

Royaume du Maroc
ACADEMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES

**ACTES
DES TRAVAUX DE LA SESSION
INAUGURALE**

18 et 19 mai 2006

Table des Matières

Table of contents

Indice

AVANT – PROPOS	5
FOREWORD	6
PRÓLOGO	7
INSTALLATION SOLENNELLE DE L'ACADEMIE	
PAR SA MAJESTE LE ROI MOHAMMED VI	
(jeudi 18 mai – Palais Royal d'Agadir)	9
Discours de Sa Majesté le Roi Mohammed VI	13
Address by His Majesty King Mohammed VI	17
Discurso de Su Majestad El Rey Mohammed VI	21
Membres de l'Académie Hassan II des sciences et techniques	25
Liste des premiers membres résidents et associés de l'Académie	26
Liste des premiers membres correspondants de l'Académie	31
Préambule du Dahir portant loi instituant une Académie Hassan II des sciences et techniques	39
Preamble of the Dahir enacting Law instituting one Academy Hassan II of Science and Technology	43
Preámbulo del Dahir que instituye una Academia Hassan II de Ciencias y Técnicas	47
TRAVAUX DE L'ACADEMIE	51
PREMIERE SEANCE (jeudi 18 mai après-midi – Rabat)	53
Allocution du Pr. Abdellatif Berbich, membre de la commission de fondation	56
Allocution du Pr. Jean-Michel Dercourt, membre de la commission de fondation	59
Allocution du Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel	62
Intervention du Pr. Erik Sandewall, membre associé de l'Académie	66
VISITE AU MAUSOLEE MOHAMMED V	73
DEUXIEME SEANCE (vendredi 19 mai matin – Rabat)	77
TROISIEME SEANCE (vendredi 19 mai après-midi – Rabat)	81
COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES	
SCIENTIFIC COMMUNICATIONS	
PRESENTACIONES CIENTÍFICAS	84
« Instabilités à la surface du globe terrestre »	
Par Pr. Jean-Michel Dercourt	87
« Impact de la biologie et des cellules souches sur la médecine du 21^{ème} siècle »	
Par Pr. Carlos Martínez Alonso	96

« Les biotechnologies : progrès, promesses et défis »	
Par Pr. Albert Sasson	101
« Nanomaterials, Nanotechnology and Nanoscience : Facts, Challenges and Opportunities for Morocco»	
By Pr. Mostapha Bousmina	118
« Défis et espoirs humanistes pour les sciences et les technologies »	
Par Pr. Malik Ghellab	144
« Les défis énergétiques au XXI^{ème} siècle : un bref aperçu »	
Par Pr. Philippe Tanguy	150
« Savoir et enjeux de l'eau »	
Par Pr. Mohammed Ait Kadi	158
« Roadmap to successful research enterprise In biomedicine and biotechnology”	
By Pr. Abdelali Haoudi	162

AVANT - PROPOS

Le jeudi 18 mai 2006 au Palais Royal d'Agadir, Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu L'assiste - a procédé à l'installation officielle de l'Académie Hassan II des sciences et techniques et présidé l'ouverture de sa session inaugurale.

Le Discours prononcé à cette occasion par Sa Majesté le Roi a constitué un moment fort, particulièrement émouvant dans la vie des académiciens. Sa Majesté le Roi a rappelé les enjeux de la science dans les sociétés modernes ainsi que les raisons d'être et les objectifs assignés à la jeune Institution. Dans Son Discours mémorable, Sa Majesté le Roi a rendu un vibrant hommage à Son auguste Père, Feu Sa Majesté le Roi Hassan II, qui « en décidant de la création de cette Académie, exprimait Sa volonté de consolider la vocation du [Maroc], comme terre de dialogue, et de rencontres entre hommes de sciences et de savoir». Les académiciens ont écouté avec un immense intérêt les conseils précieux, et les orientations lumineuses, donnés par Sa Majesté le Roi pour «qu'ils contribuent à faire de la société marocaine une société productive, ouverte sur les sciences et les technologies de l'heure, convaincue des valeurs du dialogue entre les cultures ».

Après le Discours Royal, les premiers membres de l'Académie ont eu l'insigne honneur de saluer Sa Majesté le Roi –que Dieu le garde-.

Les travaux de la session se sont ensuite poursuivis à Rabat au siège de l'Académie du Royaume du Maroc.

Dans le cadre de cette publication sont présentés les actes de la session inaugurale de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, tenue les 18 et 19 mai 2006.

FOREWORD

On Thursday, May 18th, 2006, at the Royal Palace of Agadir, His Majesty the King Mohammed VI, had proceeded at the official installation of the Hassan II Academy of Science and Technology and chaired the opening of its inaugural session.

The speech pronounced at this occasion by His Majesty the King was a significant moment and very peculiar for the academicians. His Majesty the King has recalled the stakes of science in modern societies and the reason of being and the objectives of the young Institution. In his memorable speech, His Majesty the King returned to homage to His August Father, be blessed His Soul, who « by deciding the creation of this Academy, expressed His willing to consolidate the vocation of [Morocco] as a land of dialog, meet between the men of science and knowledge»

The academicians have listened with big interest the precious advises given by His Majesty the King for «contributing to make of Moroccan society, a productive society, opened on up-to-date sciences and technologies, convinced by the values of dialog between cultures».

After the address pronounced by His Majesty, the first members of the Academy were presented to His Majesty the King.

The session works were then pursued in Rabat at the sit of the Academy of the Kingdom of Morocco.

In this publication are presented the acts of the inaugural session of the Hassan II Academy of Science and Technology.

PRÓLOGO

El jueves 18 de mayo de 2006 en el Palacio Real de Agadir, Su Majestad el Rey Mohammed VI – que Dios Lo ayude – llevó a cabo la toma de protesta protocolaria de la Academia de Ciencia y Tecnología “Hassan II” y presidió la apertura de la sesión inaugural.

El discurso pronunciado en esta ocasión por Su Majestad el Rey fue un momento importante y especialmente conmovedor en la vida de los miembros. Su Majestad el Rey les recordó los retos de la ciencia en las sociedades modernas así como las razones de ser y los objetivos asignados a la joven Institución. En su discurso memorable, Su Majestad el Rey rindió homenaje a Su Venerable Padre, el Finado Rey Hassan II quien, “al decidir la creación de esta Academia, expresaba su voluntad de consolidar la vocación de [Marruecos] como tierra de diálogo y de encuentro entre la gente de ciencia y conocimiento”. Los académicos escucharon con mucho interés los consejos particularmente preciosos y las guías luminosas dadas por Su Majestad el Rey para que “contribuyan a hacer de la sociedad marroquí una sociedad productiva, abierta a las ciencias y a las tecnologías de punta, convencida del valor del diálogo entre las culturas”.

Después del discurso pronunciado por Su Majestad, los primeros miembros de la Academia fueron presentados a Su Majestad el Rey – que Dios lo conserve.

Los trabajos de la sesión fueron continuados en Rabat en la sede de la Academia del Reino de Marruecos.

Esta publicación contiene las reseñas de la sesión inaugural de la Academia.

INSTALLATION SOLENNELLE DE L'ACADEMIE

(Jeudi 18 mai 2006 - Palais Royal d'Agadir)



Le jeudi 18 mai 2006 à 11h30, au Palais Royal d'Agadir, Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le garde – a procédé à l'installation officielle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

**DISCOURS DE SA MAJESTE LE ROI MOHAMMED VI
A L'OCCASION DE L'INSTALLATION DE L'ACADEMIE
HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES**

Palais Royal d'Agadir, le 18 mai 2006



« Louange à Dieu.

Prière et salut sur le Prophète, Sa famille et Ses compagnons.

Mesdames, Messieurs les académiciens,

Mesdames, Messieurs,

C'est un motif de grande fierté pour Nous que de procéder aujourd'hui à l'installation de l'Académie Hassan II des sciences et techniques, d'en présider la première session solennelle et de donner le coup d'envoi de son parcours qui s'annonce prometteur.

En ce moment mémorable, Nous avons une pensée particulière pour son illustre initiateur, Notre regretté père, Feu Sa Majesté le Roi Hassan II, que Dieu bénisse son âme.

En décidant de la création de cette Académie, il exprimait sa volonté de consolider la vocation de notre pays comme terre de dialogue et de rencontres entre hommes de sciences et de savoir.

En installant l'Académie Hassan II des sciences et techniques, nous réaffirmons notre ferme engagement en faveur de l'acquisition du savoir, persuadé que nous sommes de son impact sur le progrès de notre pays.

Par sa composition, l'Académie Hassan II des sciences et techniques contribuera au renforcement des liens entre les chercheurs marocains de l'intérieur et ceux de l'extérieur, comme elle consolidera les relations avec la communauté scientifique mondiale, grâce aux membres associés qui ont bien voulu accepter de mettre à la disposition de l'Académie leurs compétences scientifiques.

Nous sommes persuadé que la jeune Académie Hassan II des sciences et techniques saura trouver les voies les plus appropriées pour s'acquitter de sa mission, mobilisant pour cela les énergies et les moyens les plus efficaces pour le développement d'une recherche scientifique poussée, et qu'elle saura, également, mener ses actions de façon progressive dans le cadre d'une programmation réaliste, mais aussi d'une vision prospective, privilégiant certes les secteurs prioritaires mais toujours avec le même objectif, celui à la fois de servir notre pays et de contribuer au développement de la science mondiale.

Nous avons lancé de nombreuses réformes dans le but d'orienter le pays vers l'avenir, avec confiance et optimisme. Nous avons également veillé à ce que le Maroc s'engage dans de grands projets, notamment par la mise en place d'infrastructures pour assurer son développement économique et social. En ce jour où nous célébrons le premier anniversaire de l'Initiative nationale pour le développement humain, nous souhaitons insister sur l'importance du rôle que



devront jouer nos scientifiques en général, et les membres de l'Académie Hassan II des sciences et techniques en particulier, afin de contribuer à relever les défis du développement et principalement ceux du développement humain.

A cet égard, la recherche scientifique, le développement technologique et l'innovation doivent servir ce chantier essentiel et vital qui vise l'amélioration des conditions de vie de nos citoyens et la préservation de leur dignité, outre le fait d'initier une action inlassable pour favoriser leur intégration dans la société du savoir.

