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

n°15

«Servir le pays et contribuer au developpement 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

# Sources d'énergie renouvelables et transition énergétique : faits, défis et opportunités pour le Maroc

(Thème de la session plénière solennelle - 2014)

					•		
5	O	m	m	a	Ì	r	e

John	iiaiie
• Editorial9	Activités de l'Académie47
Séance inaugurale de la session plénière solennelle 201411	Appui à la recherche scientifique et technique75
Note de synthèse de la session plénière solennelle 201427	Nouvelles des académiciens
Résumés des présentations37	



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

n°15

«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 ASSOBHEI (Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer)

Mohamed BELAICHE (Collège des Sciences Physiques et Chimiques)

Mohamed BERRIANE (Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique)

Mohamed BESRI (Collège des Sciences et Techniques du Vivant)

Ali BOUKHARI (Collège d'Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique)

El Mokhtar ESSASSI (Collège des Sciences Physiques et Chimiques)

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
Séance inaugurale de la session plénière solennelle 2014	11
<ul> <li>Discours du Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.</li> <li>Discours du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement.</li> <li>Allocution de Mme Catherine Bréchignac, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences de France</li> <li>Allocution de M. Detlev Ganten, vice-Président de l'Académie des Sciences Leopoldina, Allemage</li> <li>Questions énergétiques et environnementales : efficacité énergétique, D. Roux</li> </ul>	16 ce 19 gne . 20
Note de synthèse relative à la session plénière solennelle 2014	27
Résumés des présentations	37
Activités de l'Académie	47
- «Recherche biomédicale et en santé au Maroc : état des lieux», T. Chkili, R. El Aouad, S. Griscelli, S. Nadifi et A. Sefiani	
- «Mécanismes de soutien à la recherche-développement-innovation» (Séminaire organisée conjointement par l'Académie, le CESE, et l'Académie des Technologies de France	58
<ul> <li>Allocution du secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques</li> <li>Allocution du Président du Conseil Economique, Social et Environnemental</li> <li>Allocution du Président honoraire de l'Académie des Technologies de France</li> </ul>	60
• Synthèse de la session, A.M. Alaoui, A. Hatchuel, T. Bounahmidi, M. Smani, M. Ziyad	65
- «Modélisation et prospective économique», K. Sekkat	70
- Coopération de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques avec l'Académie des Sciences Malaisie	
- Nouvelles instances de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques	74
Appui à la recherche scientifique et technique	75
<ul> <li>«Synthèse par voies catalytiques homogène et hétérogène, du Biodiésel à partir d'huiles végétal usagées», M. Kacimi</li> <li>«Le tourisme dans les arrières-pays méditerranéens», ouvrage présenté par M. Berriane</li> </ul>	es 77
Nouvelles des académiciens	87
- Parution d'un ouvrage «L'eau et le futur de l'Humanité», présenté par M. Ait Kadi	89



# Editorial

Le Maroc a décidé d'intégrer les énergies renouvelables dans son mix énergétique et a déjà opté pour une stratégie et un plan énergétique déclinés dans les Discours Royaux et en particulier celui du 30 juillet 2010 :

"... il importe de poursuivre l'exploitation optimale de l'énergie éolienne et de généraliser l'implantation de stations y afférentes dans toutes les régions appropriées sur le Royaume. ... De même qu'il est nécessaire de donner une forte impulsion au décollage de notre grand projet de production d'énergie solaire, pour lequel nous avons institué une agence spécialisée et affecté des investissements colossaux".

Les motivations de ce choix, pour notre pays, sont principalement d'ordre socioéconomique mais elles impliquent forcément une vision écologique du développement. Elles sont en plus confortées par une situation géographique du Maroc qui offre des gisements de sources d'énergie renouvelables diversifiés.

La consommation énergétique est souvent considérée comme un indicateur et un paramètre essentiel dans les processus de développement. Au Maroc, la demande en électricité s'est accrue, ces dernières années, d'environ 8% par an. Cette augmentation, bien que synonyme d'un développement socioéconomique, pénalise fortement les finances publiques car les combustibles fossiles utilisés sont presque tous importés. La croissance économique, pour être viable, doit être accompagnée d'une sécurité et d'une indépendance énergétique au moins partielle et durable.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est consciente de l'enjeu que peuvent jouer ces énergies, dans un avenir très proche, pour faire face à la demande accrue au niveau national, à la diminution des sources d'énergie fossile et aux dégagements des gaz à effet de serre.

Aussi, de par ses missions statutaires, elle est appelée à réfléchir sur ce grand chantier qu'est le plan de développement national des énergies renouvelables. Elle est censée "émettre des recommandations sur les priorités et les moyens susceptibles d'assurer la réalisation des objectifs nationaux en matière de recherche" ainsi qu'à "suivre en permanence, au profit de la communauté nationale, les progrès de la technologie"

La session plénière solennelle des 19-21 février 2014 constitue une contribution et un éclairage scientifique et technologique sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Des conférenciers de renom international, des représentants des Académies des Sciences de l'Afrique (Cameroun et Benin), de l'Europe (Allemagne et France) ainsi que des institutions nationales, IRESEN, MASEN, ONEE, CGEM, SIE, NAREVA... ont contribué aux travaux de cette manifestation scientifique.

Cette session a permis de dresser l'état de l'art des technologies de production d'énergie à partir de sources d'énergie renouvelables installées ou en cours d'installation au Maroc. Il s'agit essentiellement de l'énergie solaire à concentration, de l'énergie photovoltaïque et de l'énergie éolienne. Certaines applications telles que celles relatives au séchage et à l'utilisation des fours solaires dans l'industrie et la production de vecteurs énergétiques ont été aussi abordées. Deux panels dédiés respectivement à la recherche et à la formation, ainsi qu'au développement et à l'intégration industrielle des énergies renouvelables, ont également été organisés. En effet, le déficit en ressources humaines confirmées, et en entreprises en mesure de soutenir et contribuer à la mise en place d'une industrie autour des énergies renouvelables, est un handicap qu'il faut nécessairement dépasser. La recherche et la formation de cadres de haut niveau sont sans doute les éléments qui conditionnent la réussite de cette magnifique avancée que le Maroc est en train de réaliser dans le domaine des énergies renouvelables.

Des recommandations et des pistes de recherches scientifiques dans le domaine ont été dégagées pour accompagner le développement des énergies renouvelables dans notre pays.

#### Collège Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique



Séance inaugurale de la session plénière solennelle 2014



Le Pr. Omar FASSI-FEHRI, secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques prononçant le discours d'ouverture de la session plénière solennelle 2014 (19 février 2014).

#### Discours d'ouverture du Pr. Omar FASSI-FEHRI

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



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

La tenue de la session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est toujours pour l'ensemble de ses membres un moment privilégié de se retrouver pour s'acquitter d'une des activités majeures de leur Institution, celle, comme précisée dans la Loi de sa création, de réunir de façon régulière tous ses membres dans l'objectif d'apporter un éclairage renouvelé sur le progrès incessant des sciences dans le monde, et de débattre sur les conditions et les voies appropriées qui permettent à celles-ci de contribuer au développement de notre pays.

Avec la Haute Bénédiction de Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu le Garde –, le thème scientifique général de notre actuelle session plénière solennelle porte sur «Sources d'énergie renouvelables et transition énergétique : faits, défis et opportunités pour le Maroc». Nous voulons à cette occasion 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 Sa Protection Tutélaire, dont s'enorgueillit notre Académie.

#### Excellences, Honorables invités, Mesdames & Messieurs,

Nous sommes, ce matin, particulièrement honorés de la présence parmi nous à cette cérémonie d'ouverture de toutes les personnalités qui ont bien voulu répondre à notre invitation. Je leur présente mes vifs remerciements et leur souhaite la bienvenue.

A cette session plénière solennelle participent plusieurs éminentes personnalités scientifiques venant du Maroc et de l'étranger (France, Allemagne, Espagne, suisse, Etats Unis, Malaisie) et qui ont bien voulu accepter de donner des conférences à l'occasion de cette session permettant ainsi d'animer la discussion et le débat

sur la thématique adoptée; je les remercie tous très sincèrement.

Nous sommes aussi particulièrement honorés de la présence parmi nous de Mme Catherine Bréchignac, Secrétaire Perpétuelle de l'Académie des Sciences de l'Institut de France, et Ambassadeur déléguée pour la science, la technologie et l'innovation, et du Pr. Detlev Ganten, Viceprésident de l'Académie des Sciences Leopoldina d'Allemagne; je les remercie chaleureusement pour avoir bien voulu répondre à notre invitation; comme je souhaite la bienvenue à nos collègues représentant les Académies des Sciences Africaines, Pr. Sommy Choumbrow Beban et Pr. Mansourou Moudachirou, respectivement Vice-Président de l'Académie des Sciences du Cameroun, et Secrétaire perpétuel de l'Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Benin.

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

Nos remerciements s'adressent également aux différentes Institutions nationales qui ont répondu à notre invitation et plus particulièrement IRESEN, MASEN et l'ONEE.

#### Excellences, Mesdames, Messieurs,

L'énergie solaire est à l'origine de la plupart des énergies primaires utilisées, en fait toutes, à l'exception de l'énergie nucléaire et de la géothermie profonde. Et parmi les énergies provenant indirectement de l'énergie solaire, certaines sont dites renouvelables (hydraulique, biomasse, marémotrice, éolien) et d'autres non renouvelables (c'est le cas des énergies fossiles provenant des matières organiques créées par photosynthèse); cette distinction est une question d'échelle de temps : une source énergétique est considérée renouvelable si quelques années au maximum suffisent pour que ses stocks soient renouvelés en quantité équivalente à la consommation. L'une des principales formes d'énergies renouvelables reste l'énergie produite par l'homme en captant le rayonnement émis par le soleil.

La Terre reçoit en permanence une puissance de 170x10<sup>15</sup> Watt dont 122x10<sup>15</sup> sont absorbés et le reste réfléchi. L'énergie solaire totale absorbée par l'atmosphère terrestre, les océans et les continents est de 3.850.000 exajoules (exa = 10<sup>18</sup>) par an ; c'est plus d'énergie reçue en une heure que l'humanité n'en utilise pendant une année.

L'utilisation directe de l'énergie solaire remonte à l'antiquité ; les grecs allumaient déjà la flamme olympique à partir des rayons solaires grâce à un système de miroirs ; à la fin du 18ème siècle, grâce à une lentille à liquide qui concentre les rayons solaires, Antoine Laurent de Lavoisier, fondateur de la chimie moderne, construit un four solaire qui atteint la température de 1800° C. En 1839, Edward Becquerel, dont le petit fils Henri Becquerel allait découvrir la radioactivité, réalise la conversion de la lumière en électricité, c'est l'effet photovoltaïque.

La problématique d'énergétique concerne plusieurs aspects, les sources de production, les vecteurs énergétiques, le stockage, la distribution, l'efficacité énergétique tant sur le plan thermodynamique que sur le plan économique; à ce propos, la première lampe électrique à filament incandescent mise au point par Thomas Edison (en 1879), après des centaines d'essais, fonctionna pendant 45 heures avec un rendement lumineux de 1,5 lumen par watt; un siècle plus tard les ampoules modernes présentent un rendement de 15 lumens par watt. Ainsi, si le rendement des ampoules n'avait pas été amélioré il aurait fallu beaucoup plus de centrales électriques dans le paysage pour éclairer nos nuits. L'efficacité énergétique est une composante essentielle de la maitrise de l'énergie, il va de soi que ce qui prime pour l'homme et nos sociétés ce n'est pas tant l'énergie en tant que telle mais le service rendu grâce à l'énergie : force motrice, le froid, le chaud, la mobilité, la communication...

Et notre pays ne peut être en reste avec toutes ces préoccupations.

En matière d'énergies renouvelables, le Maroc possède des atouts considérables; il recèle d'importantes ressources qui peuvent pallier son manque en ressources énergétiques fossiles, notamment dans le cadre de la production de l'énergie électrique, devenue de nos jours, vecteur principal de tout développement économique et social. Avec un potentiel éolien estimé à 25000MW sur l'ensemble du territoire, un potentiel solaire avec plus de 3000h/an d'ensoleillement soit une irradiation d'environ 5 kwh/m²/jour, le Maroc ambitionne d'atteindre 42% de sa puissance électrique d'origine renouvelable à l'horizon 2020 (14% d'origine solaire, 14% éolien et 14% hydraulique).

En 2010, le Maroc s'est lancé dans la construction d'une des plus grandes centrales solaires à

concentration à Ouarzazate d'une puissance de 500 MW sur 3040 Ha, l'objectif étant d'installer 2000 MW sur 5 sites dans les prochaines années.

La nouvelle stratégie énergétique nationale constitue donc une feuille de route qui vise à doter le Maroc des moyens nécessaires pour assurer la disponibilité pérenne de l'énergie, préalable nécessaire à son développement durable ; et comme l'a si bien souligné Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le protège – dans Son message adressé aux participants aux premières assises nationales, le 6 mars 2009 à Rabat «Cette stratégie rigoureuse et prometteuse ne peut être mise en œuvre avec succès que par la mise à niveau des ressources humaines et l'encouragement de la recherche scientifique.»

#### Excellences, Mesdames, Messieurs,

La session plénière solennelle de cette année ambitionne d'apporter une contribution et un éclairage sur les sciences et technologies actuellement utilisées dans le domaine de promotion des énergies renouvelables et du renforcement de l'efficacité énergétique.

Au cours de cette session sera dressé l'état de l'art des sciences et technologies dans le domaine de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables notamment l'énergie solaire photovoltaïque et éolienne. Les exposés, les communications, les panels et les débats seront focalisés surtout sur la transition énergétique, les technologies solaires thermodynamiques et photovoltaïques ainsi que sur la problématique de stockage des énergies renouvelables. Seront également discutés les thématiques en rapport avec les tendances de la recherche-développement dans ces domaines, la formation des compétences et l'intégration industrielle, considérées comme essentielles pour la pérennisation du développement des énergies renouvelables dans notre pays.

Les travaux de cette session pensons-nous permettront de mieux appréhender le nouvel ordre économique et énergétique mondial dans lequel se place la vision globale du développement économique et social du Maroc, qui met d'emblée au diapason les impératifs du développement durable intégré et la préservation de l'environnement.

#### Excellences, Mesdames, Messieurs,

Depuis la dernière session plénière solennelle, tenue en février 2013, l'Académie a encore davantage renforcé ses activités dans le cadre des missions qui lui sont dévolues par la Loi – Le rapport de ces activités menées durant l'année écoulée fera l'objet d'une présentation que nous aurons l'occasion d'examiner en détail au cours de cette session. Je voudrais ici rappeler seulement quelques unes des actions phares réalisées :

- la promotion de la recherche scientifique par le financement de projets de recherche sur des thématiques considérées comme prioritaires au niveau national, pour un budget de quelques 70 millions de DH (dont 40 ont déjà été versés).
- 2. l'organisation de quatre séminaires sur des thèmes liés au développement socioéconomique du pays avec la participation d'experts et des chercheurs étrangers et marocains : recherche biomédicale et en santé au Maroc; la gestion des déchets urbains; économie verte : quel agenda de recherche pour le Maroc; l'industrie aéronautique : évolution au niveau mondial quelles ambitions et quels défis pour le Maroc (avec le GIMAS).
- 3. la diffusion de la culture scientifique et technique à travers la création de clubs scientifiques dans certains lycées et l'organisation des journées «les jeunes et la science au service du développement» tenues cette année sous la thématique de «l'eau».
- 4. l'encouragement de l'excellence, en octroyant en particulier aux lauréats du Concours général des Sciences et Techniques, organisé par le Ministère de l'Education Nationale, des allocations d'excellence.
- 5. la poursuite des études sur l'état de la science au Maroc par champ disciplinaire, après avoir diffusé le document sur la recherche scientifique au Maroc «développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité», dans les trois langues arabe, français et anglais.
- 6. la diffusion régulière des publications de l'Académie ; les actes des sessions, le bulletin d'information de l'Académie, la lettre de l'Académie et le journal scientifique «Frontiers in Science and Engineering».
- 7. le renforcement de la présence de l'Académie: sur le plan international notamment en Afrique par la présidence de l'Académie du Réseau Africain des Académies des Sciences (NASAC) en la personne de notre collègue Pr. Mostapha Bousmina qui en était déjà Vice Président depuis 2012, également par l'élection de l'Académie comme membre du Conseil de l'Inter Academy Council (IAC), aux côtés des Académies des sciences les plus prestigieuses (France, Royaume Uni, USA, Allemagne, Inde Chine, Japon...), par la participation aux activités du GID et celles du réseau méditerranéen dédié au développement de l'enseignement des sciences.

#### Mesdames, Messieurs,

A l'occasion de la commémoration du 8<sup>ème</sup> anniversaire de son installation par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le garde – le 18 mai 2014, un bilan d'étape sera présenté qui va nous permettre de mener une réflexion sur la travail réalisé par l'Académie depuis son installation et d'aborder les perspectives concernant les actions majeures menées telles que l'appui aux projets de recherche, l'actualisation et le suivi des données scientifiques et technologiques, la diffusion de la culture scientifique, l'encouragement de l'excellence, l'enseignement des sciences et le renforcement de la coopération notamment avec le Département en charge de la Recherche en l'occurrence le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres et le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle.

La recherche scientifique est aujourd'hui inscrite dans la Constitution du pays votée par le peuple marocain le 1<sup>er</sup> juillet 2011. Dans son préambule, le Dahir de création de l'Académie stipule que la maîtrise des sciences et techniques est considérée comme un complément essentiel à la souveraineté nationale. La même Loi stipule que la science et la recherche scientifique doivent occuper une place majeure dans l'échelle des valeurs nationales ; le développement du pays est directement tributaire du développement de son système éducatif, mais aussi de la reconnaissance du rôle de la recherche scientifique et de l'innovation dans la croissance de son économie et pour le bien être de sa population.

#### Excellences, Mesdames, Messieurs,

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

Mes remerciements vont également aux membres du Conseil d'Académie, de la Commission des Travaux, des Collèges scientifiques, à tous les membres de l'Académie, associés, résidents et correspondants, et à son équipe administrative pour leur contribution à la préparation de cette session ; souhaitons lui tout le succès qu'elle mérite et à notre Académie d'être à la hauteur de l'objectif qui lui a été fixé par son Protecteur Sa Majesté Le Roi Mohammed VI – que Dieu Le garde – «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale».

Je vous remercie pour votre attention.

#### Discours du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement (MEMEE) \*



Monsieur le Président,

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

Messieurs les Ministres, Excellences, Mesdames et Messieurs.

Mes Chers collègues,

C'est avec un réel plaisir et un grand intérêt que je participe aujourd'hui au nom du Dr. Abdelkader AMARA, Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, à cette session plénière solennelle annuelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, portant cette année sur le thème «Sources d'énergies renouvelables et transition énergétique: faits, défis et opportunités pour le Maroc», pour partager avec vous les derniers développements que connait la transition énergétique nationale. Je voudrais tout d'abord saisir cette occasion pour féliciter l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques pour l'organisation de cette importance rencontre.

Cette manifestation revêt sans aucun doute une importance et un intérêt particuliers en raison de la richesse et de la diversité des sujets programmés qui seront présentés et animés par des professionnels, des experts et des professeurs de renommée.

#### Mesdames et Messieurs,

La transition énergétique n'est pas un choix de circonstances, n'est pas un compromis, n'est pas une négociation. La transition énergétique, c'est une décision stratégique.

Notre pays a fait de sa transition énergétique un choix stratégique majeur pour répondre à de nombreux enjeux. **Un enjeu social** pour lutter contre la précarité énergétique et la maitrise du coût de l'énergie. **L'enjeu est aussi économique** pour inscrire la sobriété au cœur de notre modèle de croissance et c'est aussi pour pouvoir maitriser nos émissions.

#### Mesdames et Messieurs,

Le contexte énergétique national est confronté à des défis importants. La demande en énergie primaire a augmenté en moyenne de près de 5% alors que la croissance de la consommation électrique a augmenté en moyenne de 6,5% en raison de la quasi généralisation de l'électrification rurale et du dynamisme que connait notre économie nationale avec le lancement des grands chantiers en infrastructures, industrie, agriculture, tourisme et logement social, etc.

En tenant compte de ce dynamisme sans précédent et l'économie nationale et également de la progression démographique couplée à l'amélioration du niveau de vie de la population, nous prévoyons, sur la base des analyses prospectives du Ministère, le triplement de la demande en énergie primaire et le quadruplement de la demande électrique à l'horizon 2030.

De ce fait, notre transition énergétique nationale prévoit de construire un mix énergétique diversifié et équilibré, où les énergies renouvelables occupent une place de premier choix pour à la fois satisfaire cette demande croissante, préserver l'environnement et réduire notre dépendance énergétique de l'extérieur et des combustibles fossiles.

Le Royaume du Maroc dispose en effet, d'atouts considérables dans le domaine des énergies renouvelables. Notre potentiel éolien est estimé à 25 000 MW dont près de 6 000 MW réalisables d'ici 2030 dans des régions on-shore identifiées et où la vitesse du vent varie de 9 à 11 m/s à une hauteur de 40 mètres du sol. Le potentiel solaire est illustré par 3000 heures d'ensoleillement par an équivalent à plus de 6,5 KWh/m²/jour d'irradiation.

Notre objectif est de porter la part des énergies renouvelables à 42% de la puissance électrique installée en 2020, en développant trois projets intégrés portant sur 2000 MW solaire, 2000 MW éolien et 2000 MW hydraulique.

Le processus de réalisation de ces projets est déjà lancé. En effet, la réalisation du **Projet Marocain d'Energie Eolienne**, se poursuit convenablement, dans la mesure où l'ensemble des unités prévues est déjà réalisé, engagées ou en cours de lancement. Les coûts de production atteints ou

<sup>\*</sup> Allocution prononcée par Monsieur A. EL HAFIDI, secrétaire général du MEMEE.

envisagés confèrent déjà à cette filière un haut degré de compétitivité en comparaison aux centrales consommant des combustibles fossiles.

Actuellement, en plus de 380 MW déjà opérationnels, dont 100 MW ont été réalisés par des entreprises privées dans le cadre de la loi 13-09, environ 550 MW sont en cours de construction, 250 MW en cours de développement et un appel d'offres pour la réalisation de 850 MW est en cours de lancement.

Quant au **Projet Marocain intégré de l'Energie Solaire**, dont l'objectif est de valoriser notre grand potentiel solaire, les étapes franchies par **l'Agence Marocaine de l'Energie Solaire** «MASEN» en matière de développement et l'intérêt suscité à travers le monde par ce programme, en particulier la 1ère tranche de la centrale d'Ouarzazate 160 MW tant auprès des développeurs, de renommée internationale, qu'auprès des institutions financières internationales, sont prometteurs.

Quantà la **filière hydraulique**, le Marocambitionne d'accompagner le développement de la capacité de production de l'électricité de sources éoliennes par la réalisation de capacités additionnelles de production d'électricité de sources hydrauliques à travers le développement de 550 MW sous forme de Station de Transfert d'Energie par Pompage (STEP). L'objectif de ce couplage est de réduire l'impact des intermittences générées par les parcs éoliens sur le système électrique national.

Une autre priorité de la transition énergétique marocaine réside en l'intensification des politiques et la promotion de l'efficacité énergétique. Certes, nous consommons, de plus en plus, mais il est indispensable de se préoccuper de la maîtrise de la demande et de mieux consommer. Nous commençons progressivement la mise en place des règles visant l'utilisation rationnelle de l'énergie. Une stratégie appropriée en matière d'efficacité énergétique est en cours de préparation autour d'un débat national à grande échelle, participatif inclusif et transparent. Certains secteurs clés, gros consommateurs d'énergie, sont directement concernés : les transports, l'industrie et le bâtiment. Nous ferons en sorte d'atteindre les objectifs fixés qui sont d'économiser 12% de notre consommation d'énergie en 2020 et 15% en 2030.

Dans un autre volet, l'intégration du Maroc dans le système énergétique régional constitue un autre axe majeur de notre stratégie énergétique. Dans ce cadre, notre pays vise à jouer un rôle important dans la coopération énergétique régionale, notamment par un développement stratégique des

infrastructures nationales de transit et de stockage des ressources énergétiques, et nous continuons également à renforcer cette coopération régionale en énergies renouvelables, notamment le solaire, qui s'intègre dans le Plan Solaire Méditerranéen et l'initiative industrielle DESERTEC. Notre Statut Avancé avec l'Union Européenne nous permettre aussi une insertion plus rapide dans le marché énergétique euro-méditerranéen.

Pour accompagner la transition énergétique nationale, des réformes importantes et nécessaires ont été entreprises aux niveaux législatif, réglementaire et institutionnel dans le but d'asseoir un cadre propice au développement accéléré des énergies renouvelables et son inscription dans la dynamique de développement de la coopération régionale et internationale et d'intégration des marché régionaux de l'énergie.

La libéralisation de la production et la commercialisation des énergies renouvelables en vertu de la loi 13-09, promulguée en 2010, a permis d'initier plusieurs projets de production privée.

Aujourd'hui, nous nous apprêtons à lancer deux chantiers importants qui feront suite à l'ouverture à la concurrence de la production de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables pour les clients Très Haute Tension (THT) en Haute Tension (HT) et le libre accès au réseau de transport et aux interconnexions.

En effet, en réponse à la demande des industriels installés au Maroc raccordés au réseau Moyenne Tension et des développeurs des centrales de sources renouvelables et de notre engagement à l'ouverture progressive et partielle de notre réseau et de notre marché de l'électricité, nous avons lancé une étude relative à la définition des conditions et des modalités de l'ouverture du marché électrique de sources renouvelables de la moyenne tension à la concurrence et de l'accès au réseau électrique MT. Cette étude qui sera bouclée en mai 2014 permettra la proposition d'une feuille de route pour la mise en œuvre de cette ouverture.

Le second chantier vise la mise en place des bases juridiques et réglementaires pour l'utilisation à grande échelle de photovoltaïque connectée au réseau BT. Il faut préciser, sur ce point, que nous avons mené une consultation qui a démontré l'impact positif de l'utilisation du photovoltaïque résidentiel à grande échelle au Maroc tant au niveau énergétique, économique qu'environnemental.

Ces deux chantiers donneront, sans conteste, une impulsion aux PMI-PME intéressées par le développement au Maroc de projets de petites et moyennes capacités en PV.

Parallèlement, il est prévu la création d'une autorité nationale de régulation indépendante de l'énergie pour veiller au respect des règles en vigueur, pour maintenir la viabilité concurrentielle des opérateurs sur les marchés électrique et gazier et définir les tarifs et les conditions d'accès au réseau de transport et aux interconnexions.

#### **Mesdames et Messieurs**

Au-delà de leur contribution à satisfaire nos besoins énergétique futurs, le Maroc vise, à travers ces projets intégrés et volontaristes, à assurer une intégration industrielle progressive, permettant d'accélérer l'appropriation des technologies prometteuses de valorisation des ressources énergétiques renouvelables, le développement d'un tissu industriel national en mesure d'accompagner les projets de développement des énergies renouvelables et d'assurer la compétitivité requise à l'export.

C'est l'objectif de l'offre industrielle marocaine incitative qui a été mise en œuvre afin de promouvoir la fabrication locale des équipements de production d'énergie à partir de sources renouvelables et ceux qui assurent une utilisation plus rationnelle de l'énergie, grâce à une aide financière du Fonds de Développement Energétique, en plus des avantages déjà accordés par l'Etat en matière d'incitation à l'investissement, notamment pour les projets d'investissement situés dans la zone Clean-Tech du technopôle d'Oujda.

Par ailleurs, notre pays entreprend des actions concrètes en matière de Recherche-Développement dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, qui gagnera progressivement en maturité dans ses universités, ses instituts de recherche et certaines agences en vue de donner une impulsion forte et ciblée à la recherche, au développement et à l'innovation technologique, orientés vers le développement durable.

Dans ce sens, les structures de recherche nationales ont été enrichies par la création d'un Institut de Recherche en Energie Solaire et en Energies Nouvelle (IRESEN), qui permettra de consolider et de mettre en réseau nos capacités de recherche et de développement sur des thèmes ciblés, notamment liés au développement et à l'industrialisation de solutions et de filières technologiques innovantes, en accompagnement à nos projets intégrés dans ces domaines.

#### Mesdames et Messieurs,

Conscient du rôle capital des Ressources Humaines qualifiées, en mesure de porter les projets de sa stratégie énergétique nationale, le Maroc ambitionne de bâtir une politique cohérente de formation des compétences nationales.

Dans ce sens, une étude sectorielle a été réalisée par le Ministère, pour spécifier les besoins potentiels en ressources humaines dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Cette étude a permis d'identifier les tendances évolutives du marché du travail dans ces secteurs, de définir les fonctions de travail spécifiques aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique, les besoins en main-d'œuvre y afférents, de diagnostiquer l'offre de formation existante et sa correspondance aux exigences des fonctions de travail ainsi que les projections des besoins en formation à l'horizon 2020.

Les résultats de cette étude nous ont révélé qu'à l'horizon 2020, la mise en œuvre de la transition énergétique nationale contribuera à la création de près de 50 000 emplois dont 36 800 liés à l'efficacité énergétique et 13 200 aux énergies renouvelables.

Parmi les axes du plan d'actions arrêté au regard des constats et des écarts importants établis par l'analyse des aspects de l'offre et de la demande en formation dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, ainsi que par rapport aux projections d'évolution initiées lors des différentes phases de l'étude, on peut citer notamment la mise en place de trois Instituts de Formation aux Métiers des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (IFMEREE). Ces instituts dont la gestion sera déléguée aux professionnels, seront des centres de formation de référence à même de répondre aux besoins en compétences dans le secteur des énergies renouvelables et tout secteur impacté par l'efficacité énergétique.

#### **Mesdames et Messieurs**

En félicitant encore une fois les organisateurs de cette session plénière, je suis persuadé que nous aurons l'occasion, au cours de cette rencontre, de profiter de votre expertise sur un sujet de grande importance pour l'avenir énergétique de la planète. Je ne doute pas que nous aurons autant de plaisir et d'intérêt à suivre les différentes interventions qui se succéderont lors de cette journée.

Je vous souhaite plein succès dans vos travaux et je vous remercie.

#### Allocution de Madame Catherine BRÉCHIGNAC

Secrétaire Perpétuel, Académie des Sciences de France Ambassadeur délégué en Science, Innovation et Technologie



Monsieur et Madame les ministres, Messieurs les ambassadeurs, Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Monsieur le Chancelier de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques,

Chers confrères, chers collègues, bonjour,

C'est toujours un véritable plaisir de se retrouver ici pour la séance plénière solennelle et annuelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques du Maroc. Le choix des thèmes est toujours pertinent mais le choix des orateurs l'est aussi et nous en repartons toujours enrichis par leurs propos. L'année dernière, nous avons parlé de la physique avec :

 Serge Haroche qui nous a montré la rupture qui a eu lieu au début du 20<sup>ème</sup> siècle pour la physique quantique que nous utilisons tous les jours dans nos téléphones portables et nos GPS et ceci dans les coins les plus reculés du monde.



- Cédric Villani (Médaille Field) qui nous a parlé du mouvement brownien vu par les mathématiciens mais aussi de Boltzmann. Celui-ci est un scientifique auquel il faut penser et on n'y pense pas suffisamment; il avait montré quand même que l'entropie était croissante mais surtout qu'elle représentait l'exploration de tous les possibles et, avec la quantité énorme de données que nous avons actuellement, cette entropie est toujours extrêmement croissante. Cette idée avait été mise en équation par Boltzmann et personne à l'époque ne le comprenait; il s'en est suicidé et sur sa tombe on pouvait lire : S = k log W.

Cela fait réfléchir parce que les sciences et les techniques que nous discutons aujourd'hui dans cette enceinte avec un langage qui nous est propre à nous tous, ce langage est très peu compréhensible par nos sociétés et l'écart se creuse de plus en plus entre ce que nous comprenons, ce dont nous parlons et les sociétés auxquelles nous nous adressons.

La compréhension conduit d'abord à la peur et ensuite à la violence et c'est un peu la raison pour laquelle réfléchir aujourd'hui pour cette séance solennelle sur «les sources d'énergie renouvelables et transition énergétique : faits, défis et opportunités pour le Maroc» doit essayer de se placer dans un cadre en phase avec la société et à terme aussi accessible à tous, sachant qu'évidemment derrière les sources d'énergie on ne peut pas oublier de parler de Boltzmann.

le vous remercie.

#### **Alloction de M. Detlev GANTEN**





Monsieur et Madame les Ministres, Monsieur le Président de Séance, Excellences, Chers collègues,

Permettez-moi tout d'abord de vous remercier très vivement pour votre aimable invitation à participer à cette excellente conférence si intéressante de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur les énergies renouvelables. Une telle invitation est un grand privilège me permettant de vous transmettre les salutations de l'Académie Nationale Allemande des Sciences «la Leopoldina».

Nous avons une grande admiration pour le peuple du Maroc, sa grande tradition, ses prouesses scientifiques et son avenir prometteur.



Notre Académie, Leopoldina, a été fondée il y a plus de 300 ans. C'est une des académies des sciences les plus anciennes et en même temps il s'agit d'une académie très jeune car ce n'est qu'en 2008, presque 20 ans après la réunification de l'Allemagne que la Leopoldina est redevenue l'Académie Nationale des Sciences de l'Allemagne.

