis en leur premier congrès à Brazzaville sont aussi pleinement conscients de la nécessité urgente de planifier à long terme, de formuler et d'appliquer des politiques au niveau national, en matière de Science et de Technologie en Afrique. Nous nous sommes résolus à prendre l'initiative de faire des propositions dont nos Gouvernements pourront tenir compte, dans leur plan de développement national.

4. En ce qui concerne l'exploitation des ressources humaines, il est nécessaire d'assurer la formation dans les domaines appropriés de la Science et de la Technologie. Il est de notre devoir d'assister nos gouvernements dans l'élaboration des programmes nécessaires pour répondre à ces besoins.

5. Nous reconnaissons que l'objectif de nos travaux de recherche en vue du développement doit être la satisfaction des besoins de nos pays. Nous nous engageons à établir des liens très étroits avec les gouvernements et les différentes entreprises en vue de la poursuite et de l'intensification de nos activités de recherche pour le développement.

Fait à Brazzaville, le 30 Juin 1987

CONTACTS

The African Academy of Sciences (AAS)

8 Miotoni Lane, Karen
P.O. Box 24916, Nairobi, Kenya
Telephone: +254(20) 8060674
Cell: +254 725290145
E-Mail: aas@aasciences.org
Website: www.aasciences.org

The World Academy of Sciences (TWAS, For the advancement of science in developing countries

ICTP Campus, Strada Costieri 11, 3415 Trieste, Italy
Phone: +300402240327 -Fax: +39040224559
E-Mail: info@twas.org –
website: www.twas.org

The Network of African Science Academies NASAC

Postal address: P.O.Box 14798-00800 Nairobi Kenya
Physical address: Miotoni Lane of Miotoni Road, Karen
Telephone: +254 20 269 4730
+254721346099; or +254725290145 or +254736888001
Website: www.nasaonline.org

The Inter Academic Partnership (IAP)

Adress: ICTP Campus, Strada Costieri 11, 3415 Trieste, Italy
E mail: iap@twas.org
Web site: www.interacademies.net

Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal (ANSTS)

61, Boulevard Djily Mbaye- Boîte postale 4344 Dakar RP
Tel : +221338491099
Email : academ.sc@orange.sn academ.sn@ansts.sn
Site Web: www.ansts.sn



Activités de l'Académie

Activités des Collèges : bilan du premier semestre 2015 et plan d'action pour le second semestre 2015

I.- Bilan du premier semestre 2015

Au cours du premier semestre de l'année 2015, l'Académie Hassan II a connu une intense activité animée par les six Collèges. Ce rapport, bilan des activités des Collèges scientifiques, rapporte d'une manière succincte les principales manifestations qui ont été organisées. Il est à noter qu'outre ces activités transversales, les Collèges sont en charge aussi d'activités régulières, spécifiques à leurs domaines scientifiques, durant toute l'année tels que :

- le suivi des projets de recherche financés par l'Académie;
- le suivi des collaborations Internationales soutenues par l'Académie;
- le suivi des conventions de coopération entre l'Académie et les différentes institutions publiques et privées Nationales et Internationales;
- l'animation et le suivi des Clubs Scientifiques parrainés par l'Académie.

1- La session plénière solennelle 2015

Comme chaque année, et en application des dispositions du Dahir portant Loi instituant l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, celle-ci organise une session plénière solennelle.

Les membres de l'Académie, se retrouvent ainsi, annuellement, dans le cadre d'une rencontre de haut niveau avec des membres de la communauté scientifique nationale et de l'élite scientifique

mondiale, pour traiter d'un thème scientifique général, et de différentes questions de nature scientifique et technique, importantes pour le développement aussi bien économique que social du pays.

Le thème scientifique général retenu pour l'année 2015 porte sur : «Risques naturels : Séismes, ondes de tempêtes, phénomènes climatiques extrêmes».

Les discussions qui ont suivi les différentes présentations prévues au programme de cette session ont permis de mieux comprendre les éventuels dangers menaçant les populations et les infrastructures de par le monde, et de rechercher en conséquence les solutions les plus adéquates pour les prévenir; notamment au Maroc, qui de par sa position géographique, est particulièrement exposé à ce type de phénomènes (séisme d'Agadir du 29 février 1960, séisme d'Al Hoceima du 24 février 2004, inondations occasionnées par de très fortes précipitations de 200mm en 24h à Casablanca en 2014, vagues de tempêtes de 6 à 8 mètres de hauteur du 7 janvier 2014).

D'éminentes personnalités scientifiques invitées, du Maroc et de l'étranger, ont participé aux travaux de la session, notamment celles en provenance du Chili, de France, d'Espagne, des USA et du Japon.

Les différents aspects sous lesquels a été traité ce thème scientifique, général en l'occurrence, ont concerné les questions du lien entre risque et société, des séismes et ondes de tempête, des phénomènes climatiques extrêmes, des stratégies



pour la gestion des risques et le renforcement de la résilience, et aussi celle de l'adaptation au changement climatique global. En outre, un panel est envisagé pour approfondir les débats sur «Propositions d'action pour le Maroc : recherche, prédiction et prévention».

Pour ce qui les concerne, les six collèges scientifiques de l'Académie ont tenu, au cours de la session, des réunions pour adopter leur programme d'action pour l'année 2015, et ont fait le point des actions déployées en 2014, notamment celles relatives aux projets bénéficiant de l'appui financier de l'Académie. Ils ont procédé également à cette occasion au renouvellement de leurs instances.

Au cours de la séance d'ouverture de la session plénière solennelle un hommage fut rendu à Feu Pr. Abdellatif Berbich, membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, décédé au début de cette année.

2- La session ordinaire commémorant le 9^{ème} anniversaire de l'Installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Cette session, tenue le 18 Mai 2015, a été consacrée à la commémoration du 9^{ème} anniversaire de l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques par **Sa Majesté Le Roi Mohammed VI** -que Dieu Le garde-.

Les travaux de cette session ont concerné :

- La préparation de la session plénière solennelle 2016 et du 10^{ème} anniversaire de l'Académie.
- L'adoption du Document définitif sur le rapport concernant l'expérience de l'Académie en matière d'appui à la recherche scientifique et technique.
- La présentation des plans d'action des collèges pour le deuxième semestre de l'année 2015.
- L'adoption d'un message de gratitude et de loyauté à **Sa majesté le Roi Mohammed VI** -que Dieu Le garde-.

3- Les séminaires organisés par l'Académie

- a- Séminaire sur «**les technologies d'archéologie**» organisé les 2, 3 et 4 mars 2015, par le Ministère de la culture avec le concours du Collège des sciences et techniques du vivant;
- b- Séminaire sur «**les Maladies Génétiques au Maroc**», le 19 Mai 2015, organisé par le Collège des sciences et techniques du vivant;

- c- Séminaire sur «**le chêne liège**», le 29 Mai 2015, organisé par le Collège des sciences et techniques du vivant;
- d- Séminaire de clôture sur «**l'AVC**», le 28 Avril 2015, organisé par le Collège des sciences et techniques du vivant.



4- Les conférences organisées par l'Académie

Ce cycle de quatre conférences animées par d'imminents professeurs a connu un vif succès auprès de l'assistance composée en grande partie d'étudiants chercheurs des Universités de Casablanca, Rabat et Kénitra ainsi que de plusieurs enseignants chercheurs et intellectuels qui s'intéressent aux sciences de la vie, à la théorie des nombres ou encore aux sciences de l'Univers (astrophysique et cosmologie en particulier),.

Il s'agit successivement de :

- une conférence sur le thème «**L'aventure des nombres**», animée le mardi 24 Mars 2015 par le professeur Gilles Godefroy;
- une conférence sur le thème «**De la Matière à la Vie : Chimie? Chimie!**», animée le mercredi 01 Avril 2015 par le professeur Jean Marie Lehn;
- une conférence sur le thème «**L'univers a-t-il connu un instant zéro?**», animée par le professeur Etienne Klein le 18 mai 2015;
- une conférence de Nicolas Hulot le 30 Mai 2015, organisée par l'Académie à l'Université Euro-Méditerranéenne de Fès.