Mesdames et Messieurs les académiciens,

Notre souhait est que notre Académie puisse contribuer à faire de la société marocaine une société productive, ouverte sur les sciences et les technologies de l'heure, convaincue des valeurs du dialogue entre les cultures, et fidèle aux nobles idéaux qui ont toujours été les siens et qui se fondent sur la solidarité et la coexistence dans la dignité et le respect de l'autre.

En remerciant vivement les membres étrangers qui ont bien voulu s'associer à notre noble combat et les membres marocains qui s'y engagent tout aussi résolument, Nous leur disons qu'ils trouveront toujours auprès de Nous bienveillance et soutien.

Puisse Dieu couronner de succès vos actions afin que l'Académie Hassan II des sciences et techniques soit une institution phare pour la réalisation de la coopération scientifique et pour l'élargissement du rayonnement des sciences et du savoir.

Que la paix, la miséricorde et la bénédiction de Dieu soient sur vous.»

**ADDRESS BY HIS MAJESTY KING MOHAMMED VI
AT THE INAUGURATION OF THE HASSAN II ACADEMY
OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Royal Palace of Agadir, 2006 May 18**



**Praise be to God.
Peace and blessings be upon the Prophet, His Kith and Kin.**

**Distinguished Members of the Academy,
Ladies and Gentlemen,**

It gives me great pleasure to inaugurate the Hassan II Academy of Science and Technology, chair its first session, and set it on track for a promising future.

I should like to take this opportunity to recall, with deep respect and reverence, the action undertaken by my venerable father, His Majesty King Hassan II, may he rest in peace, for it is to him that we owe the founding of this institution. Indeed, His Majesty spared no effort to promote our country as a land for dialogue and for fruitful interaction between scientists and scholars.

Through this inauguration, we are showing how committed we are to science and learning, given the direct bearing they have on our country's development and progress.

With such a distinguished membership, this Academy will not only strengthen bonds between Moroccan researchers at home and abroad, but also foster closer ties with the international scientific community, through the Academy's associate members, who have kindly agreed to share their scientific expertise and competence.

I am sure this young institution will find the best way to discharge its mission and muster the means and resources needed to promote advanced scientific research, building on a gradual approach based on realistic programming and a future-oriented vision that targets priority areas. The ultimate objective is to serve our country and, at the same time, contribute to the advancement of global science.

I have launched many reforms designed to pave the way for the future, with hope and optimism. I have also seen to it the country embarks on major development projects, making sure, in particular, that the necessary infrastructure for our country's social and economic development is available.

As we celebrate the first anniversary of the National Initiative for Human Development, I wish to underline the key role our scientists, and especially the members of the Academy, should play in helping the country rise to the challenges of development, especially those relating to human development.

Scientific research, technological advancement, innovation and creativity must contribute to this crucial project, which is designed to upgrade the living conditions of our citizens, preserve their dignity, and promote their integration into the knowledge-based society.



**Distinguished Members of the Academy,
Ladies and Gentlemen,**

We hope this Academy will contribute to making ours a productive society; one which is open to modern science and technology, committed to the values of cultural dialogue, and constantly attached to the lofty principles and ideals in which we have always believed, and which are based on solidarity, coexistence, dignity for all and respect for others.

I wish to express my sincere thanks to the foreign academicians for joining us in this noble mission, and to their Moroccan counterparts, for their enthusiasm and determination. I want you all to know that you will always have my support and greatest respect.

I pray that the Almighty grant you every success, so that the Hassan II Academy of Science and Technology may develop into a prominent institution dedicated to scientific cooperation and the advancement of science.

Wassalamu alaikum warahmatullah wabarakatuh.

**DISCURSO DE SU MAJESTAD EL REY MOHAMMED VI
CON OCASION DE LA INSTALACION DE LA ACADEMIA
HASSAN II DE CIENCIAS Y TECNICAS**

Palacio Real de Agadir, 18 de Mayo de 2006



"Loor a Dios, la oración y saludo sean sobre nuestro señor Enviado de Dios, su familia y compañeros.

**Señoras y Señores Académicos,
Señoras y Señores,**

Es para Nos un motivo de orgullo proceder en el día de hoy a la instalación de la Academia Hassan II de Ciencias y Técnicas, así como presidir su primera sesión e inaugurar su prometedora marcha.

En este momento histórico, recordamos, con todo engrandecimiento y respeto, el alma de Nuestro Venerado Padre, Su Majestad el Rey Hassan II, Dios le recoja en su Misericordia, que ha tenido el mérito de la creación de esta institución, materializando, a través de la misma, Su Real Voluntad de afianzar el puesto que nuestro país ocupa en tanto que tierra del diálogo y punto de confluencia de las personalidades científicas e intelectuales.

Así pues, con la instalación de la presente academia, queremos reafirmar Nuestro sólido compromiso de asumir la vía de la adquisición de la sabiduría, por todos los efectos positivos que ello tiene sobre el progreso de nuestro país.

Esta academia, por su destacada composición, va a contribuir en la consolidación de los lazos que unen a los investigadores marroquíes, tanto dentro como fuera del país, así como en arraigar las relaciones con la comunidad científica internacional, gracias a los miembros asociados de la misma, que han querido poner sus capacidades científicas a su disposición.

Tenemos toda la seguridad de que nuestra joven institución va a trazar correctamente las vías adecuadas para la realización de su misión, movilizand todas las energías y medios más eficientes, a fin de llevar a cabo una investigación científica desarrollada, al utilizar una metodología progresiva basada en una programación realista y en una visión prospectiva que busca promover los sectores prioritarios, tomando en consideración el objetivo supremo del servicio a nuestra Nación y la contribución al progreso de las ciencias en todas sus dimensiones universales.

Numerosas son las reformas que Hemos lanzado, mirando hacia el futuro, con confianza y esperanza; así como Hemos procurado que Marruecos se integre en grandes proyectos, sobre todo, estableciendo las infraestructuras tendentes a procurar el desarrollo económico y social de nuestro país.

Por lo tanto, en el día de hoy, al conmemorar el primer aniversario del lanzamiento de la Iniciativa Nacional para el Desarrollo Humano, queremos subrayar la importancia del papel eficiente que van a desempeñar nuestros científicos, de manera general, y los miembros de la Academia, de modo más particular, con el fin de tomar parte en el enfrentamiento a los desafíos planteados



por el desarrollo, sobre todo en lo que se refiere a los aspectos humanos del mismo.

En este contexto, el investigador en el dominio científico y del desarrollo tecnológico y de la innovación y creación, ha de estar al servicio de esta obra vital, que busca promover la situación de nuestros ciudadanos, preservar su dignidad y procurar permanentemente su integración en la sociedad de saber.

Señoras y Señores académicos,

Albergamos la esperanza de que nuestra academia pueda contribuir en hacer que la sociedad marroquí sea productiva y abierta sobre las ciencias y las tecnologías modernas, asumiendo los valores del diálogo entre las culturas y fiel a los ideales que siempre le han animado, al basarse en la solidaridad y en la convivencia, dentro de la dignidad y del respeto del otro.

Así pues, al expresar todos Nuestros agradecimientos a los miembros extranjeros que han aceptado incorporarse a nosotros, con el fin de emprender ésta batalla de nobles objetivos, así como a los miembros marroquíes que han asumido dicho proceso, de manera firme y decidida, queremos reafirmar, a todos ellos, Nuestra constante Solicitud Real y permanente apoyo.

A Dios Todopoderoso imploramos para que corone con el éxito vuestros esfuerzos y haga que la academia Hassan II de las Ciencias y Técnicas sea una institución avanzada para la realización de la cooperación científica así como para ampliar el ámbito de la radiación de las ciencias y de la sabiduría.

El saludo la bendición de dios el altísimo y sus gracias sean con vosotros".

MEMBRES DE L'ACADEMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES

L'article 4 du dahir portant loi n° 1-93-364 tel que modifié par le dahir n° 1-00-205 stipule que :

L'Académie se compose de soixante membres dont trente citoyens du Royaume, qualifiés de membres résidents et trente personnalités de nationalité étrangère qui ont la qualité de membres associés.

L'Académie comprend également trente membres correspondants choisis, parmi les personnalités scientifiques et les représentants des secteurs économiques; la durée du mandat des membres correspondants est de quatre ans renouvelables une fois.



The article 4 of Dahir encating Law n° 1-93-364 as modified by Dahir n° 1-00-205 stipulates that :

The Academy shall have a membership of sixty, thirty of such members shall be citizens of the Kingdom of Morocco. They shall be refered to as resident members. The other thirty shall be foreign nationals with associate members status.

The Academy shall also include thirty corresponding members to be selected among prominent scientists and representatives of various sections of the business community. Corresponding members shall serve a 4 - year term of office, renewable once.