Aujourd'hui la Leopoldina se consacre à beaucoup de choses, entre autres, à organiser des ateliers et conférences de haut niveau sur les sujets scientifiques d'actualité ou sur les thèmes sociétaux comme cette conférence ici à Rabat, et à promouvoir de jeunes scientifiques y compris dans des pays arabes, Maroc inclus.

Le sujet de cette séance plénière d'aujourd'hui est d'une importance cruciale tant pour le Maroc que pour l'Allemagne et pour le monde entier. Vous savez peut-être que notre gouvernement a décidé d'abandonner l'énergie nucléaire et il est prévu qu'en 2022 toutes les centrales nucléaires seront arrêtées. Le pourcentage de l'énergie renouvelable en provenance du soleil, du vent ou de la biomasse est censé couvrir 80% de la production électrique d'ici 30 ans. La science se doit de concentrer ses efforts sans relâche dans le développement d'innovations technologiques pour assurer un approvisionnement énergétique durable en Afrique du nord tout comme en Europe et dans le reste du monde. Le Maroc joue un rôle essentiel dans ces discussions et ces programmes au point de vue scientifique, technologique, économique, géographique et politique. Votre symposium les deux prochains jours contribuera à atteindre cet objectif.

ıI

J'ai vu avec grand plaisir qu'il y a sur le programme deux interventions de mon pays qui contribueront à cette conférence.

Permettez-moi mesdames et messieurs, dans une conclusion toute personnelle, vous confier que le Maroc est mon pays favori sans même évoquer l'importance scientifique et politique de votre admirable pays. Il y a une cinquantaine d'années, j'ai eu le privilège en 1973 et 1974 de travailler dans un service chirurgical dans l'un des meilleurs hôpitaux de Marrakech. Cinq années plus tard, je suis revenu au Maroc avec ma femme pour notre voyage de noces tout comme l'a fait également mon fils avec son épouse. Le Maroc est un merveilleux pays avec une grande tradition et un avenir prometteur, et je serai plus qu'heureux de pouvoir contribuer à intensifier les collaborations scientifiques entre nos deux pays qu'il s'agisse du domaine de l'énergie, de la médecine, de la recherche fondamentale, de la technologie ou bien le soutien à apporter aux jeunes chercheurs au sein des jeunes académies comme la Arab-German Young Academy.

Je me plais à rappeler les contributions remarquables du Maroc l'an passé au World Arab Summit que j'organise.

Nous suivons avec un grand intérêt vos efforts en santé publique et en santé globale ainsi que la collaboration avec l'Inter-Academy Medical Panel, qui regroupe toutes les académies de médecine et les académies des sciences du monde, dont j'ai l'honneur d'être le Co-Chair.

Si vous me permettez, je vais dire un mot en anglais.

Because we follow with quite interest the recent visit of your King Mohammed VI in some African countries. The importance of Morocco in sub-Saharan Africa, in Africa and in the Mediterranean area cannot be overestimated. If we look at the

health of the population new public health is much more as you all know than medicine. It complies of course with social determinants, living conditions and also the climate and climate change. In the next Climate Summit in Berlin climate change will be one topic. We feel that we can both contribute to the climate community and to the health community worldwide. We have to get our work together and I am sure that you are aware of the fact that the next Climate Summit will be held in Paris in 2015 and this has to be a success, otherwise we will have major problems in this world. It will cover a series of meetings; the first one will be the World Health Organization in September followed by the United Nations and followed by the World Health Summit in October 2014. And if we work together, we will achieve success for the next Climate Summit. We do have to work together. The initiative of The King of Morocco to travel to African countries and to get a common feeling of our future together including energy, including climate and including health as comprehensive topics will be extremely important.

Chers collègues, je vous remercie une nouvelle fois de votre invitation au Maroc et de votre excellente conférence organisée par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Je vous souhaite un agréable et très intéressant congrès et j'espère que ce sera le commencement d'un renouvellement de la collaboration entre la Leopoldina et votre Académie.

Merci beaucoup.

#### Questions énergétiques et environnementales : efficacité énergétique \*

#### Pr. Didier ROUX





#### Introduction

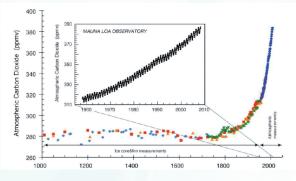
Je voudrais d'abord exprimer le fait que je suis très honoré de donner cette première conférence dans un endroit qui est magnifique et prestigieux et en face de vous tous, et je suis extrêmement heureux de le faire au Maroc qui est un pays absolument merveilleux.

Ma conférence va d'abord tourner autour plutôt des économies d'énergie qui est probablement la première façon de préparer l'avenir. Je parlerai aussi un peu d'énergies renouvelables mais surtout d'efficacité énergétique dans les bâtiments.

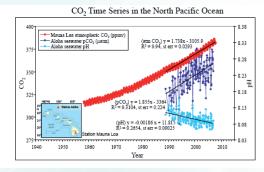
J'essaierai à la fin de la conférence de faire le lien en le bâtiment du futur et le bâtiment du passé et vous verrez qu'il y a là aussi des points communs et au niveau de la science.

Alors, pour poser les éléments du débat, le monde est en train de changer et je dirai de façon violente, que probablement pour la première fois dans l'histoire de l'humanité nous nous rendons compte, nous les humains, que nous vivons sur une planète de taille finie, et qu'effectivement des ressources que nous croyions n'avoir aucune limite se sont révélées comme étant un véritable problème si on se projette dans l'avenir. C'est un des points probablement les plus importants.

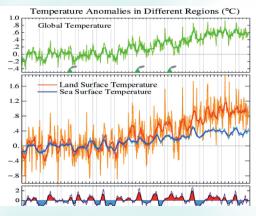
Nous faisons face aussi à quelque chose qui est la problématique liée à l'éventuel changement climatique, illustrée par la courbe d'émission de  $\mathrm{CO}_2$  dans l'atmosphère qui a considérablement augmenté depuis l'utilisation des énergies fossiles ainsi que quelques unes des conséquences de cette augmentation : acidification des océans, évolution de la température moyenne de la planète et élévation du niveau global des océans de quelques millimètres par an.



Emissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

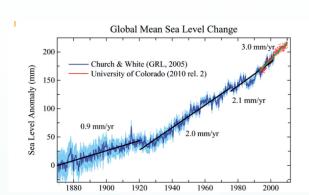


Mesures de l'acidité dans l'Océan Pacifique Nord.



Evolution de la température.

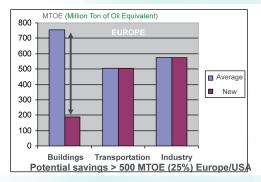
Intervention transcrite à partir de l'enregistrement audio de la session plènière solennelle 2014.



Variation du niveau global moyen des océans.

Ces deux événements : la limitation d'accès à des ressources naturelles, et peut-être pour la première fois dans l'histoire de l'humanité le fait que l'on puisse avoir un effet sur l'ensemble de la planète, il y a un changement du dérèglement du climat. On peut dire qu'il y a deux choses à faire, et on les a entendus ce matin : la première, c'est évidemment d'économiser l'énergie et la seconde consiste à penser à des énergies renouvelables. De ce point de vue là, de ces deux événements, il y a un élément majeur dans le monde de la construction.

Pour l'Europe, l'économie d'énergie est liée aux bâtiments, au transport et à l'industrie. En gros, et à parts égales, nous utilisons cette énergie dans le bâtiment, pour se transporter et pour fabriquer des biens manufacturés. En fait, dans les pays européens ainsi qu'aux Etats-Unis d'Amérique, la partie liée au bâtiment est à peu près importante (de l'ordre de 40-45%). Si on pouvait transformer tous nos bâtiments construits au siècle dernier en bâtiments équivalents à ce qu'on construit aujourd'hui (2005-2010) en termes d'efficacité énergétique, la quantité d'énergie qui serait économisée en faisant cela est équivalente à ce qui est utilisé soit pour le transport soit pour l'industrie.



Potentiel d'innovation dans les domaines des bâtiments, transport et industrie.

Ceci représente ce que nous gaspillons nous pour nous mettre à l'abri d'un climat rigoureux à l'extérieur. A titre d'exemple, en France, la plus grande part de cette consommation d'énergie au niveau d'une maison est liée au chauffage en comparaison avec l'éclairage, l'électroménager et le chauffage sanitaire. Aujourd'hui, on est capable de construire des bâtiments qui ne consomment quasiment pas d'énergie pour être chauffés. Cet objectif est donc totalement accessible et cela correspond à des réserves énergétiques énormes, environ 30% de la consommation d'énergie d'un pays en Europe.

# Qu'en est-il des pays chauds et des pays chauds et humides?

Nous avons fait une étude pour essayer de comprendre quels étaient les mécanismes dans ces pays là qui conduisaient à une augmentation des consommations électriques. Pour faire le parallèle entre chauffer des habitats dans des pays froids ou à climat tempéré mais froids en hiver avec des pays chauds ou chauds et humides où il est question d'air conditionné, on voit aujourd'hui dans les pays chauds une augmentation de la consommation électrique liée à l'air conditionné et en particulier dans les bâtiments de travail ou publics, moins dans les habitats résidentiels. Cette augmentation est d'autant plus spectaculaire qu'elle est généralement associée à des infrastructures électriques qui ne sont pas toujours capables de répondre à la demande de consommation électrique. De plus, et quelquefois de façon étonnante, des gouvernements soutiennent le prix de l'électricité vers le bas pour favoriser la pénétration de l'électricité dans leurs pays et l'accès des plus pauvres à cette électricité. Mais ceci enclenche bien évidemment un effet pervers : le prix bas de l'électricité encourage l'utilisation de l'air conditionné qui lui-même consomme plus d'énergie et, par conséquent, toutes les subventions qu'il faut donner.

On est donc dans les pays chauds et humides dans une situation un peu analogue à la situation de l'Europe à la veille du choc pétrolier dans les années 1970-80, c'est-à-dire une consommation dans les bâtiments qui augmente énormément avec des bâtiments qui ne sont pas adaptés à l'acceptation de l'air conditionné. Ce parallèle veut dire qu'aujourd'hui dans certains pays, et le Maroc en fait partie, on peut diviser par un facteur 2 ou 3 la quantité d'énergie consommée grâce à une bonne isolation des bâtiments.

#### Que peut-on faire en termes d'innovations?

1- Isolation des parois des bâtiments en empêchant le flux thermique : prendre de l'air et le rendre immobile puisque l'air a une conductivité assez basse et permet en l'immobilisant d'éviter le phénomène de convection. Ceci peut être obtenu par des matériaux poreux classiques (mousses légères comme la laine de verre, la laine de roche ou autres déclinaisons de matériaux). Il y a des matériaux encore plus intéressants parce que plus efficaces dont l'aérogel qui permet de réduire d'un facteur 3 ou 4 la conductivité thermique. Un matériau qui a des pores en dessous du micron permet baisser fortement la conductivité thermique même à pression atmosphérique, c'est le cas des aérogels. Malheureusement, le prix de ces aérogels reste pour le moment trop cher et pas vraiment encore utilisables dans les bâtiments même si on voit émerger quelques premiers produits.

Une autre façon d'isoler les bâtiments, c'est le vide qui empêche tout transport de la chaleur thermique. Il existe des isolants sous vide avec des feuilles d'aluminium pour empêcher la radiation et obtenir des valeurs tout à fait impressionnants. Mais là encore, il est difficile de les mettre en œuvre en raison de leur coût trop élevé pour le monde du bâtiment.



Exemples de solutions d'isolation des bâtiments.

Nous avons également le vitrage moderne qui est un interféromètre. Il y a sur le vitrage des multicouches (jusqu'à 25 couches différentes de quelques nanomètres) qui exercent un effet d'interférométrie, c'est-à-dire un filtre laissant passer la lumière visible et empêchant les UV ou/et les infrarouges de passer à travers la fenêtre et ceci est très intéressant dans un pays comme le Maroc. Dans un pays froid par contre, on essaiera de garder une température de l'ordre de 20°C à l'intérieur et empêcher l'infrarouge de sortir du bâtiment, ce qui permet à la fois de réaliser une économie d'énergie et donner une impression de confort.

#### 2- Une meilleure utilisation de l'énergie par de nouveaux matériaux :

- Les premiers sont des matériaux à transition de phase qui passent d'un état de la matière à un autre et cette transition requiert de l'énergie. Inversement, quand ce matériau revient à son état primitif à une température en dessous de 20°C, il va redonner cette énergie qu'il a stockée lors de la transition de phase. Ce sont des matériaux que l'on appelle des parafilms mais aussi des mélanges d'eau et de sel qui permettent de régler la transition de phase autour de 20-25°C.

- Un autre matériau intéressant que l'on peut utiliser, c'est un verre dont on est capable de changer la luminosité ou la transmission lumineuse par un signal électrique. C'est ce qu'on appelle un verre électro-chrome qui commence à se développer dans le monde du bâtiment. Ce type de verre permet, sans que l'on utilise des rideaux ou de pare soleil, de régler la quantité lumineuse qui pénètre dans le bâtiment de façon à contrôler l'énergie.



Utilisation de verres électrochromes.

 Autres moyens : le puits canadien consiste à utiliser l'inertie du sol pour pouvoir amener de l'air à une température plus confortable à l'intérieur d'un bâtiment. En hiver, on va réchauffer l'air extérieur et en été on va le refroidir.

#### 3- Utilisation des sources d'énergies renouvelables :

Je vais très rapidement citer deux exemples que nous utilisons. Le premier c'est la biomasse : nous fabriquons au Brésil des tuyaux de fonte avec du charbon de bois à partir de plantations d'eucalyptus. L'autre exemple, c'est d'utiliser du biogaz à partir de la biomasse.

Bien évidemment, il y a le photovoltaïque qui représente une source merveilleuse d'énergie renouvelable dont nous ne consommons qu'une fraction de pourcent par rapport à tout ce que nous consommons comme énergie à partir d'autres sources.

- A few figures
  - 1m² in Moroco receives 1,8 MWh solar energy/year (1800 kWh)
  - Needs: 30 TWh of electricity/year
  - Equivalent to: 20 km² (a ~ 3 km radius circle) would meet needs



Données sur le rayonnement solaire au Maroc.

Malheureusement, on ne sait pas stocker de l'énergie solaire sous forme d'électricité, c'est là l'un des grands défis de l'énergie et de l'électricité. Depuis 25 ans, les prix des modules photovoltaïques diminuent fortement et particulièrement durant les 3 ou 4 dernières années. Ce qui fait que même si l'électricité photovoltaïque n'est pas toujours rentable, elle commence à devenir accessible sur le plan de la rentabilité par rapport aux autres sources d'énergie dans bon nombre de pays, quoique cela ait abouti à une situation paradoxale qui fait que tous les industriels qui fabriquent ces modules, y compris les chinois qui fabriquent 90% des modules commercialisés sur le marché, perdent de l'argent.

L'éclairage est en train de subir une transformation importante. D'abord et avant tout, il faut œuvrer pour une meilleure utilisation de l'éclairage naturel. Mais la véritable révolution réside dans l'éclairage électronique : la lampe d'Addison remplacée par la lampe fluorescente qui sera remplacée davantage demain par les LEDs (Light Emitting Diods, faits avec des cristaux et procurant un éclairage puissant) ou les OLEDs (Organic Light Emitting Diods, faits avec des molécules organiques, probablement moins chers et sont faits pour éclairer des surfaces plutôt que d'éclairer des points).

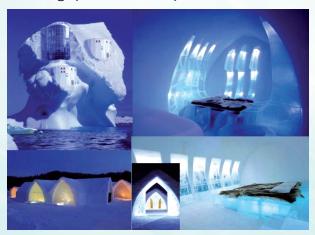
Le rapport avec l'habitat du passé est un rapport évident puisque dans le futur nous voulons des bâtiments qui ne consomment pas d'énergie et dans le passé nous avions des bâtiments qui ne consommaient pas d'énergie. La raison, c'est que dans le passé nous n'avions pas d'énergie et dans le futur nous voulons l'économiser et la protéger. Les bâtiments que l'on trouve dans des endroits continentaux à fortes variations climatiques (très froids en hiver, très chauds en été) correspondent à des habitats utilisant une inertie de la terre. L'utilisation de cette inertie permet de rendre l'utilisation de ces habitats plus confortable.

Les habitats faits en argile sont de très bons exemples de l'utilisation des matériaux à transition de phase. Pendant la nuit, cette argile récupère un peu de l'eau de condensation et cette eau s'évapore le lendemain sous l'effet du soleil, passe de l'état liquide à l'état gazeux, consomme de l'énergie et maintient de façon un peu prolongée une température fraîche à l'intérieur de ces habitats. C'est un exemple naturel de l'utilisation des transitions de phases.



Modèles de bâtiments utilisant des matériaux à transition de phase.

L'igloo est un très bon exemple d'habitat passif où l'on n'emmène pas d'énergie à l'intérieur pour des raisons évidentes. Les igloos sont faits par un matériel isolant que sont les blocs de neige qui permettent d'isoler l'intérieur de l'extérieur par de l'air immobile. Mais ça ne suffit pas pour empêcher le déplacement de l'air par le vent. Lorsque vous rentrez dans l'igloo, vous dégagez de la chaleur qui fait fondre une mince pellicule d'eau sur la face de la neige qui tapisse l'igloo et cette pellicule d'eau se regèle sous forme d'une mince pellicule de glace. En fait, cette mince pellicule de glace joue le rôle d'une membrane qui empêche le vent de circuler à travers cette neige poreuse et de déplacer cet air immobile.



Exemple moderne d'igloo.

En général, le sentiment de chaleur que l'on a à l'intérieur d'un igloo se situe autour de 10 à 15°C en moyenne alors que ce n'est pas la température réelle sinon l'iglou fondrait. Ce qui rend l'igloo habitable c'est le fait que l'habitant est lui-même un objet qui émet des infrarouges. Cette émission d'infrarouges, qui correspond à la température de la peau qui est d'environ 35°C, va vers les parois de l'igloo qui diffuse des rayonnements renvoyés vers l'habitant et le réchauffent. En fait, ce sont ces rayonnements infrarouges qui procurent le sentiment de confort à l'intérieur de l'igloo.

Je vous remercie pour votre attention.



Vue d'ensemble lors de la cérémonie d'ouverture de la session plénière solennelle (19 février 2014)

Note de synthèse sur la session plénière solennelle 2014



# **Energies renouvelables : Transition énergétique,** faits, défis et opportunités pour le Maroc

La session plénière solennelle de 2014 a été une contribution et un éclairage scientifique et technologique sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Elle a été une opportunité pour établir l'état de l'art sur les différents types de sources d'énergie renouvelables particulièrement le solaire et l'éolien et dégager des thématiques de recherche et de formation utiles pour le Maroc.

Des conférenciers de renom international, des représentants des Académies des Sciences d'Afrique (Cameroun et Benin), de l'Europe (Allemagne et France) ainsi que des institutions nationales (IRESEN, MASEN, ONEE, CGEM, SIE, NAREVA ...) ont contribué aux travaux de cette manifestation scientifique. Le programme s'est étendu sur trois séances plénières, deux panels, ouverts au public, et une séance interne réservée aux académiciens. La séance I a traité de la «Production de l'énergie électrique centralisée», la séance II a développé les «Tendances de la R&D en énergies renouvelables» et la séance III a été dédiée aux «Opportunités et applications des énergies renouvelables». Ces différentes séances ont été animées par dix conférenciers, nationaux et internationaux, spécialistes des domaines traités. Les deux panels, composés de professionnels du domaine des sources d'énergie renouvelables, ont respectivement été consacrés à la «Recherche et formation en sources d'énergie renouvelables», et au «Développement et intégration industrielle en énergies renouvelables». Ils ont permis de dégager les principales conclusions et recommandations dans les domaines de la Recherche -Développement - Innovation, de la formation, du développement et de l'intégration industrielle des sources d'énergie renouvelables dans notre pays.

Le présent rapport résume succinctement le contenu des conférences, les conclusions des deux panels ainsi qu'une synthèse des principales recommandations émises durant les travaux.

#### 1. Travaux en conférence

## 1.1 Stratégie du Maroc en matière de sources d'énergie renouvelables

La stratégie du Maroc en matière d'énergie renouvelable a été déclinée dans le plan solaire, lancé à Ouarzazate le 02/11/2009 par Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu Le protège. Le

Maroc a volontairement choisi d'intégrer, dans son mix énergétique, les énergies renouvelables pour répondre à des enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Ce choix a été dicté par la demande accrue en l'énergie due au dynamisme de l'économie nationale et découlant des grands chantiers nationaux de développement ainsi que par la ferme volonté de généraliser l'accès à l'énergie à toutes les couches sociales.

Le Maroc possède d'énormes gisements éoliens, environ 25000 MW, dont 6000 MW seront réalisés d'ici 2020. Le solaire représente 3000 heures d'ensoleillement par an. La stratégie adoptée prévoit, d'ici 2020, de porter la part des énergies renouvelables à 42% de la puissance électrique avec 14% pour l'éolien (2000 MW), 14% pour le solaire (2000 MW), et 14% pour l'hydraulique (2000 MW).

L'investissement dans l'efficacité énergétique est aussi une voie importante dans le choix politique délibéré du Maroc. Il est prévu, une économie d'énergie de l'ordre de 12% en 2020 et de 15% en 2030. Pour ce faire, une stratégie d'efficacité énergétique est en cours d'achèvement.

Des actions concrètes sont en cours pour le développement d'une industrie nationale et d'une recherche scientifique de haut niveau dans le domaine. Une étude menée par le Ministère de tutelle, a évalué les besoins en ressources humaines à 50 000 emplois à l'horizon 2020, soit 38 000 pour l'efficacité énergétique et 13 200 pour les énergies renouvelables. Il est également prévu la création de trois instituts de formation de référence, dédiés à l'efficacité énergétique et aux sources d'énergie renouvelables.

## 1.2 Situation actuelle, transition énergétique et perspectives

La Terre est de taille finie et les ressources en énergie qu'elle recèle sont limitées. Ceci pose un réel problème pour le futur de l'humanité. L'augmentation de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, des particules fines et autres gaz nocifs dans l'atmosphère dérègle le climat et dégrade l'environnement. Les effets du changement climatique sont divers et se manifestent au niveau de l'augmentation de la température des océans, de leur salinité et la migration des espèces. Il est aujourd'hui difficile de mesurer l'impact de ces modifications sur notre

avenir et, à plus long terme, sur celui de notre planète. C'est cette problématique complexe qui oblige les décideurs en politiques énergétiques à se tourner vers des sources d'énergie durables.

La consommation d'énergie en 2011, dans le monde, provenait essentiellement du pétrole (32%), du charbon (27%) ou du gaz (22%). L'énergie solaire, la biomasse, le nucléaire et autres, ne dépassaient pas les 18%. Les prévisions de la consommation en 2035 montrent qu'il y aura une diminution de la part du pétrole et du charbon au détriment de celle du gaz avec cependant un manque qui avoisinera les 31% de la consommation mondiale. Ce manque devra impérativement être comblé par un apport provenant des sources d'énergie renouvelables.

Nous assistons actuellement à travers le monde à un accroissement, dans les mix énergétiques, de la proportion des énergies renouvelables. Parallèlement, les grandes entreprises qui sentent leurs intérêts menacés deviennent réticentes. L'économie conditionne encore le système actuel et influence les décisions dans le domaine. La flambée du prix du pétrole, en 1973, a encouragé le développement des centrales thermo-solaires et la création de centres de recherche à travers le monde. Cependant, avec la diminution du prix du pétrole qui a suivi, cette recherche a perdu de son élan, excepté en Espagne. Entre 1985 et 1991, des centrales solaires ont commencé à voir le jour et elles continuent à fonctionner en Espagne (Séville, Almeria), aux USA (Californie). Les technologies dans ce secteur se perfectionnent et rendent accessible l'utilisation des sources d'énergie renouvelables.

Dans le photovoltaïque, les panneaux à base de silicium ont fait et font encore l'objet de recherches pour réduire les prix de revient et accroitre les rendements. La plupart de ces recherches est orientée vers l'amélioration des performances des matériaux de base.

#### 1.3 Stockage des énergies renouvelables

Le soleil étant intermittent et la vitesse du vent n'est pas régulière, il faut trouver des solutions fiables pour produire et stocker l'électricité afin de l'utiliser quand il y a un besoin. Ce stockage peut être envisagé dans des batteries, des piles à combustible (fuel cells) ou des supercondensateurs. Le stockage thermique est souvent envisagé dans le cas du solaire à concentration (CSP). Dans le commerce, on trouve des accumulateurs de vapeur et des réservoirs de sels de nitrate.

D'autres matériaux alternatifs sont testés en laboratoire et à l'échelle pilote. Le développement des systèmes de stockage performants permettra de diminuer le coût de production de ces énergies. La recherche sur les sels fondus pour le stockage étudie des composés ayant une faible température de fusion (≤ 140°C) et une stabilité à des températures supérieures à 700°C.

Les systèmes ternaires Ca(NO<sub>3</sub>)2-KNO<sub>3</sub>-NaNO<sub>3</sub> et quaternaires Li, Na, K//NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, font l'objet de nombreuses investigations. Le réservoir choisi doit être adapté au type de fluide caloporteur utilisé et à sa pression et température de fonctionnement.

Des essais pilotes de stockage d'énergie dans du béton qui a une capacité d'emmagasinage de 0.65kWh/m³·K sont prometteurs. Le béton utilisé n'a présenté aucun signe de fatigue ni de dégradation après plus de 10.000 heures de fonctionnement. Les matériaux à changement de phase (les nitrates par exemple), représentent aussi une possibilité de stockage pour des applications au-delà de 100°C.

Les Stations de Transfert d'Energie par Pompage (STEP) sont des technologies de stockage d'énergie matures. Elles sont surtout limitées par les contraintes géographiques. D'autres modes de stockage, tels que l'hydrogène, les volants d'inertie à durée de vie élevée, les batteries et les aimants supraconducteurs sont encore à l'étude.

#### 1.4 Efficacité énergétique

C'est probablement la première étape qu'il conviendrait, dans tout projet, de mettre en œuvre avant tout autre engagement. Les économies d'énergie sont possibles partout et sont souvent plus importantes qu'on ne l'imagine. Le projet de coopération entre Total et la Régie Peugeot pour la fabrication d'une voiture à faible taux d'émission de CO<sub>3</sub>, a permis de concevoir la 208GTI hybride qui consomme 1,9 l d'essence au 100 km, en rejetant uniquement 46g CO<sub>2</sub>/km. Cette performance résulte de la diminution du poids du véhicule, de sa motorisation et lubrification. Des économies aussi importantes de carburants ont été obtenues dans l'aéronautique par les deux grandes firmes européenne et américaine de l'aviation civile, Airbus et Boeing.

La transition énergétique, dans la mobilité, est appelée à se développer grâce au perfectionnement des batteries, à la maitrise de la production et de stockage d'hydrogène, du gaz comprimé, et des Ш

infrastructures et réseaux... En 2025-2030, 5% de véhicules seront électriques. Les voitures au biofuel représenteront jusqu'à 15% dans les pays développés.

Des économies d'énergie énormes sont possibles dans le bâtiment. Elles sont estimées à plus de 500 MTep. La nouvelle réglementation française sur l'isolation des bâtiments RT2005 et BBC (Bâtiment de basse consommation) ont permis de minimiser la climatisation des bâtiments. Une étude technique réalisée sur une maison climatisée à Dubaï a montré qu'il est possible, tout en maintenant une température de 26°C, d'économiser 2 à 3 parts de l'énergie consommée, en isolant thermiquement le bâtiment.

Dans le bâtiment, Il est nécessaire d'innover pour mettre au point des isolants à bas coût. Des matériaux poreux, des aérogels, des vitrages multicouches et des matériaux à transition de phase sont en voie de conception.

#### 1.5 Réseaux intelligents (smart grid)

La production décentralisée d'énergies renouvelables, l'intermittence et le stockage de ces énergies, rendent imprévisible le pilotage des réseaux de distribution classiques par leurs gestionnaires. Le maillage des réseaux de distribution, à l'échelle nationale et régionale, suppose une bonne maitrise de la consommation et son pilotage en temps réel. Les réseaux intelligents sont supposés apporter une réponse à cette problématique en équilibrant les tensions tout en diminuant les pertes techniques.

L'architecture d'un réseau intelligent comprend des capteurs, des équipements de mesures, un système de communication et de traitement des données. Une grande analogie est à faire avec le maillage des réseaux de télécommunications. La gestion de l'intermittence se fait de manière intelligente en gérant la consommation des utilisateurs et en renforçant les interconnexions à l'échelle régionale.

Des expérimentations, à grande échelle, se développent actuellement et mettent en commun des groupes d'entreprises, des fabricants de matériel qui insèrent des équipements nouveaux dans les réseaux de distribution.

La nouvelle grille numérique ou «Smart Grid», contrairement à la grille actuelle, doit être efficace et présenter une fiabilité, une bonne flexibilité/

adaptabilité, tout en prenant en compte les préoccupations environnementales. De nombreux défis scientifiques et techniques sont à relever pour une optimisation proactive et un contrôle automatique du réseau.

Les problèmes de la RDI dans ce domaine des réseaux évolués sont : l'électronique de puissance, le stockage, les appareils intelligents, les bâtiments intelligents et les micro-réseaux.

La planification se fait à l'aide de modèles mathématiques de simulation plus ou moins complexes, qui prennent en considération la topologie du réseau et sa charge, l'écart entre la valeur moyenne d'utilisation et la valeur crête chez l'utilisateur. Il faut réduire l'écart entre ces deux valeurs tout en jouant sur ce qui est consommation fixe et le contrôle des parties flexibles de cette consommation.

## 1.6 Recherche et innovation dans le photovoltaïque

Dans le photovoltaïque, il existe beaucoup de possibilités de recherche dans le domaine des matériaux et des technologies utilisées. Les matériaux employés dans la fabrication des cellules photovoltaïques sont soit le silicium dopé n ou p, ou d'autres composés tels que les binaires (III, V): InP, Ga As,... ou (II, VI): CdTe, ZnS, ou ternaires (II, IV,  $V_2$ ):  $Al_xGa_{1-x}Se_2$  ou (I, III,  $Vl_2$ ): Cu(In,Ga)Se, de type chalcopyrite... Les matériaux de départ sont relativement chers mais on peut néanmoins développer cette recherche sur des matériaux moins coûteux. Récemment, des matériaux hybrides, avec de bons rendements, ont été découverts dans la famille des pérovskites et des composés organiques dont le rendement est supérieur à 15%.

La recherche scientifique doit également s'orienter vers les cellules photovoltaïques à multi-jonctions où on met en commun des matériaux à petit gap avec d'autres à grand gap (silicium amorphe et silicium cristallisé). Ces matériaux sont très prometteurs. Des rendements de l'ordre de 44,47% ont été obtenus (mai 2013) avec les composés (III, V).

Le prix des cellules photovoltaïques connaît actuellement une nette baisse. L'éclairage aussi connaît un certain bouleversement avec la fabrication de nouvelles lampes à faible consommation d'énergie comme les LED (Led-Emitting Diode) et les OLED (Organic Led-Emitting Diode).

# 2. Panel sur la formation et la RDI en sources d'énergie renouvelables

Ce Panel a été modéré par Monsieur Obaid Amrane de Moroccan Agency for Solar Energy (MASEN).

Le modérateur a ouvert les travaux du Panel par une présentation de la thématique de ce dernier. Il a décrit le contexte dans lequel s'inscrit la stratégie nationale de l'énergie conçue pour répondre à deux objectifs essentiels : une réduction substantielle de la dépendance énergétique du Maroc par rapport aux importations et un approvisionnement en sources d'énergie durables à même de transformer les contraintes liées à l'énergie en opportunités.

Cette stratégie qui se base sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, solaire, éolienne et hydraulique, nécessite des ressources humaines pour sa mise en œuvre ainsi que des activités de R&D et d'innovation pour rendre plus compétitives les technologies utilisées. Les animateurs du panel sont ensuite successivement intervenus pour présenter des recommandations susceptibles d'assurer un meilleur accompagnement à la stratégie nationale en matière de formation et de Recherche-Développement-Innovation en sources d'énergie renouvelables.

Le premier intervenant après avoir défini le champ d'application des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, et évoqué le caractère multidisciplinaire de ces concepts, a énuméré les mécanismes susceptibles d'être mis en place pour assurer une meilleure collaboration entre le monde académique et le monde socioéconomique dans le domaine des énergies renouvelables, dont notamment :

- la mise en place d'un système de formation par alternance.
- l'autorisation de mobilité des enseignantschercheurs et des cadres d'entreprises entre les établissements d'enseignement supérieur et ces dernières,
- l'encouragement de la réalisation de thèses de doctorat sur des sujets industriels réalisés au sein des entreprises (bourses CIFRE, par exemple),
- · l'organisation de formations alternées,
- la contribution des professionnels à la conception des cursus et à l'enseignement,
- la mise en place d'un fonds de recherche pour assurer le recrutement de jeunes talents et des post-doctorants,

- la création d'incitatifs fiscaux au développement de la R&D dans les entreprises,
- le développement de l'offre de formation continue au profit des cadres d'entreprises,
- le développement des activités de R&D collaboratives et d'expertise par les établissements d'enseignement supérieur et de recherche au service des entreprises et la motivation des enseignants-chercheurs pour s'impliquer dans de telles activités.

Le second intervenant a énuméré aussi quelques thématiques prioritaires en matière des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dont notamment le stockage de l'énergie, la séquestration du CO<sub>2</sub>, l'efficacité énergétique dans le bâtiment et dans l'industrie.