5- La tenue de conférences organisées par l'Académie avec le concours du SCAC

Avec le concours du Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) près l'Ambassade de France, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a organisé un cycle de 3 conférences sur des thématiques d'actualité et en relation avec les activités des Collèges. Ces conférences

ont été suivies par un public nombreux des villes de Casablanca, Rabat et Kénitra, et composé essentiellement d'enseignants et d'étudiants chercheurs.

- Conférence sur «**Les Big Data : les enjeux scientifiques**», animée le lundi 26 janvier 2015 par le professeur Eric Moulines;
- Conférence sur «**La médecine du futur**», animée le lundi 23 Mars 2015 par le professeur Pierre Tambourin;
- Conférence sur «**Les défis du photovoltaïque**», animée le Lundi 13 Avril 2015 par le professeur Bernard Drévilon.

6- Ecole académique

Une école Académique intitulée «Modélisation et prospective économique», a été organisée le 28 Mars 2015 par le Collège des études stratégiques et développement économique.

7- Clubs scientifiques et science au lycée

- Les Clubs Scientifiques : un rapport préliminaire d'évaluation des clubs scientifiques a été préparé par la commission d'évaluation coordonnée par le Professeur Ali Boukhari. Ce rapport est le résultat des visites effectuées aux clubs déjà parrainés par l'Académie et aussi de l'étude des nouvelles candidatures reçues par le Centre National d'Innovation Pédagogique et d'Expérimentation (CNIPE) du MENFP. Les visites effectuées ont concerné, jusqu'à présent 6 lycées à Rabat, Kénitra, Salé et Taza. Ces visites seront étendues à d'autres villes à partir du mois de Septembre 2015.
- Science au Lycée : une première expérience a été inaugurée au cours du mois de mai 2015, par la signature d'une convention entre l'Académie, l'AREF du Gharb Chrarda Bni Hsen et l'Université Ibnou Tofail de Kénitra, elle sera étendue avant la fin de l'année 2015 à d'autres régions du Royaume, particulièrement Rabat et Casablanca.

II.- Plan d'action prévisionnel pour la période allant jusqu'en Février 2016

La deuxième partie du plan d'action couvrant la période allant jusqu'à la tenue de la 10^{ème} Session Plénière Solennelle en février 2016 prévoit plusieurs grands événements dont on peut citer:

A- Conférences, séminaires et ateliers

A.1- L'organisation de plusieurs conférences scientifiques

- a- Conférence de **Jean Marie Chevalier** de l'Université Paris-Dauphine, prévue par le Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique (deuxième quinzaine du mois de Septembre 2015);
- b- Conférence de **Jean Pierre Dupuy** de l'Université de Stanford, prévue par le Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique en Octobre 2015;
- c- Conférence de **Jean Tirole**, Université de Toulouse, **prix Nobel d'économie 2014**, prévue par le Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique, au cours du dernier trimestre de 2015;
- d- Conférence de **Thomas Piketty** de l'Ecole d'Economie de Paris, prévue par le Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique au cours du dernier trimestre de 2015;
- e- Conférence de **Nadia El Kissi**, de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, prévue par le Collège des Sciences Physiques et Chimiques au cours du dernier trimestre de 2015;
- f- Conférence de **Mohamed El Jai**, de l'Université de Perpignan, sur le Graphène, prévue par le Collège des Sciences Physiques et Chimiques au cours du dernier trimestre de 2015;
- g- Célébration du **centenaire de la Relativité Générale** les 23 et 24 Novembre 2015, par le Collège des Sciences Physiques et Chimiques.

A.2- L'organisation de plusieurs séminaires

- a- Séminaire sur **l'industrie automobile**, prévu au dernier trimestre 2015, par le Collège des Sciences Physiques et Chimiques;
- b- Séminaire sur le **transfert des technologies au profit des PME**, en décembre 2015, prévu par le Collège d'Ingénierie, de Transfert et d'Innovation Technologique;
- c- Séminaire avec **le Réseau solaire**, en novembre 2015, (Collège d'Ingénierie, de Transfert et d'Innovation Technologique);
- d- Journées sur le thème des **crises biologiques (Bio-event)** pour mettre en relief l'effet des phénomènes extrêmes sur la biodiversité (disparition de la vie), prévues au cours du dernier trimestre de 2015;

- e- Journée «**centenaire de la relativité**»; dédiée aux sciences de l'Univers, prévue par le Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information au dernier trimestre de 2015;
- f- Journée dédiée à **Alain Turing**, prévue par le Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information au dernier trimestre de 2015;
- g- Journée dédiée à **Alexandre Grottendick**, prévue par le Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information au dernier trimestre de 2015.

B- Journées «Les jeunes et la science au service du développement»

L'ensemble des Collèges participe activement à ces journées dédiées cette année à la thématique générale de «la lumière». Un programme scientifique très riche en ateliers, conférences, visites etc... est prévue par les Académies Régionales de l'Education et de la Formation (AREF) avec le concours de l'Académie.



Séance inaugurale à la Bibliothèque Universitaire Mohamed Sekkat à Casablanca - Édition 2014 des Journées «Les jeunes et la science au service du développement»

C- Ecoles et ateliers thématiques

- 1- Formation des Assistants en Recherche Clinique, au cours du dernier trimestre 2015, (Collège des Sciences et Techniques du Vivant);
- 2- Organisation de l'École Africaine de Mathématiques, les 12 et 13 Octobre 2015 à Marrakech, par le Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information.

D- Formations dédiées aux Doctorants et aux jeunes enseignants chercheurs

- 1- Formation en rédaction scientifique qui sera organisée par le collège des études stratégiques et développement économique, le 18 Septembre 2015, au profit des Doctorants des sciences économiques;

- 2- Formation de formateurs en rédaction et communication scientifique en collaboration avec l'Académie Nationale de Médecine de France et l'Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal, en Novembre 2015, au profit de jeunes enseignants chercheurs de différentes universités.

E- Sessions Ordinaires

Session ordinaire sur «le recensement général» sera organisée par le Collège des Études Stratégiques et Développement Économique, au dernier trimestre de l'année 2015.

F- Enseignement des Sciences

L'ensemble des Collèges scientifiques participent activement à la commission chargée d'élaborer un porte-feuille d'expériences et d'outils pédagogiques et didactiques destiné aux collèges et lycées. Cette commission, coordonnée par Monsieur le Chancelier, a tenu plusieurs réunions en présence des enseignants et responsables du Centre National d'Innovation Pédagogique et d'Expérimentation (CNIPE). Les clubs scientifiques parrainés par l'Académie joueront le rôle de relais d'animation et de diffusion au sein de leur établissement et dans leur région. Le document sera finalisé et édité avant la fin de l'année 2015.

G- Programmes de recherche et état de la recherche par discipline

- Les collèges scientifiques de l'Académie sont en cours de finaliser les documents sur l'état de la recherche dans leurs différentes disciplines.
- Le collège des Sciences de l'environnement, de la terre et de la mer éditera, avant la fin de l'année, des livres blancs sur les différents risques naturels qu'encourt le Maroc.

Il est à noter que dans le plan d'action des six collèges, une part importante des activités est réservée au suivi des programmes de recherche financés par l'Académie ainsi qu'au suivi et à la coordination des différents réseaux, aux collaborations internationales et aux conventions de coopération et d'échange nationales et internationales.

Direction des Sciences

RENOUVELLEMENT DES INSTANCES DE L'ACADEMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Au cours de la session plénière solennelle 2015, il a été procédé à l'élection et ou réélection des membres du Conseil de l'Académie, de la commission des travaux, du directeur des séances et des directeurs et co-directeurs des Collèges scientifiques.