**PREMIERS MEMBRES RESIDENTS ET ASSOCIES
DE L'ACADEMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES**

NOM	PROFESSION	TITRE	COLLEGE SCIENTIFIQUE
Driss ABOUTAJDINE	Professeur -Physique Faculté des Sciences - Rabat	Membre résident	Sciences de la Modélisation et de l'Information
Daoud AIT-KADI	Professeur Productique et génie industriel Université Laval – Canada	Membre résident	Sciences de la Modélisation et de l'Information
Mohamed AIT-KADI	Professeur Président du Conseil Général du Développement Agricole	Membre résident	Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau
Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH	Président de l'Université Al Akhawayn	Membre résident Membre de la Commission de Fondation	Etudes Stratégiques et Développement Economique
Abdelilah BENYOUSSEF	Professeur - Physique Faculté des Sciences – Rabat	Membre résident	Sciences Physiques et Chimiques
Abdellatif BERBICH	Professeur - Médecine interne Faculté de Médecine - Rabat Secrétaire perpétuel de l'Académie du Royaume du Maroc	Membre résident Membre de la Commission de Fondation	Sciences et Techniques du Vivant
Jean-Jacques BONNET (France)	Professeur-Université Paul Sabatier Directeur du Laboratoire de Chimie de Coordination du CNRS	Membre associé	Sciences Physiques et Chimiques
Mostapha BOUSMINA	Professeur de génie chimique Département de génie chimique Chaire de Canada sur la physique des polymères et les nanotechnologies	Membre résident Membre de la Commission de Fondation	Sciences Physiques et Chimiques

NOM	PROFESSION	TITRE	COLLEGE SCIENTIFIQUE
Michael BRADY (Grande Bretagne)	Professor of Information Engineering Oxford University (UK)	Membre associé	Sciences de la Modélisation et de l'Information
Juan Carlos CASTILLA ZENOBI (Chili)	Membre de l'Académie Nationale des USA Facultad de Ciencias Biológicas – Departamento de Ecología & Centro de Estudios Avanzados en Ecología & Biodiversidad	Membre associé	Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau
Taïeb CHKILI	Professeur-Fac de neurologie Président Université Mohammed V-Souissi	Membre résident	Sciences et Techniques du Vivant
Silvio CRESTANA (Brésil)	Director-President of Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria «EMBRAPA»	Membre associé	Sciences et Techniques du Vivant
Jean-Michel DERCOURT (France)	Professeur – Université Pierre et Marie Curie (Paris) Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences (France)	Membre associé Membre de la Commission de Fondation	Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer
Rajae EL AOUD	Directrice Institut d'Hygiène – Rabat	Membre résident	Sciences et Techniques du Vivant
Noureddine EL AOUI	Professeur - Economie Faculté de Droit –Rabat	Membre résident	Etudes stratégiques et développement économique
Farouk EL-BAZ (Egypte – USA)	Director of the Center of Remote Sensing Boston University	Membre associé	Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau
Ahmed EL HASSANI	Professeur – Sciences de la terre Directeur de l'Institut Scientifique Université Mohamed V Agdal – Rabat	Membre résident	Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau

NOM	PROFESSION	TITRE	COLLEGE SCIENTIFIQUE
Abdelhaq EL JAI	Professeur – Mathématiques Université Perpignan - France	Membre résident	Sciences de la Modélisation et de l'Information
El Mokhtar ESSASSI	Professeur - Chimie Faculté des Sciences - Rabat	Membre résident Secrétaire perpétuel	Sciences Physiques et Chimiques
Omar FASSI-FEHRI	Professeur - Mécanique Faculté des Sciences Rabat	Membre résident	Sciences Physiques et Chimiques
Gerald G. FULLER (USA)	Fellow of the Academy of Engineering Professor Department Chemical Engineering	Membre associé	Sciences Physiques et Chimiques
Francisco GARCIA –GARCIA (Mexique)	Director General de Gestión Forestal y Suelos – Mexico	Membre associé	Sciences et Techniques du Vivant
Malik GHALLAB	Délégué Général à la recherche et au transfert pour l'innovation à l'INRIA France	Membre résident Membre de la Commission de Fondation	Sciences de la Modélisation et de l'Information
Claude GRISCELLI (France)	Professeur de pédiatrie et de génétique médicale Institut Necker Faculté de Médecine – Université René Descartes - France	Membre associé	Sciences et Techniques du Vivant
Mohammed JELLALI	Ingénieur en Sciences de l'eau Conseiller auprès du Premier Ministre	Membre résident	Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau
Moustapha KASSE (Sénégal)	Doyen Honoraire de la Faculté des Sciences Economiques et de Gestion Directeur National du PTCI	Membre associé	Etudes stratégiques et développement économique

NOM	PROFESSION	TITRE	COLLEGE SCIENTIFIQUE
Abderrahim MAAZOUZ	Professeur – INSA Département de Génie Mécanique Conception Lyon – France	Membre résident	Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
Carlos Martinez-ALONSO (Espagne)	Professeur d’immunologie Président du Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique (CSIC – Madrid)	Membre associé Membre de la Commission de Fondation	Sciences et Techniques du Vivant
John J. O’REILLY (Grande Bretagne)	Vice Chancellor of Cranfield University	Membre associé	Sciences de la Modélisation et de l’Information
Driss OUAZAR	Professeur – Hydrologie – EMI Université Mohamed V Agdal – Rabat	Membre résident	Sciences et Techniques de l’environnement, de la terre et de l’eau
Youssef OUKNINE	Professeur – Mathématiques - Faculté des Sciences Université Cadi Ayyad – Marrakech	Membre résident	Sciences de la Modélisation et de l’Information
Valeriano RUIZ HERNANDEZ (Espagne)	Professeur – Génie électrique- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Universidad de Sevilla	Membre associé	Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
El Hassan SAIDI	Professeur – Physique Faculté des Sciences Rabat	Membre résident	Sciences Physiques et Chimiques
Erik SANDEWALL (Suède)	Professeur of Computer Science Université Linkoping- Suède Membre de l’Académie Royale de Suède	Membre associé	Sciences de la Modélisation et de l’Information
Albert SASSON	Professeur - Sciences biologiques Consultant auprès UNESCO	Membre résident Membre de la Commission de Fondation	Sciences et Techniques du Vivant

NOM	PROFESSION	TITRE	COLLEGE SCIENTIFIQUE
Julio SEGURA (Espagne)	Professeur de Macroéconomie Et microéconomie Université Complutense de Madrid	Membre associé	Etudes stratégiques et développement économique
Philippe TAQUET (France)	Professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle Membre de l'Académie des Sciences	Membre associé	Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau
Philippe A. TANGUY (Canada)	Professeur - Département of Chemical Engineering - Ecole Polytechnique – Montréal (Canada) Corporate Science&Technology Total American Services Inc. Houston	Membre associé Membre de la Commission de Fondation	Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
Susumu TONEGAWA (Japon - USA)	Professor of Biology- Massachusetts Institute of Technology Université Kyoto – Japon Prix Nobel de Physiologie et Médecine 1987	Membre associé	Sciences et Techniques du Vivant
Yu YONGDING (Chine)	Director of Institute of world Economics and Politics Chinese Academy of Social Sciences	Membre associé	Etudes stratégiques et développement économique
André ZAOUÏ (France)	Professeur – Micromécanique des Matériaux Ecole Polytechnique - France Membre de l'Académie des Sciences - France	Membre associé	Sciences Physiques et Chimiques

**PREMIERS MEMBRES CORRESPONDANTS DE L'ACADEMIE
HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES**

NOM	PROFESSION	COLLEGE SCIENTIFIQUE
Omar ASSOBEI	Professeur – Sciences de la vie Faculté des Sciences – El Jadida	Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau
Abdelmalek AZIZI	Professeur - Mathématiques Faculté des Sciences - Oujda	Sciences de la Modélisation et de l'Information
Mohammed BELAICHE	Professeur - Physique Ecole Normale Supérieure Rabat	Sciences Physiques et Chimiques
Mohamed BERRIANE	Professeur - Géographie Doyen – Faculté des Lettres - Rabat	Etudes stratégiques et développement économique
Mohamed BESRI	Département of Plant Pathology Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II – Rabat	Sciences et Techniques du Vivant
Badia BOUAB	Professeur – Paléontologie Faculté des Sciences - Rabat	Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau
Yahia BOUGHALEB	Doyen - Faculté des Sciences El Jadida	Sciences Physiques et Chimiques
Ali BOUKHARI	Professeur -Chimie Doyen - Faculté des Sciences - Kénitra	Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
Tijani BOUNAHMIDI	Professeur - Vice-Président Université Mohamed V – Agdal Rabat	Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique
Mohammed CHERKAOUI	Professeur – Mécanique Université Metz – France	Sciences Physiques et Chimiques

NOM	PROFESSION	COLLEGE SCIENTIFIQUE
Rajaa CHERKAOUI EL MOURSLI	Professeur – Physique Faculté des Sciences Rabat	Sciences Physiques et Chimiques
Nadia GHAZZALI	Professeur - Mathématiques Départ. Maths et de Statistique Université Laval (Québec)	Sciences de la Modélisation et de l'Information
Abdelali HAOUDI	Professor – Department of Microbiology and Molecular Cell Biology Eastern Virginia Medical School USA	Sciences et Techniques du Vivant
Sellama NADIFI	Professeur de Génétique et immunologie Faculté de Médecine Casablanca	Sciences et Techniques du Vivant
Abdelaziz SEFIANI	Professeur - Génétique Faculté de Médecine – Rabat Directeur Département Génétique médicale (INH – Rabat)	Sciences et Techniques du Vivant
Khalid SEKKAT	Professeur – Economie Université Libre de Bruxelles Belgique	Etudes stratégiques et développement économique
Zouheir SEKKAT	Professeur – Nanotechnologies AUI (School of Science and Engineering) Osaka University	Sciences Physiques et Chimiques

NOM	PROFESSION	COLLEGE SCIENTIFIQUE
Jean SWINGS (Belgique)	Professeur - Microbiologie Université de Ghant (Belgique) Directeur du Laboratoire de Microbiologie de Ghant	Sciences et Techniques du Vivant
Marcelo DE SOUSA VASCONCELOS (Portugal)	Chairman of Administrative Board – Community Fisheries Control Agency	Sciences et Techniques de l’environnement, de la terre et de l’eau
Mahfoud ZIYAD	Professeur – Chimie Faculté des Sciences - Rabat	Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique

**Préambule du Dahir portant loi n° 1-93-364 du 19 rebia II
1414 (6 octobre 1993)
instituant une Académie Hassan II des sciences et techniques**

**Preamble of the Dahir (Royal Decree) enacting Law
No 1-93-364 issued on Rabii II 19th 1414 H (October
6th 1993), instituting one Academy Hassan II of Science and
Technology (traduction)**

**Preámbulo del Dahir n° 1-93-364 del 19 de rabii II de 1414
(6 de octubre de 1993)
que instituye una Academia Hassan II de Ciencias y Técnicas
(traducción)**



**Feu Sa Majesté le Roi Hassan II, que Dieu l'ait en Sa Sainte Miséricorde
et à qui revient le Mérite de Création de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques**

**Préambule du Dahir portant loi n° 1-93-364
du 19 rebia II 1414 (6 octobre 1993)
instituant une Académie Hassan II des sciences et techniques**

LOUANGE A DIEU SEUL !

(Grand Sceau de Sa Majesté Hassan II)

Que l'on sache par les présentes - puisse Dieu en élever et en fortifier la teneur !