Le représentant de l'ONEE, après une brève présentation de l'office a décrit la Direction chargée de la Formation continue à l'ONEE ainsi que les activités menées par cette direction en relation avec les universités en générale et les écoles d'ingénieur en particulier. L'ONEE réalise une importante activité d'études dans le cadre de travaux de fin d'études réalisés par les élèves-ingénieurs des écoles d'ingénieurs nationales. Il a aussi mentionné l'implication de sa direction dans la mise en place par l'OFPPT d'un institut de formation des techniciens dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Le représentant de l'OCP après avoir évoqué la place occupée par l'office dans l'économie nationale a mis en exergue la consommation importante de l'OCP en énergie (6%) et en eau (4%), et la volonté de ce groupe de rationaliser l'utilisation de ces dernières notamment en créant une filiale dédiée à la gestion des utilités (OCP-Utilities), il a énuméré les différents projets programmés par l'OCP en relation avec l'énergie et l'eau :

- assurer l'intégration énergétique des sites industriels et des sites miniers en exportant l'énergie électrique des premiers vers les seconds:
- réaliser le projet 'Slurry Pipline' de transport des phosphates de Khouribga à Jorf Lasfar qui va permettre une réduction substantielle de la consommation d'énergie par une réduction importante des quantités de phosphates devant être séchés;
- développer l'utilisation de l'eau de dessalement et de recyclage des eaux traitées de lavage des phosphates des sites miniers;

- ıI
- réaliser la ville verte Mohammed VI et la mine verte de Khouribga;
- assurer la valorisation énergétique des déchets domestiques dans les villes minières et industrielles;
- développer des projets de l'énergie verte en collaboration avec l'IRESEN;
- aider à l'incubation des projets en matière d'énergie.

Le quatrième intervenant a évoqué l'orientation des thématiques de recherche dans le domaine des cellules photovoltaïques. Il a distingué quatre générations de développements technologiques dans ce domaine :

- la première génération de cellules au silicium qui constituent l'approvisionnement principal du marché actuel des cellules photovoltaïques. Cette génération technologique a atteint sa maturité commerciale à 90% et présente donc peu d'intérêt pour la recherche;
- la deuxième génération des cellules à couches mince qui sont elles aussi bien introduites sur le marché et qui présente un faible intérêt pour les activités de recherche;
- la troisième génération des cellules organiques et aux nanomatériaux qui présente un fort potentiel en matière de recherche pour améliorer le rendement de ces cellules qui est encore relativement faible;
- la quatrième génération des cellules multijonctions susceptibles d'améliorer nettement les coûts de production de l'énergie photovoltaïque présentant donc un fort potentiel de développement est encore à ses débuts. La recherche sur cette génération de cellule est donc très recommandée.

Le directeur de l'IRESEN a ensuite indiqué que cet institut a été créé en 2011 dans le cadre de la mise en œuvre de la stratégie nationale sur l'énergie, en tant qu'agence de moyens, qui soutient les activités de R&D dans le domaine de l'énergie solaire et des énergies nouvelles au Maroc. On peut noter que l'IRESEN a lancé les principales activités suivantes :

- lancement de trois appels à projets ayant débouché sur 24 projets ayant bénéficié d'un financement total de 75 millions de DH et impliquant 106 consortiums, 48 partenaires scientifiques et 21 partenaires industriels;
- la mise en place de plateformes de R&D sur le site de la ville verte de Benguerir pour un

montant total de 110 MDH. Ces plateformes seront mises à disposition des chercheurs en provenance de différents établissements d'enseignement supérieur et de recherche travaillant sur les thématiques couvertes par ces plateformes.

En prenant en compte l'expérience de l'IRESEN en matière de gestion des projets de R&D, il a été formulé les recommandations suivantes en vue d'améliorer l'efficacité de la gestion des projets de R&D:

- assurer une meilleure coordination et concertation entre les membres de chaque consortium,
- permettre la gestion des budgets des projets de recherche aux responsables des projets,
- améliorer la gestion financière dans les universités.
- développer les compétences linguistiques et entrepreneuriales des étudiants.

Le dernier intervenant a commencé par situer l'importance des énergies marines au monde et au niveau national en les classant en cinq catégories: l'énergie des vagues, l'énergie des marées, l'énergie des courants océaniques, l'énergie des gradients thermiques et l'énergie des gradients de salinité.

Après avoir précisé l'importance de l'énergie des vagues qui constitue la thématique prioritaire de son équipe de recherche (90 GW sur la côte de l'océan atlantique et 2,5 GW sur la côte méditerranéenne), il a présenté son projet de recherche qu'il mène à l'EMI sur cette forme d'énergie, dans le cadre de la coopération avec une université espagnole. Ce projet consiste à développer une double turbine réversible pour l'exploitation de l'énergie des vagues. Il a débouché sur la réalisation d'un banc d'essais au Maroc grâce au financement de l'Action intégrée maroco-espagnole qui a permis de recruter un ingénieur pour le projet via une entreprise marocaine, ce qui constitue une bonne pratique permettant de contourner les difficultés de gestion des projets de recherche vécues actuellement par les universités publiques marocaines.

Mis à part les recommandations sur le choix des thématiques de recherche dans le domaine de l'énergie solaire photovoltaïque, les travaux du Panel ont permis de poser des problématiques d'ordre général sans spécificités particulières aux énergies renouvelables. Toutefois, il y a lieu de signaler les deux précisions suivantes d'une grande importance :

- l'existence d'une étude sur les besoins en formation du plan solaire marocains,
- les activités de soutien à la R&D dans le domaine de l'énergie solaire et des énergies nouvelles menées par IRESEN.

Cependant, les efforts d'IRESEN ne suffisent pas pour mener une bonne activité de R&D. En effet, ces activités étant réalisées essentiellement par les universités publiques, si les problématiques d'ordre général mentionnées ci-dessus en relation avec la gestion des projets ne sont pas résolues, on ne devrait pas s'attendre à une efficacité meilleure des activités de R&D dans le domaine des énergies renouvelables.

### Panel sur le développement et l'intégration industrielle

Ce panel a été modéré par Monsieur Ahmed Nakkouch, président directeur général de NAREVA holding.

L'intégration industrielle dans le secteur des sources d'énergie renouvelables consisterait pour le Maroc à mettre en place une stratégie de maitrise du savoir-faire technique et commercial afin d'accroitre sa productivité et son indépendance technologique. Elle consisterait aussi à avoir les ressources humaines nécessaires, les PME et PMI porteuses d'un savoir faire qu'elles maitrisent et qu'elles développent selon les besoins.

On attribue souvent, et à juste titre, le développement socioéconomique à l'existence d'un secteur industriel moderne, dynamique et performant. Dans les pays émergeants, les principales entraves qui s'opposent à cette expansion du secteur industriel sont :

- la résistance de groupes fortement liés à de vieilles structures, souvent familiales, qui par ignorance ou inertie refusent le changement,
- à une insuffisance du marché intérieur et à une faiblesse des ressources financières nécessaires à l'investissement dans l'innovation, qui seule peut conduire à une croissance viable du tissu industriel.
- à des difficultés d'assimilation et d'appropriation de la technologie moderne. C'est dans ce sens qu'il est indispensable de développer la formation et la recherche afin d'espérer un changement des habitudes et inculquer aux

jeunes générations l'esprit entrepreneurial et innovateur.

Cette problématique de «développement et d'intégration industrielle» a fait l'objet du second panel de la session. Les exposés et les discussions qui ont eu lieu ont abouti aux remarques et aux recommandations suivantes :

- L'intégration industrielle (ou mieux encore «l'intégration locale») dans le domaine des sources d'énergie renouvelables qui englobe aussi le service se développe correctement au Maroc. Elle atteint environ 40 à 45% dans certains secteurs et pourrait être plus importante si les industriels marocains investissaient davantage dans le secteur. Dans l'éolien, par exemple, à part les grands transformateurs que les développeurs sont obligés d'importer toutes les parties métalliques peuvent être confectionnées par des sociétés marocaines,
- Il est aussi à signaler que l'augmentation de co-localisations d'opérateurs étrangers s'accompagnerait forcément d'un accroissement de ce taux d'intégration et du transfert d'un savoir faire qui profiterait aux sociétés et à l'ingénierie marocaine.
- L'intégration industrielle dans ce secteur est un exercice complexe qui doit obligatoirement passer par une compensation. On pourrait, dans un premier temps s'inspirer de ce qui a été fait dans le secteur de l'hydraulique. Au fur et à mesure de la construction des barrages, une expérience a été acquise et a fait qu'aujourd'hui le Maroc construit avec l'aide de son ingénierie ces propres barrages. Cependant, pour réussir une opération de transfert des connaissances et de technicité de ce genre, il faut disposer de ressources humaines susceptibles d'assimiler et de s'approprier les technologies et le savoir faire du domaine.
- Dans cette perspective les énergies renouvelables pourraient constituer «un nouveau métier mondial du Maroc» à l'image de ce qui se fait dans l'aéronautique, l'informatique et le câblage des véhicules. Cette intégration industrielle est un choix stratégique qui s'accompagnera forcément d'une création d'emplois nouveaux et de richesses
- L'économie verte est une chance et une opportunité sans précédent pour le Maroc.
   C'est aussi un relai de croissance puissant qui par la même occasion permettra de répondre positivement aux inquiétudes croissantes sur le devenir de l'environnement dans lequel vont vivre les générations futures.

- Ш
- L'énergie solaire reste pour l'instant chère à cause du prix des équipements et de leur entretien. Cependant, avec l'amélioration des rendements, l'augmentation des prix et la rareté des combustibles fossiles, cette énergie propre, gratuite et abondante deviendra plus attrayante d'autant plus que le Maroc dispose d'importants atouts dans ce domaine.
- · L'efficacité énergétique et les économies d'énergie doivent être considérées comme des domaines prioritaires. Des efforts ont été faits au niveau de l'éclairage public, mais il reste le bâtiment et en particulier les bâtiments publics tels que les hôpitaux, les écoles et les administrations qui pourraient devenir, car l'opération est déjà lancée, des bâtiments intelligents et des modèles à suivre. Il y a aussi toutes les recherches qui pourraient être menées pour améliorer les rendements, la qualité des équipements et des matériaux utilisés dans ce secteur. Il n'en reste cependant pas moins vrai que «le kilowatt heure le moins cher, le moins polluant et le plus efficace c'est celui qui n'a pas été consommé».
- Une logique de résultat doit être suivie dans la promotion de l'industrie nationale dans les sources d'énergie renouvelables. Le Maroc doit avoir ses propres projets et les moyens de fabriquer l'équipement dont il a besoin. Il doit aussi avoir des sociétés de service capables d'intervenir quand c'est nécessaire. Ce créneau est vital parce qu'on ne peut pas continuer à être uniquement des consommateurs qui importe tout. Il faut accroitre le secteur productif.
- La valorisation les déchets urbains et agricoles (économie verte) pourrait mener à une exploitation rationnelle de la biomasse pour produire du méthane, du composte et des engrais. Ce secteur négligé jusqu'à présent permettrait de créer des emplois et d'améliorer l'environnement au niveau des villes. Le recyclage des déchets doit être repensé et considéré comme une niche productrice de bien et d'emplois.
- Il a été recommandé d'accorder une attention particulière pour les petits projets parce que c'est eux qui créent le plus de valeur ajoutée. Si on remplaçait par exemple toutes les pompes diesel par des pompes solaires on ferait des économies en énergie équivalentes à ce que va fournir la centrale en construction à Ouarzazate.
- C'est l'innovation qui crée la puissance en améliorant la compétitivité. Il faut par conséquent s'approprier le plus rapidement possible les technologies de production des énergies renouvelables et les intégrer dans la

- stratégie de développement. Le Portugal, à titre d'exemple, possède un marché de l'éolien parce que ce pays a développé l'éolien depuis un bout de temps et a décidé d'installer d'un tenant 1000 MW. Les énergies renouvelables représentent une opportunité pour le Maroc car il reste encore beaucoup à faire dans ce domaine et puis c'est l'avenir des générations futures qui est enjeu. Sans évoquer les dommages que les énergies fossiles causent à l'environnement. Le développement et la création de richesses nécessitent une disponibilité de l'énergie.
- Les usines de production de ciment sont des unités très énergivores. Les cimentiers qui sont très sensibles au problème énergétique ont commencé à produire leur propre énergie en utilisant comme source l'éolien. C'est un exemple réussi et un nouveau modèle qu'il conviendrait d'imiter dans d'autres industries. La loi l'encourage et les excédents d'énergie pourraient être injectés dans le réseau national.
- Il faut étendre notre réseau électrique à la moyenne et basse tension parce que c'est là où il y a le plus de consommation par les projets de petite taille. Ce sont ces types de projets qui créent le plus d'emploi. L'exemple du chauffe eau solaire suffit pour illustrer l'importance des petits projets qui en s'accumulant produisent de grands effets. Pour encourager ces filières, il faut que l'Etat accorde des subventions et que les professionnels du bâtiment (les architectes en premier) soient sensibilisés par des formations adéquates.
- L'intégration industrielle ne pourra pas se faire correctement si on ne forme pas plus d'ingénieurs de haut niveau et de main d'œuvre qualifiée. Construire des usines et mettre en place des plates-formes performantes n'est pas une fin en soit. Il faut former les ressources humaines capables de faire marcher ces usines, de les entretenir et d'innover chaque fois que c'est nécessaire.
- Par ailleurs, comme décrit par J. Rifkin dans son ouvrage «la troisième révolution industrielle» que nous vivons au XXIème siècle est basée sur la combinaison des énergies renouvelables et des réseaux de communication dématérialisés. Beaucoup d'être humains vont produire leur propre énergie verte dans leur domicile et la partager entre eux via des réseaux intelligents. Il est important que le Maroc soit partie prenante de cette révolution qui est en train de se mettre en place et de modifier l'économie mondiale et les habitudes des populations.
- La transition énergétique est évidemment un choix et elle a un prix.

- L'industrialisation au niveau des sources d'énergie renouvelables va créer un besoin croissant en Recherche, Développement et Innovation (RDI). C'est ce besoin de développement qui est à la base de la créativité, sans omettre que les principaux secteurs dans lesquels ce besoin va devenir de plus en plus pressant au fur et à mesure que les installations de production d'énergie deviennent importantes sont:
- · la recherche sur les procédés et les moyens de stockage de l'énergie. Les avancées dans ce domaine sont déjà remarquables mais il reste encore beaucoup à faire pour réellement satisfaire les besoins qui feraient baisser les prix de revient. Les températures atteintes dans le solaire à concentrations sont de plus en plus élevées et les matériaux et les fluides utilisés doivent être les plus performants possibles.
  - La recherche sur l'énergie photovoltaïque est à la portée des potentialités du Maroc. On ne peut pas évoquer la production d'électricité par les panneaux solaires PV sans parler des technologies de stockage de l'énergie produite et des réseaux électriques du futur. Ce domaine est en pleine mutation car les cellules au silicium classiquement utilisées ont des rendements bas et des prix élevés. Les domaines de recherche sont vastes et prometteurs. L'émergence de matériaux alternatifs (tel que la pérovskite) avec des rendements dépassant 15% est aussi un vaste champ d'investigation en raison des rendements et de la simplicité des méthodes de préparation que les universitaires marocains savent synthétiser. Il y a également toute la série de matériaux et de technologies émergeantes à base de sélénium de cuivre indium gallium.
  - Dans ce domaine du photovoltaïque la RDI sur le PV-organique avec de petites molécules pourrait permettre au Maroc de développer son propre know-how et aux universitaires de créer des spin-off qui pourraient fabriquer à bas coût des produits PV et peut-être même exporter vers d'autres pays.
  - Les batteries au lithium qui sont actuellement utilisées sont chères. C'est un domaine de recherche qu'il conviendrait de développer car sans batteries la voiture électrique et les autres moyens de mobilité resteront des produits d'utilité limitée. Il y a aussi les recherches sur les piles à combustible qui sont aussi un moyen de production d'énergie important.

- Dans le secteur de l'énergie éolienne, il y a des propositions de recherche sur la conception et la construction des palles dont la nature et la taille ne cessent de changer et croitre. A lui seul cet élément peut amener des améliorations significatives de rendement.
- Dans la construction mécanique, les supports de miroirs des centrales solaires par exemple, peuvent être fabriqués dans d'autres matériaux que l'acier. De même les miroirs au lieu d'être en verre, on peut les déposer sous forme paraboloïde de film de mylar (polyéthylène téréphtalate) sur des supports en béton. La Société Suisse Airlight, est en voie de construction, sur ce modèle, un site de production d'énergie renouvelable à Aït Baha. Elle utilise avec succès le béton comme socle de miroirs et pour le stockage du gravier chauffé avec de l'air à 600°C. L'air a été utilisé comme vecteur thermique car il est gratuit et non polluant. Il y a évidemment là aussi de la R&D qu'il faut développer.
- Le choix des niches où il conviendrait impérativement d'investir pour accroitre notre intégration industrielle doit faire l'objet d'un examen minutieux. Comme preuve de cette précaution on peut citer le secteur de l'automobile dans lequel le Maroc avait décidé d'investir mais dans lequel le taux d'intégration n'a jamais à ce jour dépassé 40%. Dans les projets industriels il faut avoir un timing et des leviers précis sur lesquels on peut agir pour atteindre les objectifs fixés.

#### De cette brève synthèse, il ressort que :

- \* la recherche scientifique (au sens RDI) doit se mobiliser fortement pour répondre aux besoins des plans de développement que le Maroc a mis en chantier,
- \* la formation des ressources humaines est un investissement rentable et un levier important dans les processus de développement,
- c'est sur ces deux piliers fondamentaux, que sont la formation et la RDI, que doit reposer l'intégration industrielle.







A. Boukhari, T. Bounahmidi, M. Ziyad Membres du Collège ITIT



Signature d'une convention de coopération entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et l'Institut de Recherche sur les Energies Renouvelables (IRESEN) (19 février 2014)

#### Séance d'ouverture

# Energy transition - from dream to reality



Phllippe A. TANGUY
Total, Berlm & Pans

Associate Member
Hassan II Academy of Sciences
and Technology

The energy transition is the shift to transform the present energy system mainly based on depletable commodities into a more sustainable mix by means of the use of renewable energy sources, an increase of the energy efficiency and the decrease of the energy intensity. In our daily life, energy is present under three main forms: electricity for lighting, heating and powering appliances; fuels for mobility and large industrial equipment; and molecules for the ubiquitous chemical compounds making our modern life possible.

The development of technological innovation in these fields is central to the success of the energy paradigm shift. However, depending on the energy applications considered, the degree of technological maturity varies significantly as weil as the capac1ty for pract1cal deployment. Several hurdles, many of them non-technological, must be overcome to build a sustainable new energy system.

- For electricity, the main obstacles are the extra costs incurred by most renewable energy technolo gies, the economical model to support their deployment, the transport and storage infrastructure es pecially in the context of production intermittency, and the grid management better addressing the demand side.

- For mobility, the main hurdles are the existing vehicle fleet based on internal combustion engines that will require fuels for decades to come, the relative present weakness of powertrain technology alternatives (batteries or hydrogen-based), and the infrastructure (and therefore the economical model) that would have to be developed to deal with any new fuel system (production, transport infrastructure, logistics, etc.).
- -For molecules, the switch from naphtha to gas and/ or biomass feedstock requires a completely new approach to sourcing and must be accompanied with a real industrial ecology thinking (lifecycle analysis) where recycling and reuse allow to optimize the resources. The energy transition trajectory is country-specifie as it depends on the locally available resources, the existing system (energy mix, infrastructure, typology of consumption) and the political context. Clearly, to embark on this journey, there is not a single approach or a universal model that can be readily applied. A solution is devised in each case with proposed objectives at 20 and 40 years, and financial scenarios.

The presentation will provide a comparison of the strategy followed by severalleading countries to make their energy system more sustainable and a glimpse of some key challenges to address to make the energy transition a success.



### Séance I : Production de l'énergie électrique centralisée

#### Ael estado del arte de la I+D+I en las tecnologías termosolares no siempre se impone la razón científica



#### Valeriano RUIZ HERNÁNDEZ

Academia de Ciencias y Técnicas Hassan II, Marruecos Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables (CTAER), Almería (España)

Los seres humanos actuales estamos repartidos por el planeta de forma aleatoria, y no precisamente en función de las condiciones climáticas. Hay más seres humanos en las zonas frías del planeta que en las cálidas, y los modos de abastecimiento energético de los países se han desarrollado en la búsqueda de una primacía sin medida de la satisfacción de las necesidades de sus habitantes, dando lugar a una situación como la actual verdaderamente absurda desde el punto de vista energético y ambiental por lo injusta e irresponsable. Por ejemplo, un noruego medio consume 23174 kWh de electricidad al año mientras que un keniano medio solo consume 157 kWh/año (casi 150 veces menos).

Los países situados en zonas climáticas intermedias (Mediterráneo, cinturón tropical, Marruecos, España, etc.) tienen condiciones muy adecuadas para llegar a un sistema energético racional y menos derrochador gracias a sus condiciones climáticas.

Otra cuestión que condiciona fuertemente el futuro de los seres vivos es el cambio climático – acelerado por las emisiones de gases de efecto invernadero – al que está sometido el planeta y sus habitantes (no solo los seres humanos). Ya es indiscutible y los efectos negativos se van notando de manera continua y progresiva.

El V informe del IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) de las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) refuerza y acentúa lo que ya se sabe por informes anteriores.

Lo más preocupante – según mi criterio – es que el indicador básico del proceso, el forzamiento radiativo (figura 1) sigue creciendo de forma contundente (2,3 W/m² en el 2011, cuando en el año 2005 su valor se estimaba en 1,6 W/m²). Es obvio que un noruego ha contribuido más que un keniano a estos preocupantes valores de ese indicador consecuencia de la inconsciencia e irresponsabidad humana.

#### Photovoltaic (PV)-technologies: State of the art, challenges: The coming decade of Opportunities



#### **Ahmed ENNAOUI** \*

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Germany

\* Serving as Chairman of the Scientific Council at IRESEN

Actually PV-technology are the third most important renewable energy source in terms of globally installed capacity after hydro and wind power. In 2012, the European Photovoltaic Industry Association (EPIA) reported the addition of 31.1 GW of new PV capacity, up from 30.4 GW in 2011, which brings the cummulative global solar PV installed capacity above 100 GW. For reference purposes, one power plant reactor produces about 1.3 GW of electricity per year (1 GW = 1 billion watts). For photovoltaics, in the last 30 years the learning curve shows a cost reduction of 15 to 20% for each doubling of the cumulative sales figure. Does Moore's law apply to photovoltaics? Gordon Moore's visionary prediction has provided the engine for innovation and continued exponential miniaturisation of semiconductor components and continually increasing power and resources while decreasing costs provided by techhnology.

The cost predictions for PV systems have to take into account the laws of physics and market condi tions. The penetration of PV into global energy market requires efficient energy conversion, efficient manufacturing methods and efficient use of materials. The costs in \$/Wp, as weil as \$/m2 of product and power availability (kWh/Wp/annum) are issues that obviously involve R&D on basic materials and the technical and environmental profile of each newly introduced technology. This talk will cover the status of PV technology and the high technology deployment as a part of the solution to the growing energy challenge and an essential component of future global energy pro duction. Thin Film technologies under development are proposed as a solution of the problem, but one has to explore and quantify the potential for innovation and technological developments in term of efficiency increase, reduction of absorber material, material utilization during deposition process. We discuss a variety of emerging materials and technologies. A new concept of miniaturization of solar cells with only few tens of micrometers in size operating under concentrated sunlight will be in troduced. There are three basic generations of solar cells, they are designated as first, second, and third, and differ according to their cost and efficiency.

- ď
- Wafer-based, silicon PV: monocrystalline and multicrystalline technologies (called 1st generation) is the most mature PV technology. Silicon modules are the predominant commercial product avail able today with 80% of the market. The efficiency of standard c-Si PV modules are about 16%-22%. However, a silicon solar cell is a single band gap p-n junction device and the efficiency is limited to 34%, by the famous fundamental physics limit known as Shockley-Queisser limit (Q-limit). The two most important power loss mechanisms in single-band gap photovoltaic cells are (a) the in ability to absorb photons with energy less than the band gap and (b) thermalisation of photon energy exceeding the gap. A photon with longer wavelength is not absorbed by the solar cell material. A photon with shorter wavelength generates an electronhale pair with energy greater than the band gap of the p-n junction material. The excess of energy is lost as heat because the electron (hole) re laxes to the conduction (valence) band edges. Other lasses are junction loss, contact loss and the recombination loss. Innovation on cell architectures and processing have the potential to increase the efficienciy. For example, the Passivated Emitter and Rear Locally diffused (PERL) cell uses the invertedpyramid structures of the top surface as weil as double-layer anti-reflection coating (ARC) including the use of photolithography technology to obtain fine metal fingers. This decrease the opti callosses, contributes to higher current for the solar cell, reaching laboratory scale efficiencies up to 25%.
- Inorganic thin film (ITF) (known as 2<sup>nd</sup> generation), is the main alternative to c-Si. The market share is accounting for about 17% of the global cell production. ITF are made from amorphous sili con or non silicon materials such as cadmium telluride or copper indium gallium Di-Selenide Cu(ln,Ga)Se<sub>2</sub>, (CIGSe). The main advantage of ITF-technology is the high absorption coefficient of the semiconductor layer allowing the use of few microns ( $\mu$ m) thick film, which is about 100 times thinner than current c-Si cells and can be manufactured with dramatically less material, shorter supply chains and cheaper, faster processes such as high-speed technology such as roll-to-roll. An other technical advantage of thin-films is the monolithic integration of circuits and the capability of deposition on flexible lightweight metals and plastics substrate. This can allow the integration into building materials (BIPV). One of the promising thin film solar cells is made of CIGS(Se) materials.

The heterojunction is following the glass/molybdenum/absorber/Buffer/window concept. The window consists of three wide-bandgap layers, each dedicated to fulfill a specifie requirement. After junction formation by the buffer layer, the undoped ZnO (intrinsic-layer) reduces the influence of inhomogeneities and pin holes, whereas the highly doped ZnO transports the generated photo eurrent

laterally to the grid finger or module interconnect. This concept of the substrate based deviee with one layer per function has resulted in robust processes for high-efficiency small area cells as weil as large scale module production. Recently a German team (ZSW) reported a laboratory size cell (0.5cm²) having record efficiency (confirmed on October 2013) of 20.8%. Solar Frontier (Japan) has also achieved standing world record conversion efficiencies (confirmed on January 2013) of 19.7% for lab. (Scale non-cadmium CIGSS solar cell).

Another type of heterojuction that have received significant R&D attention and have achieved the highest performance is the superstrate concept, such as Ohm-contacUCdTe/CdS/TCO solar cell structures. First Solar announced a new world record for cadmium-telluride (CdTe) -based solar cell, achieving recently 18.7% efficiency (confirmed on February 2013). The CdTe technology is cur rently the least expensive to manufacture, with module production cost of < 0.76\$/Wp. The potential barrier to further market expansion and reduction in cost is the relative scarcity of some key compo nent materials and the key question: how the expansion of the market for thin-film CdTe and CIGS techologies will depend on the total amount of indium and tellurium globally available? The World re serves of tellurium were estimated by the USGS at around 22,000 tonnes. First Solar uses around 100 tonnes of tellurium to make 1GWp of solar capacity, with production ramping to 1.8GW per year by 2012.

The situation is not much better for CIGS because of dramatie increase of indium demand resulting from the large introduction (More than 50% of globally refined indium is used in LCDs). CIGS(Se) PV manufacturing use only 2% of the total indium demand. The key question: How the expansion of the market for thin-film CdTe and CIGS technologies will depend on the total amount of indium and tellu rium globally available? Assuming that module production costs are the major cost in \$/m² that can be converted in \$/Wp depending on module efficiency, we conclude that the potential future expan sion of CdTe and CIGS technologies will depend on innovative deposition techniques, targeting the reduction of absorber layer thickness (below r81m) while maintaining efficiency. Also reducing wast age and recycling of indium and tellurium from several end uses can help the expansion of CdTe and CIGS thin film technologies. Indium can be recovered from Indium Tin Oxide (ITO) in Liquid Crystal Displays (LCD) manufacturing which could reach 92% based on existing research. Average recovery rates of around 90-95% are possible for Te from CdTe endof-life cells. Recycling of Indium from CIGS module is less weil developed and the rates from end of life CIGS modules is still unclear.

Another possibility to avoid supply-constrained situation caused by the tellurium and indium metals, the development of alternative light absorbing

material to CIGS and CdTe such as Copper Zinc Tin Sulfide (Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub>), or CZTS, where the rare elements (Indium) are replaced with more available and cheaper elements (Zinc and Tin). Significant progress was made for this material, following the work of IBM team on CZTSSe with conversion efficiency exceeding 10%. However, efforts are needed to achieve similar device performance of current ITF PV and compatibility with low-cost, large scale manufacturing.

- Third generation solar cells are mostly at the research stage and the devices are relatively far from commercialization. The main goal is to significantly decrease costs further below the level of first and second-generation, by significantly increasing efficiencies keeping in mind largescale implementa tion of PVs. Indeed, the Carnot limit on the conversion of sunlight to electricity is 95% compared to the theoretical upper limit of about 30% for a standard solar cell (Shockley-Queisser limit). This in trinsic thermodynamic limit, can be exceeded by new technologies. Up today multi-junction tandem solar cells which originally came from space technology using III-V compounds provide the best known example exceeding Shockley-Queisser limit. The concept of tandem solar cells is based on the use severa! absorbing materials of different bandgaps which ali have the same lattice parameter stacked on top of each other. Each material absorbs and converts efficiently the sun light, allowing the rest passing through to underlying lower bandgap cells. Such tandem cells are based on mono lithic integration by means of rather expensive technologies of fabrication such as molecular beam epitaxy (MBE) or metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD). Recently, the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Soitec, CEA-Leti and the Helmholtz Center Berlin jointly an nounced a new record efficiency of 44.7% at a concentration of 297 suns (concentrator photovolta ics, CPV). The use of CPV needs optical and thermal control elements. The cost of multi-junc tion solar cells still remains too high and the use of abundant low-cost materials and non toxic mate rials remains challenging. The third-generation PV technologies include approaches such as dye sensitized solar cells, nanomodified materials and organic OPV solar cells based on polymers or small molecules. The use of quantum dots with physical properties similar to both bulk semiconduc tors and discrete molecules is an option to achieve higher efficiencies beyond the Shockley-Queisser limit through multiple exciton generation.

Last but not least, a variety of low cost materials as light harvesters in a variety of photovoltaic archi tectures are emerging, as example: organic-inorganic halide Perovskite materials  $CH_3NH_3Pbl_3$  (conversion efficiency already above 15%) or the cheapest material iron pyrite  $FeS_2$  with estimated material extraction cost of  $0.000002 \in W$ .

We demonstrated a conversion efficiency of 2.8% using a (photo)electrochemical concept.

Printable solar cell approaches for producing thin film solar cells based on CZTS, CIGS, or FeS<sub>2</sub> na noparticle lnks; with extremely competitive production costs are very promising. The key aspect of printing solar cells technology is the synthesis of suitable inks. This needs the foundational materials science necessary to develop scalable ink-based technology that produces high-quality photovoltaic ink materials. The whole process from the feedstock to the product can be performed as roll-to-roll (R2R) using flexible foil onto which the solar cell is built layer-by-layer. The new production line paves the way towards solution processing, low cost, low energy budget, flexible solar cells.

#### STORAGE OF RENEWABLE ENERGIES



#### **Christoph RICHTER**

Executive Secretary, Solar Power and Chemical Energy Systems - SolarPACES, Deutsches Zentrumfür Luftund Raumfahrte V, Institute of Solar Research

Currently the major supply of renewable electricity (apart from hydropower) comes from Wind (>200 GW installed worldwide) and Photovoltaic (PV, >100 GW installed worldwide). In some electric grid there annual share is already about 20%, and strong cost reductions have been achieved. However the supply of electricity from wind or PV plants is intermittent and not necessarily matching demand, it is not dispatchable. This increases the need for electricity storage technologies and growing R&D activities are dedicated to improve current electricity storage technologies, to increase total capacity and decrease cost.

Concentrating solar power plants that convert solar energy to electricity via thermal conversion offer the option to include low cost thermal storage systems to shift electricity generation to hours of higher demand and/or lack of sunshine. This dispatchability makes them a very important part in electric grids with high shares of fluctuating renewable energies. CSP thus can help enabling a higher share of fluctuating over renewable energies.

This contribution will focus on the current state of art of thermal storage technologies for concentrating solar power (CSP) Plants and include an overview on other current electricity storage technologies.

# Séance II : Tendances de la R&D en Energies Renouvelables

#### Les réseaux électriques intelligents Les «Smart grids»



**Didier LAFFAILLE** 

Chef du Département Technique, Commission de Régulation de l'Energie, France

Pour faire face aux mutations du paysage énergétique, il est nécessaire de moderniser le système électrique. Le contexte français et européen, dans lequel se sont développés les réseaux électriques, conduit à privilégier le déploiement des technologies de Smart grids plutôt que le remplacement et le renforcement massif des réseaux.

L'intégration des Nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) aux réseaux les rendra communicants et permettra de prendre en compte les actions de l'ensemble des acteurs du système électrique, tout en assurant une livraison d'électricité plus efficace, économiquement viable et sûre.