1) Elections des directeurs et co-directeurs de collèges

• Collège des sciences et techniques du vivant

- Directeur : Albert SASSON (reconduit)
- Co-directeur : Sellama NADIFI (élue)

• Collège des sciences et techniques de l'environnement, de la terre et de la mer

- Directeur : Ahmed EL HASSANI (reconduit)
- Co-directeur : Driss OUAZAR (reconduit)

• Collège des sciences physiques et chimiques

- Directeur : Rajaa CHERKAOUI EL MOURSLI (élue)
- Co-directeur : El Mokhtar ESSASSI (élu)

• Collège des sciences de la modélisation et de l'information

- Directeur : Youssef OUKNINE (élu)
- Co-directeur : Abdelghani BELLOUQUID (élu)

• Collège de l'ingénierie, transfert et innovation technologique

- Directeur : Ali BOUKHARI (élu)
- Co-directeur : Tijani BOUNAHMIDI (élu)

• Collège des études stratégiques et développement économique

- Directeur : Mohamed BERRIANE (élu)
- Co-directeur : Khalid SEKKAT (élu)

2) Election des membres du Conseil de l'Académie

- Omar FASSI-FEHRI, Secrétaire perpétuel
- Mostapha BOUSMINA, Chancelier
- Ali BOUKHARI
- Rajaa CHERKAOUI EL MOURSLI
- Youssef OUKNINE

3) Election des membres de la Commission des travaux

- Omar FASSI-FEHRI, Secrétaire perpétuel
- Mostapha BOUSMINA, Chancelier
- Driss ABOUTAJDINE
- Tijani BOUNAHMIDI
- Ahmed EL HASSANI
- Albert SASSON

4) Directeur des séances : Tijani BOUNAHMIDI

Nomination des nouveaux membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Au cours de la séance d'ouverture de la session plénière solennelle 2015 et comme prévu par le Dahir portant loi créant l'Académie, ont été accueillis les nouveaux membres de l'Académie que Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu perpétue Ses bienfaits, a grandement honorés en agréant leur nomination comme membres de l'Académie, conformément aux dispositions du Dahir portant loi instituant l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Cet agrément, qui honore l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, concerne un membre associé, huit nouveaux membres résidents, et cinq membres correspondants.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques s'enrichit ainsi de façon progressive, de compétences scientifiques affirmées, et reconnues comme telles, aussi bien par les communautés scientifiques nationales qu'internationales. Les nouveaux membres seront d'un grand apport à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, tant de par leur compétence que de par leurs réseaux de relations avec les plus prestigieuses institutions scientifiques mondiales. Nourrie de pareilles compétences, les capacités de l'Académie seront particulièrement renforcées afin de mettre en œuvre l'Orientation Royale qui lui a été donnée, le jour de son installation, par son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu L'assiste, et dont elle a fait sa devise : «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale».

Concernant **le membre associé**, il s'agit de **Mme Catherine BRECHIGNAC**, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences de l'Institut de France, Ambassadeur délégué à la science, l'innovation et la technologie, directeur de recherche au CNRS, spécialiste de physique atomique aux confins de la physique nucléaire et de la physique moléculaire. Directrice puis présidente du CNRS, ses travaux de recherche ont été récompensés par le Prix de l'Académie des sciences (1991), la médaille d'argent du CNRS (1994), le prix et la médaille Holweck (2003). Elle est officier de la Légion d'honneur et officier de l'Ordre national du mérite.



Les huit membres résidents sont :

- **Omar ASSOBBEI**. Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques depuis 2006, Président de l'Université Sidi Mohamed Benabdallah de Fès, spécialiste des questions de biotechnologie marine et de l'environnement. Pr. Assobhi est titulaire du Doctorat de l'Université Nancy-1 en Biologie moléculaire et Génétique microbienne, et du Doctorat d'Etat en Microbiologie Appliquée et Biotechnologie de l'Université Chouaib Doukkali. Il est fondateur du Laboratoire de Microbiologie Appliquée et Biotechnologie, devenu Laboratoire de Biotechnologie Marine et de l'Environnement, et il est Coordonnateur National du pôle de compétence REMER (Réseau National des Sciences et Techniques de la Mer).



- **Mohamed BERRIANE**. Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques depuis 2006, Ancien doyen de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, université Mohammed V-Agdal, Rabat, il est docteur d'Etat ès-Lettres et Sciences Humaines de l'Université François Rabelais de Tours (France). Ses travaux de recherche scientifique portent sur l'analyse des espaces touristiques et des rapports entre tourisme et développement local et régional, sur les questions d'environnement et culture, et sur la problématique de l'émigration internationale des marocains et ses retombées sur les régions d'origine. Ses travaux portent également sur le développement régional et local et l'aménagement du territoire. Membre fondateur et coordonnateur national du pôle de compétence RELOR (Réseau d'étude et de recherche sur le local et le régional), il est lauréat de la Fondation allemande Alexander von Humboldt.



- **Tijani BOUNAHMIDI.** Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques depuis 2006, ancien Vice-président de l'Université Mohammed V - Agdal, Rabat, il est actuellement Vice-président de l'Université Euro-méditerranéenne de Fès.



Diplômé de l'Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, il est titulaire du Doctorat au LASSC, à la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège (Belgique) sur la modélisation de la cinétique de la réaction «shift» assistée par micro-ordinateur en ligne sur l'installation expérimentale. Fondateur du Centre d'Innovation Technologique (CIT), ses enseignements et ses travaux de recherche concernent essentiellement les domaines du Génie, de la réaction chimique, et de l'ingénierie des procédés assistée par ordinateur.

- **Rajaa CHERKAOUI EL MOURSILI.** Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques depuis 2006, Vice-président de l'Université Mohammed V - Agdal, elle est titulaire du doctorat ès-sciences physiques de l'Université Joseph Fourier de Grenoble (France).



Responsable du Laboratoire de Physique Nucléaire (LPNR) à la Faculté des sciences de Rabat, elle est un des précurseurs de la participation du Maroc à la collaboration internationale ATLAS au CERN. Pr Cherkaoui fait partie du premier Groupement de Recherche Internationale (GDRI) mis en place par le CNRS (France) et le CNRST (Maroc) dans le cadre de l'expérience ATLAS, et est coordonnateur local du pôle de compétence "Réseau Universitaire de Physique des Hautes Energies" (RUPHE). Expert auprès de l'AIEA, elle participe à plusieurs formations au Maroc et en Afrique.

- **Mohammed Kabbaj.** Ingénieur diplômé de l'Ecole Polytechnique (Paris), de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussée (Paris), et de l'Institut des Sciences Politiques de Paris, il a occupé de nombreuses hautes fonctions, notamment ministérielles, celle de Ministre des Travaux Publics, celle de Ministre des Finances, avant d'être nommé Conseiller



de Sa Majesté Le Roi, puis Wali du Grand Casablanca ; récemment il vient d'être nommé par Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, Chancelier de l'Université Euro-Méditerranéenne de Fès.

- **Sellama NADIFI.** Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques depuis 2006, Docteur en Médecine, elle est titulaire d'un Doctorat d'Etat Es-Sciences en Génétique et Biologie Moléculaire (Université de Fès). Professeur d'Enseignement Supérieur,



elle dirige le Laboratoire de Génétique et Pathologie Moléculaire à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de l'Université Hassan II - Aïn Chock, Casablanca. Elle a contribué à la mise en place du premier laboratoire de génétique moléculaire au CNTS, et pris part à l'élaboration d'un programme de prise en charge de deux pathologies fréquentes, les hémoglobinopathies et l'hémophilie. Ancienne Chef du Département de Recherches à l'Institut Pasteur, elle a fondé le Laboratoire de Génétique Humaine où elle assure l'encadrement de projets de recherche et de formation en génétique. Membre fondateur de la société de génétique et de biologie moléculaire, elle développe des projets de recherche auprès de l'UE, AIEA, CNRS, INSERM, PROTARS

- **Abdelaziz SEFIANI.** Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques depuis 2006, Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Rabat, il est responsable du Département de Génétique Médicale, à l'Institut National d'Hygiène



à Rabat. Docteur en médecine, il est titulaire d'un doctorat en génétique humaine de l'Université Paris VII. Pr Sefiani a mis en place, le département de génétique médicale qu'il dirige à l'Institut National d'Hygiène à Rabat, département qui offre des prestations de génétique clinique, chromosomique et moléculaire, basées en partie, sur le transfert des nouvelles technologies de l'analyse du génome humain. Il est très fréquemment sollicité, pour son expertise en génétique humaine et médicale, par différents ministères et centres de recherche marocains, en

particulier dans les domaines de la recherche scientifique, la santé, la justice et les personnes handicapées.