Que Notre Majesté Chérifienne,

Vu la Constitution, notamment son article 101 ;

Après examen par le conseil des ministres réuni le 18 rebia II 1414 (5 octobre 1993);

- ❑ Considérant le rôle croissant de la science dans l'évolution de l'humanité vers plus de bien-être matériel et spirituel ;
- ❑ Considérant la maîtrise des sciences et des techniques comme un complément essentiel à la souveraineté territoriale parachevée sous Notre Règne avec l'aide de Dieu et selon le serment que Nous avons fait à Notre Vénéré Père, Sa Majesté Mohammed-V, Dieu le garde en sa miséricorde ;
- ❑ Considérant l'importance de la créativité scientifique et de l'innovation technologique dans les processus de développement social et de la croissance économique des nations modernes ;
- ❑ Considérant que le Maroc est riche de ses ressources humaines, fruit d'efforts considérables consentis depuis notre indépendance dans l'éducation et la formation scientifique de Nos chers sujets ;
- ❑ Considérant la nécessité d'une plus grande intégration de l'université en particulier et des institutions de recherche scientifique et technique en général, dans le tissu socio-économique du pays ;
- ❑ Considérant le rôle des échanges et de la communication dans la valorisation, l'accroissement et la diffusion du savoir scientifique et des savoir-faire technologiques ;
- ❑ Considérant que notre culture arabo-musulmane valorise la curiosité scientifique autant que l'aspiration à la vertu ;
- ❑ Considérant que la situation géographique du Maroc le dispose naturellement à accueillir tous les talents désireux de partager la connaissance scientifique et technique considérée comme un patrimoine universel ;

- ❑ Considérant le besoin d'infléchir les activités de recherche scientifique dans des directions utiles à l'homme et de contenir leurs applications techniques dans les limites d'une éthique transcendante ;
- ❑ Considérant que les manifestations de la pensée créatrice doivent être reconnues et honorées par les institutions de l'Etat ;
- ❑ Concevant tout le bien que Notre cher peuple, ainsi que tous les peuples qui partagent son aspiration à une jouissance pacifique des bienfaits matériels et intellectuels que procure la science, pourront recueillir de l'existence d'une haute institution moralement et activement garante des principes susmentionnés ;
- ❑ Désirant que ladite institution prenne forme et appellation d'Académie Hassan II des sciences et techniques et qu'elle soit placée sous Notre protection tutélaire directe ;
- ❑ Désirant que cette Académie soit composée d'hommes et de femmes que leurs travaux, leur talent, leur science et leur sagesse auront hissés aux premiers rangs de la communauté scientifique internationale ;
- ❑ Désirant qu'ils constituent une société d'égaux se recrutant librement sur la seule considération de leur mérite personnel et sans autre condition à la validité de leur élection que Notre agrément ;
- ❑ Désirant qu'ils jouissent du plus grand respect et de la plus haute dignité dans l'Etat ;
- ❑ Désirant qu'ils puissent, jusqu'à la fin de leur existence, nous apporter à Nous-mêmes, sur Notre demande, et dans la suite des temps à Nos successeurs ainsi qu'à Notre peuple le fruit de leur science et de leur sagesse ;
- ❑ Désirant qu'ils s'associent, en nombre égal, à ceux de leurs pairs qui, dans les différentes parties du monde scientifique et dans les multiples disciplines de la connaissance scientifique, auront contribué au progrès de la civilisation et en auront recueilli la plus grande gloire ;
- ❑ Désirant que ces associés bénéficient des mêmes prérogatives et privilèges ;
- ❑ Désirant que cette Académie puisse être citée comme une référence dans tous les domaines de la science, de la technologie et de l'éthique qui s'y attache ;
- ❑ Désirant que les travaux qui y seront conduits aient pour objet la quiétude morale des sociétés et leur prospérité matérielle et intellectuelle ;
- ❑ Souhaitant qu'elle soit le lieu d'une haute réflexion destinée à éclairer l'humanité dans sa quête d'une ère nouvelle, à lui faciliter la maîtrise des mutations qu'elle traverse et à favoriser l'accomplissement du projet divin mis en elle;

Priant Dieu qu'il veuille que l'Académie Hassan II des sciences et des techniques ainsi créée se perpétue selon Nos intentions.

A DECIDE CE QUI SUIT :

- Il est créé une Académie Hassan II des sciences et techniques placée sous la protection tutélaire de Notre Majesté.

L'Académie, dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière, est régie par les dispositions du présent dahir portant loi et des textes pris pour son application.

- L'Académie a pour mission la poursuite des objectifs énoncés dans le préambule et, notamment :

- ❖ En matière de promotion et de développement de la recherche scientifique et technique :
 - ❑ donner à la science et à la recherche scientifique et technique une place majeure dans l'échelle des valeurs nationales ;
 - ❑ proposer aux autorités concernées les voies et les moyens capables de développer l'esprit scientifique au sein de la société marocaine ;
 - ❑ offrir aux chercheurs et scientifiques nationaux une tribune particulière d'expression et de communication ;
 - ❑ assurer une communication de haut niveau entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale ;
 - ❑ entreprendre des actions de diffusion de la science par des colloques, des manifestations scientifiques, des publications et par la création de bibliothèques scientifiques ;
 - ❑ évaluer et apprécier les découvertes qui lui seraient soumises ;
 - ❑ veiller au respect de la morale et de l'éthique dans l'application de la recherche scientifique et technique.

- ❖ En matière de politique nationale de la recherche scientifique et technique :
 - ❑ contribuer à la définition des orientations générales fondamentales du développement scientifique et technique ;
 - ❑ émettre des recommandations sur les priorités et sur les moyens susceptibles d'assurer la réalisation des objectifs nationaux en matière de recherche ;
 - ❑ contribuer à l'élaboration d'une politique des ressources humaines scientifiques de nature à attirer des éléments de valeur et, en particulier, à offrir les structures d'accueil et l'environnement intellectuel et matériel suffisants pour fixer efficacement dans le pays, les jeunes chercheurs marocains de valeur, sollicités ou employés par les laboratoires et centres de recherche étrangers ;
 - ❑ suivre en permanence, au profit de la communauté nationale, les progrès de la technologie.

- ❖ En matière d'évaluation et de financement des programmes de recherche scientifique et technique :
 - ❑ réaliser des études, des analyses et des enquêtes sur le secteur de la recherche ;
 - ❑ encourager la réalisation des programmes de recherche définis en fonction des priorités nationales, en apprécier la pertinence et la qualité scientifique et leur affecter, le cas échéant, les ressources financières appropriées ;
 - ❑ assurer le suivi et l'évaluation des actions des programmes de recherche soutenus par l'Académie et entreprendre toute action en vue de renforcer les laboratoires et toute autre structure de recherche existants ou à créer.

- ❖ En matière d'intégration de la recherche scientifique et technique dans l'environnement socio-économique national et international :
 - ❑ proposer aux autorités compétentes les modalités de coopération dans le domaine de la recherche scientifique et technique pour participer à des programmes de recherche régionaux ou internationaux et donner son avis sur le suivi des activités des structures nationales de recherche qui sont associées à ces programmes ;
 - ❑ contribuer à l'instauration d'une concertation permanente entre le monde de la recherche et de l'innovation technologique et celui des activités économiques et sociales.

**Preamble of the Dahir (Royal Decree) enacting Law
No 1-93-364 issued on Rabii II 19th 1414 H
(October 6th 1993), instituting one Academy Hassan II
of Science and Technology (traduction**

PRAISE BE TO GOD

(The Great Seal oh His Majesty King Hassan II)

Let it be known hereby, under the present (decree) may it be enhanced and corroborated,

That Our Sherifian Majesty,

Pursuant to the Constitution, mainly Article 101 thereof;

After due consideration of the subject at the Cabinet meeting of Rabii II 18th 1414 (October 5th 1993);

- ❑ Given the fact that science is becoming increasingly instrumental in (bringing about) the spiritual as well as the material advancement of mankind;
- ❑ Considering that mastering science and technology is a key supplement to back up territorial integrity, with the help of God and in fulfillment of the oath We have taken to this effect before Our revered father, His Majesty King Mohammed V- blessed be his soul-;
- ❑ Considering that creativity and innovation in science and technology have a significant impact on social and economic development in modern nations;
- ❑ Considering that Morocco's wealth actually lies in its human resources whose development is the outcome of the considerable efforts that have been made since independence to provide Our loyal subjects with adequate education and scientific training;
- ❑ Considering the need for the university and, more broadly, for scientific and technical research centers, to be in keeping more and more with the nation's economic and social environment;
- ❑ Given the fact that communication and interaction play a key role in upgrading, expanding and disseminating scientific knowledge and technical know-how;
- ❑ Considering that Arab-Islamic culture encourages the pursuit of scientific knowledge as much as it values the quest for virtue;

- ❑ Considering that Morocco, thanks to its geographical location, is naturally inclined to be a meeting place for all gifted people who are willing to share scientific and technical knowledge, which is regarded as universal heritage;
- ❑ Considering that it is necessary for scientific research policies to be reshaped and attuned to human needs, and for their technical applications to be kept within overriding ethical boundaries;
- ❑ Considering that creative intellectual pursuit and their manifestations must be acknowledged and upheld by state institutions;
- ❑ Aware of the fact that Our loyal subjects, together with all peoples who look forward to using profitably and peacefully the material and intellectual yields derived from science, may greatly benefit from a high institution which seeks to uphold and support the above principles;
- ❑ Looking forward to this institution being established under Our patronage and protection, and given the name of “Hassan II Academy of Science and Technology”;
- ❑ Given Our desire for the Academy’s membership to be made up of men and women whose talent, enlightenment and wisdom have earned them a prominent standing within the international scientific community;
- ❑ Wishing to see them aggregate into a learned society with equal status for all members who shall be elected freely for no other consideration but that of their personal merit, and subject to no condition but that of securing Our own consent;
- ❑ Wishing that they be held in the highest esteem and that they enjoy a prominent standing within the State;
- ❑ Wishing that they retain throughout the rest of their life the ability to make the fruit of their knowledge and wisdom available to Us at Our request, as well as to Our successors and to Our people;
- ❑ Looking forward to seeing them team up, on a parity basis, with their peers who boast different scientific backgrounds, belong to various segments of the international scientific community, and have made a contribution to the advancement of civilization that has earned them the highest repute;
- ❑ Given Our desire for these associate members to enjoy the same prerogatives and privileges as those granted to their peers;
- ❑ Given Our desire to ensure that the Academy is looked at and turned to as a reference in all scientific and technological matters and in related ethical issues;
- ❑ Wishing to ensure that the ultimate goal of the Academy’s work is to foster moral serenity in society and to achieve the material prosperity of the nation as well as its intellectual advancement;
- ❑ Looking forward to see this Academy as an appropriate place for pondering on how to provide mankind with enlightenment and guidance in its effort to usher in a new era, help it cope with the dramatic changes underway, and facilitate the accomplishment of God’s designs upon it;

Praying God that the Hassan II Academy of Science and Technology, being established, may, forever, live up to Our expectations.