Le système électrique sera ainsi piloté de manière plus flexible pour gérer les contraintes telles que l'intermittence des énergies renouvelables et le développement de nouveaux usages et appareils tels que la pompe à chaleur, le véhicule électrique et les équipements dits de haute technologique (écran plat, ordinateur portable, téléphone portable ou Smartphone, tablette multimédia, console de jeux, lecteur de musique, caméra, appareil photographique, etc.).

Ces contraintes auront, également, pour effet de faire évoluer le système actuel, où l'équilibre en temps réel est assuré en adaptant la production à la consommation, vers un système où l'ajustement se fera davantage par la demande, faisant ainsi du consommateur un véritable acteur.

Réseaux intelligents : quelques problèmes et approches pour la modélisation et la gestion distribuée et efficace de l'énergie électrique



**Malik GHALLAB** 

LAAS-CNRS, Toulouse, France Membre résident, Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Le réseau électrique est une des réalisations technologiques majeures des 19e-20e siècles. Jusqu'à récemment ce réseau a relativement peu évolué : un système conçu avant l'âge de la micro-électronique et d'internet, contrôlé de façon centralisé, sans optimisation explicite de l'efficacité énergétique, de l'impact environnemental, de la flexibilité de la demande et de la fiabilité. Ce réseau fait face aujourd'hui aux défis et enjeux de la demande mondiale croissante, du coût considérable des infrastructures mobilisées (et parfois peu amorties), de l'urgence des contraintes environnementales et de la nécessité d'intégrer des énergies renouvelables intermittentes, ainsi que des exigences de sûreté, de sécurité et de résilience d'un système devenu fragile par sa complexité.

Les recherches sur les "réseaux intelligents" visent à répondre à ces défis en prenant appui en particulier sur les possibilités de modélisation, de communication et de traitement distribué dues aux progrès numériques. Il s'agit de passer d'un réseau centralisé, contrôlé manuellement par un producteur, à des réseaux interconnectés où interviennent de nombreux "prosumers", optimisés, gérés de façon distribuée et largement automatisés. Ces objectifs donnent lieu à des programmes prioritaires de R&D très actifs dans la plupart des pays de l'OCDE.

Ce bref exposé apportera une introduction aux problématiques des réseaux intelligents. Il illustrera les apports ponctuels à ces problématiques de quelques techniques numériques de satisfaction de contraintes, de planification, d'optimisation et de diagnostic distribuées.

#### Malaysian Solar energy programme



**Ahmad HADRI HARIS** 

Malaysian Green Technology Corporation (GreenTech Malaysia) Selangor Darul Ehsan, Malaysia

Malaysia introduced Renewable Energy Act in 2011 with the ambition to catalyse renewable energy development in the country. Special feed-in tariff rates were stipulated in the Act for solar photovoltaic, biogas, biomass and small hydro technologies, ranging from USD/kWh 0.08 (for small hydro) to USD/kWh 0.58 (for solar PV). Since the introduction of the Renewable Energy Act, solar PV applications have soared from 2.5 MW in 2010 to 418 MW at the end of 2013, a growth of 167% over the 3 years period.

This is a unique achievement for an oil producing country, and against the focus on natural gas and coal as the key resources for electricity power generation.

Prior to 2011, solar energy has never received any public interest. Nonetheless, this ray of change was accomplished when Malaysia implemented a 5-year coordinated efforts, from 2006 to 2011, to popularise solar PV application in buildings.

Within this period, solar PV applications in Malaysia grew steadily by 439%, the technology unit cost reduced by 39%, 26 approved local solar PV service providers were established from nothing initially, public's interest in solar PV increased from 38% to 63%, access to grid-interconnection was established that provide the platform for priority access to the grid in the Renewable Energy Act, the Renewable Energy Fund was conceptualised which provided the foundation to the feed-in tariff implementation, and Malaysia becomes a world hub of solar PV manufacturing with about 4.5 GW of annual solar manufacturing capacities.

#### Hybrid renewable energy systems



**Abdelkader OUTZOURHIT** 

LPSCM, Department of Physics, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi Ayyad University-Marrakech, Morrocco

Traditionally, single power systems using renewable energy (RE) sources like wind and solar can be utilized to provide electricity for remote locations where grid extension is not feasible and/or uneconomical. The combination of two or more RE sources and/or energy storage systems (hybrid systems) will increase the reliability of the supply by taking advantage of the complementary availability of the sources. The architecture of these hybrid systems has evolved in the recent years to modularly ac-coupled systems where the loads (consumers for example) and generators are coupled on the ac-bus. Such modular systems offer significant advantages over centralized generation because they are expandable; they can run either in islanding mode or be connected to the grid. This coupling scheme also offers the possibility of placing the DC and/or AC generators in different locations (Distributed Generation).

The perspectives of such decentralized energy production in the Moroccan context will be discussed. In particular, a detailed description of a standalone hybrid PV-Wind power plant installed in the remote rural village Elkaria (Province of Essaouira, Morocco) will be presented. This plant is composed of a 7.2 kWp PV array and the associated inverters, a 5 kW wind turbine and the associated power conditioning and inverters, 1100 Ah battery bank and 2 bidirectional inverters. The plant supplies 16 households with electricity through a local grid that was installed for this purpose over a length of about 2 km. The coupling scheme, the energy management as well as the results of monitoring will be presented. Special attention will be given the performance parameters of the photovoltaic plant (yields, performance ratio, capacity factor). These parameters were extracted from the monitored daily irradiance and PV-inverter power output.

The performance ratio of the plant varied between 48% and 70% depending on the energy demand and climatic conditions. The low values of this parameter are observed when the demand is low and the state of charge of the battery bank is high. The effect of the energy management scheme on the performance ratio of the plant will be analyzed.

# Séance III : Opportunités et applications des énergies renouvelables

# Sustainable water supply in the MENA region by concentrating solar power and desalination



**Julian BLANCO** 

Plataforma Solar Almeria, CentrO de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnologicas- CIEMAT, Espagne

The typical geographical coincidence of water shortage and other water problems and high solar radiation is widely recognized, so the use of solar energy to simultaneously address water and power production is one of their most sustainable solutions. Therefore, solar desalination technologies by either combining photovoltaics and reverse osmosis facilities or by the integration of water desalination technologies in concentrating solar power plants is a very relevant area of Solar Energy research which, if successful, will certainly accelerate the large-scale implementation of solar energy, especially in regions where fresh water is scarce.

One of these regions is Middle East and North Africa (MENA), where the combination of significant population growth and high water demand anticipates problematic feasible scenarios in the coming years/ decades due to the very limited renewable water sources and the current nearly complete dependence of fossil fuels. Considering the previous context in the specific case of MENA countries, it is difficult to imagine any adequate solution without a significant contribution of renewable energies, being solar energy the first obvious candidate to be introduced due to its very high potential in the region. Also, among different solar energy technologies, concentrating solar power has the highest potential, being this the reason why large solar development plans and projects, such as the Desertec Initiative and Mediterranean Solar Plan, are currently underway in the MENA region.

If today's solar thermal technology to power production is available and market ready, the next logical step to make solar technologies even more attractive at regions such as MENA would be the integration of power and desalination facilities making use of solar energy as its primary energy source. This integration could be a very good solution because it could provide significant attractive benefits to the concept. However, in addition to all the potential benefits of combined power and water production, desalination integration into concentrating solar power plants is not a straightforward issue yet, as there are several unsolved technological issues, which still need specific research, development and demonstration initiatives to define the best concepts and systems.

#### Passive Solar Systems for Buildings Air refreshment in Marrakec



**Brahim BENHAMOU** 

Faculté des Sciences Semlalia & EnR2E CNEREE Cadi Ayyad University, Marrakesh, Morocco

The project aims to study the use of passive solar systems in buildings for natural refreshment and heating. The project also focuses on the building envelope in order to point out the synergy between an adapted envelope and the use of the passive/hybrid systems for cooling/heating. Specifically, two passive solar systems will be developed in the presentation.

The first one is a solar air tour which acts as air heater during winter and solar chimney during summer.

The second one is an Earth-to-Air Heat Exchanger (EAHX). These two systems are integrated in two existing buildings, which are designed as passive ones.

The solar air tour is integrated to a villa type house in the M6P University campus at the Green Town of Bengrir (70km from Marrakech). This air tour is coupled with a pebble bed for inter-season heat/cold storage. By the end of autumn season, the air tour is used as a solar air heater to store heat in the pebble bed buried under the house. In winter heat is extracted from the pebble bed and blown inside the house. By the end of spring season, cold air is stored in the pebble bed and extracted during summer to cool the house.

The air tour may also be used as a solar chimney for natural cooling of the house during hot nights. This system is going to be monitored in order to assess its energy performance and contribution to the energy efficiency of the building.

The EAHX system is integrated to a country house in Marrakech suburbs. It uses the soil inertia to cool air in summer and blow it into the building. It consists of 3 PVC pipes of 70m-length buried at 2-3m. A monitoring of this system during Summer 2013 shows that it stabilize blown air temperature at around 25°C while ambient air temperature oscillates between 20°C and 40°C.

#### Concentrated solar technologies for the production of high temperature process heat and energy vectors



#### **Gilles FLAMANT**

Directeur, Laboratoire Procédés Matériaux et Energie Solaire, PROMES-CNRS 7, rue du Four solaire, 66120 Font Romeu - France

Concentrated solar systems provide primarily heat at various temperature that depends of the concentration optics (linear or point). The limit is about 500°C for linear concentrators (parabolic troughs and Linear Fresnel) and about 2000°C for point focusing concentrators (central receiver system – or tower – and parabolic dish). Thus possible operation temperature range is about 100°C - 2000°C that coverts mainly all the temperature range of industrial processes (process heat).

Concerning solar energy conversion efficiency, process heat may be produced with an efficiency of 50% and more, while solar energy-to-electricity conversion is limited to about 20% (except for dish-Stirling convertor). This figure is based on a 65% mean efficiency for the solar concentrating system and 80% solar receiver efficiency (resulting in a 52% solar energy-to-process heat efficiency).

At low and medium temperatures, highly efficient flat-plate solar collectors may produce heat at about 100°C with 50% efficiency. Evacuated tubes are necessary to attain 130°C with the same efficiency; then CPC collectors main produce heat at around 200°C, but CPC collectors are already solar concentrating systems.



Photo de groupe prise lors de la séance de clôture de la session plénière solennelle (21 février 2014)





# RECHERCHE BIOMEDICALE ET EN SANTE AU MAROC : ETAT DES LIEUX











T. Chkili, R. El Aouad, C. Griscelli, S. Nadifi, et A. Sefiani

# I- Introduction : contexte de l'élaboration du rapport et objectifs attendus.

La recherche biomédicale fait partie du domaine de la recherche en sciences du vivant. Elle «concerne l'application des sciences naturelles, de la biologie et de la physiologie en particulier, à la médecine» selon le Dictionnaire American Heritage, 4ème édition. Elle comprend notamment «la recherche clinique, recherche appliquée à l'homme dont la finalité est le progrès des techniques de soins» (Bourdillon et Tabuteau 2007) Traité de santé publique. Ed. Flammarion].

La recherche en santé a été définie par la 43ème assemblée de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme «un processus pour obtenir systématiquement les connaissances et les technologies qui peuvent être utilisées pour améliorer la santé des individus et des populations». Ces travaux de recherche fournissent l'information de base sur la santé des populations et leurs maladies, sur les moyens de prévention, de traitement et de réduction des conséquences des maladies et contribuent à une meilleure planification des services de santé individuelle et communautaire (OMS,1990). La recherche en santé mobilise fortement les sciences humaines et sociales.

Au Forum mondial pour la recherche en santé à Mexico en 2004, la recherche en santé a été appréhendée comme un ensemble de cinq grands domaines d'activité :

- mesure de l'ampleur du problème de santé et sa distribution;
- compréhension des déterminants du problème, qu'ils soient de nature biologique, comportementale, sociale ou environnementale;
- mise au point des solutions ou des interventions qui aideront à prévenir ou à atténuer le problème;
- application des solutions dans le cadre de politiques et de programmes;
- évaluation de l'effet de ces solutions sur l'ampleur et la distribution du problème.

La recherche sur les services et les systèmes de santé est définie comme «l'examen systématique et l'évaluation des aspects spécifiques de la mise en place et du fonctionnement des services de santé au regard des facteurs et déterminants de santé» (OMS, COHRED = Council on Health Research for Development ). L'expression «recherche pour la santé» rend compte du fait qu'il faut faire appel à de nombreux secteurs et à de nombreuses disciplines pour améliorer les résultats sanitaires.

Selon l'OMS (2013)<sup>1</sup>, les **systèmes nationaux de recherche en santé** ont essentiellement quatre fonctions :

- · établissement des priorités de la recherche,
- · développement des capacités de recherche,
- définition des normes et des critères pour la recherche,
- transformation des données factuelles en pratiques.

Ces quatre fonctions visent à promouvoir la santé en général, et la couverture sanitaire universelle en particulier.

Dans le cadre de ses missions, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques (AHIIST) a élaboré et diffusé, en mai 2013, son deuxième rapport sur la recherche scientifique et technique au Maroc intitulé: «Développer la recherche et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité: état des lieux et recommandations clés». Ce rapport, destiné aux décideurs et à l'ensemble de la communauté scientifique nationale, fait une analyse objective de la situation en la matière, soulignant les forces et les faiblesses enregistrées, et proposant des mesures destinées à relancer la production scientifique marocaine et à en améliorer la qualité et la compétitivité.

Dans ce cadre, l'AHIIST a demandé à ses collèges d'élaborer, dans un cadre ouvert et participatif, des rapports sectoriels destinés à faire le point de la recherche dans leurs domaines respectifs afin de mieux cerner les problématiques spécifiques à

<sup>1-</sup> La recherche pour la couverture sanitaire universelle. Rapport sur la santé dans le monde 2013. OMS.

<sup>\*</sup> Membres du Collège des Sciences et Techniques du vivant, Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

chaque secteur, et de faire des recommandations proposant des stratégies de recherche sectorielles et en adéquation avec les besoins du pays.

C'est pourquoi le Collège des sciences et techniques du vivant a élaboré ce premier rapport sectoriel intitulé «Recherche biomédicale et en santé: état des lieux et propositions de relance».

#### Ce rapport comporte :

- \* une première partie qui présente les acquis à renforcer, les faiblesses à corriger, et les atouts à saisir pour insuffler une nouvelle dynamique à ce secteur important pour le développement du pays,
- \* une deuxième partie qui concerne l'organisation de la recherche biomédicale et en santé en vue de contribuer au développement scientifique, médical, social et économique du pays.

Seule la première partie est proposée pour publication dans le Bulletin de l'AHIIST.

#### II. Contexte et enjeux

#### A- Au niveau international

## 1- Bénéfices de la recherche biomédicale et en santé

La recherche en santé a contribué, à des degrés divers, à l'amélioration de la santé de l'ensemble de la population mondiale. Cela est vrai pour les recherches relatives aux médicaments, aux vaccins, aux tests diagnostics, à l'acquisition de nouvelles technologies ainsi qu'à la prévention.

En effet, depuis la publication du rapport de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 2002 sur la macroéconomie et la santé, il est bien établi que la bonne santé est un levier pour la croissance économique et la lutte contre la pauvreté. Par ailleurs, il a été démontré que des gains de longévité sont directement corrélés à la richesse des pays (Courbe de Preston, 2000). Néanmoins, la corrélation entre l'espérance de vie et le produit intérieur brut (PIB) reste tributaire des progrès technologiques, de leur diffusion à différents pays et de la capacité des pays d'entreprendre, d'appliquer ou d'adapter ces technologies à leurs besoins locaux, c'est-à-dire à leur capacité d'entreprendre des recherches, ou du moins, de s'approprier et d'adapter leurs résultats (Dye 2004). Pour renforcer cette donnée, la Banque mondiale (2009) souligne que si la richesse nationale favorise la recherche, elle ne garantit pas la productivité de cette dernière. En effet, l'institution financière démontre que la surmortalité enregistrée par de nombreux pays est attribuable à l'échec d'application des connaissances, des procédures et des produits issus de la recherche.

## 2- Accroissement de la demande en recherche pour résoudre les problèmes de santé.

Depuis le début des années 1990, la mondialisation des problèmes de santé, la nature complexe des déterminants sociaux de la santé, l'émergence de nouveaux agents pathogènes avec menaces de pandémies, joints aux réformes des systèmes de santé qu'elles imposent, ont généré une demande croissante en recherche pour résoudre les problèmes de santé. Par ailleurs, l'Institute of Medicine (USA), l'OMS, et la Banque mondiale ont clairement recommandé de fonder les politiques publiques et les pratiques dans le domaine de la santé sur les meilleures données de la recherche. De fait, depuis le début des années 1990, l'OMS fait la promotion de la recherche en santé pour appuyer le développement des systèmes de santé, lutter contre les maladies, orienter et évaluer les programmes de santé entre autres.

Dans cet esprit, l'article 2 de la constitution de l'OMS, qui affirme l'importance fondamentale de la recherche, déclare que «la création, la dissémination et l'adoption des connaissances, sont les principaux générateurs des bénéfices en santé».

Margaret Chan, Directeur de l'OMS qui avait présente le Rapport sur la santé dans le monde 2012 affirmait que «la recherche est le fondement de toute politique et n'est pas un luxe. En ces temps de crise financière et face à des priorités concurrentes, la recherche est encore plus indispensable». Madame Chan montra que «le fait d'investir dans une recherche de qualité améliore l'efficience et apporte des retombées pour l'économie». Elle a ainsi fait comprendre aux États Membres que «la recherche doit être soutenue, promue et renforcée dans tous les pays».

#### B- Au niveau national

A l'instar des autres pays, le Maroc a bénéficié des avancées de la recherche médicale et de l'innovation technologique en santé. Ainsi, le programme d'immunisation a permis d'éradiquer certaines maladies ; les mesures de prévention et l'adoption de traitements appropriés ont permis d'éradiquer de nombreuses maladies et de contrôler bon nombre d'autres ; tandis que l'utilisation adéquate des technologies de pointe a contribué à améliorer la prise en charge des malades et à diversifier l'offre de soins au Maroc.

ď

Le Maroc a relevé de nombreux défis en matière de contrôle des maladies infectieuses et épidémiques, d'amélioration de l'espérance de vie (passant de 47 ans en 1962 à 75 ans en 2010), de réduction de la mortalité maternelle (112 décès pour 100 000 naissances vivantes en 2010, contre 359 en 1980), et de la mortalité infanto-juvénile (36% en 2010, contre 138% en 1980). Cependant, ces résultats restent insuffisants comme cela a été rappelé dans le rapport du Conseil économique, social et environnemental (CESE) relatif à l'accès aux soins de santé de base, présenté par le Pr. Hakima Himmich à la journée de réflexion sur la RBMS organisée par le Collège des sciences et techniques du vivant. D'après ce rapport, les taux de mortalité maternelle et infantile restent parmi les plus élevés de la région MENA et sont fortement corrélés à la pauvreté et la ruralité; la mortalité maternelle est ainsi 75% plus élevée en milieu rural. Le rapport conclut à l'extrême difficulté d'accessibilité géographique aux services de soins de santé de base pour 24% de la population marocaine avec des inégalités persistantes liées au genre et affectant les migrants subsahariens.

Aujourd'hui, le Maroc se trouve devant une triple transition qui lui impose d'adapter ses stratégies sanitaires à des situations diverses et, partant, de restructurer et développer son système de recherche en santé.

1- Une transition épidémiologique qui se caractérise par l'éradication, ou le recul de certaines affections et l'apparition ou l'augmentation d'autres maladies. L'analyse de la charge de morbidité globale<sup>2</sup> fait ressortir une transition épidémiologique où la charge de morbidité globale du groupe des maladies non transmissibles (diabète, hypertension artérielle, athérosclérose) est supérieure à celle du groupe des maladies transmissibles, montrant ainsi que le Maroc fait face à un double fardeau de morbidité. Le rapport du CESE cité plus haut souligne que les maladies non transmissibles sont responsables de 75% des décès et leurs conséquences économiques et sociales sont particulièrement lourdes. Alors que leur prévalence est croissante, elles ne font l'objet de quasiment aucune prévention. Pourtant, il est possible d'agir sur certains facteurs de risque. Par ailleurs, à l'instar de ce qui se passe dans le monde, le Maroc fait face à de nouveaux défis sanitaires, notamment la résurgence préoccupante de certaines maladies infectieuses malgré les efforts

- consentis, comme c'est le cas de la tuberculose; l'apparition et l'extension rapide de maladies émergentes favorisées par des flux migratoires non contrôlés, comme c'est le cas de l'infection VIH; ou encore l'accroissement des addictions et des accidents, l'impact des pollutions et du changement climatique sur la santé.
- 2- Une transition démographique qui se caractérise par une diminution des taux de fertilité et de l'accroissement démographique, avec un allongement de l'espérance de vie et l'augmentation des affections liées à l'âge avancé (maladie d'Alzheimer, accidents vasculaires cérébraux notamment), ainsi que des cancers, nécessitant de nouvelles pratiques et des structures de prise en charge nouvelles.
- 3- Une transition dans les modes de vie et de consommation induisant de nouvelles pathologies liées à l'alimentation et à la sédentarité (obésité et surpoids, diabète, HTA).

Afin de consolider les acquis et de relever les défis contemporains de la santé, l'élaboration de politiques de santé fondées sur les données factuelles s'avère urgente. Ce constat est soutenu par les recommandations du groupe thématique «système de santé et qualité de vie» du Rapport du Cinquantenaire (2007) où l'on peut lire : «Il serait, ainsi, judicieux de définir une véritable politique nationale de santé et non des programmes et des plans d'action sur des périodes de temps limitées ou au gré des changements de titulaires»<sup>3</sup>. En effet, l'amélioration des résultats sanitaires au Maroc reste tributaire d'un dispositif de veille permanent, d'un système de recherche en santé performant et pérenne ainsi que d'une organisation du système de santé appropriée anticipant les menaces et risques sanitaires, adaptant les stratégies, élaborant et/ou réorientant les politiques de santé.

#### III-Evolution et état des lieux de la recherche biomédicale et en sante au Maroc

Depuis 2002, plusieurs évaluations de la recherche biomédicale et en santé ont été faites et ont abouti à des recommandations destinées à assurer son développement.

# A- Evaluations du système de la recherche en santé marocain (2002-2003).

Une évaluation du système de la recherche en santé (SReS), menée par des experts de la Commission européenne dans le cadre de

<sup>2-</sup> Ministère de la Santé : Etude de la charge de morbidité globale au Maroc, 2000.

<sup>3-50</sup> ans de développement humain & Perspectives 2025 - Cinquantenaire de l'indépendance du Royaume du Maroc : Rapport thématique : Système de santé et qualité de vie, 2007.

l'évaluation du système national de la recherche scientifique et technique (SNRST)<sup>4</sup> en 2002-2003 a abouti aux constats suivants :

- absence d'une politique et d'une stratégie de recherche en santé;
- manque de pilotage, de coordination, de suivi et d'évaluation du SReS qui est complètement intégré et noyé dans le SNRST;
- faible culture de recherche, absence de programme de formation en recherche en santé dans les établissements en charge aboutissant à une faible qualité des projets sur le plan méthodologique;
- · absence d'un Comité national d'éthique;
- faible impact des résultats de la recherche sur les politiques publiques dans le domaine de la santé:
- faible disponibilité de ressources financières, développement encore embryonnaire des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC);
- gestion insuffisante, voire défaillante, des ressources humaines;
- existence de quelques points forts: chercheurs compétents, existence de structures et d'équipes compétitives ayant souvent des coopérations internationales, mais le plus souvent isolées au niveau de leur institution.

Outre cette analyse, les recommandations d'une étude sur le système de la recherche en santé au Maroc conduite avec l'appui de l'**OMS**<sup>5</sup> en 2003, ont souligné les principales caractéristiques du SReS :

- avoir une identité distincte du Système national de la recherche scientifique et technique (SNRST), et qui se réfère aux normes et priorités nationales;
- être guidé par une politique de ReS déclinée de la politique de santé, où le ministère de la santé exercera plus de leadership;
- favoriser le maillage des différents acteurs qui exerceront de manière plus autonome, plus professionnelle, plus transparente et plus responsable;
- favoriser une pratique de recherche plus rigoureuse, guidée par des principes et règles éthiques, et liée à la décision et l'action en santé;
- être financé par le public mais ouverte au financement du secteur privé et à la coopération internationale.

### B. Evolution et état des lieux du système de la recherche biomédicale et en santé au Maroc.

Une étude a été menée au cours du deuxième semestre de l'année 2013 par un comité composé de membres du Collège des sciences et techniques du vivant. Les principales données et conclusions de l'étude furent débattues au cours d'un atelier auquel ont participé des représentants des départements concernés, les doyens des facultés de médecine et les directeurs des CHU, et une trentaine de chercheurs.

### 1- Organisation et structures de la recherche biomédicale et en santé.

La recherche biomédicale et en santé au Maroc est théoriquement sous la double tutelle du ministère de la santé et du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche scientifique et de la formation des cadres. Mais seule la loi 01-00 relative aux universités explicite que les universités ont parmi leurs missions celle d'organiser et de promouvoir la recherche scientifique dans les divers domaines des connaissances. Et de fait, il n'existe pas de système de recherche en santé, celui-ci étant inclus dans l'architecture globale du système national de recherche scientifique (SNRS) qui comporte plusieurs intervenants dont les missions peuvent parfois se juxtaposer.

Les missions du Comité interministériel permanent chargé de la promotion de la recherche scientifique (CIPPRS) sont : l'orientation, la coordination, la planification et le financement de la recherche scientifique dans sa globalité. Ce comité ne s'est pas réuni depuis 2003 et, par conséquent, aucun pilotage n'est actuellement assuré. Le Secrétariat permanent du comité interministériel, censé être assuré par le département chargé de la recherche scientifique, a vu son activité s'arrêter avec celle du Comité en 2003.

Les structures de recherche biomédicale et en santé sont intégrées aux universités et aux établissements de l'enseignement supérieur non universitaire. Leurs activités dépendent du seul degré d'engagement des chercheurs et de l'intérêt accordé à la recherche par les présidents d'universités et doyens des facultés de médecine et de pharmacie, et de médecine dentaire. Ainsi, les instances chargées de la mise en œuvre des priorités de recherche dans le domaine des sciences de la santé sont les universités, notamment celles qui abritent les cinq facultés de médecine, les deux facultés de médecine dentaire,

<sup>4-</sup> Roland Waast and Mina Kleiche-Dray: Evaluation of a national research system: Morocco, European Commission, 2009.

<sup>5-</sup> Analyse du système de recherche en santé au Maroc, décembre 2003 (Forum National sur la recherche en santé : Etat des lieux, défis et perspective, octobre 2004).

ď

les cinq centres hospitalo-universitaires (CHU) et certains établissements publics non universitaires.

L'analyse des données recueillies dans le cadre de cette étude montrent que :

- parmi les 114 établissements appartenant aux 16 universités publiques, on compte cinq facultés de médecine et deux facultés de médecine dentaire, ce qui représente six pour cent (6%) des établissements publics;
- sur les 1348 structures de recherche accréditées au sein des universités, 155 relèvent des facultés de médecine et de médecine dentaire (11%), sans compter les laboratoires des facultés des sciences qui ont des axes de recherche en santé;
- sur les 50 centres d'études doctorales, on compte deux centres au niveau des facultés de médecine et de médecine dentaire, soit 4% de CEDOCs; et
- sur les 59 unités de recherche associées au CNRST, sept opèrent dans le domaine des sciences de la santé (12%).

Par ailleurs, moins de 10% des établissements de l'enseignement supérieur universitaire conduisent des recherches en sciences de la santé et 7% au sein des facultés de médecine et de médecine dentaire.

Sur les 17 établissements de recherche non universitaire, on compte six centres et instituts qui opèrent dans le domaine des sciences de la santé: l'Institut national d'hygiène (INH), l'Institut Pasteur du Maroc (IPM), l'Institut national d'administration sanitaire (INAS) réformé en Ecole de santé publique fin 2013, le Centre national des études scientifiques et techniques en énergie nucléaire (CNESTEN), et la Moroccan Association for Science Innovation and Research (MASCIR).

Au terme des six années de restructuration de la recherche à l'échelle nationale, dans les quatre facultés de médecine et les deux facultés de médecine dentaire, on compte 135 équipes sur un total national de 765 équipes (18%); 17 laboratoires seulement sur un total national de 564 laboratoires (3%); et deux pôles de compétence sur un total national de 11 centres (18%)<sup>6</sup>. On notera que le nombre d'équipes dépasse très largement le nombre de laboratoires et de centres, montrant le caractère éclaté des structures de recherche et attestant que les objectifs de la structuration ne sont pas encore atteints.

Pour les structures non universitaires, l'organisation de la recherche ne répond pas aux normes d'accréditation utilisées par les universités. La conduite de la recherche en leur sein est intégrée aux activités de routine qui constituent l'essentiel des activités des unités, des laboratoires ou encore des départements.

Si l'accréditation des structures de recherche a permis de clarifier le paysage de la recherche biomédicale avec des ressources humaines et matérielles, des thématiques et des activités de recherche bien définies au sein des facultés de médecine et de médecine dentaire, il n'en reste pas moins que les structures restent de petites tailles avec un important éclatement, et une inflation des thématiques de recherche. Un grand effort reste à faire pour une meilleure fédération et regroupement des compétences scientifiques au sein des facultés de médecine et de médecine dentaire ainsi qu'au niveau des structures non universitaires. Les niches d'excellence abritées par chacune de ces facultés, notamment celles comportant des pôles de compétence qui sont de véritables consortia, regroupant plusieurs structures et équipes, sont l'exemple d'une bonne synergie des compétences et d'une mutualisation efficace des moyens et des ressources.

La réforme des études doctorales fut la dernière étape de la mise en œuvre du système LMD Seulement 4% des centres d'études doctorales sont concernés par les sciences médicales. Ces dernières représentent 6% des formations doctorales.

L'association d'unités de recherche au CNRST était une nouvelle action pour encourager et soutenir la restructuration de la recherche au Maroc. Sur les 264 candidatures, 59 structures accréditées ont bénéficié du label d'unité de recherche associée au CNRST, dont seules quelques unités travaillent sur des thématiques biomédicales et en santé.

## 2- Ressources humaines impliquées dans la recherche biomédicale et en santé.

Sur l'ensemble des enseignants chercheurs, 5,37% sont affectés aux facultés de médecine et de médecine dentaire et aux centres hospitalouniversitaires (CHUs), et sont de fait concernés par le domaine des sciences médicales. Toutefois, rapportés aux effectifs des étudiants, les facultés de médecine et de médecine dentaire ont les meilleurs taux d'encadrement : sept à

<sup>6-</sup> Catégories de structures de recherche normalisées : 1) L'équipe de recherche constituée par au moins 3 enseignants ; 2) Le laboratoire de recherche, regroupe au moins 3 équipes ; 3) Le centre d'étude et de recherche, fédère plusieurs laboratoires ou plusieurs équipes et 4) Le réseau de recherche inter-universitaire.

huit étudiants par enseignant chercheur, soit une grande disponibilité pour la conduite et l'encadrement des travaux de recherche en santé. Cependant, leur activité principale réside dans l'enseignement au sein des facultés de médecine et de médecine dentaire et la dispense des soins dans les CHUs.

On notera que les médecins résidents, les internes et les chercheurs scientifiques assimilés à des assistant médicaux, qui contribuent d'une façon importante aux travaux de recherche dans les facultés de médecine, dans les CHU et dans certains hôpitaux publics et institutions non universitaires, ne sont pas comptabilisés.

#### 3- Production

Pour analyser la production scientifique du Maroc dans le domaine de la santé et de la biomédecine, nous avons fait appel au portail Scimago développé par des chercheurs du Conseil supérieur de la recherche scientifique espagnol, http://www.scimagojr.com. Scimago s'appuie sur la base de données bibliographique Scopus, produite par Elsevier et permet d'extraire des données statistiques globales sur la période 1996-2012 ou pour chaque année séparément. Les classements des différentes nations sont donnés selon leur production scientifique, le nombre de citations et le h index. Ces deux derniers indicateurs sont un reflet de la qualité et de l'impact des publications scientifiques produites par les chercheurs (un h index de k veut dire que k documents d'un pays, d'une revue, d'une université ou d'un auteur ont été cités k fois). L'outil Scimago prend en compte le prestige des revues dans lesquelles les travaux de recherche sont publiés mais ne permet pas de pondérer la production scientifique en fonction des budgets de recherche investis par les différents pays.

En 2012 et avec 3282 publications, toutes thématiques confondues, le Maroc est classé au 56ème rang mondial, 57ème pour le nombre de citations et 67ème pour son h index de 99. Le Maroc, qui était en 1996 le quatrième pays en Afrique en nombre de publications scientifiques, a produit en 2012 moins d'articles que l'Afrique du Sud, l'Egypte, la Tunisie, l'Algérie et le Nigéria. Les données ,groupées sur la période 1996-2012, mènent quasiment au même classement (55ème avec un nombre de publications de 27 253)

L'analyse de la contribution des différents domaines de recherche dans la production scientifique marocaine fait clairement ressortir la recherche médicale et les disciplines apparentées comme le fer de lance de la recherche scientifique au Maroc (Figure 1). La recherche médicale marocaine a été, selon les données de Scopus 2011-2012, la plus productive en nombre d'articles scientifiques, suivie par les travaux d'astrophysique et de mathématiques.