- **Khalid SEKKAT**. Membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques depuis 2006, Professeur d'économie à l'Université Libre de Bruxelles, il est titulaire du doctorat en économie de l'Université Libre de Bruxelles (Belgique), et ses activités de recherche scientifique portent essentiellement sur l'économie internationale et l'économie du développement. Auteur de très nombreux ouvrages, Pr Sekkat est membre du comité de direction du Forum Euro Méditerranée des Instituts Economiques (FEMISE, France), membre du Conseil Scientifique du Economic Research Forum (ERF, Egypte), il est aussi expert auprès de la CNUCED, de l'Agence Française du Développement, du Bureau International du Travail, de la Banque Mondiale, de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle, de l'OCDE, de la Commission Européenne et du Parlement Européen.



Les membres correspondants sont :

- **Rachid YAZAMI**, Ingénieur lauréat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, et titulaire d'une thèse d'Etat sur «composés d'insertion de graphite dans les générateurs électrochimiques au lithium-ion», préparée au laboratoire d'absorption et réaction de gaz sur solide (LARGS). Associé au CNRS, sa carrière scientifique est partagée entre plusieurs pays, la France (Institut National Polytechnique de Grenoble), le Japon (étude des matériaux fluorés destinés aux piles et batteries à Kyoto), les USA (travaux de recherche au California Institute of Technology et au sein de la NASA), et à Singapour (professeur titulaire de la chaire dédiée aux programmes de recherche sur le stockage de l'énergie, en particulier pour les voitures électriques). Il est auteur de plusieurs inventions notamment la batterie Li-ion.



Le prestigieux Prix Draper lui a été décerné le 30 juillet 2014, et à l'occasion de la fête du Trône, il était honoré par Sa Majesté Le Roi, que Dieu Le protège, et décoré du Wissam Al Kafaa Al Fikria.

- **El Hassan BELARBI HAFTALLAOUI**. Titulaire



d'un Doctorat en sciences chimiques à l'Université de Almería (Espagne), il est Professeur titulaire en génie chimique dans cette même université où il est également en charge de la coopération. Doté d'une solide formation scientifique en génie chimique et dans les biotechnologies de l'environnement, ainsi que d'une riche expérience dans le domaine de la coopération en particulier avec les pays du bassin méditerranéen, il est auteur de très nombreux articles dans des revues scientifiques internationales et détenteur de plusieurs brevets.

- **Nadia EL KISSI**. Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble (France) et docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (Prix de Thèse), elle est Professeur des Universités, Directrice du Laboratoire Rhéologie et Procédés, Présidente du Comité «Rhéologie Expertise in Europe», et Présidente du Groupe Français de Rhéologie.



Pr. El Kissi travaille sur les polymères fonctionnels, conducteurs protoniques pour le stockage et la reconversion de l'énergie, ainsi que sur l'élaboration et la mise en forme de polymères nano-composites pour la valorisation des ressources naturelles. Elle a développé une forte coopération avec plusieurs groupes industriels comme Rhône Poulenc, Société Chanel, la Région Rhône-Alpes, la SAGEM, et participe au projet NMHT sur les piles à combustible haute température. Auteur de très nombreuses publications dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture et possède un h-index égal à 15. Elle est co-éditeur de deux revues, JNNFM (Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics) et Rheologica Acta.

- **Wafa SKALLI.** Ingénieur des Arts et Métiers (France), Docteur-Ingénieur en génie mécanique et titulaire de l'Habilitation à diriger les travaux de recherche, elle est Professeur des Universités à l'ENSAM (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers – Paris), de classe exceptionnelle, Directrice du Laboratoire de Biomécanique Arts et Métiers – Paris Tech, et expert auprès de plusieurs organismes dont en particulier l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) et l'ANVAR (Agence Nationale de Valorisation de la Recherche).



Lauréate de la Fondation Yves Cotrel (de l'Institut de France) et du Prix du meilleur partenariat industriel, Pr Skalli a une expérience particulièrement riche et diversifiée en matière de recherche scientifique et d'innovation. Ses recherches portent sur la modélisation personnalisée du système musculo-squelettique.

Auteur de très nombreuses publications dans des revues scientifiques internationales, elle a déposé une dizaine de brevets et développe une coopération très fructueuse avec le milieu industriel.

- **Redouane TAOUIL.** Docteur d'Etat, Habilité à diriger les travaux de recherche et Agrégé des Universités en sciences économiques, il est Professeur des Universités à la Faculté d'Economie de Grenoble (Centre de recherche en économie de Grenoble), et ses enseignements portent sur la microéconomie, l'économie appliquée, l'histoire de la pensée économique. Ses travaux de recherche concernent notamment les modèles macroéconomiques et l'économie du développement, et ses nombreuses publications sont dans les revues scientifiques internationales. Il est par ailleurs coauteur de plusieurs (6) ouvrages collectifs à comité de lecture, en particulier sur «la théorie de la politique monétaire face à l'instabilité financière», et «Inégalités et cohésion sociale», et il a régulièrement contribué à l'organisation chaque année de l'Ecole académique organisée par le collège «Etudes stratégiques et développement économique» de l'Académie, à l'intention des doctorants marocains en sciences économiques.



Convention «Sciences au Lycée»

Le secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, le président de l'Université Ibn Tofail de Kénitra (UIT) et le directeur de l'Académie Régionale de l'Education et de la Formation du Gharb Chrarda Beni Hssan ont procédé le vendredi 24 avril 2015 à l'Université Ibn Tofail de Kénitra au lancement de la convention «Sciences au Lycée» qui les lie, en présence notamment de directeurs de lycées, des élèves et leurs professeurs, des directeurs des laboratoires d'accueil et de professeurs de l'Université Ibn Tofail.

La convention «Sciences au lycée», initié par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, s'adresse essentiellement aux élèves des lycées et des lycées professionnels de la région et a pour but la sensibilisation des lycéens à l'orientation vers les études scientifiques et techniques.

Elle concerne, dans une première étape, les volets «Chercheurs dans les classes (Lycéens dans les laboratoires)» et le «Parrainage des établissements scolaires par les établissements universitaires».

Cette coopération vise notamment à :

- sensibiliser les jeunes élèves à s'orienter vers les études scientifiques et techniques,
- faire connaître aux élèves le milieu de la recherche scientifique et celui de l'entreprise et la valorisation des connaissances scientifiques,
- favoriser le développement des sciences expérimentales et technologiques au lycée autour d'une thématique déterminée,

- créer des réseaux sur des thématiques telles que l'astronomie, la météorologie, la sismologie,...
- renforcer les liens avec les partenaires régionaux, nationaux et internationaux,
- inciter les élèves à devenir des «ambassadeurs» auprès de la communauté dans des domaines sensibles (environnement, catastrophes,...).

Le programme comprend les volets suivants :

- des séjours dans des laboratoires de recherche scientifiques à l'université sur des thématiques appropriées (Chercheurs dans les classes),
- des visites d'ingénieurs ou techniciens dans les classes (Ingénieurs dans les classes),
- des visites d'entreprises modèles par les enseignants et leurs élèves (Enseignants dans les entreprises),
- des montages de projets et accompagnement pédagogique (Projets didactiques), d'échanges et prêts de matériels (Chercheurs dans les classes, Projets didactiques),
- l'organisation de la participation à des concours et des olympiades internationales,...
- des aides financières aux établissements de recherche, par des fondations, pour le développement des supports didactiques ou autres.