Our Majesty has resolved the following:

- An Academy, called “Hassan II Academy of Science and Technology” and referred to hereinafter as “The Academy” shall be established under Our Majesty’s protection and patronage.

As a financially independent legal entity, the Academy shall be governed by the provisions of the present Dahir and implemented in accordance with the relevant by-laws.

- The Academy shall seek to achieve the objectives set forth in the preamble, mainly the following:

❖ WITH RESPECT TO THE PROMOTION AND DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH :

- ❑ Ensure that scientific and technical research ranks high among the values upheld by the nation;
- ❑ Make recommendations to the relevant circles about the ways and means to kindle the scientific spirit within Moroccan society;
- ❑ Provide local scientists and researchers with a special forum for debate and interaction;
- ❑ Foster high-level communication channels between national scientists and the international scientific elite;
- ❑ Work for the dissemination of science by organizing panels and scientific events, publishing relevant material, and opening science libraries;
- ❑ Review and evaluate scientific findings and innovations submitted for its consideration;
- ❑ Ensure that the scientific and technical research applications are in keeping with moral and ethical prescriptions.

❖ WITH RESPECT TO NATIONAL AND TECHNICAL RESEARCH POLICY :

- ❑ To help develop general, basic guidelines for the development of science and technology;
- ❑ To put forward recommendations about priorities and how to achieve the nation’s targets in terms of research;
- ❑ To help develop a policy in support of human resources with scientific training. The aim is to attract high-profile scientists and, more importantly, promote an adequate intellectual and material environment so as to provide gifted Moroccan researchers, who are sought or employed by foreign research laboratories and centers, with an efficient incentive to stay in their country;

- ❑ To monitor continuously the progress made in the field of technology for the benefit of the nation.

❖ WITH RESPECT TO ASSESSING AND FUNDING SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH PROGRAMS :

- ❑ To carry out studies, analyses and surveys in connection with research activities;
- ❑ To encourage implementation of research programs which have been set in light of the nation's priorities, determine their relevance and scientific value, and, when necessary, allocate appropriate financial resources;
- ❑ To monitor and assess the implementation of research programs sponsored by the Academy, and to take all relevant steps to enhance the resources of existing and projected research laboratories and other facilities.

❖ WITH RESPECT TO THE INTEGRATION OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH ACTIVITIES IN THE SOCIAL AND ECONOMIC ENVIRONMENT AT THE NATIONAL AND INTERNATIONAL LEVELS :

- ❑ To make recommendations to the relevant circles on cooperation practices in the field of scientific and technical research, with a view to participating in regional or international research programs; and to advise on the monitoring of activities carried out by national research institutions involved in these programs;
- ❑ To help establish mechanisms for consultation, on a Permanent basis, between the research and technical innovation community and its social and economic counterpart.

**Preámbulo del Dahir n° 1-93-364 del 19 de rabii II de 1414
(6 de octubre de 1993)
que instituye una Academia Hassan II de Ciencias y Técnicas
(traducción)**

LOOR A DIOS ÚNICO !

(Gran Sello de Su Majestad Hassan II)

**Sébase por las presentes – Haga Dios que su contenido sea alzado y fortificado !
Que Nuestra Majestad Jerifiana,
Dada la Constitución, especialmente su artículo 101;
Tras examen por el Consejo de ministros reunido el 18 de rabii II de 1414 (5 de octubre de 1993);**

- ❑ Considerando el papel creciente de la ciencia en la evolución de la humanidad hacia un mayor bienestar material y espiritual;
- ❑ Considerando el dominio de las ciencias y de las técnicas como un complemento esencial de la soberanía territorial acabada bajo Nuestro Reinado, con la ayuda de Dios y según el juramento que Hemos prestado ante Nuestro Venerado Padre, Su Majestad Muhammed V, Dios le tenga en su Misericordia ;
- ❑ Considerando la importancia de la creatividad científica y de la innovación tecnológica en los procesos de desarrollo social y de crecimiento económico de las naciones modernas;
- ❑ Considerando que Marruecos es rico por sus recursos humanos, fruto de considerables esfuerzos consentidos desde nuestra independencia en la educación y la formación científica de Nuestros queridos súbditos;
- ❑ Considerando la necesidad de una mayor integración de la universidad, en particular, y de las instituciones de investigación científica y técnica en general, en el tejido socioeconómico del país;
- ❑ Considerando el papel de los intercambios y de la comunicación en la valoración, el crecimiento y la difusión del saber científico y de las destrezas tecnológicas;

- ❑ Considerando que nuestra cultura árabemusulmana valoriza la curiosidad científica tanto como la aspiración a la virtud;
 - ❑ Considerando que la situación geográfica de Marruecos lo presta naturalmente a acoger todos los talentos deseosos de compartir el conocimiento científico y técnico considerado como un patrimonio universal;
 - ❑ Considerando la necesidad de orientar las actividades de investigación científica hacia unos rumbos útiles para el hombre y de mantener sus aplicaciones técnicas dentro de los límites de una ética trascendental;
 - ❑ Considerando que las manifestaciones del pensamiento creativo deben ser reconocidas y honradas por las instituciones del Estado;
 - ❑ Concibiendo todo el bien que Nuestro querido pueblo, así como todos los pueblos que comparten su aspiración de gozar pacíficamente de los beneficios materiales e intelectuales que proporciona la ciencia, podrán recoger de la existencia de una alta institución moral y activamente garante de los principios arriba mencionados ;
 - ❑ Deseando que dicha institución tome forma y apelación de Academia Hassan II de Ciencias y Técnicas y que sea colocada bajo Nuestra protección tutelar directa ;
 - ❑ Deseando que esta Academia esté compuesta de hombres y de mujeres, cuyos trabajos, talento, ciencia y sabiduría los hayan alzado a los primeros rangos de la comunidad científica internacional;
 - ❑ Deseando que constituyan una sociedad de pares que se recluten libremente, únicamente sobre la base de sus méritos personales y sin otra condición para la validez de su elección, sino Nuestra aprobación;
 - ❑ Deseando que gocen del mayor respeto y de la más alta dignidad en el Estado;
 - ❑ Deseando que puedan, hasta el fin de su existencia, aportarNos, accediendo a Nuestra petición, y en el futuro a Nuestros descendientes, así como a Nuestro pueblo, el fruto de su ciencia y de su sabiduría;
 - ❑ Deseando que se asocien, en igual número, a sus pares que, en las diferentes partes del mundo científico y en las múltiples disciplinas del conocimiento científico, hayan contribuido al progreso de la civilización, consiguiendo por ello la mayor celebridad;
 - ❑ Deseando que estos asociados se beneficien de las mismas prerrogativas y privilegios;
 - ❑ Deseando que esta Academia pueda ser citada como una referencia en todos los ámbitos de la ciencia, de la tecnología y de la ética relacionada con las mismas;
 - ❑ Deseando que los trabajos llevados a cabo en la misma, tengan por objeto la quietud moral de las sociedades y su prosperidad material e intelectual;
 - ❑ Deseando que sea el lugar de una elevada reflexión destinada a iluminar a la humanidad en su búsqueda de una nueva era, a facilitarle el dominio de las mutaciones que atraviesa y a favorecer el cumplimiento del proyecto divino en ella depositado;
- Implorando al Todopoderoso para haga que la Academia Hassan II de Ciencias y Técnicas así creada, se perpetúe según Nuestras intenciones;

Ha decidido lo siguiente:

– Se crea una Academia Hassan II de Ciencias y Técnicas, puesta bajo la protección tutelar de Nuestra Majestad.

Dotada de personalidad moral y de autonomía financiera, la Academia es regida por las disposiciones del presente dahir ley y textos de su aplicación.

- La Academia tiene por misión la búsqueda de los objetivos enunciados en el preámbulo, especialmente:

❖ En materia de promoción y de desarrollo de la investigación científica y técnica :

- otorgar a la ciencia y a la investigación científica y técnica una posición preponderante en la escala de los valores nacionales;
- proponer a las autoridades relevantes las vías y los medios para desarrollar el espíritu científico en el seno de la sociedad marroquí;
- ofrecer a los investigadores y científicos nacionales una tribuna particular de expresión y de comunicación;
- asegurar a cabo una comunicación de alto nivel entre la comunidad científica nacional y la élite científica mundial;
- emprender acciones de difusión de la ciencia por medio de coloquios, manifestaciones científicas, publicaciones y por medio de la creación de bibliotecas científicas;
- evaluar y apreciar los descubrimientos que le serían sometidos;
- velar por el respeto de la moral y de la ética en la aplicación de la investigación científica y técnica.

❖ En materia de política nacional de la investigación científica y técnica:

- contribuir a la definición de las orientaciones generales fundamentales del desarrollo científico y técnico;
- emitir recomendaciones acerca de las prioridades y los recursos necesarios para garantizar la realización de los objetivos nacionales en materia de investigación ;
- contribuir a la elaboración de una política de recursos humanos científicos a fines de atraer elementos de valor y, en particular, a ofrecer las estructuras de acogida y el entorno intelectual y material, que puedan mantener eficazmente en el país los jóvenes investigadores marroquíes de valía, solicitados o empleados por los laboratorios y centros de investigación extranjeros;
- seguir de manera permanente, en beneficio de la comunidad nacional, los progresos de la tecnología.