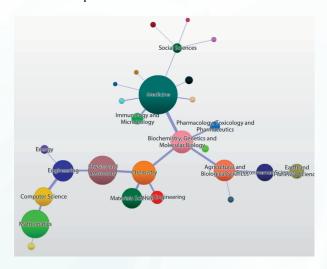


Figure 1 : Importance de la recherche médicale au Maroc comparée aux autres domaines de recherche

La recherche médicale marocaine occupe en 2012 le 53ème rang mondial soit 0.135% de la production mondiale, alors qu'elle était à la 47ème position en 1996. Le classement des neurosciences et des autres disciplines transversales comme la génétique, l'immunologie, la pharmacologie varient entre le 50ème et le 60ème rang mondial.

En Afrique, le Maroc occupe en 2012, le 5ème rang en nombre de publications médicales avec 773 articles soit 8.076% de la production africaine. Il est précédé par l'Afrique du Sud, l'Egypte, le Nigéria et la Tunisie. Lorsqu'on prend en considération son h index, le Maroc n'occupe que la 8ème place, précédé toujours par les quatre pays précédents en plus du Kenya, de la Tanzanie et de l'Ouganda. Le Maroc occupe toujours la 4ème ou la 5ème place en Afrique pour les neurosciences, la médecine dentaire, la génétique/biochimie et la pharmacologie. Alors que pour l'immunologiemicrobiologie, il fait moins bien et n'arrive qu'au 16ème rang.

Les données de l'évolution de la production scientifique médicale du Maroc, sur la période 1996-2012 (Figure 2), sont alarmantes lorsqu'on les compare à celles de la Tunisie (première au Maghreb) de l'Afrique du Sud (première en Afrique) ou de l'Egypte (première dans le Monde arabe). On note ainsi qu'à partir des années 2000, l'écart ne cesse de se creuser avec l'Afrique du Sud et l'Egypte. Ces deux nations étaient,

quelques années plus tôt, pratiquement au même niveau que le Maroc. A partir de 2004, le Nigéria a devancé le Maroc en nombre d'articles publiés et la production scientifique de pays comme le Kenya et la Tanzanie se rapproche du niveau de la production scientifique marocaine.

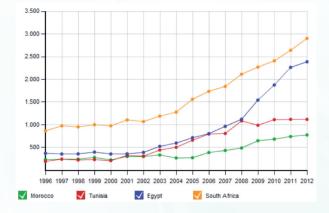


Figure 2 : Evolution comparée, sur la période 1996-2012, de la production scientifique du Maroc, de la Tunisie, de l'Egypte et de l'Afrique du Sud (Source : Scimago).

L'analyse plus fine de la production scientifique marocaine fait ressortir un certain nombre d'éléments qui peuvent être considérés comme des obstacles au développement et à la visibilité de la recherche biomédicale :

- Le Maroc, comparé à ses partenaires ou concurrents, a la part la plus importante de publications en langue française, alors même que les publications scientifiques en cette langue continuent de décliner partout dans le monde, y compris dans les pays francophones. Une part importante de la production scientifique marocaine perd ainsi de sa visibilité. Encourager les chercheurs marocains à publier et à communiquer en anglais contribuerait certainement à un plus grand rayonnement de la recherche médicale marocaine;
- L'analyse de la nature des publications biomédicales marocaines montre que les travaux descriptifs, en particulier les «cases reports», représentent plus du tiers de la production scientifique marocaine (Medline, 2011). Ces travaux sont souvent sans grand impact scientifique et n'améliorent pas le taux des articles marocains cités, et donc reconnus, par la communauté scientifique internationale;
- Si certains travaux marocains ont fait l'objet de publications d'une grande valeur scientifique, la recherche biomédicale marocaine produit en général des travaux scientifiques qui sont

publiés dans des revues de très faible impact. A titre d'exemple, les revues qui ont dépassé la centaine de publications marocaines, sont toutes des revues en langue française avec un impact facteur proche de zéro. La multidisciplinarité et l'introduction de technologies transversales nouvelles, comme la génétique, la biologie moléculaire et l'immunologie, contribuerait certainement à améliorer la qualité des publications marocaines;

• L'absence de revues nationales indexées spécialisées dans le domaine de la biologie et la médecine, fait perdre au Maroc annuellement des centaines de publications qui pourraient améliorer son classement en particulier par rapport à ses concurrents régionaux. Le tableau 1 montre le nombre de revues indexées et leurs apports en publications pour l'Afrique du sud, l'Egypte et la Tunisie.

Tableau 1 : Revues nationales indexées et leurs apports en 2012 dans la production scientifique du Maroc, de la Tunisie, de l'Egypte et de l'Afrique du Sud

Pays	Nombre de revues biomédicales nationales	Publications nationales indexées	Publications totales	Publications non nationales
Afrique du Sud	26	1460	2903	1443
Egypte	20	1081	2368	1287
Tunisie	1	291	1117	826
Maroc	0	0	773	773

(Source : Scimago).

La cartographie de la recherche clinique marocaine montre un dynamisme et un potentiel de développement très prometteur pour des disciplines comme l'oncologie, la neurologie, la dermatologie et la radio imagerie. La contribution relative des différentes disciplines dans la production scientifique médicale marocaine se caractérise, cependant, par une irrégularité et une variabilité en fonction des années. Ceci s'explique par une recherche marocaine encore basée sur des individualités et non encore suffisamment structurée pour se maintenir dans la durée. L'exemple de l'urologie est très parlant, cette discipline contribue actuellement très modestement dans la production scientifique marocaine globale alors qu'elle était, entre 2000 et 1996, championne dans sa catégorie au niveau africain (Figure 3).

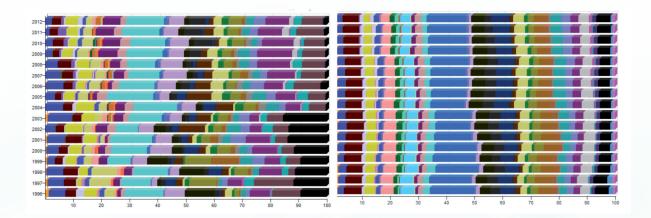




Figure 3 : Cartographie et évolution de la recherche médicale par discipline en France (à droite) et au Maroc (à gauche).

• Le rôle de la collaboration scientifique internationale a été déterminant dans le renforcement des capacités scientifiques de plusieurs pays africains. La part des projets et des travaux en commun avec des équipes internationales est importante pour tous les pays qui devancent le Maroc en nombre et en qualité des publications scientifiques (Figure 4). Le Maroc gagnerait à s'ouvrir davantage sur le monde et en saisissant toutes les opportunités offertes aujourd'hui par la collaboration internationale, en particulier dans la recherche biomédicale.

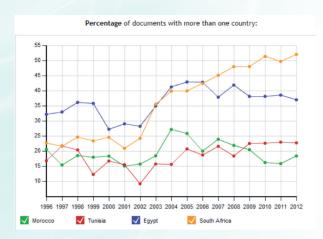


Figure 4: Importance de la collaboration internationale dans la production scientifique du Maroc, de la Tunisie, de l'Egypte et de l'Afrique du Sud.

<sup>7-</sup> Rapport du Cinquantenaire. Groupe thématique «système de santé et qualité de vie».

<sup>8-</sup> Santé Vision 2020 – ministère de la santé (2007).

ı

En conclusion, on constate durant cette dernière décennie, une régression progressive et constante du Maroc, qui perd en moyenne une position tous les deux ou trois ans dans le classement des pays africains. L'amélioration des indicateurs de quantité et de qualité de la production scientifique du Maroc en recherche biomédicale et en santé nécessite une mobilisation des différents opérateurs ainsi que des mesures urgentes.

#### IV-Opportunités pour la refonte du Système national de la recherche biomédicale et en santé

Comme cela a été rappelé dans le Rapport du Cinquantenaire<sup>7</sup>, (2007), l'amélioration des résultats sanitaires au Maroc reste tributaire d'un dispositif de veille permanent, d'un système de recherche en santé performant et pérenne ainsi que d'une organisation du système de santé appropriée.

Pour sa part, le rapport de 2007 sur «la santé, vision santé 20208» souligne que «la recherche en santé est désormais un instrument nécessaire des politiques de santé. Elle permet de générer de l'information utile à la prise de décision et à l'élaboration des politiques et des priorités de santé». Il propose la création d'un Observatoire national de la recherche en santé dont les missions, outre l'identification des priorités en matière de recherche en santé et la mobilisation des ressources, soulignant fortement la dissémination et l'utilisation des résultats de la recherche en santé. Dans le document «Vision et stratégie de la recherche à l'horizon 2025 9», les auteurs insistent sur le fait qu'une telle stratégie implique que «l'université et les institutions de recherche soient en mesure:

- d'articuler leur activité de recherche avec les priorités nationales en matière scientifique et technologique et les décliner en thèmes et projets de recherche;
- de mettre à niveau, coordonner et mobiliser les ressources humaines, académiques et scientifiques;
- de développer les infrastructures et les moyens logistiques nécessaires;
- d'acquérir les outils de programmation, de gestion et de suivi/ évaluation;

 Par ailleurs, le plan d'urgence de l'enseignement et la réforme du système de santé (réforme institutionnelle à travers la régionalisation, réforme hospitalière, réforme de financement, réforme budgétaire et le partenariat publicprivé), constituent autant d'opportunités pour le développement du SReS, dont les résultats devront être utilisés pour élaborer des politiques de santé et évaluer les programmes sanitaires.

Les composantes des réformes en cours du système de santé marocain sont les suivantes :

#### L'état de santé de la population marocaine :

- · La structure démographique.
- · Le triple fardeau de la morbidité.
- · La pauvreté et l'analphabétisme.
- Les comportements à risque de plus en plus importants.
- · Les nouveaux risques environnementaux.

#### L'offre de soins :

- · Les disparités dans l'accès aux soins.
- Le déficit qualitatif et quantitatif en professionnels de la santé.
- La rationalisation des nouvelles technologies biomédicales.
- · La régulation du secteur du médicament.

#### Le financement du secteur de la santé :

- · Le financement public.
- La couverture solidaire du risque maladie.

#### La gouvernance du système de santé :

Ces reformes contiennent toutes des questions de recherche . Il y a malheureusement un déficit, voire une absence, de recherches en politique et sur les systèmes de santé pour relever les défis à venir et bénéficier des opportunités, particulièrement en ce qui concerne les maladies non transmissibles, santé et changement climatique, etc.

Par ailleurs, la nouvelle constitution adoptée par referendum en 2011<sup>10</sup> reconnait le droit à la santé qui doit être effectif de façon prioritaire.

<sup>9-</sup> Vision et stratégie de la recherche à l'horizon 2025. MENFCRS. 10- Ref nouvelle constitution.

### MÉCANISMES DE SOUTIEN À LA RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT-INNOVATION \*

#### Introduction

La recherche, le développement et l'innovation (RDI) sont le fer de lance des économies modernes. C'est aussi les leviers les plus efficaces pour créer des produits et des services à forte valeur ajoutée et les seuls moyens d'ouverture sur les marchés et la compétition internationale. La RDI assure et stimule la croissance économique, engendre de la richesse, crée des emplois et permet aux entreprises d'exporter.

La R&D et l'Innovation ne se développent, cependant, que dans les entreprises qui ont la capacité d'intégrer les idées nouvelles, d'exploiter les savoirs qui permettent de mettre sur le marché des produits, des services et des modèles de business compétitifs. L'innovation nécessite à la base une recherche qui fonctionne et qui est à la pointe des connaissances car comme disait Pasteur 'Le hasard ne favorise que les esprits préparés'. Pour devenir une innovation une idée doit être portée par une recherche de base énergique. C'est pour cela que la RDI dans les entreprises sous entend nécessairement un partenariat avec les centres de compétences et notamment les laboratoires de recherche universitaires, les centres de recherche publics et les centres techniques spécialisés.

La recherche universitaire qui doit être le principal vivier de formation semble aujourd'hui être en perte de vitesse. La production scientifique du Maroc s'est vue rétrogradée en Afrique de la troisième place à la sixième. Cette évolution malencontreuse pénalise le pays et le prive probablement d'une dynamique intellectuelle

et d'esprits inventifs et laborieux. Il est urgent de redonner à la recherche scientifique et par la même occasion à la RDI la place qui devrait être la sienne dans notre société.

La promotion de la RDI implique aussi un grand nombre d'acteurs publics et privés. Les stratégies et politiques d'innovation ne peuvent être qu'intrinsèquement horizontales. Promouvoir la RDI suppose une volonté politique affirmée, exige des structures adéquates et des stratégies de coordination et d'évaluation efficaces.

Le séminaire sur les 'Mécanismes de soutien à la RDI' est conjointement organisé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques à travers le Collège Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique, le Conseil Economique, Social et Environnemental et l'Académie Française des Technologies. Il a essentiellement pour objectif de:

- définir l'écosystème et les leviers adaptés à la promotion de la RDI dans les universités et entreprises,
- suggérer les mécanismes nécessaires à la création de synergies entre la recherche publique et les entreprises,
- proposer des mécanismes et des outils de financements adaptés.

Du débat engagé entre les participants à la fin de ce séminaire devraient sortir des propositions pertinentes susceptibles de faire évoluer rapidement l'écosystème de la RDI au Maroc et répondre ainsi aux défis de la croissance, du développement de la recherche et de la compétitivité des entreprises.

<sup>\*</sup> Thème d'une session ordinaire de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, organisée conjointement par le Conseil Economique, Social et Environnemental, l'Académie des Technologies (France) et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques le 28 mars 2014.

#### Allocution du Pr. Omar FASSI-FEHRI

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

Monsieur le Président du Conseil Economique, Social et Environnemental, Monsieur le Président d'honneur de l'Académie des Technologies de France, Mesdames, Messieurs les Académiciens, Honorables Invités, Mesdames et Messieurs,

Je tiens d'abords à remercier le Conseil Economique, Social et Environnemental de notre pays ainsi que l'Académie des Technologies de France pour cette heureuse occasion qu'ils nous offrent de pouvoir organiser ensemble ce séminaire sur le thème: «les mécanismes de soutien à la R&D et l'Innovation».

Je saisis cette opportunité pour remercier vivement toutes les personnalités qui ont bien voulu répondre à notre invitation et tout particulièrement le Président du Conseil Economique, Social et Environnemental et le Président honoraire de l'Académie des Technologies de France et actuel Président du GID, et je félicite les membres et les responsables du Collège de l'Ingénierie, Transfert et Innovation technologiques de l'Académie pour le choix du thème de ce séminaire qui est amplement justifié par l'importance de débattre du rôle de la recherche scientifique et de l'innovation dans le développement socio-économique de notre pays, et d'examiner les différents mécanismes du soutien à la R&D et l'innovation pour rendre notre tissu économique plus compétitif.

#### Mesdames et Messieurs,

Nous savons tous qu'aujourd'hui une nouvelle économie du savoir se dessine à l'échelle mondiale. Elle est basée essentiellement sur la science et la technologie d'une part et sur la qualité et la compétitivité d'autre part.

Si la recherche-développement et l'innovation sont devenues dans les pays développés un élément incontournable de la stratégie des grandes entreprises et un moteur essentiel de la croissance économique, de la création des richesses et d'emplois et de bien être social, il est devenu impératif, pour notre pays et des pays comme le Maroc, de promouvoir les mécanismes du soutien à la recherche-développement et l'innovation et de réussir l'efficacité du couplage entre la recherche publique et le monde économique.

Dans le développement aujourd'hui des échanges commerciaux internationaux, plusieurs facteurs

interviennent, en particulier deux d'entre eux paraissent déterminants :

Le premier consiste à posséder un réseau et un potentiel humain compétent pour vendre les produits et services, ce sont les commerciaux et technico-commerciaux; le second repose sur la capacité du pays à posséder des chercheurs, des ingénieurs et des moyens financiers (des budgets) pour mettre en œuvre une véritable politique de recherche-développement (R-D).

Aujourd'hui la technique dépend fortement de la science; les produits de la recherche scientifique sont pris en compte de plus en plus rapidement par les progrès techniques; c'est dans la synergie entre la science et la technique, entre la connaissance et le savoir faire que réside la différence essentielle entre notre époque et les siècles passés.

Dans le processus de la recherche-développement, interviennent trois concepts : la découverte scientifique (اکتشاف), l'invention (ابحراع) et l'innovation (إبداع).

- La découverte scientifique est la mise en évidence d'une règle de la nature, d'une loi de la nature; Newton a découvert la gravitation universelle ou encore en physique quantique la découverte du pompage optique ou encore la théorie de la relativité (restreinte et générale).
- L'invention propose de nouveaux moyens techniques pour obtenir un résultat pratique; c'est un principe nouveau de fonctionnement imaginé pour atteindre un objectif; le laser par exemple est l'invention qui a exploité le pompage optique; le système GPS pour la localisation est l'invention qui a exploité les résultats de la relativité restreinte.
- L'innovation (technologique s'entend) : c'est aussi une idée nouvelle mais menée à son terme, c'est l'application d'une idée nouvelle jusqu'à sa réalisation industrielle avec bien entendu un succès commercial.

L'innovation (technologique) est une ultime décision qui va traduire la fonction recherche en étape novatrice, et dans la pratique en avantage concurrentiel; comme l'a dit Geoff Nicholson «la recherche est la transformation d'argent en savoir, l'innovation est la transformation du savoir en argent» autrement dit en richesse.

Ceci étant dit l'innovation va au-delà de l'innovation de produit, elle peut aussi concerner le procédé (process innovation), la commercialisation, l'organisation de l'entreprise ou du lieu de travail.

On sait que la recherche scientifique, qu'elle soit fondamentale ou appliquée, et l'innovation sont aujourd'hui considérés comme des activités stratégiques dans les pays développés et les BRIC.

Je voudrais ajouter : pas seulement dans ces pays. La pertinence de la recherche scientifique dans le développement d'un pays comme le Maroc est bien ce que l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a établie à travers les 2 documents publiés sur l'état de la science au Maroc : le premier paru en 2009 «Pour une relance de la recherche scientifique et technique au service du développement du Maroc», le deuxième en 2012 «Développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité».

A travers des exemples concrets et l'examen de la situation dans différents domaines (agriculture, santé, ressources naturelle [eau, halieutique, énergie, mines...], communication, infrastructure,...) nous avons montré que sans encourager la R&D et l'innovation dans ces domaines, nous ne pourrons faire face à nos besoins et réaliser la mise à niveau et la modernisation du pays; nous avons également montré que pour réussir les plans de développement sectoriels mis en place depuis une dizaine d'années et pour gagner la bataille de la compétitivité il faut la contribution de la recherche-développement-innovation (RDI) qui passe par :

- l'élaboration d'une stratégie de formation d'une nouvelle génération de chercheurs en mettant l'accent sur la trilogie formation-recherchevalorisation industrielle.
- une réforme profonde du système national de recherche.
- la qualité de l'enseignement des sciences et des techniques dans tout le cursus scolaire.

#### Mesdames et Messieurs,

La tenue de ce séminaire aujourd'hui est venue à point nommé, car il va permettre d'approfondir le débat sur l'importance de la recherche-développement et de l'innovation, et sur la nécessité de la diffusion de la culture de l'innovation qui doit être aujourd'hui au cœur des politiques économique des pays.

Je souhaite plein succès aux travaux de ce séminaire et œuvrons ensemble pour que la recherche scientifique et l'innovation contribuent effectivement et activement à la solution des problèmes de développement et au bien être social de nos concitoyens, et soyons à la hauteur des ambitions que nourrit Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, pour l'édification d'une société marocaine moderne, solidaire, démocratique et prospère.

Je vous remercie pour votre attention.

#### Allocution de M. Nizar BARAKA

Président du Conseil Economique, Social et Environnemental



Monsieur le secrétaire perpétuel, Monsieur le chancelier, Honorables académiciens, Mesdames et messieurs,

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Omar Fassi-Fehri, secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques qui nous offre, aujourd'hui et en collaboration avec l'Académie Française des Technologies, l'opportunité de nous retrouver au sein de cette prestigieuse institution pour discuter des «mécanismes de soutien à la recherche, au développement et à l'innovation».

Je tiens aussi à exprimer, au nom de l'ensemble des membres du Conseil Economique Social et Environnemental, notre engagement à renforcer le partenariat liant nos deux institutions notamment à travers nos membres communs; ce séminaire de haut niveau, qui constitue pour nous un thème d'actualité dans le cadre du projet de rapport et d'avis du Conseil traitant de la recherche scientifique et de l'innovation, en est la parfaite illustration. A ce titre, je tiens à remercier Mr Omar Fassi-Fehri pour sa précieuse contribution à nos travaux.

#### Mesdames et messieurs,

Le principal objectif de notre étude est d'élaborer une vision globale de l'environnement nécessaire à l'institutionnalisation de la recherche et de l'innovation comme vecteur de développement qui serait à même de créer une croissance forte dans certains secteurs cibles qui seraient ainsi générateurs de richesse et de travail.

Il s'agit aussi de proposer une méthodologie de définition des axes de recherche concertée qui prendrait en compte les impératifs de développement nationaux et qui impliquerait l'ensemble des acteurs secteur par secteur.

Enfin, l'auto-saisine du Conseil a pour ambition de proposer des processus et des structures de financement de la recherche de façon à ce qu'ils soient compatibles avec les axes définis au niveau national, qu'ils permettent une souplesse dans leur fonctionnement et qu'ils permettent des partenariats universités-entreprises.

#### Mesdames et messieurs,

Le potentiel humain, quelle que soit sa valeur et sa qualité, a besoin d'un écosystème favorable pour s'exprimer. Cet écosystème se constitue d'un ď

ensemble de facteurs liés à (premièrement) la solidité et à la densité du réseau de partage de connaissances et de services en bénéficiant notamment des réseaux de recherche des pays partenaires du Maroc dans le cadre, par exemple, des accords de libre échange.

Le deuxième facteur est lié à la disponibilité d'une infrastructure adaptée; le troisième à l'existence d'un tissu financier efficient à tous les stades de maturité et le quatrième facteur est lié à la disponibilité de réceptacles ou récipiendaires pour la Recherche, de développeurs pour l'Innovation et d'un marché pour le Développement.

C'est en maintenant, constamment à l'esprit, les enjeux liés à la valorisation du capital humain et à la consolidation d'un écosystème créateur de richesse endogène que le Conseil Economique Social et Environnemental a élaboré le Nouveau Modèle de Développement des Provinces du Sud en préconisant la création de pôles d'excellence valorisant les spécificités et les atouts de chaque région dans des secteurs aussi divers que l'agriculture, la pêche, les mines, l'énergie, le tourisme ou la logistique.

Je citerai comme exemple concret la proposition de mise en place d'un cluster maritime à Dakhla. La notion de Cluster, que nous appelons à développer, constitue un regroupement d'activités homogènes au sein d'une zone géographique ou d'un réseau coordonné ou les entreprises, les universités, les fonctions support financières, logistiques, techniques et administratives se rejoignent pour maximiser la création de richesses et d'emplois.

Le Modèle de Développement des Provinces du Sud élaboré par le Conseil décline de nouvelles ambitions pour 3 régions du Royaume pour la prochaine décennie et celle à avenir. Il ouvre, à mon sens, de multiples perspectives pour une recherche destinée à créer les conditions de réussite de sa mise en œuvre à travers le développement de nouvelles approches économiques, sociales et techniques spécifiques, qu'elles soient locales ou sectorielles, pour permettre une valorisation optimale et créatrice de haute valeur ajoutée du patrimoine humain, naturel et culturel de chacune de ces régions.

#### Mesdames et messieurs,

Une Recherche, un Développement ou une Innovation performantes sont le fruit d'une culture de l'échange, de la coopération, de la confiance, de l'audace voire même de l'obstination. Au-delà des contraintes matérielles liées à un écosystème et à un cadre législatif et réglementaire peu incitatifs, il serait intéressant de définir les orientations de la recherche nationale de manière concertée, participative et intégrée tant au niveau (i) des orientations générales que des axes poursuivis que (ii) des moyens qui leur sont alloués ou qu'ils pourraient attirer, (iii) du statut des chercheurs dans les divers contextes publics ou privés,

temporaires ou permanents, (iv) de la disponibilité du réservoir de compétence estudiantin, stagiaire, technicien ou autre accompagnant la recherche ou (v) des conditions de transfert vers l'initiative privé des fruits de la recherche aux profits partagés entre l'université, les chercheurs et les investisseurs.

#### Mesdames et messieurs,

L'initiative privée est un élément essentiel de la RDI de par l'inspiration et la vision qu'elle souhaite développer, le financement qu'elle y accorde, l'infrastructure et les compétences qu'elle peut mobiliser. Il est, aujourd'hui, indispensable de développer la culture de recherche et développement au sein de nos entreprises et de renforcer les passerelles entre ces dernières et l'université.

A l'ère de la globalisation et de la rareté des ressources notamment matérielles, nous ne pouvons nous permettre de travailler seuls ou de disperser nos efforts. Il s'agit de définir, ensemble, les domaines spécifiques dans lesquels notre pays souhaite développer son savoir faire et d'y concentrer l'essentiel de nos moyens.

Les universités et les grandes écoles pourraient se concerter avec les entreprises et les pouvoirs publics concernés, lors de l'élaboration des orientations en termes de recherche pour leurs mise en cohérence avec les objectifs de développement à l'échelle du pays, d'une région, d'un secteur ou d'une entreprise, que ceux -ci soient humains, sociaux ou économiques car il s'agit de redonner aux chercheurs de notre pays la position de locomotive de développement du Maroc en développant l'intégration de la recherche dans les stratégies sectorielles afin de renforcer la compétitivité de notre pays et de favoriser son rayonnement régional et continental.

Il ne me reste qu'à nous souhaiter d'excellents travaux qui, j'en suis convaincu, contribueront fortement à enrichir les travaux du Conseil concernant la recherche scientifique et l'innovation et à vous remercier pour votre attention.

#### Allocution du Pr. François GUINOT

Président honoraire de l'Académie des Technologies de France



Monsieur le Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche,

Monsieur le Président du CESE, Monsieur le Secrétaire perpétuel, cher Omar, Mesdames et Messieurs les professeurs, Messieurs les Présidents, chers amis,

Je suis très honoré d'intervenir aux côtés des personnalités avec lesquelles je partage cette tribune et je suis heureux de le faire au moment où s'ouvre ce séminaire commun entre l'académie Hassan Il des sciences et techniques et l'académie des technologies de France.

Ce séminaire est le fruit de la convention que nous avons signée entre nos deux académies ; fruit muri par les bons soins de nos amis et confrères les professeurs Mahfoud Ziyad et Armand Hatchuel. Qu'ils en soient sincèrement remerciés et que soit de même remerciée l'académie Hassan II qui démontre une fois de plus sa capacité d'organisation et la qualité de son accueil.

Le sujet retenu, -les mécanismes de soutien à la R et D et à l'innovation-, s'inscrit dans une réflexion sur le développement industriel au sens large.

Sans ce développement, aucune société ne connait de progrès véritable.

Sans ce développement, il n'y a pas de créations d'emplois durables et producteurs de richesses.

Il s'agit là d'une question-clé pour tous les pays et particulièrement sur ce continent africain dont les deux tiers des habitants ont moins de vingt-cinq ans. Le fléau du chômage des jeunes, avec toutes ses conséquences humaines, sociales et politiques, trouvera des solutions convenables à la condition première et évidente que la création de tels emplois connaisse une progression parallèle à celle de l'arrivée des jeunes sur le marché du travail; et à la condition supplémentaire,-elle aussi difficile à remplir-, d'une bonne adéquation entre l'évolution du système d'enseignement et de recherche et l'évolution de l'appareil industriel. Sous ce vocable de système d'enseignement et de recherche, je rassemble l'éducation primaire, les formations, les enseignements secondaire et supérieur et la recherche.

Le sujet retenu n'est qu'un des éléments du développement industriel, mais un élément essentiel.

Pourquoi? Parce qu'il se focalise sur l'une des articulations les plus délicates du corps social. L'articulation entre le système d'enseignement et de recherche d'une part et les entreprises d'autre part. Cette articulation peut souffrir de plusieurs maux :

- soit elle unit deux ossatures solides mais n'a pas elle-même la souplesse qui convient et la dynamique s'en trouve ankylosée,
- soit elle est satisfaisante mais relie deux ossatures dont l'une ou l'autre ou les deux connaissent des faiblesses invalidantes.
- soit enfin, et c'est le cas le plus fréquent, des faiblesses se rencontrent à la fois dans l'articulation et les ossatures.

En nous focalisant aujourd'hui sur les faiblesses de cette articulation, nous n'échapperons pas à l'évocation de celles du système d'enseignement et de recherche ou de celles des entreprises.

Je suggère que celles-ci soient approfondies lors de futurs séminaires pour couvrir peu à peu l'ensemble du processus de développement industriel. Je suggère même de nous intéresser dans une autre occasion aux contributions des entreprises de l'économie informelle à l'émergence d'un pays, et à la question de leur «intégration» progressive dans ce processus. Ces entreprises sont en effet créées par des personnes qui ont échappé au système d'enseignement, alors que les créateurs d'entreprises formelles sont infiniment moins nombreux chez les diplômés. Ce phénomène n'est pas propre aux pays africains. La plupart des PME françaises ont elles aussi pour créateurs des personnes sorties très tôt ou même rejetées du système. Cette situation vaudrait d'être sérieusement abordée et mieux comprise.

Nos académies sont parfaitement dans leur rôle en analysant ces faiblesses, avec la totale indépendance qui est la leur ; en les analysant non pas pour les dénoncer seulement mais plutôt pour proposer les moyens de les surmonter.

Chacun sait le rôle éminent que joue le CESE dans ce pays. Qu'ensemble, monsieur le Président, nous abordions ces problèmes cruciaux pour l'avenir me parait une très opportune collaboration qui mériterait d'être poursuivie, comme vous l'avez indiqué il y a un instant.

Chacun voit les avancées positives du Maroc :

• la mise en œuvre de plans sectoriels volontaristes, adossés à des partenariats public-privé : «Maroc vert» pour l'agriculture et l'industrie agro-alimentaire, «Azur» pour l'industrie du tourisme, «Halieutis» pour l'industrie de la pêche, «Emergence» pour plusieurs filières industrielles (aéronautique, automobile, TIC,...), Energies renouvelables, Energies solaires...

- ď
- l'attractivité du pays pour les investissements étrangers, fondée sur une bonne maitrise des agrégats macro-économiques,
- des évolutions dans le système d'enseignement et de recherche, dans l'évolution souhaitée des statuts des enseignants-chercheurs, dans l'ouverture au privé et à l'international. On a vu se créer l'Institut des métiers de l'aéronautique et l'académie Hassan II a récemment consacré une séance à cette filière qui rassemble une centaine d'entreprises et 10 000 emplois-. On voit naître des instituts d'enseignement professionnel dans l'automobile à la suite de l'investissement de Renault à Tanger, etc. Il était fait référence, il y a un instant à la création d'un «cluster» maritime en coopération avec la Mauritanie et le Sénégal, et à d'autres projets à Tétouan ou Casablanca...

Et pourtant vous, marocains, analysez avec lucidité les faiblesses qui persistent. J'en veux pour preuve le rapport de votre académie intitulé «Développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité». J'en veux pour preuve les propositions de RD Maroc pour promouvoir l'innovation et la R et D dans les entreprises.

Vous le faites, je l'ai dit, avec le souci de proposer les voies et moyens pour surmonter ces faiblesses.

Pour bien encadrer le sujet d'aujourd'hui, et peutêtre pour suggérer de futurs approfondissements, je voudrais souligner deux points. Le premier pour montrer que l'entreprise est le lieu privilégié de l'innovation. Le second pour insister sur le caractère indispensable d'une cohérence - difficile à établir entre l'évolution du système d'enseignement et de recherche et celle du développement industriel.

L'affirmation de l'entreprise comme le lieu privilégié de l'innovation demande que soit bien clarifiée la distinction entre invention et innovation. Comme nos académies s'intéressentaux sciences et aux technologies, j'évoquerai plus particulièrement l'innovation technologique, sans méconnaitre l'importance de nombreux autres domaines d'innovation, organisationnel, social, commercial, financier...

J'ai proposé de définir une technologie comme «un ensemble cohérent de savoirs théoriques et pratiques, combinant des connaissances scientifiques, des techniques et des savoir-faire pour produire un objet ou un effet de façon maitrisée». Une technologie est une combinaison de savoirs. L'invention technologique est donc une combinaison originale de savoirs.

L'innovation est une rencontre. La rencontre entre une invention et un besoin ou un désir. L'innovation est une construction socio-économique et culturelle. L'invention qui ne rencontre pas de la part de la société l'expression d'un besoin restera mort-née. Elle ne se transformera pas en innovation. Dans le succès de cette rencontre, le milieu – la société – et chacune de ses dimensions sociale, économique ou culturelle sont essentiels. Qu'une seule de ces dimensions soit incompatible avec l'invention et c'en est fini de celle-ci.

Le milieu doit par conséquent être considéré comme le véritable terrain de l'innovation, en permanence travaillé par des forces antagonistes qui le rendent favorable ou défavorable à son apparition. Ce phénomène touche toutes les sociétés et aucune ne se développe sans s'ouvrir à des inventions venues d'ailleurs, sans des transferts de technologies. Ces transferts s'apparentent à des greffes. Si les tissus du donneur et du receveur ne sont pas compatibles, l'organisme du receveur se mobilise contre l'intrus et c'est le rejet, l'échec de la greffe. On comprend que de telles greffes aient plus de chances de succès entre sociétés de niveaux de développement assez proches que lorsque les écarts sont marqués. Dans tous les cas heureusement, existent des traitements antirejet, qui ont toujours pour noms éducation, formations, informations, mais dont les dosages varient en fonction de la nature et de l'ampleur des écarts.