La coordination et le suivi de la réalisation des prestations sont assurés par Mme Nouzha Habbadi de l'UIT, MM. Rachid Akharbi de l'AREF et Ali Boukhari de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.



Monsieur le secrétaire perpétuel en compagnie du président de l'Université Ibn Tofail et du directeur de l'Académie Régionale de l'Education et de la Formation du Gharb Chrarda Beni Hssan

LA LUMIERE

Thème des journées «les jeunes et la science au service du développement», édition 2015

De tous les temps, la lumière a fasciné l'homme, de l'arc-en-ciel aux hologrammes et nouvelles technologies basées sur la lumière, de l'énergie aux télécommunications et à la médecine. La lumière est omniprésente dans notre quotidien. En décrétant l'année 2015 Année internationale de la lumière, les Nations Unies et l'UNESCO ont voulu rendre hommage aux hommes qui ont marqué par leurs travaux l'histoire du développement scientifique de l'humanité, et particulièrement leur contribution au développement de l'optique et la compréhension de la vision ainsi que les théories de physique avancée, en relation avec la lumière. En conséquence, faire de l'année 2015 l'année internationale de la lumière coïncide, en réalité, avec la commémoration des avancées scientifiques majeures au cours de l'histoire des sciences. On peut citer entre autres :

- le millénaire de la publication en 1015 du traité sur la nature de la lumière en sept volumes d'optique (Kitab Al-Manazir) par Abu Ali Al-Hassan Ibn Al-Haitam (Alhazen en latin);
- le bicentenaire du concept ondulatoire de la lumière proposé par Augustin-Jean Fresnel en 1815;
- la théorie électromagnétique mise au point par James Clarck Maxwell en 1865;
- le centenaire de la théorie de la relativité générale proposée par Albert Einstein en 1915;
- le cinquantenaire de la découverte du rayonnement fossile en 1965 par Arno Penzias et Robert Wilson.

De ces grandes avancées scientifiques sont nées les plus grandes technologies allant de la correction des problèmes de vision au GPS et aux lasers et leurs applications dans divers domaines de la médecine et de l'industrie de pointe.



Suite à la décision des Nations Unies et en étroite concertation avec le Ministère de l'Éducation Nationale et de la Formation Professionnelle, la neuvième édition des «journées les jeunes et la science au service du développement», qui se tiendra du 26 Novembre au 04 Décembre 2015, sera consacrée à la thématique générale «La lumière».

Comme pour les éditions précédentes, les manifestations scientifiques seront organisées par les Académies Régionales de l'Éducation et de la Formation (AREF) à travers toutes les régions du Royaume, avec le concours des six collèges scientifiques de l'Académie. L'édition de cette année sera l'occasion pour mettre l'accent sur l'impact de la recherche scientifique et des formations scientifiques sur le développement économique et social du pays. Cette année verra notamment l'entrée en service, à Ouarzazate, du projet NOUR, la plus grande station d'énergie solaire au monde.

Comme toutes les années passées depuis la création de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, les journées "les jeunes et la science au service du développement" sont une opportunité pour sensibiliser les collégiens et les lycéens au rôle que joue la science dans le processus du développement de l'humanité d'une part et de développer, d'autre part, la culture scientifique parmi notre jeunesse pour la formation de l'élite scientifique et citoyenne de demain. A ce titre, des conférences, des ateliers ainsi que des visites de laboratoires et d'entreprises, des sorties de

découverte de la nature, et des projections de films documentaires, sont programmés à travers les différentes régions du Royaume. Cependant une attention particulière sera portée aux ateliers de travail et d'expérimentation; à cet effet, des expériences didactiques et pédagogiques sont en cours d'élaboration et de mise au point pour ces manifestations afin de permettre aux élèves de mieux appréhender les concepts scientifiques de base, selon la fameuse méthode Anglo-Saxonne «Learning by doing».

Direction des Sciences





Conférences à l'Académie

LES CONFERENCES DE L'ACADEMIE

«L'univers a-t-il connu un instant zéro ?»

Professeur Etienne KLEIN

D'où vient l'univers ? Et d'où vient même qu'il y ait un univers ? Cette question de l'origine demeure la plus mystérieuse de toutes, la plus vertigineuse, d'où la profusion de discours qui tentent d'y répondre. C'est grâce à la science, aux découvertes de Newton, Galilée, Albert Einstein, Edwin Hubble, Alexandre Friedmann et Georges Lemaître, qu'on peut retracer le grand récit de l'univers, remonter son histoire à 13,7 milliards d'années, jusqu'à cette phase très dense et très chaude qu'on a appelée le big-bang. Mais celui-ci est-il vraiment, comme on l'a imaginé, cette explosion originelle qui aurait créé tout ce qui existe ? Qu'en dit au juste la cosmologie contemporaine ?



Né en 1958, **Etienne Klein** est physicien, directeur de recherches au CEA et docteur en philosophie des sciences. Il dirige le Laboratoire de Recherche sur les Sciences de la Matière du CEA (LARSIM). Il a participé à divers grands projets, en particulier la mise au point du procédé de séparation isotopique par laser et l'étude d'un accélérateur à cavités supraconductrices. Au CERN, il a participé à la conception du grand collisionneur de particules européen, le LHC, grâce auquel a été découvert le boson de Higgs (en juillet 2012). Il est professeur de physique et de philosophie des sciences à l'Ecole Centrale de Paris. Auteur de nombreux ouvrages et lauréat de plusieurs prix, il est membre de l'Académie des Technologies. Il anime tous les samedis (à 18h10) une émission sur France-Culture, «La conversation scientifique». Il a écrit plusieurs ouvrages de réflexion sur la physique, notamment sur la question du temps. Il a récemment publié :

- *Le monde selon Etienne Klein, France-Culture/Les Equateurs, 2014.*
- *En cherchant Majorana, Flammarion/Les Equateurs, 2013.*
- *Allons-nous liquider la science ? Galilée et les Indiens, Flammarion, 2013.*
- *Discours sur l'origine de l'univers, Champs- Flammarion, 2012.*
- *Anagrammes renversantes (avec Jacques Perry-Salkow), Flammarion, 2011.*

«L'aventure des nombres»**Professeur Gilles GODEFROY**

La géométrie a conduit les Anciens à découvrir les nombres irrationnels, et à constater que certains algorithmes ne convergeaient pas. Cette première apparition de l'infini en mathématiques les a conduit à l'idée de démonstration et aux premières axiomatiques. Au début du vingtième siècle, le développement de la théorie des ensembles a confronté les mathématiciens à une nouvelle occurrence de l'infini, où l'irrationalité cède la place à l'indécidabilité. Comment ont-ils relevé ces nouveaux défis?



Professeur Gilles Godefroy, est un ancien élève de l'École Normale Supérieure (1972-1976). Entré au C.N.R.S. en 1976, il est directeur de recherches depuis 1990. Il a soutenu sa thèse d'Etat en 1981 sous la direction de Gustave Choquet. La plupart de ses travaux de recherche concerne l'analyse fonctionnelle, et en particulier la géométrie des espaces de Banach. Il est l'auteur de deux livres de diffusion des mathématiques, *L'Aventure des Nombres* (1997), et *Les Mathématiques, mode d'emploi* (2011).

«De la Matière à la Vie : Chimie? Chimie!»