❖ En materia de evaluación y de financiación de los programas de investigación científica y técnica:

- realizar estudios, análisis e encuestas sobre el sector de la investigación;

- ❑ fomentar la realización de programas de investigación definidos en función de las prioridades nacionales, apreciando su pertinencia y calidad científica y dedicán, llegado el caso, los recursos financieros apropiados;
 - ❑ llevar a cabo el seguimiento y la evaluación de las actividades de los programas de investigación apoyados por la Academia, y emprender las acciones que tienden a reforzar los laboratorios y todas las estructuras de investigación existentes o por crear.
- ❖ En materia de integración de la investigación científica y técnica en el entorno socioeconómico nacional e internacional :
- ❑ proponer a las autoridades competentes las modalidades de cooperación en el ámbito de la investigación científica y técnica a fines de participar en programas regionales o internacionales de investigación y dar su opinión sobre el seguimiento de las actividades de las estructuras de investigación nacionales asociadas a dichos programas;
 - ❑ contribuir a la instauración de una concertación permanente entre el mundo de la investigación y de la innovación tecnológica y el de las actividades económicas y sociales.

TRAVAUX DE L'ACADEMIE

PREMIERE SEANCE

(Jeudi 18 mai 2006 - après midi)

Dans l'après-midi du jeudi 18 mai 2006 l'Académie a poursuivi ses travaux à Rabat au siège de l'Académie du Royaume du Maroc; sa première séance s'est tenue à partir de 16h00 en présence des académiciens et des personnalités invitées.

Au cours de cette séance ont pris la parole :

- Pr. Abdellatif Berbich, membre de la Commission de fondation
- Pr. Jean-Michel Dercourt, membre de la Commission de fondation
- Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel

Au cours de la même séance le Professeur Erik Sandewall donna lecture d'une lettre de Madame Lena Treschow Torell, Présidente de l'Académie Royale suédoise des Sciences de l'Ingénieur, adressée au Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II dans laquelle elle salue la création de cette institution et propose une coopération entre les deux Académies.



Allocution du Pr. Abdellatif BERBICH

*Secrétaire perpétuel de l'Académie
du Royaume,
Membre de la commission de fondation
de l'Académie Hassan II des Sciences
et Techniques*



Au Nom du Dieu clément et miséricordieux,

**Monsieur le Secrétaire perpétuel,
Messieurs et Mesdames les membres,
Mesdames et Messieurs,**

Que la paix et la bénédiction de Dieu soient sur vous.

Nous vivons aujourd'hui une journée exceptionnelle dans l'histoire du Royaume du Maroc, journée pendant laquelle Sa Majesté le Roi Mohammed VI a bien voulu, -que Dieu Le préserve- procéder à l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, dont la création était tant attendue par les scientifiques au Maroc, afin qu'ils retrouvent au Maroc une Institution analogue à celles existantes dans les pays avancés et puissent disposer d'un forum où ils pourraient échanger leurs connaissances, comparer leurs expériences et contribuer à travers ce forum à élever le niveau scientifique et à mettre en pratique les techniques indispensables au développement dont le pays a besoin et que Sa Majesté le Roi Mohammed VI conduit avec beaucoup de dévouement et de constance.

Et à cette occasion, nous nous remémorons avec beaucoup d'émotion, Sa Majesté le Roi Hassan II, Que Dieu ait Son âme, et Son initiative historique visant à créer l'Académie, à en définir les finalités et les plans de travail comme inscrits dans le dahir instituant en 1993 cette Académie ; nous nous devons également de rappeler les orientations données par Sa Majesté le Roi Mohammed VI visant à introduire des amendements nécessaires au texte en l'an 2000 afin qu'ils puissent être en adéquation avec le développement permanent de l'esprit scientifique. Ainsi cette institution aura en fait bénéficié de la protection et de l'attention de deux grands souverains, qui ont tenu à améliorer toujours plus cette réalisation afin qu'elle soit au niveau le meilleur atteint dans les domaines de l'innovation et de la créativité.

Mesdames et Messieurs,

Il est important de voir cette jeune Académie comme le couronnement de deux initiatives, qui ont précédé sa création et dont l'objectif était la promotion de la recherche scientifique, et une meilleure coordination en ce secteur.

La première initiative a concerné la création, conformément au dahir de 1976, du Centre National de Coordination et de Planification de la Recherche Scientifique et Technique ; en fait ce centre devait rassembler les éléments disparates dans la recherche scientifique et mettre en place une structure capable de coordonner les efforts faits par les universités et centres de recherche.

La deuxième initiative, créée en 2001 concerne le Centre National de la Recherche Scientifique et Technique, qui est venu remplacer le premier avec des objectifs élargis et pouvant créer des réseaux et attirer les compétences. Ces deux centres ont travaillé avec beaucoup de dévouement, et avec une grande compétence et méritent toute notre considération.

Mesdames et Messieurs,

Lors de cette première réunion de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, je suis heureux de saluer ses membres, réunis aujourd'hui au sein de l'Académie du Royaume, que Sa Majesté le Roi Mohammed VI a honoré de sa présence en l'an 2000 au moment où elle a commémoré le 20^{ème} anniversaire de sa création.

Sous cette coupole, des organisations nationales ont été créées et des réunions internationales et colloques scientifiques de haut niveau ont été tenus ; et cette salle symbole du génie de l'artisan marocain dans toutes ses dimensions est, en fait, le témoin de l'authenticité de l'architecture marocaine et nous la mettons à la disposition de l'Académie Hassan II pour qu'elle soit le lieu de ses réunions plénières et de ses réunions scientifiques, ce qui est un gage de la solidarité scientifique unissant les deux Académies pour réaliser les nobles finalités qu'elles cherchent toutes les deux à atteindre.

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sera, par la volonté de Dieu, le carrefour des connaissances scientifiques internationales de haut niveau, réunissant une élite des scientifiques distingués de notre époque qui déploient des efforts pour élever le niveau de la science et élargir ses domaines d'application, et surtout dans les domaines auxquels s'attelle Sa Majesté le Roi Mohammed VI, en particulier celui du développement humain qui vise à développer la société d'une façon durable en partant des capacités endogènes et de son génie historique.

Mesdames et Messieurs,

L'esprit scientifique qui adopte l'objectivité comme base de son action, et la vérité comme méthode est un esprit qui dépasse les frontières et qui dépasse également les spécificités pour atteindre la vérité ; la vérité du divers et la vérité de l'être, et quel être. Notre Académie rassemble des compétences scientifiques nonobstant leurs origines et leurs appartenances ; en son sein se trouvent des marocains et des non marocains dont les recherches et les réalisations sur le terrain

prouvent leur niveau élevé. Et ainsi, encore une fois, le Maroc se distingue par sa caractéristique essentielle, celle d'être un carrefour des cultures, un pays de tolérance et surtout un pays d'émulation pour le bien général et un creuset de l'action utile et sérieuse.

A cette occasion, je voudrais remercier Sa Majesté le Roi Mohammed VI pour l'intérêt qu'Il porte à cette Institution scientifique ; nous espérons que nous serons dignes de Sa confiance et que nous serons capables de réaliser nos missions en ayant à l'esprit l'intérêt général et les Hautes orientations de Sa Majesté.

Nous prions Dieu pour qu'Il préserve Sa Majesté le Roi Mohammed VI - Protecteur tutélaire de cette Académie, que Dieu Le glorifie, Le mène au succès et qu'Il puisse Lui donner toute satisfaction en le Prince héritier et qu'il puisse avoir en Son frère le Prince Moulay Rachid le meilleur soutien pour réaliser le bien-être pour ce pays-. Je vous remercie.

**Allocution du
Pr. Jean-Michel DER COURT**

*Secrétaire perpétuel de l'Académie
des Sciences française,
Membre de la commission de fondation
de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques*



**Monsieur le Secrétaire perpétuel,
Mesdames et Messieurs les membres de l'Académie,
Mesdames et Messieurs,**

Ce matin, nous avons eu l'immense honneur de voir Sa Majesté Le Roi Mohammed VI prendre la décision de nommer un certain nombre de scientifiques membres de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Nous nous souviendrons longtemps de cette cérémonie ; en présence du Premier Ministre et du Gouvernement de Sa Majesté, le Souverain a prononcé un texte d'une grande importance sur ce que peut et doit être une Académie. Nous tenons à dire aujourd'hui tout notre respect pour l'action qu'Il a entreprise et aussi tous nos remerciements pour le soin qu'Il a apporté à nous instituer membres de l'Académie qu'Il venait de vivifier.

Et puis, cet après-midi nous avons la grande chance de voir cette salle absolument merveilleuse, cette salle qui doit faire rougir beaucoup d'académiciens relevant d'autres institutions ; c'est une salle qui montre tout l'esprit d'un peuple, c'est une salle neuve qui montre la volonté d'un peuple, d'un Roi et de tous les scientifiques de rejoindre très vite un courant dans lequel ils sont parfaitement à leur place, celui de la science et de la technique. Ces deux événements qui parsèment la journée sont des témoignages extrêmement forts.

Il était particulièrement important que ce soit Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, qui, ayant décidé de mettre en place l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, créée il y a quelques temps, et ceci a été rappelé par notre confrère Pr. Berbich, (il était très important) que soit fondée cette Académie sur la base des textes que sont les statuts, et puis pour permettre et faciliter le démarrage, il fallait un homme de savoir, de diplomatie, d'action et Son choix fut particulièrement

heureux en désignant Monsieur Omar Fassi-Fehri, lui, que nous voyons à l'œuvre toutes les minutes depuis que nous sommes réunis, et qui a su à partir des statuts, et de la volonté royale construire cette Académie, et nous avons eu l'honneur à ses côtés, avec l'appui de Sa Majesté, de faire fonctionner la Commission de Fondation. Tout ceci a conduit à la journée d'aujourd'hui ; et cette journée nous marque beaucoup, et je le crois, parce que cette Académie est riche d'hommes et de femmes qui ont tous en commun l'amour et l'efficacité dans leur profession et qui sont issus de groupes de travail, de lieux de travail différents : les uns sont à l'œuvre dans le Royaume, les autres originaires de ce Royaume ont apporté et apportent leur collaboration à des pays hôtes qui les ont reconnus aptes d'occuper des fonctions de toute première importance dans ces pays, et enfin il y a un certain nombre de personnes, en nombre égal à chacune des deux catégories, qui sont simplement des associés à l'action à venir, membres d'académies ou pas du tout, mais membres toujours adhérents tout à fait exceptionnels de leurs communautés, membres de cette Académie.