L'affirmation de l'entreprise comme lieu privilégié de l'innovation trouve sa justification dans les considérations précédentes. Le marché que vise l'entreprise est fait de besoins ou de désirs. Elle y est attentive pour s'assurer que les solutions, produits ou services, qu'elle offre, rencontreront effectivement ces besoins. Son développement, sa survie en dépendent. Dans la compétition avec ses concurrents, c'est une réponse plus adaptée à un besoin donné qui fera la différence. De même, son développement international l'amènera à adapter sa gamme de produits ou de services aux caractéristiques propres au marché qu'elle veut atteindre.

Mais l'entreprise n'est pas une oasis qui peut verdir en milieu hostile. Le terrain doit être favorable : infrastructures et réglementations convenables, stabilité de l'environnement juridique et fiscal, acceptation socio-culturelle des activités industrielles, développement d'une épargne suffisante et orientée vers l'investissement industriel ; mais aussi incitations à la création d'entreprises, à la recherche et au développement, à la recherche partenariale, dont nous allons débattre plus précisément aujourd'hui... L'entreprise a besoin de personnels formés ou formables, de différents niveaux. Nous abordons ainsi le second point, relatif à la cohérence entre l'évolution du système d'enseignement et de recherche et celle de l'appareil industriel.

Les besoins de l'entreprise sont évidemment différents selon sa nature, selon son stade d'évolution: entreprise au stade de l'imitation (elle copie), de l'autonomisation (elle maitrise des techniques qu'elle est capable d'améliorer, elle introduit de

l'originalité dans son offre de produits), ou enfin au stade de l'innovation en propre. Les entreprises japonaises ont suivi cette progression depuis les années 60, les coréennes depuis les années 80. Les entreprises chinoises, nombreuses encore dans les deux premiers stades, apparaissent désormais avec force dans le troisième.

Au stade de l'imitation, l'entreprise a besoin d'ouvriers et de techniciens bien formés. Au stade de l'autonomisation, elle doit s'attacher certains personnels capables de puiser dans le patrimoine scientifique universel et de faire évoluer les techniques existantes. Au stade de l'innovation en propre, elle recrutera des personnels scientifiques capables de dialoguer avec les chercheurs universitaires, puis d'entrer dans de véritables écosystèmes d'innovation. On comprend bien la gradation entre la recherche partenariale qui intéresse les entreprises au second stade et celle qui s'établit dans de tels écosystèmes.

La distribution évolutive des entreprises selon ces trois stades introduit une grande difficulté dans la modélisation et l'anticipation des besoins de formations de l'appareil industriel. C'est dire qu'il n'y a pas de développement harmonieux sans des liens étroits entre le système d'enseignement et de recherche, et les entreprises. Seuls des liens faits de confiance et de respects mutuels permettront de ne pas trop s'écarter de l'adéquation indispensable entre le système d'enseignement et de formation et les besoins de personnels des entreprises. Seuls ils conduiront à une répartition de l'effort de recherche entre R et D technique, R et D technologique, et recherche scientifique de haut niveau, dont l'adéquation avec les besoins de la société se rapprochera d'un optimum.

Les mondes universitaire et industriel, abandonnant définitivement tout a priori empoisonné d'idéologies, ont pour devoir de préparer ensemble l'avenir. Ces liens ne se décrètent pas. Le rôle de l'Etat, audelà de l'attribution de moyens, est de créer un environnement qui favorise ces partenariats dans les formations et la recherche.

Aussi le séminaire d'aujourd'hui en réunissant de hauts responsables de l'Etat, des universités et organismes de recherche et de l'industrie rassemble-t-il ceux qui peuvent vraiment provoquer une évolution dans les comportements et la structuration de relations nouvelles et lancer des expériences novatrices. Je me réjouis de la présence parmi nous de mon ami Denis Randet, Directeur Général de l'ANRT française, le meilleur spécialiste du système français de recherche et d'Alain Duprey, Directeur Général de l'association des Instituts Carnot. Ils nous feront part de partenariats réussis entre les mondes

universitaire et industriel, pour lesquels l'Etat a su jouer son rôle en laissant aux partenaires leurs pleines responsabilités dans la limite des règles admises.

En remerciant à nouveau l'académie Hassan II, je souhaite terminer en vous disant que le Président du Groupe Inter-académique pour le Développement est particulièrement intéressé à ce débat et d'une façon plus générale à ce que produit cette académie qui nous est si proche. Lors du prochain Forum africain des sciences et technologies pour le développement (FastDev), nous aurons notamment à étudier les voies et moyens de formations, d'enseignement, de recherche pour que l'agriculture et l'industrie agro-alimentaire qui demeurent les activités principales de nombreux pays sub-sahariens contribuent à leur émergence.

Nous mettrons particulièrement l'accent sur les expériences réussies mais aussi sur les obstacles qui entravent leur généralisation. Je suis convaincu que la participation de l'académie Hassan II des sciences et techniques, fondatrice du GID, nous sera très bénéfique.

Je vous remercie pour votre aimable attention.

#### Synthèse de la session

A.M. Alaoui <sup>1</sup>, A. Hatchuel <sup>2</sup>, T. Bounahmidi <sup>3</sup>, M. Smani <sup>3</sup>, M. Ziyad <sup>3</sup>

Le séminaire a confirmé la situation préoccupante de la RDI dans le pays, situation qui appelle des mesures urgentes. Il a analysé les entraves et les manques à l'origine de cette situation, tant dans les universités que dans les entreprises. Il a examiné les politiques réussies, à l'étranger, de soutien au partenariat Université-Entreprise et souligné les expériences novatrices développées au Maroc. Il a constaté un fort consensus national pour agir vite et sur trois volets :

- a) Une politique de soutien agissant de l'aval (Entreprises) vers l'amont (Universités, Ecoles, etc..) en créant un cercle vertueux qui pourrait accroitre de manière significative l'investissement des entreprises dans les programmes de la R&D partenariales privé-public (soutien aux thèses en entreprises, incitations universitaires au partenariat...).
- b) Une réforme en profondeur de la gestion de la Recherche universitaire et de son cadre légal permettant d'introduire dans le système universitaire une gouvernance et une gestion contrôlée de la recherche *sur programmes* ou de la recherche *partenariale*: autonomie budgétaire, statuts des personnels sur programmes (doc, post-doc, autres...),
- c) L'organisation à l'échelle nationale d'une *autorité* stratégique paritaire pour l'orientation de la recherche, la définition des contrats publics-privés en matière de recherche, la gestion d'appels d'offres de recherche nationaux en partenariat, l'évaluation générale des sommes investies et des projets.

#### 1. Préambule : une urgence nationale

La recherche au Maroc est actuellement confrontée, toutes disciplines confondues, à de sérieux problèmes qui bloquent son évolution et condamnent à court terme le développement de l'innovation à l'échelle du pays.

Ce séminaire organisé par l'Académie Hassan II en liaison avec le CESE du Maroc et l'académie Française des Technologies, a eu pour objectif d'analyser l'origine et le pourquoi de ces entraves. Il s'est appuyé sur des solutions testées ayant abouti à des résultats probants tant au Maroc que dans d'autres pays. Il a abouti à des recommandations précises et adaptées à l'urgence de la situation.

En effet, toute perte de temps dans le traitement de ces questions peut avoir un cout très élevé pour la nation, car dans la compétition mondiale actuelle, le savoir et les technologies évoluent très vite et constituent un atout majeur.

La R&D comme vecteur de l'innovation économique et sociale n'est pas un 'luxe' pour le Maroc. C'est une nécessité vitale à condition d'être bien organisée et orientée vers la création de richesses. Tout investissement dans ce domaine aura un important impact sur la dynamique de croissance économique et la compétitivité des entreprises à l'échelle internationale. Il reste cependant que la R&D et l'innovation ne se développent que si toutes les toutes parties concernées ont la capacité d'intégrer et d'exploiter rapidement des techniques et des savoirs nouveaux susceptibles de générer des produits, des services et des modèles de business compétitifs. L'innovation requiert à la base une recherche structurée et performante car comme disait Pasteur 'Le hasard ne favorise que les esprits préparés'. La RDI sousentend aussi des partenariats entre les laboratoires qui produisent une recherche de bonne qualité et les utilisateurs des résultats de cette recherche.

Les éléments qui justifient l'investissement dans le développement d'une RDI utile sont nombreux et parmi eux on peut citer :

- Le fait qu'elle constitue un accompagnement nécessaire et indispensable des politiques industrielles.
- La RDI doit prendre en compte la spécificité des techniques et des solutions adaptées au contexte et aux enjeux marocains. Evidemment, on peut toujours acquérir les technologies dont on a besoin et qui ont été développées ailleurs, à un prix abordable, mais il y a le danger à rester dépendant de propriétés intellectuelles détenues ailleurs (cas des semences).
- Une RDI propre au Maroc produirait une augmentation de la valeur ajoutée pour la production nationale.
- Il y a une nécessité à résoudre certains problèmes spécifiques au Maroc qui ne seront pas forcément gérés par d'autres.
- La présence d'un pays dans la R&D internationale est un puissant vecteur d'image, d'attractivité et de culture.

#### 2. Session d'ouverture du séminaire

La séance d'ouverture du séminaire a été caractérisée par les allocutions de Messieurs le Ministre de l'Enseignement Supérieur, de la formation des cadres et de la recherche scientifique, le Président

<sup>1-</sup> Membre du Conseil Economique, Social et Environnemental (Maroc).

<sup>2-</sup> Membre de l'Académie des Technologies de France et du Conseil Economique, Social et Environnemental du Maroc.

<sup>3-</sup> Membre de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

du Conseil Economique, Social et Environnemental, le Président honoraire de l'Académie Française des Technologies et le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Toutes les interventions ont souligné l'importance stratégique de la R&DI pour assurer une croissance viable à même de contribuer au développement socioéconomique et à la création d'emplois dans tous les secteurs d'activités.

Le Ministre de l'Enseignement Supérieur a notamment évoqué les réformes qui sont en cours et qui concernent : le statut du chercheur, l'assistanat, les bourses d'excellence, la révision de la loi 0100, le renforcement du partenariat avec l'Union Européenne et les universités étrangères performantes.

Le Président du CESE a insisté sur le rôle et l'importance du potentiel humain dans les processus d'accession au savoir. La recherche a besoin d'un écosystème particulier et d'infrastructures souples et adaptées aux exigences de son fonctionnement. Nous avons besoin d'avoir une vision à long terme qui obéit à la logique du développement. Il faut amplifier la culture de l'échange, de l'obstination et de l'excellence. Une large concertation à l'échelle de tous les acteurs du domaine pourrait permettre de définir: des domaines spécifiques et stratégiques pour le développement du pays, les orientations de la recherche au niveau national, le statut du chercheur, le transfert des résultats de la recherche vers l'entreprise. Les stratégies sectorielles doivent inclure de façon explicite la dimension R&D/I. Il faut également renforcer la R&D I dans les entreprises et mettre en place des financements adaptés. Les modes d'incitation peuvent être des aides directes, des incitations fiscales ou une combinaison des deux comme cela est pratiqué dans plusieurs pays avancés.

Le Président du GID considère la R&DI comme un facteur indispensable au développement industriel sans lequel il n'y a pas de création de richesses ni d'emplois. Le Maroc a fait un diagnostic objectif des faiblesses de son système de recherche et d'innovation. L'entreprise est évidemment le lieu privilégié de l'innovation. Elle est le réceptacle de tout transfert de technologie provenant de la recherche universitaire. L'articulation entre la recherche et l'industrie est très complexe et fragile. Elle résulte généralement d'un besoin ou d'une quête et doit faire l'objet d'une réflexion attentive afin de mettre en œuvre des mécanismes pertinents susceptibles d'initier des liens solides entre enseignement, recherche et entreprises.

Le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a remercié les personnalités présentes au séminaire. Le Maroc, à l'instar des autres pays est engagé dans la construction d'une économie basée sur le savoir. Il a rappelé l'étude réalisée et publiée en novembre 2012 par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et qui est intitulée 'développer la recherche scientifique et l'innovation pour gagner la bataille de la compétitivité: un état des

*lieux et des recommandations clés*'. Il a souhaité que le séminaire puisse être une occasion pour approfondir le débat sur cette problématique cruciale.

### 3. Analyse des entraves au développement de la RDI

Le Vice-Président de l'Université Cadi Ayyad a axé son intervention sur les entraves au développement de la RDI dans le milieu universitaire. Elles sont d'ordre culturel, financier, managérial et logistique, mais il y a aussi la baisse de la motivation et de la qualité des chercheurs et des doctorants qui handicapent lourdement tout le système de recherche. Les moyens financiers bien qu'importants ne viennent qu'en second lieu. Il faut tout d'abord traiter le malaise collectif et la confusion générale qui sévissent à l'université et qui inhibent quasi complétement son système de recherche.

Le Président de l'Université Euro-méditerranéenne de Fès et chancelier de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a énuméré les difficultés liées à gestion financière de la RDI et les conséquences de ces difficultés sur la mobilisation des chercheurs et les performances de la recherche nationale. Parmi ces difficultés, il y a celle liée à l'exécution correcte des budgets: les ordonnateurs ne sont pas des chercheurs, l'université ne peut pas offrir des bourses aux étudiants ou aux doctorants méritants, les procédures d'achat de fournitures et de produits sont trop complexes et non adaptées à la conduite de projets de recherche qui doivent respecter des engagements et des délais. A l'instar des plans stratégiques sectoriels mis en place par le Maroc, il suggère l'adoption d'un plan national pour la recherche et l'innovation avec des objectifs clairs, des moyens humains et financiers suffisants et des mécanismes d'évaluation rigoureux et objectifs.

Le président de la Fédération des Technologies de l'Information des Télécommunications et de l'Offshoring (APEBI) a quant à lui axé son intervention sur le partenariat université- entreprise, en particulier dans le domaine des Technologies de l'Information et de la Communication. La qualité de ce partenariat passe par la connaissance des équipes de recherche et de leurs domaines de compétences spécifiques afin de pouvoir développer un savoir national intégrant des éléments propres de différenciation et d'augmentation de la valeur ajoutée par la R&D et l'Innovation. L'industriel a besoin d'avoir un interlocuteur unique, et aspire à conduire ses projets d'innovation dans le respect des délais, des coûts, de la qualité des résultats et dans le cadre d'un partage transparent de la propriété intellectuelle.

Ces partenariats doivent émerger d'un besoin exprimé en termes économiques et traduit-en besoin d'innovation. Les entreprises qui n'innovent pas n'ont aucun avenir à cause, entre autre, des processus de globalisation dans lesquels le monde est plongé.

ııl

Plusieurs intervenants ont pris la parole au cours de la séance réservée au débat pour souligner l'importance de la recherche et de l'innovation pour la construction d'une économie solide créatrice de valeur ajoutée et d'emplois qualifiés. La recherche a besoin d'une stratégie, d'une définition des priorités, de plans sectoriels de recherche-développement et d'une gouvernance cohérente et coordonnée au niveau national. L'écosystème de l'innovation et de la R&D est très complexe et son appréciation ne doit pas être limitée uniquement au seul indicateur, certes important, qu'est le pourcentage du PIB consacré à la recherche. Il doit parallèlement inclure le partage, la diffusion et l'utilisation du savoir produit, la simplification des procédures de contrôle, la pertinence du contrôle des dépenses à priori et à posteriori, la libération des énergies créatives, la mobilisation des ressources humaines, la nécessaire structuration des universités, le statut du chercheur, les bourses de recherche, la relation université-entreprise et les mécanismes d'incitation à la recherchedéveloppement et l'innovation dans les entreprises.

Tous les pays du monde ont mis en place des mesures de soutien à la R&D et à l'innovation. Ces mesures tiennent compte de la diversité des contextes et de l'hétérogénéité des facteurs facilitant ou empêchant l'innovation. L'innovation est un enjeu essentiel à la croissance des entreprises et à la pérennité de leurs activités car se construire un avantage compétitif est aujourd'hui devenu capital.

#### 4. Les solutions préconisées

La deuxième partie du séminaire a fait l'objet des trois présentations suivantes :

- La recherche pour les entreprises: conduite de travaux de recherche menés par des laboratoires publics en partenariat avec des acteurs socioéconomiques; par Alain Duprey, Directeur général de l'Association des Instituts Carnot,
- CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la Recherche); par Denis Randet, Délégué général de l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie,
- Gestion et financement des projets de recherche: Une approche différente de la gestion financière des projets; par Badr Ikken, Directeur de l'Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles.

Ces présentations, ainsi que le débat qui leur a succédé ont été l'occasion d'examiner la situation actuelle en matière de mise à profit de la recherche publique pour répondre aux besoins du tissu socio-économique, en France et au Maroc, en matière de la R&D et innovation, pouvant permettre de soutenir les entreprises dans leurs efforts pour une meilleure compétitivité, les PME et les TPE en particulier. L'expérience de chacun des deux pays telle que dégagée des travaux de cette séance est déclinée, ci-après, par pays. Des leçons tirées de ces deux expériences seront aussi déclinées en guise de conclusion.

## 4.1. Expérience de la France : des soutiens aux partenariats recherche publique-entreprise

Bien qu'en France des mécanismes œuvrant au développement des activités de recherche partenariales par des laboratoires publics aient été mis en place depuis le début des années quatre-vingt (les Conventions Industrielles de Formation par la Recherche (CIFRE), l'Association ARMINES de l'Ecole des Mines de Paris, par exemple). Ces dispositifs ont été pleinement utilisés par les Grandes Ecoles et les grandes entreprises. Cependant, à l'aube du 21ème siècle, l'implication de l'ensemble des universités et le développement de la collaboration entre la recherche publique et les PME/TPE n'étaient pas encore à la hauteur des ambitions de la France.

C'est ainsi que depuis une quinzaine d'années, plusieurs initiatives ont été prises par la France pour améliorer dans ces domaines ses performances en matière de la R&D et l'innovation. La loi française sur l'innovation, l'autorisation des universités à créer en leur sein des Services d'activités industrielles et commerciales (SAIC), la création des Pôles de compétitivité et la mise en place des Instituts Carnot, font partie de ces initiatives.

Le dispositif CIFRE et les Instituts Carnot, présentés lors de cette séance du séminaire, sont brièvement décrits, ci-après.

Le dispositif CIFRE, mis en place par l'Etat français en 1981, vise à renforcer les échanges entre les laboratoires publics de recherche et le monde socioéconomique par la réalisation de thèses de doctorat au sein des entreprises et à favoriser l'emploi des docteurs et contribuer au développement de l'innovation dans les entreprises.

Ce dispositif permet à une entreprise de bénéficier d'une aide financière pour recruter un jeune diplômé de Master pour effectuer une thèse de doctorat encadrée par un laboratoire de recherche public sur un sujet proposé par l'entreprise. Le doctorant est recruté par l'entreprise pour une durée de trois ans dans le cadre d'un contrat CDI ou CDD, avec un salaire brut minimum annuel de 23 484 euros. L'entreprise reçoit par le biais de l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT), une aide annuelle de 14 000 euros comme contribution de l'Etat à ce recrutement.

L'entreprise et le laboratoire public d'encadrement de la thèse établissent une convention définissant les modalités de la réalisation de la thèse et les droits de la propriété intellectuelle pouvant en découler. Depuis sa création, CIFRE a permis d'accompagner la réalisation de plus de 18 000 thèses de doctorat impliquant plus de 8 000 entreprises et plus de 4 000 équipes de recherche.

Les Instituts Carnot sont des laboratoires publics de recherche ayant obtenu le label Carnot. Ce label créé en 2006 et attribué pour une durée de cinq ans renouvelable, vise à favoriser le développement de la recherche partenariale entre les laboratoires publics et les entreprises, répondant aux besoins de ces dernières en matière d'innovation utile au renforcement de leur compétitivité.

Ce label est décerné en l'honneur de Nicolas Leonard Sadi Carnot qui a établi le second principe de la thermodynamique qui est à la base de la conception de toutes les machines thermiques. Cette découverte célèbre avait été effectuée dans le cadre d'un travail réalisé à la demande d'industriels pour améliorer les performances de la machine à vapeur.

Il existe 34 instituts Carnot représentent 15% des effectifs de la recherche publique avec 19 000 chercheurs et techniciens qui produisent plus de 50% du chiffre d'affaire de la recherche publique avec l'industrie, soit 420 millions d'euros par an. Ces instituts forment plus de 2 500 docteurs par an dans des domaines relevant des secteurs suivants: les matériaux, la mécanique et les procédés, l'énergie, la propulsion, les transports, les technologies de l'information et de la communication, les micro- et nanotechnologies, la construction, le génie civil, l'aménagement du territoire, l'environnement, les ressources naturelles, la chimie durable, la santé et les technologies pour la santé, la nutrition.

Les instituts Carnot bénéficient d'une subvention de recherche de la part de l'Etat par le biais de l'Agence Nationale de Recherche (ANR), au prorata du chiffre d'affaire réalisé avec les milieux socioéconomiques et en particulier les PME.

#### 4.2. Au Maroc: de nouveaux dispositifs à diffuser

Avec l'avènement de la mondialisation au milieu des années 90 créant un besoin pressant de mise à niveau des secteurs économiques, les opérateurs de recherche universitaires marocains ont été appelés à contribuer à cet effort, en orientant une bonne partie de leurs activités vers les besoins socioéconomiques du pays et en développant des activités de transfert et d'innovation technologique, pour aider à l'amélioration de la compétitivité des PME/PMI et à la création d'entreprises innovantes. Pour permettre aux universités de s'engager dans ces nouvelles activités, la loi 01-00 portant organisation de l'enseignement supérieur les a autorisées à créer des interfaces université-entreprise et des incubateurs, prendre des participations dans le capital des entreprises et créer des sociétés filiales.

Malheureusement, pour des problèmes liés à la gouvernance du SNRI et à la gestion financière des activités de recherche, entre autres, largement discutés dans la première séance de ce séminaire, les dispositions de la loi 01-00 n'ont pas permis de développer une recherche partenariale entre les structures publiques de recherche et les milieux socioéconomiques. Cependant, une nouvelle

expérience lancée au Maroc dans le cadre de l'Institut de Recherche en Energie Solaire et les Energies Nouvelles (IRESEN), adoptant un nouveau mode de gestion des projets de recherche, mérite d'être examinée. Cette expérience, présentée lors de cette séance est décrite, ci-après.

### 4.2.1 Gestion et financement des projets par IRESEN

IRESEN est une fondation de recherche créée en 2011, dans le cadre de la mise en place de la stratégie nationale de l'énergie, pour accompagner le développement de l'énergie solaire et les énergies nouvelles par des activités de R&D et d'innovation. Il est une agence de moyens qui finance et gère des projets de R&D et d'innovation dans des universités et des établissements de recherche en mettant à contribution pour la réalisation des projets et la valorisation des résultats les entreprises concernées. Parallèlement à cette activité de financement et de gestion des projets de RDI, IRESEN met en place des plateformes de recherche et d'innovation autour de thématiques prioritaires liées aux sources d'énergie renouvelables et en particulier le solaire.

En matière de financement et de gestion des projets de recherche, IRESEN a lancé depuis sa création 5 appels à projets sur des thématiques liées au solaire thermique, le photovoltaïque et l'éolien. Trois appels à projets dotés d'une enveloppe financière totale de 75 millions de DH et impliquant 106 consortiums, 48 partenaires scientifiques et 21 partenaires industriels sont ainsi en cours de réalisation.

La gestion des projets est réalisée de manière à éviter les difficultés de gestion financière rencontrées par les structures de recherche universitaires traitées lors de la 1ère séance de la présente journée. Ainsi, les financements des projets octroyés aux universités sont gérés directement par IRESEN. Une bourse de 7000 DH est attribuée à chaque doctorant participant au projet. Cette bourse est gérée directement par IRESEN. Ces modalités de gestion financière des projets semblent satisfaire, à première vue, les équipes bénéficières de projets.

Un autre côté positif de l'expérience d'IRESEN en matière de gestion des projets de RDI est le soutien apporté aux structures de recherche pour constituer des consortiums comportant des industriels futurs utilisateurs des technologies objet des projets et des industriels développeurs de ces technologies. Ceci permet de rapprocher les laboratoires de recherche publics des industriels.

#### 5. Clôture et conclusions du séminaire

La présente séance du séminaire a permis de dégager les enseignements suivants:

En France, les mécanismes CIFRE et Instituts Carnot permettent un rapprochement substantiel entre

les laboratoires de recherche publics et les milieux socioéconomiques à travers notamment la réalisation de thèses de doctorat. Ces mécanismes se basent sur un cofinancement des activités de recherche par l'Etat et par des opérateurs socioéconomiques. Le volume d'activité réalisé indique un important

succès de ces deux mécanismes.

- Le Maroc a lancé une expérience pilote ressemblant à celle menée dans le cadre du dispositif CIFRE: le programme INNOVACT monté dans le cadre d'un partenariat entre le Ministère chargé de la Recherche; le Ministère chargé de l'Industrie et l'Association R&D Maroc, entre autres. Cette expérience pilote a montré ses limites au Maroc à cause du nombre encore limité d'entreprises ayant un programme de R&D.
- Le Maroc vit également une expérience semblable à celle des Instituts Carnot sous une forme différente. Il s'agit de MAScIR qui a pour mission de développer une recherche orientée marché moyennant des financements essentiellement d'origine publique. Le degré de succès de cette expérience dépendra principalement du chiffre d'affaires qu'elle est susceptible de réaliser avec les entreprises. Celui-ci doit couvrir au moins la moitié des charges de cette fondation.
- L'expérience d'ÎRESEN en matière de financement et de gestion de projets de recherche liés aux énergies renouvelables est édifiante et mérite d'être suivie attentivement. Son évaluation après cinq ans de fonctionnement (à l'horizon 2017) pourrait permettre de dégager des leçons pouvant servir à la généralisation de son modèle au développement de la recherche liée à d'autres secteurs économiques. Cependant, cette façon de faire ne dispense pas les universités de disposer de mécanismes adéquats pour la gestion de leurs activités de recherche. La création de sociétés de valorisation et des fondations de recherche par les universités reste d'actualité.

#### 6. Les recommandations du séminaire

Pour redresser la situation désastreuse de la RDI dans le pays, il faut agir de l'aval vers l'amont en :

- Créant un cercle vertueux qui pourrait accroitre de manière significative l'investissement des entreprises dans les programmes de la R&D partenariales privé-public (Universitéindustrie, université-coopératives, universitésassociations...),
- Favorisant l'intégration d'équipes marocaines dans des programmes internationaux (Fonds européens, grands organismes mondiaux...). Etant entendu que l'effet de levier attendu doit correspondre à : 1 dh public/3 dh + privés
- En espérant les retombées suivantes:
  - Temps 1 : une stimulation d'un développement économique à forte valeur ajoutée entraînant un accroissement de l'investissement privé en R&D partenariale,

- Temps 2 : un accroissement des moyens des universités et une amélioration des rémunérations des chercheurs,
- Temps 3 : un accroissement des moyens 'libres' des universités permettant un soutien à la recherche académique non-partenariale. Ces moyens 'libres' pourraient induire une attractivité des universités à l'échelle internationale....
- Temps 4 : augmenter les propositions de recherche partenariales à partir de programmes académiques marocains originaux etc...
- développant une recherche sur programmes financée majoritairement par des fonds privés, mais permettant à terme d'accroitre les moyens autonomes des universités pour aboutir à un bon équilibre entre Recherches orientées par la dynamique académique mondiale (amont) et recherches orientées par le développement national (aval).

Dans la pratique il conviendrait de :

- Réformer la gestion des fonds destinés à la recherche et le cadre légal de cette activité pour introduire dans le système universitaire une gouvernance et une gestion contrôlée de la recherche sur programmes ou de la recherche partenariale : autonomie budgétaire, statuts des personnels sur programmes (doc, post-doc, autres...),
- Créer des systèmes d'incitation à la recherche partenariale pour les entreprises: cf. Modèle CIFRE, Carnot ou autre (en cohérence avec le premier volet décrit plus haut),
- Organiser à l'échelle nationale une autorité stratégique paritaire pour l'orientation de la recherche, Cette autorité devrait aussi élaborer la définition des contrats publics-privés en matière de recherche, organiser la gestion d'appels d'offres de recherche nationaux en partenariat, définir les règles de l'évaluation générale des sommes investies et des projets.

Ces trois volets doivent être impérativement conduits ensemble, pour que le redressement national dans le domaine de la RDI stimule la R&D privée, soutienne et libère le potentiel universitaire, et développe la richesse nationale.

### «MODÉLISATION ET PROSPECTIVE ÉCONOMIQUE» \*

Pr. Khalid SEKKAT

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



La sixième session de l'Ecole Académique «Modélisation et prospective économique» s'est tenue le samedi 29 mars 2014 à Rabat. L'Ecole est organisée par le Collège «Etudes stratégiques et développement économique» de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Elle a pour objectif de promouvoir la recherche dans les domaines de l'économie mathématique, la modélisation et l'économétrie. Elle vise aussi à développer une expertise nationale dans les domaines de l'analyse macro- et microéconomique et de l'évaluation des politiques économiques. Outre une série de conférences, sur des sujets théoriques et empiriques présentant un intérêt stratégique pour le Maroc et mobilisant les avancées les plus récentes de la discipline, l'Ecole organise une session dédiée à la présentation et discussion de travaux de thèse.

Au cours de la session 2014, 12 papiers ont été présentés par des chercheurs d'universités marocaines et étrangères. Outre les orateurs, la session a réuni bon nombre d'autres chercheurs de provenances aussi diverses. Les papiers présentés au cours de la session 2014 reflètent les préoccupations de la recherche économique actuelle au Maroc et dans le monde. Utilisant des approches techniques assez différentes, ils peuvent être classés selon 3 grandes thématiques : Enseignements des récents développements théoriques et empiriques, modélisation et analyse des effets de la politique économique au Maroc, chocs externes et leurs impacts sur l'économie marocaine.

Enseignements des récents développements théoriques et empiriques: Deux présentations ont été consacrées à cette question. Rédouane Taouil de l'université Pierre-Mendès-France de Grenoble a consacré son exposé au contraste entre les propositions théoriques et les résultats empiriques concernant le ciblage de l'inflation. Les nouveaux développements théoriques proposent l'idée d'une politique monétaire à fondements micro-économiques. Elle doit tenir compte des décisions des agents, de la formation des anticipations rationnelles dans un contexte de prix rigides et s'appuyer sur une modélisation en termes d'équilibre général dynamique.

Ces recommandations impliquent un ciblage de l'inflation en fonction d'un objectif final de la stabilité des prix sur un horizon temporel donné et un engagement ferme en faveur de la poursuite de cet objectif. Cependant les évaluations empiriques de ces propositions sont contrastées. Certaines confirment que la baisse de la variabilité du niveau général des prix est due à la stratégie de ciblage de l'inflation. D'autres, trouvent que les performances

en termes d'inflation et d'activité ne sont pas le résultat des stratégies des politiques monétaires mais le reflet d'une convergence vers les résultats des pays ayant acquis une réputation dans la maîtrise de l'inflation. Selon l'orateur, la mise en avant des faiblesses empiriques du ciblage de l'inflation ne doit, cependant, pas conduire à la remise en cause des fondements théoriques à cause des faiblesses des analyses empiriques elles-mêmes.

Dans le prolongement du précédent exposé, Abdelali Attioui de l'université Pierre-Mendès-France de Grenoble s'interroge sur la pertinence de l'utilisation des modèles VAR (Vector Autoregressive). Adoptés en économie dans le contexte de la controverse concernant la causalité entre la monnaie et le revenu, ces modèles ont été la référence pendant plusieurs décennies. La distinction entre un effet causal et une simple corrélation est, en effet, primordiale en terme de politiques économies. Les modèles VAR ont permis d'examiner la direction de causalité entre deux variables tout en tenant compte de l'effet d'autres variables. Outre des problèmes d'identification, ils se sont révélés vulnérables à la fameuse critique de Lucas. En particulier, ces modèles ne permettent pas la prise en compte des changements des anticipations et des décisions d'agents optimisateurs consécutifs à une modification dans la règle de réaction des autorités monétaires. L'exposé montre les limites de l'utilisation de la méthode VAR sans référence à un modèle structurel pour l'évaluation des politiques économiques.

Modélisation et analyse des effets de la politique économique au Maroc: Sous ce thème, cinq communications se sont focalisées successivement sur la présentation d'un modèle pour caractériser l'économie marocaine et appréhender les impacts de la politique monétaire (A. Achour, J. Elothmani, Bank Al-Maghrib), sur l'analyse de l'impact du régime de liquidité sur l'efficacité de la transmission de la politique monétaire (Nicolas Moumni, Université d'Amiens et Benaïssa Nahhal Université d'Amiens et Université Mohammed V-Agdal, Rabat), sur l'examen du rôle de l'octroi de crédit dans la transmission des impulsions monétaires (Mariam El Kasmi, Université Mohammed V-Souissi, Rabat), sur l'importance de la prise en compte de la période de transition avant l'adoption du ciblage de l'inflation (Sayari Zied, Université Pierre-Mendès-France de Grenoble) et, finalement, sur les ruptures structurelles dans les séries macroéconomiques (Abdelhamid El Bouhadi, Université Cadi Ayyad, Marrakech et Driss Ouahid, Université Mohammed V-Agdal, Rabat).