Professeur Jean MARIE LEHN

L'évolution de l'univers a généré des formes de plus en plus complexes de la matière, jusqu'à la matière vivante et pensante, par auto-organisation. La matière animée tout comme la matière inanimée, les organismes vivants ainsi que les matériaux, sont formés de molécules et d'ensembles organisés résultant de l'interaction des molécules entre elles. La chimie établit le pont entre les molécules de la matière inanimée et les systèmes moléculaires hautement complexes qui constituent les organismes vivants. La chimie moléculaire a développé un ensemble de méthodes très puissantes pour la construction de molécules toujours plus sophistiquées. La chimie supramoléculaire se fixe comme but l'édification d'assemblées de molécules au moyen des interactions entre les partenaires. La formation spontanée d'architectures organisées repose sur la mise en œuvre d'information au niveau moléculaire, en une sorte de programmation moléculaire, qui établit ainsi un lien entre chimie et science de l'information. Elle constitue la base de la capacité d'auto-organisation qui a conduit de la matière à la vie. Le champ de la chimie est l'univers de toutes les espèces moléculaires et de toutes les transformations possibles de la matière. Celles effectivement présentes dans la nature ne forment qu'un seul monde parmi tous les mondes possibles en attente d'être créés. Des considérations conceptuelles sur la chimie et la science en général ont été présentées.



Jean-Marie Lehn est professeur à l'Institut d'Etudes Avancées de l'Université de Strasbourg (USIAS), professeur émérite à l'Université de Strasbourg et professeur honoraire au Collège de France à Paris. En 1968, il a réalisé la synthèse de Molécules en forme de cage (cryptands) possédant une cavité tridimensionnelle (crypte) pouvant accueillir une autre espèce, molécule ou ion, pour former un cryptate. Ses travaux se sont étendus à l'étude des bases de la "reconnaissance moléculaire" (la façon dont une molécule réceptrice reconnaît et lie de manière sélective un substrat), qui joue un rôle fondamental dans les processus biologiques. Au fil des années, ils ont conduit à la définition d'un nouveau champ de la chimie, qu'il a appelé «chimie supramoléculaire». Elle concerne les entités complexes formées par l'association de deux ou plusieurs espèces chimiques maintenues ensemble par des forces intermoléculaires.

Ses travaux se sont développés vers la chimie des processus d'auto-organisation, concernant la conception de systèmes chimiques programmés capables de former des ensembles supramoléculaires hautement spécifiques par assemblage de composants appropriés de façon spontanée mais dirigée par l'information moléculaire présente dans le système. Plus récemment, la mise en œuvre de phénomènes de sélection et de dynamique réactionnelle a conduit au développement de la "chimie dynamique constitutionnelle" dont les entités sont capables de se réorganiser en réponse à des stimuli externes, ouvrant ainsi la voie à une "chimie adaptative et évolutive".

En 2002, le professeur Lehn a fondé l'Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires (ISIS) à Strasbourg. Il a été impliqué dans un grand nombre d'organismes publics et privés et a participé à la création de plusieurs start-ups. En tant que président de l'Organisation internationale des sciences chimiques pour le développement (IOCD), il vise, avec un groupe de collègues dévoués, à aider les chimistes dans les pays en développement. Auteur de plus de 900 publications scientifiques et de 2 livres, il est membre de nombreuses académies et institutions. Outre le prix Nobel, il a reçu de nombreuses distinctions et prix internationaux, parmi lesquels, le titre d'Officier de l'Ordre National du Mérite (1993), de Commandeur de la Légion d'Honneur (1996), le Österreichisches Ehrenzeichen für Wissenschaft und Kunst (première classe) (2001), le Grosses Verdienstkreuz mit Stern der Bundesrepublik Deutschland (2009), Grand officier de l'ordre du Mérite culturel de Roumanie (2004), Médaille Eucor4 (2013) et Grand officier de la Légion d'honneur (2014). Il est membre fondateur de l'Académie des technologies - France et il est l'auteur de "La Chimie supramoléculaire", De Boeck Université, 1997 (ISBN 2-8041-2504-1).

En 1987, Jean-Marie Lehn a reçu le Prix Nobel de chimie, avec Donald Cram et Charles J. Pedersen.

«Big Data : Les enjeux scientifiques»

Professeur Eric MOULINES

L'univers numérique est en constante expansion. Lorsque le «Sloan Digital Sky Survey» a débuté en 2000, son télescope au Nouveau-Mexique a recueilli plus de données en 5 semaines que l'ensemble des informations collectées dans toute l'histoire de l'astronomie. A la fin 2011, il avait recueilli plus de 140 téraoctets d'information. Son successeur, le «Grand Synoptic Survey Telescope» au Chili, qui devrait entrer en service en 2016, sera capable d'acquérir la même quantité de données tous les cinq jours.

Sur le marché EURONEXT, environ 1.5 millions de transactions sont enregistrées quotidiennement, dont environ 80% sont effectuées par trading algorithmique basé sur des modèles mathématiques permettant d'élaborer des stratégies haute fréquence.

Google traite plus de 24 pétaoctets de données par jour, un volume qui est mille fois plus important que l'ensemble des documents imprimés rassemblés dans la Bibliothèque du Congrès américain.

De l'astronomie aux sciences du vivant, du commerce à la santé, de la finance à l'Internet, les secteurs et les applications sont différents mais pour tous, la même révolution est en train de se réaliser: la quantité de données dans le monde explose !

Le Big data marque le début d'une transformation majeure, qui va affecter de façon profonde l'ensemble des secteurs de l'économie et de la recherche scientifique. Tout comme le télescope nous a permis de comprendre l'univers et le microscope électronique la structure de la matière, les nouvelles techniques de collecte et d'analyse d'énormes quantités de données vont bouleverser nos sociétés d'une manière que nous commençons tout juste à entrevoir.

Les problèmes soulevés par la **gestion de volumes** sans précédent a fortement stimulé des domaines comme le stockage et le calcul distribué, l'analyse automatique de texte, l'extraction de connaissances et, au sens large, la fouille de données. L'**analyse des données massives** et souvent hétérogènes est un encouragement à l'émergence de nouvelles recherches porteuses d'innovation.

Deux exemples de recherches permettent d'illustrer ces problèmes : les systèmes de recommandations et les algorithmes stochastiques pour le traitement de données massives.



Eric Moulines est ingénieur Général au corps interministériel des Mines, Eric MOULINES est diplômé de l'Ecole Polytechnique (Paris), et Docteur de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (spécialité Traitement du Signal et des Images). Professeur à l'ENST, il reçoit la Médaille d'Argent du CNRS 2010, et le Prix France Télécom de l'Académie des Sciences 2011.

Depuis 2010, il est responsable du projet «MISSTIC» (méthodes d'inférence statistique pour lesSTIC). Membre de très nombreux comités et de réseaux scientifiques (Technical Committee de la société IEEE, réseau thématique pluridisciplinaire Mathématiques de l'Information, des Signaux et des Systèmes auprès de la Direction Scientifique STIC du CNRS, Comité National de la Recherche Scientifique, Comité d'Evaluation de l'INRIA), Eric Moulines est éditeur associé de nombreuses revues (revue IEEE Trans. on Signal Processing, revue ESAIM Probability and Statistics, revue Signal Processing, revue Bernoulli, revue de Statistique Appliquée, revue Stochastic Processes and Their Applications).

Le Professeur Eric Moulines est auteur de plus d'une centaine d'articles dans des revues internationales avec comité de lecture (Annals of Statistics, Annals of Applied Probability, Bernoulli, IEEE Transactions on Signal Processing) et aussi de plus d'une centaine de communications internationales.

«La médecine du futur»

Professeur Pierre TAMBOURIN

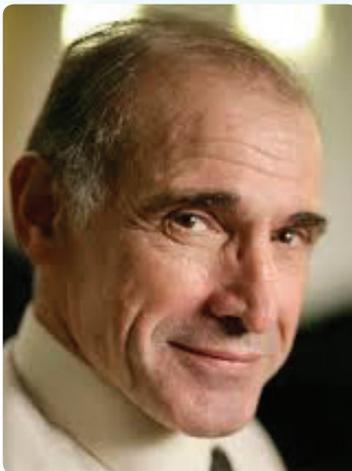
2003 marque la «fin» du séquençage du génome de l'homme. Cette opération d'envergure avait coûté quelque 3 milliards de dollars et mobilisé huit laboratoires dans le monde (quatre américains, un britannique, un allemand, un français et un japonais).