Nous sommes donc tous ensemble marqués par le désir d'accroître le savoir, nous savons à quelques rares exceptions près, et je ne suis pas sûr qu'il y en ait parmi nous qui atteignent ces niveaux qui font connaître certains scientifiques aux enfants des écoles, mais, ce que nous souhaitons, nous, c'est apporter notre grain de millet à cette connaissance croissante de génération en génération, au monde et à l'univers.

Et cette Académie précisément, a le devoir de faire en sorte que cet accroissement de savoir soit la base de création, d'innovation et de technique ; et ce couplage de sciences et de techniques qui caractérise notre Compagnie, et je dis avec fierté notre Compagnie, est bien la réunion de ce que les uns et les autres, nous souhaitons.

Et si vous voulez, j'ai mis là quelques phrases de ce que nous espérons, mais c'est une trop longue litanie, je ne vous en donnerai que quelques points :

Nous rêvons par la science et la technique de diminuer la pénibilité du travail des hommes et des femmes en leur substituant la mécanique au travail musculaire; cela paraît rudimentaire, il suffit d'avoir travaillé dans beaucoup de pays pour voir que le nombre de personnes qui usent de leur seul travail musculaire pour agir est encore très considérable.

Un deuxième objectif, éradiquer les maladies, et caractériser et guérir celles-là et les autres, atténuer la souffrance de tous, accroître la productivité des sols sans les stériliser, utiliser correctement l'eau des pluies au bénéfice des objectifs communs.

C'est une litanie, c'est une feuille de route pour cette Académie, pour toutes les académies et elle serait évidemment trop longue à égrener. Cela peut se résumer en ces mots, mieux connaître pour mieux agir au bénéfice des hommes et des femmes; et Monsieur Berbich l'a dit tout à l'heure, cette ouverture de cette Académie est une ouverture d'une tribune, une ouverture de colloque devant faciliter la circulation du savoir, des hommes, et du savoir et de la technique de tous, et ça c'est un objectif qui nous tient tout à fait à cœur.

Les assises aux côtés de nos confrères vont commencer, et il est évident que grâce aux textes fondateurs, nous pouvons agir vite car je crois que maintenant, avec le prestige que confère à notre Académie l'audience de ce matin, la séance d'aujourd'hui doit refléter notre volonté ; si nous traînions quelque peu nous serions peu dignes de la confiance qui nous est faite. Nous serons dignes de cette confiance et nous le serons tous ensemble pour la science, les techniques, celles du monde entier, celles du Royaume et nous ne démeriterons pas de la confiance de Sa Majesté.

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

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



**Excellences,
Mesdames et Messieurs les académiciens,
Mesdames et Messieurs,**

Il est des émotions qui restent à jamais inscrites dans la mémoire ; celle que nous avons vécue tous ensemble ce matin est de celles là.

Ce matin à Agadir, notre émotion était incontestablement très grande lorsque, procédant à l'installation solennelle de notre jeune Académie, Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu L'assiste – a fait l'honneur aux membres de notre Académie de s'adresser à eux, et de leur rappeler les enjeux de la science dans les sociétés modernes, ainsi que les raisons d'être, et les objectifs assignés à notre Institution.

La solennité avec laquelle s'est déroulée l'installation de notre jeune Académie, et la sollicitude royale qui a entouré toute la phase de sa mise en place, traduisent la volonté de Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le garde – de faire intégrer la société marocaine dans la société du savoir et de la connaissance, qui caractérise aujourd'hui, de façon particulière, les sociétés modernes. Qu'il me soit permis au nom de l'ensemble des académiciens de présenter à Sa Majesté le Roi l'expression de notre profonde reconnaissance et de notre déférente gratitude.

Excellences, Mesdames, Messieurs,

Des hommes de sciences, de toutes races et de toutes religions, ont contribué, tout le long des âges, dans toutes les disciplines, à la promotion de la science et au développement technologique considérable que nous connaissons aujourd'hui ; les apports des scientifiques du monde arabo-musulman ont été aussi, au cours de périodes déterminées de l'histoire de l'humanité, importants dans le développement des savoirs; dans de nombreuses disciplines leurs inventions et découvertes ont contribué notablement au progrès scientifique.

Excellences, Mesdames et Messieurs,

Les besoins de communiquer, d'échanger, de confronter, sont indispensables pour les hommes de sciences ; aussi, les institutions dédiées à l'organisation de rencontres de haute réflexion, entre des hommes et des femmes, que leurs recherches, leur expertise, leur savoir et leur sagesse ont placés aux premiers rangs de la communauté scientifique internationale, constituent-elles une des expressions majeures de la volonté d'œuvrer à l'encouragement de la recherche scientifique, tant au niveau national qu'au niveau international.

Il en est ainsi de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, comme l'avait souhaité son Illustre créateur Feu Sa Majesté le Roi Hassan II – Que Dieu bénisse Son âme – dont notre Institution s'enorgueillit de porter le nom, et qui a voulu, que soit inscrit dans le texte de création de cette institution, Son désir de voir ses membres apporter à tous le fruit de leur science et de leur sagesse, en insistant sur l'importance de la créativité scientifique et de l'innovation technologique dans le processus de développement social.

Excellences, Mesdames, Messieurs,

Permettez-moi, ici, d'adresser mes sincères félicitations, à tous les membres de l'académie, résidents, associées ou correspondants, tous hommes ou femmes de science, pour la confiance placée en eux, par Sa Majesté le Roi Mohammed VI. Permettez-moi également de dire de façon particulière, à ceux d'entre eux, venus de l'étranger, qui ont pris sur leur temps précieux, et ont bien voulu accepter de se joindre à nous, combien nous sommes honorés de leur présence parmi nous, et combien l'Académie Hassan II des sciences et techniques compte sur eux pour lui donner l'élan nécessaire à un bon départ.

Conformément aux dispositions du dahir instituant l'Académie Hassan II des sciences et techniques, la commission de fondation, nommée par Sa Majesté le Roi, a accompli sa tâche selon les dispositions prévues par la loi créant notre Institution. Elle s'est penchée sur l'organisation des travaux en son sein, et a jugé utile, pour commencer, de regrouper les différentes compétences au sein de six collèges scientifiques, qui sont : Sciences et Techniques du vivant – Sciences physiques et chimiques – Sciences de la modélisation et de l'information – Sciences et techniques de l'environnement, de la terre et de l'eau – Ingénierie, transfert et innovation technologique – Etudes stratégiques et développement économique.

Elle a également établi un règlement intérieur provisoire de l'Académie ; par ailleurs pensant faire œuvre utile, elle a procédé à une réflexion sur les modalités de définition de la future politique scientifique de l'Académie, consignées dans un document, qu'elle soumet aujourd'hui à votre appréciation ; Il me plaît donc, en cette heureuse occasion, de remercier et féliciter de façon toute particulière, mes collègues, membres de la commission de fondation, pour leur disponibilité, la justesse de leur vue, leur compétence, leur aide, et la qualité du travail qu'ils ont effectué.

Je voudrais aussi remercier ici, le Gouvernement de Sa Majesté et notamment le Premier Ministre, M. Driss Jettou, le Conseiller de Sa Majesté le Roi, M.

Abdelaziz Meziane Belfkih, ainsi que l'Académie du Royaume à travers son Secrétaire perpétuel, le Pr. Abdellatif Berbich, pour toute l'aide matérielle et morale qu'ils ont apportée à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, pendant toute la phase de sa mise en œuvre.

Excellences, Mesdames et Messieurs,

En complémentarité, et en parfaite synergie avec toutes les autres structures scientifiques similaires, l'Académie Hassan II des sciences et techniques est appelée à contribuer à la structuration de la recherche scientifique dans le pays, à l'encouragement de l'intégration de l'université et des institutions de recherche scientifique et technique dans le tissu socio-économique, ainsi qu'à l'évaluation de l'impact réel des efforts consentis sur le positionnement du Maroc dans le monde de la science, et sur son développement économique et social.

Elle interviendra ainsi, en amont du système scientifique national, en contribuant à définir l'orientation et les priorités en matière de recherche, mais aussi en aval, lors des phases d'évaluation ; enfin l'Académie sera aussi en interaction permanente avec ce système par le financement de projets de recherche, et l'aide à la création ou au développement de laboratoires.

Elle est appelée en particulier à contribuer à la définition d'une stratégie scientifique nationale, ciblant des programmes prioritaires d'édification nationale, en relation avec les potentialités humaines disponibles et les atouts naturels du Maroc, à même de lui permettre d'occuper des positions fortes sur le plan international.

Dans le cadre de ces grandes orientations, elle aura à participer à la mobilisation des potentialités scientifiques, au Maroc et à l'étranger, dans le secteur public comme dans le secteur privé, autour de programmes porteurs de développement humain, encourageant l'ouverture du monde de la recherche sur les préoccupations du monde de l'entreprise.

Par ailleurs, et dans le sens des orientations retenues par la charte d'éducation et de formation, l'Académie Hassan II des sciences et techniques, devra œuvrer au développement de la culture scientifique. L'esprit scientifique, le goût de la recherche, ne sont pas innés. Ils s'acquièrent très tôt par les jeunes et se développent là où cette culture est fortement ancrée. Le sens des valeurs, autre corollaire du développement de la culture scientifique nécessite pour sa part qu'une attention particulière soit accordée à l'histoire et à la philosophie des sciences.

C'est dire la tâche immense qui incombe à notre institution, c'est dire aussi la nécessité pour nous de prendre conscience de la responsabilité qui nous incombe dans le développement scientifique et technique du pays.