<sup>\*</sup> Compte-rendu de l'école académique.

ıı

Le modèle présenté par les chercheurs de Bank Al-Maghrib est d'inspiration néo-keynésienne formé de trois équations structurelles (une courbe IS, une courbe de Phillips néo-keynésienne et une règle de Taylor avec anticipations). Les paramètres structurels du modèle sont estimés selon une approche bayésienne et les simulations permettent d'appréhender la réaction des différents agrégats macroéconomiques aux chocs monétaires, de la demande et de l'offre. Par ailleurs, dans une perspective de validation, ce modèle est confronté à une modélisation DSGE-VAR (Dynamic Stochastic General Equilibrium -Vector Autoregressive); approche de plus en plus populaire aux centres de recherches des banques centrales à travers le monde.

L'excès ou l'insuffisance de liquidité ont un impact important sur l'économie réelle, à travers l'évolution des prix et la trajectoire de la croissance économique comme le montrent Moumni et Nahhal. Le niveau optimal de liquidité est une notion normative qui consiste à comparer le taux de croissance de la monnaie à certaines valeurs de référence jugées pertinentes, au vu de l'objectif de stabilité des prix fixé par les autorités monétaires. Au Maroc, après une longue période caractérisée par un excès de liquidités, le système bancaire traverse, depuis 2007, une phase de sous-liquidité obligeant la banque centrale à des injections massives et régulières. Les auteurs estiment un modèle VAR sur la période 1998-2012, en distinguant les périodes de sur- et sousliquidité, pour analyser leur influence sur l'efficacité de la transmission de la politique monétaire de Bank Al-Maghrib. Leurs résultats montrent que la liquidité constitue un élément déterminant dans la stratégie de Bank Al-Maghrib dans la mesure où son niveau est de nature à limiter l'efficacité de la transmission de la politique monétaire.

De façon complémentaire à l'étude précédente, El Kasmi s'intéresse au rôle de l'octroi de crédit dans la transmission des impulsions monétaires. Au Maroc comme dans d'autres pays émergents, l'analyse du canal du crédit présente un grand intérêt pour la banque centrale. Cet intérêt devient de plus en plus important dans un contexte où le crédit s'est accru fortement et où les taux ont baissé considérablement ces dix dernières années. La présentation a porté sur l'estimation de l'impact des orientations de la politique monétaire, mesurées par l'évolution des taux interbancaires, sur le crédit au secteur privé. Elle utilise une approche dynamique en données de panel permettant ainsi de prendre en considération l'hétérogénéité entre les banques. Les premiers résultats suggèrent qu'en terme statique l'offre de crédit est déterminée principalement par trois facteurs : le PIB non agricole, le taux d'intérêt et la taille bancaire. En terme dynamique, l'offre de crédit est expliquée par les taux d'intérêt retardés, l'activité non agricole retardée, le volume du crédit distribué dans le passé, la capitalisation bancaire et la politique monétaire.

Dans presque tous les cas, le passage d'un régime à l'autre nécessite une période de transition dont la bonne mise en œuvre conditionne la réussite du nouveau régime. Cette problématique a fait l'objet de la présentation de Zied dans le cadre du ciblage de l'inflation. L'orateur tire les leçons de l'expérience brésilienne pour l'économie marocaine. Le Brésil est un pays qui a connu des périodes spectaculaires d'explosion de l'inflation qui ont remis à l'avant plan les vertus des politiques de stabilisation. La méthodologie adoptée se base sur l'analyse spectrale évolutive appliquée à la série d'indices des prix à la consommation du Brésil. Elle permet ainsi la détection de différents points de rupture structurelle. L'analyse renseigne aussi sur la durée de stabilité engendrée par ce régime de ciblage de l'inflation. Si la stabilité est de moyen ou de long terme, elle témoigne de l'efficacité du régime et de sa réussite. Par contre, si la stabilité de l'inflation a un caractère de court terme, on peut conclure que le ciblage de l'inflation n'avait qu'un simple effet éphémère.

El Bouhadi et Ouahid mettent en œuvre des tests de racine unitaire à la fois classiques et modernes permettant de détecter des changements de régime. En effet, les quatre dernières décennies ont connu beaucoup d'événements et de changements économiques et extra-économiques qui ont remis en question la pertinence et la validité des modèles économétriques traditionnels. Ces derniers sont conçus, en général, pour un univers stationnaire, alors que cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée. L'analyse est appliquée à plusieurs variables macroéconomiques dont le PIB réel, le taux d'inflation, le taux de change effectif réel et la masse monétaire (M3). Les résultats rejettent l'hypothèse de racine unitaire pour cinq variables macroéconomiques nationales (PIB réel, créances, variation de l'IPC, croissance et inflation) en faveur d'une tendance segmentée. Ces changements structurels subis par les séries macroéconomiques marocaines sont significatifs puisqu'ils coïncident avec d'importants événements économiques internationaux ou nationaux. Ils impliquent qu'une spécification erronée du processus générateur des données peut conduire à une prédictibilité imprécise et, par la suite, à des décisions biaisées en matière de politique économique.

Chocs externes et impacts sur l'économie marocaine : Si l'ouverture grandissante de l'économie marocaine apporte un certain nombre d'avantages, elle induit aussi des défis notamment face aux chocs externes. Ces défis ont été examinés sous différent angles au cours de cinq présentations. Ainsi Mehdi Aboulfadl (Université Pierre-Mendès-France de Grenoble) offre une analyse conceptuelle de la récente crise financière internationale. Fadlallah Abdellali (Université Mohammed V-Agdal, Rabat), a traité du coût du misalignement du taux de change (écart entre le taux de change réel et son niveau d'équilibre) pour l'économie marocaine. Ouiam Ahallal (Université Mohammed V-Souissi, Salé) a analysé les incidences des variations du taux de change sur l'inflation. Youssef Saïdi (Bank Al-Maghrib) s'est focalisé sur les effets d'entraînement des marchés boursiers étrangers sur le rendement et la volatilité du marché boursier marocain. Finalement, Fatima-Zahra Zerrab (Université Mohammed V-Souissi, Salé) a examiné dans quelle mesure la fiscalité constitue un moyen efficace pour dynamiser la compétitive du Maroc par rapports aux pays de la région du Moyen Orient et Afrique du Nord (MENA).

L'accumulation de dettes et de prise de risque excessive a, selon Mehdi Aboulfadl, favorisé l'émergence de la dernière crise financière internationale. Son argumentation repose sur un modèle économique où la génération de cycles économiques est endogène. Ces cycles économiques sont aggravés, d'une part, par la dynamique interne de l'économie capitaliste et, d'autre part, par le système des interventions et de règlements conçus pour faire tourner l'économie dans des limites jugées soutenables. En parallèle, l'évolution des régimes monétaires et financiers a significativement contribué à altérer la dynamique des fluctuations de l'activité faisant ainsi surgir des déséquilibres jusque-là insoupçonnés. Cependant, la survenance d'une crise suite à l'atteinte par la banque centrale des objectifs qui lui sont alloués demeure difficile à concevoir. Une explication potentielle se trouve dans les changements induits par le processus de libéralisation financière de ces vingtcinq dernières années. En conséquence, le contexte actuel est devenu plus vulnérable à l'accumulation occasionnelle de déséquilibres financiers, c'est-à-dire à l'extension du bilan du secteur privé sur la base de prises de risque agressives.

La question du niveau du misalignement du taux de change réel qu'a traitée Fadlallah Abdellali est importante car ce niveau peut avoir un impact très important sur plusieurs variables macroéconomiques. L'écart du taux de change réel observé par rapport à son niveau d'équilibre (misalignement) peut créer divers problèmes, allant de l'incertitude à propos de la rentabilité de l'investissement dans le secteur des biens échangeables jusqu'à la gestion des finances publiques, de la dette extérieure et des réserves de change. L'analyse est basée sur un Modèle d'Equilibre Général Calculable (MEGC) statique qui retrace les interconnexions entre les différentes composantes de l'économie et le comportement des agents économiques. Il est relativement agrégé au niveau des secteurs d'activité. Il utilise la matrice officielle de 2007 établie par le Haut Commissariat au Plan (HCP) adaptée à la problématique du misalignment. Cette matrice regroupe quatre secteurs d'activité: l'activité primaire (agriculture et pêche), l'activité secondaire (l'industrie), l'activité tertiaire marchande et les services non marchands. L'approche en termes d'équilibre général est plus pertinente pour décrire les évolutions du change réel à long terme. Les simulations portent sur des chocs au taux de change réel qui le font s'écarter de son niveau d'équilibre.

En adoptant une approche économétrique et en se concentrant sur une variable importante (inflation), Ouiam Ahallal offre une analyse complémentaire à la précédente. La préoccupation ici concerne l'incidence des variations du taux de change sur l'inflation. L'analyse tente de mesurer, au moyen de la méthodologie VAR et des fonctions impulsion-réponse, l'intensité de la relation entre le taux de change effectif nominal et l'indice des prix à la consommation au Maroc. Elle a été menée pour la période 1981-2012. Afin de s'assurer de la précision de l'estimation de cette relation, trois variables de contrôles ont été introduites. Celles-ci sont l'Output Gap non agricole (défini comme la différence entre le PIB réel observé et son niveau potentiel), le prix du baril du pétrole à l'international (Brent) et une tendance. Les résultats montrent que l'impact du taux de change effectif nominal sur l'indice des prix à la consommation au Maroc a subi une diminution dans le temps à l'instar de plusieurs pays avancés et émergents.

Youssef Saïdi s'est intéressé aux effets de transmission sur le rendement et la volatilité dans le marché boursier marocain durant la crise financière. En utilisant des modèles de type VAR bi-varié, ces effets entre le marché boursier marocain et ceux de plusieurs pays développés (Etats-Unis, France, Allemagne et Royaume-Uni) sont analysés. Les tests empiriques réalisés révèlent un renforcement des liens de causalité entre le marché financier marocain et ceux des quatre autres pays considérés durant la période 2009-2012.

Fatima-Zahra Zerrab a examiné comment la politique fiscale affecte la réponse de l'économie marocaine aux chocs de compétitivité et ce dans une perspective comparative aux autres pays du MENA. L'analyse trouve sa justification dans les effets positifs supposés être engendrés par les mesures fiscales. Ces effets englobent la dynamisation de l'activité économique, les externalités positives dans le cas de nouveaux investissements et une amélioration des conditions de vie dans le cas d'incitations à objectifs sociaux. Les mesures fiscales constituent également une solution alternative à celle qui consiste à améliorer le climat des affaires, nécessitant généralement des réformes profondes et difficiles.

Au Maroc, la politique fiscale est passée par plusieurs phases dont la dernière traduit l'orientation vers une régulation monétaire indirecte à travers la rénovation des modalités d'intervention de l'Etat et a été couronnée par l'introduction en 1995 des procédures d'incitation fiscale. Par conséquent, cette nouvelle politique fiscale dans un contexte de libéralisation commerciale a des conséquences importantes sur l'allocation des ressources, la rémunération des facteurs et la structure de la consommation des différents groupes de ménages.

## COOPÉRATION AVEC L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE MALAISIE

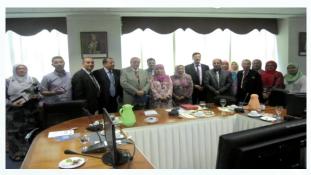
Dans la continuité du premier séminaire organisé à Rabat le 10 février 2012 qui a permis d'initier les domaines de collaboration, les concertations et le dialogue avec l'Académie des Sciences de Malaisie dans le domaine de l'enseignement des sciences (cf. Bulletin d'Information N°11, pp.80-81), et du workshop sur les énergies renouvelables organisé du 14 au 18 janvier 2013 à Kuala Lumpur (Bulletin d'Information N°13, p.74), une forte délégation marocaine composée de deux groupes d'experts (Education et Energie)\* a effectué du 02 au 11 mars 2014 un séjour de travail en Malaisie avec pour objectifs :

- d'explorer les possibilités de coopération entre le Maroc et la Malaisie dans le domaine des énergies renouvelables, l'énergie solaire en particulier,
- d'engager et approfondir des réflexions sur le curriculum de l'éducation et des états généraux de la formation, pour parvenir à terme à des accords solides et dynamiques autour de ces deux thèmes dont la société a besoin pour son développement.

Organisés en plénière, panels et ateliers, les travaux ont permis aux experts des deux pays :

- d'exposer leurs stratégies nationales, les organismes concernés, l'infrastructure de R&D ainsi que quelques travaux de recherche. Les discussions et débats qui se sont déroulé durant 2 jours ont permis de dégager des axes de collaborations futures. Ainsi, et en matière de développement industriel, des potentialités existent pour échanger les expériences entre l'ADEREE et son homologue Malaisienne Green Tech pour le développement des applications des énergies renouvelables et de l'EE dans le domaine du bâtiment et de l'efficacité énergétique. De même, en matière de R&D, une coopération entre les deux pays peut être développée en énergie PV et en efficacité énergétique.
- de débattre des réformes de leur système éducatif respectif et des politiques nationales pour le développement et la promotion de l'enseignement des sciences, en mettant l'accent sur la formation des enseignants en sciences et mathématiques. Les deux parties ont conclu des accords relatifs au partage et au transfert des expériences de leurs clubs scientifiques et, dans le domaine de l'enseignement des sciences, à l'utilisation de la démarche d'investigation. Des échanges d'élèves-professeurs sont également prévus dans le cadre de la formation des professeurs, avec un partage et une mise en commun des expériences propres.

La délégation marocaine a eu par ailleurs l'occasion d'effectuer des visites aux universités (notamment l'Université Islamique Internationale de Malaisie), au National Science Center, à la cité des sciences de la Société pétrolière PETRONAS, ou encore à la centrale solaire photovoltaïque et l'usine de production de cellules photovoltaïques à Melaka entre autres.



Les membres du groupe «Education» : A.Sasson (AH2ST), M. Belaiche(AH2ST), H. Jaziri (Directeur de l'ENS-Rabat), M.Hosni (Chef de division au CNIPE), A. Bouarfa (Directeur de l'AREF), H. Atouife (Délégué régional, AREF Guelmim), G. Louafi (Directeur du Lycée d'Excellence de Guelmim), M. Boulahia (Professeur au Lycée Bab Sahra, Guelmim)



Les membres du groupe «Energie»: T. Bounahmidi (AH2ST), M. Ziyad (AH2ST), Sanaa Naaman (MAScIR), Aboubakr Ennajdaoui (IRESEN) en compagnie de A. Sasson (chef de la délégation marocaine) et des membres de l'Académie des Sciences de Malaisie.

Une mission Malaisienne est prévue dès le mois de décembre 2014 avec pour premiers objectifs la poursuite des possibilités et des modalités de coopération, qu'il s'agisse du domaine de l'enseignement des sciences et des mathématiques (avec le Ministère de l'Education Nationale et de la Formation Professionnelle), ou des énergies renouvelables, en élargissant les contacts, au-delà d'IRESEN et de MAScIR, aux universités et centres de recherche marocains impliqués. Des visites seront également prévues dans la région de Guelmim pour le groupe de l'éducation et à Benguérir et Ouarzazate pour le groupe des énergies.

<sup>(\*)</sup> comprenant des membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, de MAScIR, de l'IRESEN pour le groupe d'experts «Energie», des membres de l'AH2ST, de l'ENS Rabat (Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche scientifique et de la formation des cadres) et du Ministère de l'éducation nationale et de la formation professionnelle (CNIPE, AREF) pour le groupe d'experts «Education».

## NOUVELLES INSTANCES DE L'ACADÉMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Au cours de la session plénière solennelle 2014, il a été procédé à l'élection et ou réélection des membres du Conseil d'Académie, de la Commission des Travaux, du Directeur des séances, et des Directeurs et Codirecteurs des Collèges Scientifiques. Ainsi :

## Le Conseil d'Académie se compose de :

- Mr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel;
- Mr. Mostapha Bousmina, Chancelier;
- Mr. Albert Sasson;
- Mr. Ahmed El Hassani:
- Mr. Abdelhak El Jai.

## La Commission des Travaux se compose de :

- Mr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel;
- Mr. Mostapha Bousmina, Chancelier;
- Mr. Mahfoud Zyad, Directeur des séances;
- Mr. Taïeb Chkili:
- Mr. Mohamed Ait Kadi;
- Mr. Philippe Tanguy;
- Mr. Ali Boukhari;
- Mr. Noureddine El Aoufi;
- Mr. Youssef Ouknine.

## Le Directeur des séances élu est :

- Mr. Mahfoud Zyad

Les Directeurs et Codirecteurs de Collèges sont :

## Collège des Sciences et Techniques du Vivant

Directeur : Mr. Albert SassonCo-directeur : Mme Rajae El Aouad

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

Directeur : Mr. Ahmed El HassaniCo-directeur : Mr. Driss Ouazar

## Collège des Sciences Physiques et Chimiques

Directeur : Mr. Mostapha BousminaCo-directeur : Mr. Abdelilah Benyoussef

## Collège des Sciences de la Modélisation et de l'Information

Directeur : Mr. Abdelhak El JaiCo-directeur : Mr. Abdelmalek Azizi

## Collège de l'Ingénierie, Transfert et Innovation Technologiques

Directeur : Mr. Ali BoukhariCo-directeur : Mr. Tijani Bounahmidi

## Collège des Etudes Stratégiques et Développement Economique

- Directeur : Mr. Noureddine El Aoufi

- Co-directeur : Mr. Khalid Sekkat

Appui à la recherche scientifique et technique



## Synthèse par voies catalytiques homogène et hétérogène du Biodiesel à partir d'huiles végétales usagées

## Pr. Mahfoud ZIYAD

Laboratoire de Physico-chimie des Matériaux et Catalyse (URAC26), Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat. Académie Hassan II des Sciences et Techniques

## Pr. Mohammed KACIMI

Laboratoire de Physico-chimie des Matériaux et Catalyse (URAC26), Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat.



## 1. Introduction

La production des biocarburants est un des moyens les plus en vue pour assurer l'indépendance énergétique pour les pays importateurs de combustibles fossiles. Les biocarburants sont produits à partir de ressources naturelles renouvelables. Ils sont biodégradables et non-toxiques. Ils peuvent ainsi contribuer à la diminution des émissions de  $\mathrm{CO}_2$ . Le projet intitulé 'Synthèse par voies catalytiques homogène et hétérogène du Biodiesel à partir d'huiles végétales usagées' et financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques est un précurseur dans ce domaine au niveau du Maroc. Dans cet article, nous relatons les résultats obtenus et les applications réalisées.

## 2. Objectifs Majeurs du projet

La valorisation des huiles végétales usagées dans la fabrication du biodiesel s'inscrit dans la vision et les plans de développement du Maroc jusqu'en 2020. En effet, l'augmentation attendue de la demande en restauration pour atteindre les 20 millions de touristes ainsi que le plan 'Maroc vert' développé pour la promotion d'une agriculture performante génèreront des quantités de plus en plus importantes de déchets potentiellement valorisables pour la production énergétique.

Le principal objectif de ce projet a été axé sur la production du biodiesel. Il s'agit de la synthèse d'esters méthyliques d'acides gras (EMAG) par transesterification des triglycérides (composante essentielle des huiles végétales) en présence du méthanol et d'un catalyseur (Fig.1). La réaction conduit aussi au glycérol.



Fig1: Huiles végétales pure et usagée (A), Biodiesel (B)

La qualité de l'huile utilisée est un facteur déterminant dans le processus de production du biodiesel. Cette utilisation est rendue complexe par les caractéristiques propres de ces huiles car il est nécessaire de :

- les caractériser en étudiant des paramètres tels que l'influence de la température sur l'évolution de l'acidité, la viscosité et leur teneur en impuretés.
- mettre au point un traitement adéquat de ces huiles usagées afin d'éliminer les impuretés qu'elles contiennent et les rendre aptes à l'utilisation comme matière première dans la production du biodiesel.
- mener des essais sur des catalyseurs solides actifs dans cette transformation et optimiser la conversion.
- effectuer des essais de production du biodiesel à l'échelle pilote.

## 3. Principaux résultats scientifiques et techniques obtenus

La production du biodiesel à partir d'huiles végétales et de graisses animales par le procédé de transestérification des triglycérides contenus dans ces huiles est un véritable champ d'investigations scientifiques. L'un des facteurs les plus importants est l'acidité de la matière première. Il est bien établi que la production de biocarburant de bonne qualité ne peut avoir lieu que pour des valeurs d'acidité inférieures à 1%. Les huiles végétales collectées à grande échelle (plusieurs régions du Maroc) présentent une acidité variant entre 1 à 2,5%. Notre objectif premier a été de caractériser et traiter cette matière première pour qu'elle soit utilisable. Il convient de préciser que la méthode habituellement utilisée est l'estérification des huiles usagées préalablement à leur transestérification. Cette approche contribue à augmenter le coût du biodiesel produit. Nous avons opté pour la réalisation des deux étapes estérification et transestérification en une seule étape. La méthode consiste à estérifier les huiles usagées en utilisant un catalyseur acide, le neutraliser par la suite par une base solide en excès. L'excès de la base permet de continuer la transestérification. Les résultats obtenus sont très encourageants pour une application à grande échelle.

Après avoir réalisé les objectifs concernant la collecte, la caractérisation et le traitement des huiles végétales et graisses animales, nous avons effectué des essais pilotes qui nous ont permis de mettre au point un protocole de préparation du biodiesel à faible coût (Fig.2).



Figure 2 : Pilote de 400 litres (Kiliminjaro environnement).

Parallèlement à ces travaux, à caractère très appliqué, nous avons mené des recherches plus fondamentales. Elles ont pour objectif de mettre au point de nouveaux catalyseurs réduisant le coût du biodiesel et assurant par conséquent une pérennité de la production. Il convient de préciser que le procédé actuel de production industrielle du biodiesel à partir des huiles végétales usagées ou pures nécessite des quantités importantes d'eau qui servent au lavage du produit final. Il génère aussi des quantités importantes de déchets dont le recyclage contribue à augmenter le coût du biodiesel et limiter son utilisation. Nous nous sommes intéressés à l'étude de cette problématique en mettant au point des catalyseurs hétérogènes, en remplaçant le lavage à l'eau du biodiesel par un lavage à sec et en développant des procédés de synthèse sans catalyseur. Malgré que cette dernière voie soit la plus intéressante, elle nécessite d'opérer à pression et température élevées. C'est pour cette raison que nous avons opté pour la synthèse du biodiesel par catalyse hétérogène à une pression de l'ordre de 8 à 10 bars. Les résultats obtenus sont très encourageants. Un prototype est à l'étude.

Le développement d'une industrie du biodiesel destiné au transport demande des quantités importantes d'huiles végétales usagées. La quantité estimée ne dépasse pas les 250 000 tonnes par an. Ce constat nous a poussés à chercher de nouvelles sources d'huiles non-alimentaires. Ainsi, nous avons extrait et caractérisé l'huile des graines de BRANCHYCHITON POPULNEUS.

Ainsi, nous avons montré que certaines plantes possèdent un réel potentiel d'utilisation comme matière première dans la production du biodiesel.

## 4. Retombées scientifiques et socioéconomiques du projet

Il convient de noter que ce projet a été entamé en l'absence de données concernant la production des biocarburants en général et du biodiesel en particulier et de leur incorporation comme composante dans la part de 40% des énergies renouvelables dans le mix énergétique marocain prévu à l'orée de 2020. La collecte des huiles usagées à grande échelle était aussi méconnue. Ce projet a permis donc d'améliorer la connaissance des qualités des huiles usagées marocaines et leur potentiel d'utilisation en tant que matière première pour la synthèse du biodiesel ou pour toute autre utilisation potentielle.

Une activité industrielle a vu le jour et s'est développée parallèlement à ce projet. Une collecte à l'échelle nationale existe aujourd'hui et nous permet un approvisionnement régulier en matière première, ce qui est rassurant pour la pérennité de la production au moins à moyenne échelle. Par ailleurs, le biodiesel a été produit à l'échelle pilote. Le produit obtenu est de bonne qualité et répond aux normes internationales. Les rendements obtenus dépendent de la matière première utilisée et varient entre 80 et 98%.

Le biodiesel mélangé à du pétrodiesel à différentes proportions a été testé dans la production d'électricité. Les résultats obtenus sont très concluants. Une étude de la combustion du biodiesel a été réalisée et a fait l'objet d'un article accepté pour publication. Le même produit a été testé comme lubrifiant dans les moteurs diesel et dans ce cas aussi les résultats obtenus répondent bien aux normes internationales. Le projet a permis aussi la formation de plusieurs jeunes scientifiques de différents niveaux. Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit :

### 4.1 Articles scientifiques :

- Biodiesel From Moroccan Waste Frying Oil: The Optimization Of Transesterification Parameters Impact of Biodiesel On Petrodiesel Lubricity And Combustion. Marouane Nachid, Fatiha Ouanji, Mohamed Kacimi, Leonarda Liotta and Mahfoud Ziyad. International Journal of Green Energy (accepted).
- Cu On amorphous AIPO4: Preparation, Characterization and catalytic activity in NO Reduction by CO In presence of oxygen.
   Mohamed Kacimi, Mahfoud Ziyad, Leonarda F. Liotta, Catalysis Today (2014) (in press)

## **4.2** Conférences et communications orales internationales et nationales :

- M. Nachid, M. Kacimi, et M. Ziyad, «Energies renouvelables et développement durable au Maroc», Colloque international sur «L'environnement et le développement durable: les nouvelles alternative», Faculté de Droit Souissi Rabat, 12-13 novembre 2012.
- M. Nachid, M. Kacimi, et M. Ziyad. «Utilisation des Énergies Renouvelables dans le Monde Rural: Enjeux et Perspectives», Rabat, 21 avril 2012.
- M. Nachid, M. Kacimi, M. Ziyad, «Synthèse par voie catalytique homogène et hétérogène du Biodiesel à partir des huiles végétales usagées», Journées Internationales: Substances Naturelles et Développement Durable, Rabat, 22-23 Juin 2012.
- M. Nachid, M. Kacimi, et M. Ziyad, «Production de Biodiesel à faible échelle et développement durable de communautés rurales», 2<sup>ème</sup> Colloque International sur Chimie, Environnement et Développement Durable, 20 et 21 Octobre 2011.
- A. Benyounes, M. Nachid, M. Kacimi, et M. Ziyad, «Synthèse des esters méthyliques (biodiesel) à partir d'huile végétale usagée résidu de friture de poisson», 2ème Colloque International sur Chimie, Environnement et Développement Durable, 20 et 21 Octobre 2011.

- Nachid M., Kacimi M., et Ziyad M., «Jatropha: possibilité de lutte contre la désertification et production d'énergie», International Symposium on "Desertification" Errachidia, October 12th-14th, 2010.
- Kacimi M., et Ziyad M., «Synthèse du biodiesel sur des catalyseurs à base de bismuthate de sodium», 11ème rencontre marocaine sur la chimie de l'état solide (REMCES11), Kénitra, 16-18 avril 2009.
- Kacimi M., and Ziyad M., "Transesterification of used fraying oil by two-step based on homogeneous acid and heterogeneous base catalysts", International Symposium on Relations between Homogeneous and Heterogeneous Catalysis (ISHHC XIV), Stockholm, Sweden, September 13-18; 2009.
- Kacimi M., et Ziyad M., «Analyse technicocommerciale de l'impact de production du biodiesel à faible échelle sur le développement durable dans les pays francophones en voie de développement», Colloque International «Les perspectives énergétiques pour un développement durable des pays francophones», Salé, 14-16 décembre 2009.

## 4.3 Encadrement de travaux de fin d'études (formation de Master) :

Le projet a contribué à la formation de jeunes cadres dans le domaine de la production du biodiesel. Les résultats obtenus ont concerné le développement et l'utilisation du biodiesel en tant que carburant de substitution au petro-diesel:

- Production de biodiesel à petite échelle et développement durable de communautés rurales.
- Amélioration de la lubricité du gasoil 50 ppm.
- Synthèse et analyse chromatographique des esters méthyliques (biodiesel) à partir d'huile végétale usagée résidu de friture de poisson.
- Optimisation d'une unité d'hydrocracking des coupes lourdes.
- Gestion et exploitation des ressources en eau au sein de la raffinerie Samir.
- Production et caractérisation du biodiesel obtenu à partir des huiles végétales usagées.
- Traitement et caractérisation des huiles végétales usagées par spectroscopie UV-visible.
- Optimisation d'un pilote de production du biodiesel.
- Introduction à la caractérisation physicochimique de l'huile de BRANCHYCHITON POPULNEUS.

## 5. Apport du projet au renforcement de notre structure

L'acquisition même partielle d'équipements dans le cadre de ce projet financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a permis à notre structure de se placer dans une dynamique de nouvelles technologies. Nous avons pu garantir à des jeunes étudiants une bonne formation dans les techniques d'analyse des huiles végétales usagées. Le bénéfice de ces équipements a été étendu au niveau de l'Université par des encadrements mixtes de travaux en rapport avec le projet. L'obtention de matériel de production d'électricité et d'analyse des produits

de combustion a constitué un atout majeur pour des études d'application du biodiesel.

Le monde industriel opérant dans le secteur de la collecte des huiles usagées a bénéficié de notre savoir-faire dans le domaine de la caractérisation de différentes matières premières disponibles pour la production du biodiesel.

### 6. Impact national et international

Sur le plan national, notre projet a été le premier projet structurant dédié à la production du biodiesel à partir des huiles végétales usagées. Les travaux réalisés et même ceux en cours ont permis de pousser plusieurs chercheurs à s'intéresser directement ou indirectement à des recherches dans le domaine des biocarburants. Des partenariats sont en cours de constitution. En plus, notre structure a bénéficié du statut d'Unité Associée au CNRST.

Sur le plan international, le projet nous a permis de monter des projets complémentaires avec des partenaires européens (France, Italie) sur l'utilisation du biodiesel pour la production de nanotubes de carbone et d'hydrogène.

#### 7. Conclusion

Le développement des biocarburants en général, et du biodiesel en particulier pourrait être bénéfique pour le Maroc. Etant importateur de pétrole, les biocarburants constitueraient une source de diversification énergétique et de réduction de la dépendance vis-à-vis de la fluctuation des cours du pétrole d'une part et représenterait une opportunité pour le développement du secteur agricole d'autre part. Notre projet soutenu par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a été le premier projet ayant pour objectif l'étude de la production du biodiesel à partir des huiles végétales usagées. Les résultats obtenus ont pu répondre en grande partie aux attentes. Ainsi le projet a permis:

- L'étude et la caractérisation des huiles végétales et graisses végétales. Les travaux réalisés ont permis de mettre au point une base de données sur les huiles végétales usagées et leur aptitude à être utilisées dans la production du biodiesel.
- La production du biodiesel à l'échelle pilote avec des caractéristiques répondant aux normes internationales.
- La production d'électricité pour des applications à faible échelle.
- Indépendamment de la production du biodiesel,
   l'obtention des données sur les huiles végétales pourrait contribuer au développent de nouvelles filières d'applications comme la production d'hydrogène.

Le projet nous a aussi permis de contribuer à la formation de compétence dans le domaine des biocarburants en général et du biodiesel en particulier. Parallèlement, l'augmentation de l'intérêt pour les biocarburants a abouti à mettre au point une plateforme de collaborations industrielles et scientifiques.

## Le tourisme dans les arrière-pays méditerranéens : Des dynamiques territoriales locales en marge des politiques publiques <sup>1</sup>

Ouvrage collectif basé en partie sur les résultats obtenus dans le cadre d'un projet recherche financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

#### Pr. Mohamed BERRIANE

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



#### **Préambule**

Cet ouvrage est basé sur les résultats de diverses recherches menées collectivement et dans la durée. A l'origine, il y a eu le projet intitulé «**Approche territoriale de la mise en tourisme de l'espace rural**» mené par l'Equipe de Recherche sur la Région et la Régionalisation (E3R) du CERGéo (Université Mohammed V – Agdal), dans le cadre du projet fédérateur du pôle de compétence RELOR. Ce projet faisait partie intégrante d'un programme de recherche beaucoup plus vaste intitulé «**Systèmes territoriaux et articulation du local et du régional**» qui a bénéficié d'un appui financier de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques après avoir été sélectionné suite au premier appel d'offre scientifique de 2008 <sup>2</sup>.

La réflexion s'est ensuite poursuivie au sein de la E3R, puis dans le cadre du programme de recherche du Laboratoire Mixte International MediTer «Terroirs Méditerranéens : Environnement, Patrimoine et Développement» qu'elle a cofondé avec d'autres équipes. Lors du montage scientifique du projet MedInnLocal en réponse à l'appel à projets «Transmed» de l'ANR (2012), il a été jugé utile de confronter les processus en cours dans les arrière-pays marocains à ce qui se passe sur la rive nord de la Méditerranée. Ces regards croisés Nord-Sud n'ont pas pour but de transposer les modèles de la rive nord vers le sud, mais de comprendre les

évolutions en cours aussi bien au nord qu'au sud à travers le regard de l'autre. Et c'est la raison pour laquelle l'idée d'introduire ces regards croisés nord-sud par une mise en face à face de cas marocains et corses a fait son chemin. Sans vouloir anticiper les résultats du module «Valorisation des arrière-pays par le tourisme» du projet MedlnLocal, ce premier travail collectif est conçu comme une introduction à ce grand chantier qui vient d'être lancé<sup>5</sup>.