Depuis cette date, le coût du séquençage de l'ADN a chuté et continue de diminuer, atteignant des chiffres (1 000 dollars) qui permettent d'envisager, très prochainement, son utilisation médicale à très grande échelle. La médecine d'organe fera place, peu ou prou, à une médecine génétique moléculaire et cellulaire.

La conférence donne des éclaircissements sur les domaines d'application les plus en pointe dans ces applications et sur les questions qui vont se poser, de nature très diverses, lors du développement de ces approches ?

Par ailleurs, en 2007, le chercheur japonais Shinya YAMANAKA décrit une méthode révolutionnaire de production de cellules souches «embryonnaires» à partir de cellules adultes de divers types. Ces cellules, dites iPS pour «induced Pluripotent Stem cells», sont capables de se multiplier indéfiniment et de se différencier en de très nombreux types cellulaires. Très proches des cellules embryonnaires, ces cellules seront à l'origine d'un chapitre, jusque-là relativement modeste, de la médecine que l'on appelle «médecine régénérative».

Un tableau des applications de ces technologies en médecine humaine est brossé et les principaux problèmes posés par leur application sont abordés.



Pierre Tambourin est ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Directeur de recherche à l'INSERM. Il est, depuis 1998, directeur général de Genopole à Évry. Il préside également le Comité national de réflexion éthique sur l'expérimentation animale depuis 2010 ainsi que l'association Centre de recherche Clinique et Translationnelle depuis 2009.

«Les défis du photovoltaïque»

Professeur Bernard DREVILLON

Le solaire photovoltaïque (PV) est sans doute la plus prometteuse de toutes les énergies renouvelables (ENR) avec l'hydraulique, au niveau mondial. En comparaison avec les autres ENR, le PV est le domaine qui bénéficie du principal effort de R&D. Le contexte énergétique mondial est rappelé, ainsi que les évolutions économiques récentes. La forte baisse du coût du PV a été l'un des tournants majeurs de ces dernières années. La parité réseau du PV est attendue dans les toutes prochaines années dans beaucoup de régions du monde, avec une puissance installée mondiale qui dépassera 200 GW dans quelques mois. La technologie dominante du PV est actuellement basée sur l'utilisation du silicium cristallin qui représente environ 90% de la puissance mondiale installée. Les enjeux techniques de cette filière sont discutés, en termes d'efficacité énergétique et de coût de l'énergie. Les rendements obtenus sont en constante augmentation et devraient atteindre au moins 25%. Les perspectives des autres technologies PV sont décrites. En particulier, il est montré que l'utilisation récente de techniques héritées de la microélectronique pourrait permettre d'atteindre des rendements énergétiques de l'ordre de 40% ou plus, tout en maintenant la compatibilité avec la filière silicium.



Bernard Dréville commence sa carrière de recherche en Physique des Hautes Energies à l'Ecole polytechnique en 1969. Il soutient sa thèse en 1973. Puis il se tourne vers la synthèse de couches minces de silicium pour applications photovoltaïques et participe à la création du Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces (LPICM) à l'Ecole polytechnique en 1986. Il se spécialise dans une technique de caractérisation optique originale (ellipsométrie spectroscopique) qui permet le suivi en temps réel de la croissance des couches. L'instrument sera ensuite exploité commercialement par Jobin-Yvon (devenue Horiba) à partir des années 90. Plusieurs centaines d'ellipsomètres ont été vendus depuis dans le monde entier. B. Dréville a dirigé le LPICM de 1999 à 2012 et participé activement à la création de l'Institut Photovoltaïque d'Ile de France (IPVF, opérationnel en 2016), en collaboration avec EDF et TOTAL. B. Dréville est l'auteur de plus de 250 publications dans des revues à comité de lecture (facteur H : 41) et d'une trentaine de brevets d'invention. Il a dirigé plus de vingt thèses. Il est Professeur à l'Ecole polytechnique depuis 2001, il dirige le Master Renewable Energy Science and Technology (REST) depuis 2011. Il est également l'éditeur en chef de la revue scientifique européenne EPJ - AP (Applied Physics), depuis 2003. B. Dréville a reçu de nombreux prix scientifiques pendant sa carrière. Il est Fellow du SPIE (International Society for Optical Engineering). Il est chevalier de la Légion d'Honneur et Officier des Palmes Académiques.



Appui à la recherche scientifique et technique

Programme d'appui à la recherche scientifique et technique : Evaluation et perspectives *

Dans le cadre d'une démarche visant à améliorer son action en matière d'appui à la recherche scientifique et technique, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a procédé à une évaluation de son programme d'appui à la recherche scientifique et technique, dans le but d'en apprécier l'efficacité et l'efficacités et de faire des propositions pour une amélioration de ce programme.

Ce travail a été entrepris par un comité ad hoc formé de Mostapha BOUSMINA (Chancelier de l'Académie et Président du comité), Mohamed AIT KADI, Ali BOUKHARI, Taïeb CHKILI, Nouredine EL AOUI, Driss OUAZAR (Membres résidents de l'Académie) et Abdelkader YACHOU (responsable des programmes d'appui à la recherche scientifique initiés par l'Académie).

Ce travail a donné lieu à un rapport sur «l'expérience de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en matière d'appui à la recherche scientifique et technique: examen et propositions pour une amélioration continue des modalités de soutien aux projets de recherche». Ce rapport a été discuté au sein de la commission des travaux et à l'occasion de la session anniversaire du 18 mai 2015. Il décrit la méthodologie utilisée pour la réalisation de cette évaluation, qui a donné lieu notamment à des réunions avec les chefs de projets financés par l'Académie. Cette approche, qui privilégie un état d'esprit de proximité et de service personnalisé, a permis au comité d'enregistrer les difficultés rencontrées dans la mise en œuvre des projets qu'ils pilotent et les suggestions avancées par les chercheurs ainsi que les pistes de solutions et de propositions d'amélioration. Le comité a pu ainsi effectuer des visites de laboratoires, se rendre compte des équipements acquis et également dialoguer avec le personnel de recherche.

L'analyse de l'expérience des huit années de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en matière de soutien à la recherche a permis

de dresser un bilan concernant les succès et les retombées scientifiques et socio-économiques obtenus (Tableau 1) ainsi que les difficultés rencontrées dans la mise en œuvre des projets de recherche, et de ce fait, d'en tirer les leçons qui s'imposent.

L'établissement d'un benchmark international concernant les bonnes pratiques de gestion des projets de recherche et l'examen de la situation marocaine en matière de gouvernance du système national de recherche et d'innovation ont rendu plus clair le positionnement stratégique de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques en matière d'appui à la recherche scientifique marocaine.

Enfin, ont été formulées des recommandations visant à:

- apporter des améliorations concernant l'organisation des appels à projets, les modalités et le processus de soumission, l'examen des demandes de financement et la sélection des projets, ainsi que la mise en œuvre et le suivi des projets de recherche;
- rendre plus performant le dispositif et les pratiques qui gouvernent actuellement le fonctionnement du tissu de la recherche scientifique et technique au Maroc, notamment celles relatives à la mise en œuvre des projets de recherche;
- assurer les conditions susceptibles de doter le royaume d'un environnement favorable à la recherche scientifique et technique et à l'innovation.

Après discussion et amélioration du texte, le rapport a été adopté à l'unanimité par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques lors de la dernière session anniversaire commémorant l'installation le 18 mai 2006 de l'Académie par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu L'assiste.

* Note de présentation du rapport établi par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Tableau 1 : Livrables obtenus et production scientifique (22 octobre 2007- 04 novembre 2014)

Nombre de projets	Montant versé (DH)	Personnel impliqué				Diplômes obtenus		Production scientifique et technologique			Autres réalisations		
		Chercheurs et Médecins	Postdoctorants	Etudiants	Autre personnel Techniciens, attachés de recherche, (etc)	Doctorat	Master	/Articles publiés Sous-presse	Conférences et communications orales données	Brevets	Distinctions/Prix	Autres réalisations	
32	272 071 49	597	13	275	86	96	167	246	334	2	08	156	
				Doctorat				Internationales	433				38
				Ingénieurs				Nationales					
				Master				515 Total	433				11
				Licence									
Total				Total									



Nouvelles des académiciens

**Professeur Rajaâ CHERKAOUI EL MOURSLI,
Lauréate du Prix L'Oréal-UNESCO For Women in Science**



Madame Rajaâ Cherkaoui El Moursli, membre résidente de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Professeur à la Faculté des Sciences, responsable du laboratoire de Physique nucléaire et Vice Présidente à l'Université Mohammed V de Rabat chargée de la Recherche scientifique, de la Coopération et du Partenariat, a reçu le 18 mars 2015 à la Sorbonne à Paris le prix de la Fondation L'Oréal-UNESCO pour les femmes et la science pour l'Afrique et les Etats arabes.

Les Prix «L'Oréal-UNESCO For Women in Science» sont attribués chaque année, et depuis 17 ans, à cinq femmes représentant les

cinq régions du monde pour leur contribution au progrès de la science. Créé pour mettre à l'honneur des femmes scientifiques éminentes et pour soutenir des jeunes chercheuses prometteuses, le programme a, depuis 1998, récompensé 2.250 femmes scientifiques de grand talent dans 110 pays.

Le prix attribué au Professeur Cherkaoui El Moursli est le fruit notamment de sa contribution majeure à l'une des plus grandes découvertes de la physique : la preuve de l'existence du Boson de Higgs, la particule responsable de la création de masse dans l'univers.



Les cinq lauréates 2015 autour d'Irina Bokova, directrice générale de l'Unesco et Jean-Paul Agon, président de la fondation L'Oréal. À gauche, Dame Carol Robinson (Royaume-Uni) et Thaisa Storchi Bergmann (Brésil), et, à droite, Molly S. Shoichet (Canada), Rajaâ Cherkaoui El Moursli (Maroc) et Yi Xie (Chine).

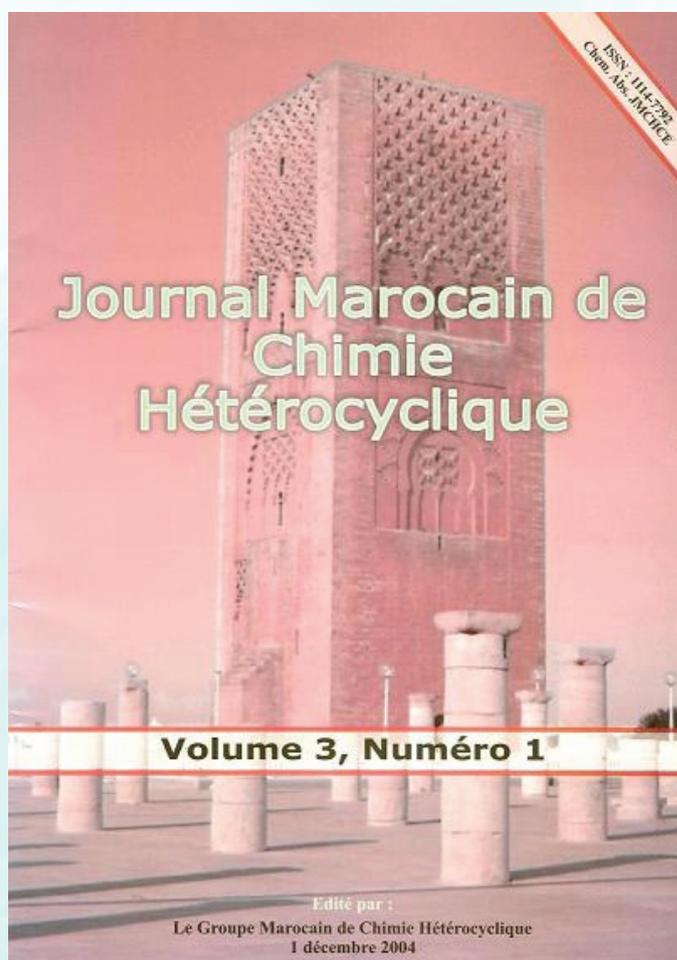
Le Professeur El Mokhtar ESSASSI rédacteur en chef du Journal Marocain de Chimie Hétérocyclique



L'Institut Marocain de l'Information Scientifique et Technique (IMIST), relevant du Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST), vient de développer et héberger une nouvelle revue scientifique. Il s'agit du Journal Marocain de Chimie Hétérocyclique (JMCH) dont le rédacteur en chef est le professeur El Mokhtar Essassi, membre du Collège des Sciences Physiques et Chimiques de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Le Journal Marocain de Chimie Hétérocyclique (JMCH) publie des articles originaux (mises au point, mémoires et notes) traitant de tous les aspects de la chimie Hétérocyclique (Nouvelles méthodologies de synthèse des systèmes hétérocycliques, propriétés biologiques des hétérocycles, études physicochimiques des hétérocycles, caractérisation spectroscopiques des hétérocycles : RMN H^1 , C^{13} , spectrométrie de masse, spectroscopie infrarouge, spectrophotométrie UV, diffraction des rayons X), modélisation, etc.

Website : <http://revues.imist.ma/?journal=JMCH>



Nécrologie

Décès du Professeur Abdelghani BELLOUQUID, membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

C'est avec une profonde affliction et une grande tristesse que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, fait part du décès de l'un de ses membres, le Professeur de mathématiques Abdelghani BELLOUQUID dont Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu perpétue Ses Bienfaits avait agréé la nomination comme membre correspondant le 5 février 2013.

En cette douloureuse circonstance, les membres de cette Académie expriment à la famille du défunt, à ses proches, et à ses amis, leurs vives condoléances et leurs sincères sentiments de compassion, implorant Le Tout-Puissant de leur accorder patience et réconfort, et d'entourer le regretté de Sa miséricorde et de Sa clémence.

Titulaire d'un Doctorat de l'Université Paris 7 (1995), il a soutenu en 2001 une thèse de Doctorat d'Etat à l'Université Cadi Ayyad de Marrakech, en collaboration avec l'Ecole Normale Supérieure de Cachan (France). Le Professeur Abdelghani BELLOUQUID a enseigné à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, à l'Université d'Evry, à l'Université de Marne la vallée (France), à l'Ecole Polytechnique de Turin (Italie), et à l'ENSA de Safi avant de rejoindre l'ENSA (Ecole Nationale des Sciences Appliquées) de Marrakech.

Notre regretté collègue, Abdelghani Bellouquid fait partie de la jeune Ecole de mathématiciens marocains particulièrement prometteurs et déjà grandement producteurs de connaissances. Il a à son actif plus de quarante publications dans des revues internationales indexées; il a en plus publié deux ouvrages et quatre chapitres de livres spécialisés dans le domaine des mathématiques appliquées.

Ses activités de recherche se sont concentrées sur la modélisation, l'analyse mathématique, et la simulation numérique des systèmes complexes



(physiques, et vivants), notamment l'analyse des modèles cinétiques, la modélisation des phénomènes de la physique relativiste, la modélisation des systèmes biologiques et des systèmes multicellulaires, la modélisation des phénomènes du trafic véhiculaire et trafic des foules, et la modélisation mathématique des systèmes sociaux.

La contribution personnelle du défunt aux activités de l'Académie, même si elle est toute récente, a été marquante, notamment dans le cadre des activités du Collège des Sciences de la modélisation et de l'information où il préparait de façon très efficace la journée programmée par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, pour le mois de novembre 2015, pour rendre hommage au mathématicien Alexandre Grothendieck, décédé en 2014.

Puisse Dieu, Le Tout-Puissant, accueillir le défunt dans son vaste paradis et lui accorder une ample rétribution pour les bonnes œuvres qu'il a accomplies tout le long de sa vie.

«Nous sommes à Dieu et à Lui nous retournerons».

Rabat, le 31 juillet 2015