#### Introduction

Le bassin méditerranéen est considéré, depuis plus de quarante ans, comme la première destination touristique mondiale. Selon les statistiques de l'Offiche Marocaine du Tourisme (OMT 2012) entre 1970 et 2011, les flux à destination de cette région ont connu une augmentation de 388%, passant de 58 millions en 1970 à 283 millions en 2011, et vers 2025 ils atteindront 637 millions «soit une augmentation de 270 millions par rapport à 2000, dont la moitié environ dans les régions côtières».

Mais si le tourisme joue un rôle primordial dans la croissance économique des pays de la zone, il est principalement basé sur un modèle balnéaire et saisonnier de masse, malgré la richesse culturelle et patrimoniale de ces pays. En effet, la croissance économique générée profite plus aux territoires intégrés à ce type de tourisme, entrainant du même coup la marginalisation de régions entières présentant

<sup>1-</sup> Berriane (M) et al, *Le tourisme dans les arrière-pays méditerranéens : Des dynamiques territoriales locales en marge des politiques publiques*, (2014), Co-édité par l'Université Mohammed V – Agdal, l'Université Euro-Méditerranéenne de Fès et le laboratoire Mixte International MediTer, 272 pages.

<sup>2-</sup> Le projet a duré deux années et a mobilisé 36 chercheurs dont 18 doctorants et a débouché sur la publication de plusieurs articles, trois thèses et un colloque international de clôture intitulé "Projet de territoire, territoire de projet" en 2010.

<sup>3-</sup> Le LMI MediTer est un laboratoire placé sous la tutelle des universités Mohammed V Agdal (Rabat) et Cadi Ayad (Marrakech) et l'IRD (Marseille) et dédié à l'étude des arrière-pays du pourtour méditerranéen. La réflexion autour du tourisme au sein de ce laboratoire relève de l'axe «Terroir, patrimoine et valorisation : indications géographiques, tourisme rural, services, « panier de biens et services».

<sup>4-</sup> MED-INN-LOCAL s'articule autour de l'analyse des transformations de grande envergure que connaissent les espaces ruraux les plus marginalisés des pays méditerranéens, regroupés sous la notion d'«arrière-pays», en insistant sur la mise en avant et la valorisation économique, socioculturelle, territoriale ou politique des spécificités locales et des patrimoines ruraux, à travers des dispositifs variés tels que les labellisations liées à l'origine et à la qualité, le développement de filières de produits spécifiques, ou les formes de tourisme alternatif.

<sup>5-</sup> Nous tenons à remercier l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques pour son appui au projet dès ses débuts, ainsi que l'Université Mohammed V – Agdal (CERGéo), l'Université Euro-Méditerranéenne de Fès et le Laboratoire Mixte International MediTer d'avoir accepté de coéditer cet ouvrage.

ď

des profils pour le développement d'un «tourisme culturel, socialement responsable, intégrant les préoccupations environnementales et la protection des côtes, les arrière-pays et les villes, ainsi que le patrimoine culturel et les sites historiques». Ainsi, les retombées positives du tourisme et son rôle clef pour l'avenir du développement de la région méditerranéenne s'avèrent souvent contrebalancés par certains impacts négatifs (Plan Bleu 2012).

De ce fait, si personne ne remet plus en question aujourd'hui le choix du tourisme comme activité assurant une certaine croissance économique, les analyses déplorent les formes de tourisme dominantes basées sur le tout balnéaire et la fréquentation massive des littoraux au détriment d'un modèle touristique privilégiant une demande diffuse, irriguant les intérieurs des pays et motivée plus par la rencontre de l'autre (Plan Bleu 2012). Or, si les politiques publiques continuent à privilégier le modèle balnéaire, la réalité à la fois de la demande et de l'offre montre que les destinations touristiques des arrière-pays émergent de plus en plus et que les populations de ces arrière-pays développent de nouveaux rapports à leurs territoires (Berriane et al 2012).

Au Maroc où l'opposition littoral/arrière-pays est réelle, les changements des comportements des touristes et des rapports production/consommation du secteur à l'échelle mondiale conjugués au nouveau contexte du développement rural au niveau national, aboutissent à l'émergence de véritables destinations touristiques dans les arrière-pays, mais avec une faible articulation sur les littoraux.

# 1. Les dichotomies tourisme balnéaire-tourisme culturel, tourisme individuel-tourisme de masse, et tourisme itinérant-tourisme sédentaire ont abouti à une opposition de fait entre le littoral et l'arrière-pays.

Au Maroc le tourisme a de tout temps été marqué par une concurrence serrée et continue entre le tourisme culturel et le tourisme itinérant, d'un côté, et le tourisme balnéaire et le tourisme de séjour de l'autre, et ce aussi bien au niveau de l'offre que de la demande. L'entrée officielle du pays sur le marché touristique mondial remonte à la deuxième moitié de la décennie 1960, quand le tourisme fut inscrit parmi les priorités économiques du plan de développement triennal 1965-67.

A l'époque, le Maroc en tant que destination touristique devait sa renommée tout d'abord à ses centres historiques et culturels dispersés aux quatre coins du pays et à la variété et à la beauté de ses paysages et de ses sites. Il vendait donc surtout du culturel et on pouvait supposer que le produit touristique marocain allait être diversifié dans ses formes et diffus dans ses implantations. Mais le boom touristique des années 1970 en a décidé autrement. La destination Maroc devait faire face à la vague

du tourisme de masse d'origine européenne, qui déferlant sur le bassin méditerranéen, touchait sa rive sud amenant avec elle une demande spécifique qui avait tendance à préférer un produit plus ou moins stéréotypé: le séjour balnéaire en groupes organisés et contrôlés par de puissants tours-opérateurs. Très vite le tourisme marocain, malgré ses potentialités riches et variées, va basculer vers le littoral. C'est surtout à partir de la fin des années 1970 et tout au long de la décennie suivante que la tendance à la concentration et au tourisme sédentaire de type balnéaire s'est accentuée.

Cette tendance à la concentration sur le balnéaire, n'excluait pas, toutefois, l'existence d'une prise de conscience chez les pouvoirs publics de la nécessité pour le Maroc de diversifier son offre touristique. C'est ce qui explique les actions d'aménagement touristique lancées dès la fin des années 1970 dans les zones éloignées du centre, notamment dans la ville d'Ouarzazate, précédées par quelques initiatives destinées à offrir sur le marché international de la randonnée des produits de montagne.

Venant s'ajouter à l'émergence de la ville de Marrakech comme destination culturelle par excellence, ces initiatives dans l'Atlas et son versant sud déclenchent une sorte de compétition entre le tourisme culturel et le tourisme balnéaire. C'est ainsi qu'à partir de 1998 et pour la première fois dans l'histoire du tourisme marocain, les arrivées dans les hôtels à Marrakech, destination symbole du tourisme culturel, dépassaient celles d'Agadir, station représentante du tourisme balnéaire. Si on y ajoute la fréquentation d'Ouarzazate et d'Errachidia, les deux destinations (Marrakech et les oasis sud atlasiques) reçoivent désormais et selon les années entre 30 et 41% des arrivées. Avec les autres destinations de l'intérieur qui attirent surtout par leurs attraits culturels, le Maroc reçoit désormais plus de 54% de ses touristes et plus de 44% des nuitées pour le produit culturel.

Il est cependant très probable que le tourisme balnéaire reprenne le dessus. En tous cas les politiques publiques (Vision 2010) continuent à considérer cette tendance à la diffusion des flux touristiques vers l'intérieur comme marginale. Ce qui nous autorise à pronostiquer que le culturel aura du mal à s'imposer pour devenir la composante principale du produit touristique marocain. En effet, les projets inscrits officiellement dans la stratégie de relance du tourisme 2000-2010 ont été axés essentiellement sur le balnéaire. Le contrat programme liant les pouvoirs publics et les professionnels, avec ses ambitieux projets de stations côtières, point fort de la nouvelle stratégie, et tous en cours de réalisation, devrait bouleverser à la fois l'offre et la demande dans un sens plutôt favorable au produit balnéaire. A terme, les 130.000 lits des 6 nouvelles stations programmées et en cours de réalisation (Plage Blanche, Taghazout, El Haouzia, Mogador, Khmiss Sahel et Saïdia) en s'ajoutant à la capacité existante, devraient porter la part du littoral dans le total de la capacité d'hébergement à 68%, renforçant davantage la littoralisation de l'économie et de l'espace tant décriée.

Cette opposition récurrente entre le culturel et le balnéaire, le littoral et l'arrière-pays, le tourisme sédentaire et le tourisme mobile et qui se traduit par une organisation de l'espace assez particulière devrait en principe être corrigée si le contenu de la vision 2020 est appliqué de façon scrupuleuse. En effet, en s'inscrivant dans le processus de régionalisation en cours, la politique publique en matière de tourisme a fait le choix d'une approche territoriale du tourisme. Désormais, 8 territoires touristiques ayant une certaine cohérence ont été identifiés avec un découpage transcendant les limites administratives. Dans 5 des 6 territoires avec une façade maritime, l'arrière-pays a été intégré au littoral au niveau du positionnement. Cependant, en attendant que cette nouvelle politique soit déclinée dans la réalité, on doit se contenter des seules bonnes intentions.

## 2. Pendant ce temps, les comportements et les attentes des touristes changent sensiblement, alors que le rapport production/consommation du secteur touristique est en mutation

Bien que la demande touristique en Europe, principal foyer d'émission des touristes vers le bassin méditerranéen, accorde toujours la primauté au produit balnéaire, on assiste au développement, toujours en Europe, d'un nouveau marché touristique lié à de nouveaux comportements de vacances. Il s'agit de la montée de l'individualisme, du culte de la liberté d'usage de son corps et de la valorisation de la réussite individuelle. La société de consommation devenue trop confortable et n'offrant plus suffisamment de sensations, suscite un besoin d'évasion et découvre le goût pour les pratiques à risque. Par ailleurs, avec la montée de la conscience écologique et culturaliste, les agences de voyages s'orientent vers des produits plus «doux» dans lesquels la découverte - notamment la découverte de l'autre - est mise en valeur. A partir de ce moment là, le produit culturel cherchant à s'éloigner des sentiers battus se trouve valorisé et les voyages de découverte attirent de plus en plus de clients. Nous assistons de ce fait à un vrai tournant dans l'évolution du tourisme marocain et au développement de différents produits de niches dont la principale destination est l'arrière-pays.

Parallèlement, le secteur touristique comme activité économique mondialisée connait de profondes mutations. Rappelons que le secteur a fonctionné jusqu'aux années 1990 selon un modèle fordiste caractérisé par la production de masse, la standardisation, l'inflexibilité du produit pour une économie d'échelle et de réduction des prix, l'autonomie limitée des touristes car contrôlés par

l'offre qui laisse peu de marge à la demande pour le choix des destinations et des produits et la forte concentration des tours-opérateurs (Telfer 2008). Ce fut l'âge d'or du tourisme balnéaire qui correspond bien à ce modèle et qui a atteint ses pics durant les années 1970 et 1980. Aujourd'hui le tourisme postfordiste, ou nouveau tourisme, prône au contraire la non-standardisation et la flexibilité des produits, tient compte de la demande et non de l'offre dans le choix des destinations et des produits, se caractérise par l'autonomie des touristes, l'usage des nouvelles technologies de l'information et de la communication, et la promotion d'un mode de développement touristique alternatif (Weigert 2013). Les touristes privilégient dorénavant la qualité de l'offre et sa conformité aux critères socio-environnementaux du «tourisme durable», se dessine alors une demande pour un tourisme plus individuel, plus respectueux de l'environnement et des populations locales. Bref, avec ce nouveau tourisme on est entrain de passer du tourisme de masse au tourisme individuel, du tourisme sédentaire au tourisme mobile, et du tourisme balnéaire au tourisme des arrière-pays.

Ces mutations de la demande sont également à mettre en rapport avec l'appropriation, par le débat public du concept de développement durable et sa dimension touristique, le tourisme durable. Un débat qui, schématiquement, oppose le tourisme de masse des années 1970 et 1980, pollueur et destructeur, au tourisme individuel, éthique et responsable d'aujourd'hui (Equipe MIT 2002). A cela s'ajoute le rôle de plus en plus grand des nouvelles technologies de la communication qui tendent à affranchir les touristes de l'intermédiation des firmes touristiques et l'apparition de nouveaux acteurs mieux adaptés à cette nouvelle demande individuelle (petites structures d'hébergements alternatives et familiales mieux dispersées, offre sur mesure, tours-opérateurs spécialisés, etc.) et capables donc de capter une bonne partie de ces flux individuels. Les tours opérateurs à leur tour se sont rapidement adaptésà ces changements et ont engagé une véritable «régulation post-fordiste» du tourisme en devenant des acteurs de ce tourisme néo-fordiste (Weigert 2013). On parle alors de firmes touristiques néo-fordistes qui ont adapté leur production en vue de la rendre plus flexible et plus individualisée, tout en continuant à tirer parti des économies d'échelle et des économies d'envergure (loannides et Debbage 1998). Pour cela, elles développent une offre renouvelée, plus adaptée à la nouvelle demande en veillant à ce que cette offre soit plus individualisée et plus diversifiée et en intégrant les revendications socio-environnementales de la demande potentielle. Les effets de ces évolutions se traduisent pour la Méditerranée et le Maroc par l'émergence d'une demande plus ou moins spontanée qui souvent précède l'offre et investit les intérieurs de ces pays, tout en s'affranchissant, dans un premier temps, des canaux classiques de commercialisation. C'est ainsi qu'apparaît au Maroc à la fin des années 1990 et pour la première fois le terme de tourisme rural, terme assez vague et utilisé, par les responsables, la presse et même parfois les chercheurs pour signifier diverses formes de tourisme, l'écotourisme, l'agrotourisme, le tourisme de montagne, le tourisme durable, ou qui est aussi confondu avec le concept anglo-saxon de tourisme doux. Pour notre part, et pour les besoins de cet ouvrage nous avons désigné par **tourisme rural** ou **tourisme vert**, toute pratique touristique qui se déroule en milieu rural.

## 3. La fièvre du tourisme rural coïncide avec un nouveau contexte du développement rural au Maroc

Cette demande s'inscrit dans un nouveau contexte du développement rural au Maroc marqué par trois tendances.

La première concerne la nouvelle stratégie du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche maritime à travers le plan Maroc Vert. Le deuxième pilier de ce plan est dédié au développement solidaire de la petite agriculture et concerne principalement les 3 grands agro-systèmes marocains (sur 5) dont l'agriculture souffre de conditions naturelles difficiles : les montagnes, les zones présahariennes et sahariennes et leurs oasis et les plaines et plateaux semi-arides, soient des zones correspondant à des arrière-pays. Un des principaux objectifs de ce pilier Il est la valorisation des produits de terroir que concrétise la promulgation à la fin de 2008 de la loi sur les produits à signes d'origine et de qualité. A travers cette valorisation, la loi cherche à soutenir la petite agriculture et à contribuer au développement rural durable des zones difficiles. Or, l'un des canaux de valorisation de ces produits qui a été identifié est le tourisme et l'un des objectifs de cette politique est de créer une synergie entre l'identification des produits du terroir à valoriser et le développement du tourisme rural. De ce fait, les projets de labellisation d'un nouveau produit de terroir s'appuient souvent dans leurs argumentations sur les articulations entre la valorisation du produit et la dynamisation du tourisme rural au niveau local.

La deuxième tendance renvoie à la mobilisation du mouvement associatif local qui considère que le développement passe par la diversification du tissu économique et la multiplication des activités génératrices de revenus. Or, le tourisme rural fait partie de ces activités génératrices de revenus quand il ne constitue pas l'unique activité. La mobilisation de ces associations passe par l'organisation avec l'appui des organisations non gouvernementales internationales de formations courtes destinées à des porteurs de projets ou de futurs employés. Elle se manifeste aussi par la création de clubs d'écotourisme, la délimitation, la reconnaissance et le test d'itinéraires. Ces associations peuvent aller jusqu'à recevoir des groupes envoyés par d'autres associations européennes en initiant de ce fait les populations villageoises à recevoir des visiteurs étrangers. Celles parmi ces associations qui s'activent dans la protection de l'environnement voient dans le tourisme rural un moyen d'améliorer les revenus des populations locales, ce qui pourrait contribuer à diminuer les pressions anthropiques sur les ressources naturelles généralement menacées. Leurs interventions peuvent aller jusqu'à la création et la gestion de gîtes ruraux ou la commercialisation des structures d'hébergement locales.

Enfin, la troisième tendance a trait au modèle de développement dans le quelle Marocsouhaite et essaie de s'inscrire. En effet, à l'instar d'autres pays, le Maroc a fait sienne l'approche territoriale en l'inscrivant dans le champs investi par le développement durable. Diverses instances gouvernementales et non gouvernementales reconnaissent le territoire comme entité qui fonde aussi bien leurs discours que leurs actions. L'administration du tourisme a, nous l'avons déjà mentionné, basé sa vision 2020 pour le développement du tourisme sur cette approche qui retient le principe d'une stratégie qui va prendre appui sur 8 territoires touristiques. Avant cela, les premières initiatives des politiques publiques contenues dans la stratégie du tourisme rural du début de cette ère (OMT-Ministère 2002, 2003) ont débouché sur un concept appelé «Pays d'Accueil Touristique (PAT)» qui décline ses programmes aux niveaux régional et local selon une approche territoriale. Partant de la nécessité de mutualiser le potentiel et les compétences, le Pays d'Accueil Touristique est un territoire qui a, selon le document officiel qui le présente, une identité propre et une délimitation sur la base d'éléments le distinguant de ses voisins : une unité physique et culturelle mais aussi une diversité du produit. Il doit être doté de divers organes institutionnels et s'appuyer sur une animation spécifique : identification d'itinéraires, stages et ateliers ou découverte interactive de la culture locale, calendrier de manifestations folkloriques, musées ethnographiques et écomusées, valorisation du petit patrimoine rural. Mais un Pays d'Accueil Touristique ne peut devenir effectif que s'il existe une volonté forte, émanant des acteurs locaux. Ces derniers sont censés construire ensemble une image en patrimonialisant les éléments de leur espace qui peuvent l'être.

## 4. Un état des lieux du développement du tourisme rural au Maroc et une comparaison avec les cas corse et sarde

S'inscrivant dans ces évolutions, la réflexion que propose cet ouvrage collectif s'appuie sur un état des lieux du développement du tourisme rural au Maroc à travers des cas précis.

 Même si le phénomène est relativement récent, la diffusion de la demande et de l'offre touristiques dans les coins les plus reculés du pays a été rapide et tend à s'accélérer. Pour cela il a été jugé utile dans un premier chapitre (Berriane et Moizo) de dresser un bilan des 15 années écoulées qui met en évidence trois points essentiels. L'implication de l'Etat d'un côté et des initiatives locales de l'autre posent la question de la gouvernance et des articulations entre les actions et initiatives descendantes et ascendantes, alors que la multiplicité d'intervenants peut entraîner des incohérences, voire des conflits d'intérêts et de ce fait annihiler les efforts entrepris et limiter les effets positifs. Enfin, la mise en tourisme du milieu rural exige une approche territoriale.

- Ce développement du tourisme rural au Maroc s'inscrit au cœur de la question des processus identitaires, et le deuxième chapitre (**Tebaa**) apporte un intéressant éclairage sur la façon dont le tourisme engage des processus identitaires complexes. Cet essai se fait sur la base des formes discursives que génère le tourisme à diverses échelles, en façonnant un monde de valeurs au sein duquel se constituent et se recomposent des représentations de l'identité et de l'altérité du soi et de l'autre. Il s'interroge sur les traits saillants de la rhétorique relative aux arrière-pays et ses soubassements et dans quelle mesure celle-ci entre en résonnance avec celle des individus et des communautés concernées.
- Les études de cas qui suivent traitent de destinations du tourisme rural qui se trouvent à des stades d'avancement différents. Le chapitre 3 (Aderghal) analyse la région d'Oulmès où, malgré un très fort potentiel, la proximité d'une grande zone d'émission et un grand intérêt des agents de développement et des instances régionales, la dynamique touristique ne semble pas prendre en raison de l'absence d'appropriation du modèle par les populations locales. Ceci n'est pas le cas d'autres destinations qui déjà inscrites officiellement dans les territoires touristiques, sont en cours de structuration par le Ministère du tourisme, alors que la demande et l'offre s'organisent et croissent. Ida ou tanane, arrière-pays atlasique de la grande station balnéaire d'Agadir étudié par Amzil dans le chapitre 4 appartient à cette catégorie. Un autre cas de figure concerne des destinations où des dynamiques sont en cours, notamment au niveau de la diffusion d'établissements d'hébergement et la mobilisation d'acteurs locaux, mais dont l'officialisation et l'intégration au programme du Ministère n'est pas à l'ordre du jour. Nakhli analyse les dynamiques en cours dans l'arrièrepays d'Essaouira dans le chapitre 5 qui illustre bien ce type d'arrière-pays.
- Dans les réflexions et les actions menées autour de la relance des arrière-pays, la valorisation des produits des terroirs est souvent liée au tourisme, cette dernière activité étant perçue comme un des canaux pour augmenter la demande externe sur ces produits et les faire connaitre. Or, les rapports tourisme/produits du terroir sont loin d'être simples. Le chapitre 6 (Aderghal et al) essaie de

démontrer comment face à l'application du concept de terroir inscrit dans une politique volontariste de développement agricole et rural avec une composante tourisme, la réaction des sociétés locales et des territoires implique des logiques d'acteurs qui ne vont pas toujours dans le sens des objectifs prévus par les décideurs politiques.

La réflexion sur les cas marocains se termine par une interrogation sur les perspectives de développement de ces arrière-pays notamment en articulation avec les avant-pays. Pour cela il est nécessaire de réfléchir à la meilleure façon d'intégrer l'arrière-pays au littoral dans un produit touristique unique. Mais si dans l'analyse de la relation arrière-pays/littoral, le premier est toujours approché comme ayant besoin du second pour sortir de sa marginalité et son enclavement, le chapitre 7 (Berriane) propose à travers le cas du littoral de Tétouan et son arrière-pays d'inverser la démarche. Il essaie de démontrer que certains littoraux souffrant d'une sur-occupation qui débouche sur une dégradation et une saturation de l'image, peuvent bénéficier d'un ancrage à des arrière-pays qui, même s'ils sont sous-équipés et enclavés, peuvent être le siège de dynamiques et d'initiatives qui ne demandent qu'à être accompagnées.

Dans un essai de mise en perspective de ces analyses des cas marocains et en esquissant les regards croisés entre les deux rives de la Méditerranée, approche qui sera développée dans les recherches futures des équipes engagées dans cette réflexion, deux contributions portant sur la Corse et la Sardaigne apportent des éléments de compréhension et de relecture de ce qui se passe de ce côté de la Méditerranée.

- Le cas de la Balagne en Corse traité dans le chapitre 8 (Tafani et Furt), montre comment l'offre des produits du terroir et des services d'accueilhébergement par les exploitations agricoles peut devenir un puissant facteur de différenciation entre les exploitants. Cette vente de biens et de services labellisés «terroir» étant bien appréciée par les touristes et générant des compléments de revenus élevés qui, dans certains cas, deviennent la principale source de revenu. Cependant, l'agritourisme ne semble profiter qu'à une poignée d'exploitants, les plus fragiles ne pouvant pas s'insérer dans cette nouvelle dynamique sans appui d'une profession organisée et représentée dans les instances de la gouvernance locale. Cette valorisation du terroir par le tourisme peut générer aussi des problèmes de durabilité, la certification des produits n'étant pas toujours respectueuse de l'environnement.
- Dans un deuxième temps, l'étude comparative de la Corse et de la Sardaigne du chapitre 9 (Fenocchi et Tafani) met en évidence les trajectoires de développement similaires des deux îles depuis les années 1950. De tradition agropastorale, plus tournées vers l'intérieur des terres que vers la mer, elles ont connu le même phénomène

de littoralisation sous-tendu par l'avènement du tourisme balnéaire, et souffrent des mêmes impacts socio-spatiaux dus à la sur-fréquentation littorale. Aujourd'hui elles se posent toutes les deux la même question relative au type de tourisme à développer en s'accordant sur la même réponse qui consiste à développer un autre tourisme, alternatif, mettant en valeur les patrimoines locaux et participant au développement rural des territoires marginalisés de l'intérieur. Elle montre surtout le rôle de l'accompagnement par les moyens financiers importants que met l'UE à la disposition des acteurs locaux.

· Bien que limitées à deux cas seulement, les deux dernières analyses consacrées aux cas corse et sarde sont d'un grand intérêt pour la compréhension des terrains marocains. En effet, le phénomène étant à la fois récent et jusqu'ici inédit au Maroc, il est intéressant d'interroger les évolutions du même phénomène dans des pays qui nous ont précédé et de constater qu'on y a vécu les mêmes problèmes et qu'on y retrouve les mêmes questionnements. Sans chercher à transposer des solutions toutes faites du nord vers le sud, le chapitre 10 rédigé sous la forme d'une conclusion générale (Berriane et Aderghal) essaie de tirer quelques enseignements pour la compréhension et le traitement des blocages et contraintes que rencontre le développement du tourisme dans les arrière-pays du Maroc.

#### Références bibliographiques

- Berriane M., (2006), «L'approche territoriale pour la mise en tourisme du milieu rural», in Développement rural, pertinence des territoires et gouvernance, coordination A. Iraki, Inau/Relor, Rabat, pp. 83-95.
- Berriane M., Aderghal M. et al (2012), Tourisme rural, gouvernance territoriale et développement

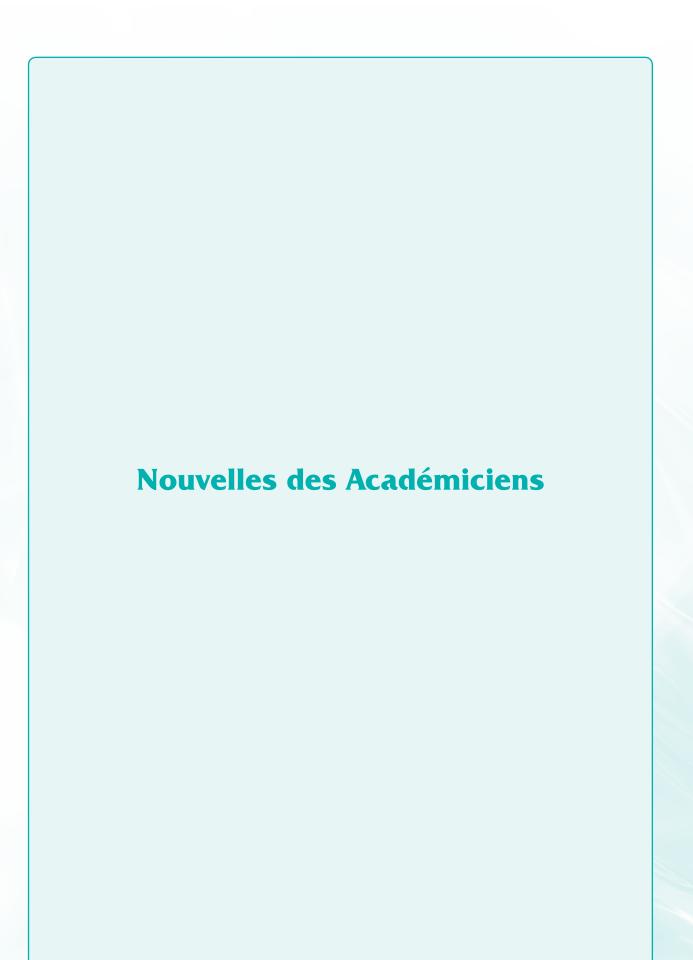
- local en zones de montagnes, Publication ONDH.
- Courlet C., El Kadiri N., Fejjal Ali, Jennan L. (2013), «Le projet de territoire comme construit d'acteurs et processus de révélation des ressources : l'exemple marocain», Revue GéoDv.ma (revue en ligne).
- Équipe MIT (2002), Tourismes 1. Lieux communs, Paris, Belin.
- Ioannides, D. and K. G. Debbage, (1998), «Neo-Fordism and flexible specialization in the travel industry: dissecting the polyglot», in Ioannides D. and K.G. Debbage (Eds), The Economic Geography of the Tourist Industry: a supply-side analysis, Londres, Routledge, pp. 99-121.
- OMT (2012), Statistical Data.
- OMT, Ministère du tourisme, (2002), Stratégie de développement du tourisme rural, 261 p, Ministère du Tourisme, Secrétariat Général, Bureau de Développement du Tourisme Rural.
- OMT, Ministère du tourisme, (2003), Stratégie de développement du tourisme rural, Finalisation de l'étude sur la formulation du projet pilote intégré de Chefchaouen et Al Hoceïma, 50 p, Ministère du Tourisme, Secrétariat Général, Bureau de Développement du Tourisme Rural.
- Plan Bleu (2012), Programme d'activités 2009
   2012 Tourisme et développement durable en Méditerranée, Rapport final.
- http://www.planbleu.org/themes/ etudesTourismePlanBleuBEI.html.
- Telfer D. and R. Shapley (2008), Tourism and Development in the Developing World, Londres, New York, Routledge.
- Weigert M., (2013), Tourisme et intégration euroméditerranéenne: Quel rôle pour les firmes touristiques dans l'évolution du tourisme au Maghreb?, Thèse de doctorat, Université Paris I – Panthéon-Sorbonne.

Le basin médiernarien est considéré depuis plus de quantie aux commis le première déstinablen toutine production de la commission de manifer de la commission de régions entirers préventant des profits pour le dévolopment d'un tout sene culturel, considerant en repossible, indégrate le la continue de profits pour le dévolopment d'un tout sene culturel, considerant en repossible, indégrate le la continue de profits pour le dévolopment d'un tout sene culturel, considerant en repossible, indégrate le la continue de profits pour le dévolopment d'un tout sene culturel, considerant en repossible, indégrate le la continue de la demande et de l'offer montre que les destinations et de la demande et de l'offer montre que le destinations et de la demande et de l'offer montre que le destinations et de la contre la contre pays développent de nouveaux rapports à leur territoire.

Cet ouveage réunit des analyses sur les dynamiques que consaisement de ces antire-pays developpent de nouveaux rapports à leur territoires.

Cet ouveage réunit des analyses sur les dynamiques que consaisement de la destinations se touveaux de se destinations et convaire des destinations et convaire des destinations et convaire des candidates, de la destinations et convaire des convaits des destinations et montre destinations de crois sinchiare conjoinee, de rapport tourisme payor destinations de l'accidence, de rapport tourisme payor destinations de l'accidence, de rapport tourisme produit de territoire de convait de conditions produit de reposite convait de conditions produit de l'accidence de la Méditernance de la contraite de la convait de consideration de l'accidence de la destination de l'accidence de la condition de l'accidence

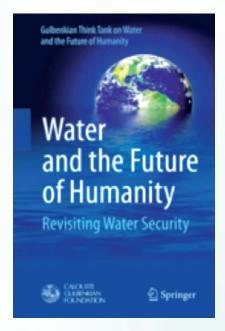






## « L'eau et le futur de l'Humanité »

Pr. Mohamed AIT KADI, co-auteur



Ce livre éclaire sur les changements nécessaires dans les rapports de la société à l'eau concernant son accès, sa fourniture et son utilisation. Il éclaire, également, sur l'impératif de changer nos comportements vis à vis de la nourriture, de l'énergie et d'autres biens et services en relation avec l'eau. Il offre, en même temps, des projections et des recommandations, jusqu'à l'horizon 2050, qui s'appliquent aux défis

liés à l'accès à l'eau pour l'agriculture, l'énergie, l'industrie et les municipalités.

Ecrit par un groupe d'éminents experts réunis dans le cadre d'un «Think Tank» «Eau» par la Fondation Calouste Gulbenkian, le livre offre une évaluation franche et rigoureuse, bien qu'optimiste, non seulement des défis du développement mais aussi des opportunités qui s'offrent aux générations futures. Il analyse la complexité de l'équation de l'eau à travers une approche multidisciplinaire et multisectorielle.

Convaincus que l'Humanité saura puiser dans ses capacités visionnaires et de mobilisation des ressources du progrès scientifique et technologique pour accroitre le bien-être et renforcer une gestion éthique et responsable des ressources en eau, les auteurs présentent une vision positive du futur et les actions que les scientifiques, les décideurs politiques, les consommateurs et la société dans son ensemble doivent entreprendre pour la réaliser dans une planète qui se réchauffe et qui comptera environ 9 milliards d'habitants en 2050.

h t t p://www.springer.com/ earth+sciences+and+geography/ earth+system+sciences/book/978-3-319-01456-2

## **CONTENTS**

## **Foreword**

by HRH the Prince of Orange, Chair, UN Secretary General's Advisory Board on Water Supply and Sanitation

#### Prologue

by Artur Santos Silva, President of Calouste Gulbenkian Foundation

## **Preface**

by Luis Veiga da Cunha, Coordinator of the Gulbenkian Think Tank on Water and the Future of Humanity

### Message on Water and the Future of Humanity

by the Gulbenkian Think Tank on Water and the Future of the Humanity

**Chapter 1: Our Water, Our Future** 

Chapter 2: Drivers of Water Demand, Course Changes, and Outcomes

Chapter 3: Water Management in a Variable and Changing Climate

**Chapter 4: Water for a Healthy Environment** 

Chapter 5: Integrated Urban Water Resources Management

Chapter 6: Water and Food Security: Growing Uncertainties and New Opportunities

Chapter 7: Water and Energy

Chapter 8: Water Projections and Scenarios: Thinking About Our Future Chapter 9: Our Water Future: Leadership and Individual Responsibility