Excellences, Mesdames et Messieurs,

Cette session solennelle aurait pu être consacrée à la seule installation de l'Académie, et à la mise en place de l'essentiel de ses organes directeurs, mais la qualité des académiciens ici réunis, a imposé l'idée de mettre à profit leur présence et de pouvoir ainsi écouter quelques uns d'entre eux sur des questions scientifiques.

Ainsi donc, au cours de nos travaux, nous aurons l'occasion d'écouter un certain nombre de communications sur des sujets dont notre académie ne manquera pas d'avoir à traiter ultérieurement ; et par avance, que les auteurs de ces communications en soient ici vivement remerciés.

Excellences, Mesdames et Messieurs,

Le Royaume du Maroc est aujourd'hui engagé, sous la direction de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, dans plusieurs chantiers d'infrastructure et d'édification; l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques essaiera conformément aux Hautes orientations royales de contribuer avec détermination à la mise en place d'un système scientifique national performant, à même de jouer son rôle dans le développement général du pays et dans sa renaissance scientifique.

Excellences, Mesdames et Messieurs,

Je voudrais, au terme de cette allocution, présenter, en mon nom et au nom de l'ensemble des académiciens, à Sa Majesté le Roi – que Dieu L'assiste -, nos déférents vœux de bonheur et de réussite dans l'accomplissement des nobles desseins qu'Il nourrit à l'endroit de Son peuple. Puisse Dieu Lui prêter longue vie et Le combler en la personne de Son Altesse Royale le Prince Héritier Moulay Hassan, de Son Altesse Royale le Prince Moulay Rachid et de l'ensemble de la Famille Royale.

Je vous remercie.-

**Intervention du
Pr. Erik SANDEWALL**

*Membre de l'Académie Royale Suédoise
des sciences,
et de l'Académie Royale Suédoise
des sciences de l'ingénieur;
membre associé de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques.*



**Monsieur le Secrétaire perpétuel,
Mesdames et Messieurs,**

En recevant votre aimable invitation de faire partie de votre Académie, comme membre associé, j'ai aussitôt informé mes deux Académies, l'Académie Royale des Sciences et l'Académie Royale des Sciences de l'Ingénieur, de cet heureux événement qui a été très bien reçu par le Président de l'Académie Royale des Sciences et la Présidente de l'Académie Royale des Sciences de l'Ingénieur qui m'ont chargé de saisir cette opportunité pour transmettre leurs félicitations de bienvenue à votre nouvelle Académie et des félicitations à l'Académie elle-même et aussi à tous ceux qui pourront profiter de sa création et de son existence et d'exprimer la bienvenue à votre Académie qui peut maintenant rejoindre la communauté internationale des Académies des sciences et des technologies.

Je vais ajouter maintenant quelques mots sur l'importance d'une Académie des sciences selon l'expérience de mon pays.

Au moment où notre Académie des Sciences fut fondée au milieu du 17^{ème} siècle, la Suède était, en effet, un pays peu doté de ressources naturelles et économiques, elle était un des pays les moins dotés à cet égard en Europe.

L'Académie des Sciences a été créée avec un mandat et une mission de contribuer au développement du pays ; et une des mesures qui ont été prises pendant les premières années de cette Académie était d'envoyer un certain Carl Von Linné pour permettre à notre Royaume de chercher et rechercher des ressources naturelles qui pourraient s'y trouver; il a bien réussi de ce point de vue. Il est aussi bien connu qu'en même temps il a pu fonder, et mettre en place la base de la structuration de la botanique et puis de la zoologie donnant un système de classification de structures, très important encore à nos jours et je pense que cela

constitue un bon exemple de l'importance de bien intégrer la science pure et ses applications dans l'industrie, l'agriculture, etc.

Et ceci explique aussi comment l'interaction va dans les deux sens ; on sait comment la recherche fondamentale peut contribuer au développement technique, mais on sait aussi dans l'autre sens comment les projets appliqués peuvent contribuer à la recherche fondamentale.

J'espère que les actions de votre Académie contribuent au développement de votre pays et en même temps au développement de la science globale et internationale.

Et pour conclure, je vais lire la lettre de notre Présidente Madame Lena Treschow Torell.



Première séance plénière au siège de l'Académie du Royaume du Maroc

Après la séance d'ouverture, l'Académie, a continué ses travaux à huis clos et procédé à l'examen des points suivants :

- Election du Directeur des séances
- Constitution des Collèges scientifiques
- Election des Directeurs des collèges scientifiques

Après l'élection de M. Rachid Benmokhtar Benabdellah, Directeur des séances, le Secrétaire perpétuel a proposé une répartition des collègues académiciens entre six collèges :

Collège Sciences et Techniques du Vivant :

Membres résidents :

- Abdellatif Berbich
- Taïeb Chkili
- M^{me} Rajae El Aouad
- Albert Sasson

Membres associés :

- Silvio Crestana
- Francisco Garcia Garcia
- Claude Griscelli
- Carlos Martinez-Alonso
- Susumu Tonegawa

Membres correspondants :

- Mohamed Besri
- Abdelali Haoudi
- Sellama Nadifi
- Abdelaziz Sefiani
- Jean Swings



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

Membres résidents :

- Mohammed Aït-Kadi
- Ahmed El Hassani
- Mohamed Jellali
- Driss Ouazar

Membres associés :

- Juan Carlos Castilla
- Jean-Michel Dercourt
- Farouk El-Baz
- Philippe Taquet

Membres correspondants :

- Omar Assobhei
- M^{me} Badia Bouab
- Vasconcelos Marcelo De Sousa

Collège Sciences Physiques et Chimiques :

Membres résidents :

- Abdelilah Benyoussef
- Mostapha Bousmina
- El Mokhtar Essassi
- Hassan Saïdi



Membres associés :

- Jean-Jacques Bonnet
- G. Gerald Fuller
- André Zaoui

Membres correspondants :

- Mohammed Belaiche
- Yahia Boughaleb
- Mohamed Cherkaoui
- M^{me} Rajaa Cherkaoui El Moursli
- Zouheir Sekkat

Collège Sciences de la Modélisation et de l'Information :

Membres résidents :

- Driss Aboutajdine
- Daoud Aït-Kadi
- Abdelhaq El Jaï
- Malik Ghallab
- Youssef Ouknine



Membres associés :

- Michael Brady
- J. John O'Reilly
- Erik Sandewall

Membres correspondants :

- Abdelmalek Azizi
- M^{me} Nadia Ghazzali

Collège Ingénierie, Transfert et Innovation Technologiques:*Membres résidents :*

- Abderrahim Maazouz

Membres associés :

- Hernandez Ruiz Valeriano
- Philippe Tanguy

Membres correspondants :

- Boukhari Ali
- Tijani Bounahmidi
- Ziyad Mahfoud

**Collège Etudes Stratégiques et Développement Economique :***Membres résidents :*

- Rachid Benmokhtar Benabdellah
- Noureddine El Aoufi

Membres associés :

- Moustapha Kasse
- Julio Segura
- Yu Yongding

Membres correspondants:

- Mohammed Berriane
- Khalid Sekkat



Un court débat s'ensuivit qui conduisit à retenir la proposition de commencer à travailler dans les collèges sus-mentionnés comme la Commission de fondation le propose, dans le cadre du règlement intérieur provisoire préparé par ladite Commission et validé par Sa Majesté le Roi, avec la possibilité de revenir sur toutes ces questions, dans le cadre des dispositions de la loi créant l'Académie, à l'occasion de prochaines réunions, en particulier au sein des prochaines sessions plénières. On retient en particulier la possibilité pour chaque académicien d'être membre officiel d'un des six collèges et de pouvoir également participer aux activités d'un deuxième collège.

Le soir, les académiciens se retrouvaient au dîner offert par Sa Majesté le Roi, au cours duquel l'hospitalité Royale leur a permis de faire plus ample connaissance, entre eux et avec des responsables de l'administration marocaine et des représentants de la communauté scientifique de pays.

**VISITE DES ACADEMICIENS AU MAUSOLEE
MOHAMMED V**

Vendredi 19 mai 2006 - Matin

La journée du vendredi 19 mai commence par la visite du Mausolée Mohammed V au cours de laquelle les Académiciens, conduits par le Conservateur du Mausolée, Professeur Abdelouahab Benmansour, se sont recueillis devant les Tombes de Feu S.M. le Roi Mohammed V et Feu S.M. le Roi Hassan II, que Dieu les aient en Sa Sainte Miséricorde



Les Académiciens se recueillant devant la Tombe de Feu SM le Roi Mohammed V, que Dieu l'ait en Sa Sainte Miséricorde.



Les Académiciens se recueillant sur la Tombe de Feu SM le Roi Hassan II, que Dieu l'ait en Sa Sainte Miséricorde.

DEUXIEME SEANCE

(Vendredi 19 mai 2006 - Matin)

La deuxième séance de travail débute le vendredi 19 mai à 10h30mn, par la réunion de chaque collège qui procède à l'élection de son directeur et de son co-directeur.

Collège des Sciences et techniques du vivant :

- *Directeur* : Albert Sasson
- *Co-directeur* : M^{me} Rajae El Aouad

Collège des Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de la mer

- *Directeur* : Ahmed El Hassani
- *Co-directeur* : Mohammed Jellali

Collège des Sciences physiques et chimiques

- *Directeur* : Mostapha Bousmina
- *Co-directeur* : Abdelilah Benyoussef

Collège des Sciences de la modélisation et de l'information

- *Directeur* : Driss Aboutajdine
- *Co-directeur* : Abdelhak El Jaï

Collège Ingénierie, Transfert et Innovation technologiques

- *Directeur* : Philippe Tanguy
- *Co-directeur* : Bounahmidi Tijani

Collège des Etudes stratégiques et Développement économique

- *Directeur* : Rachid Benmokhtar Benabdellah
- *Co-directeur* : Nouredine El Aoufi

Par la suite, l'Académie a écouté quatre communications scientifiques, suivies chacune d'un court débat, présentées par :

- Pr. **Jean-Michel Dercourt** sur «**Instabilités à la surface du globe terrestre**» (cf. texte p. 87).

- Pr. **Carlos Martinez-Alonso** sur «**Impact de la biologie moléculaire et des cellules souche dans la médecine du 21^{ème} siècle** » (cf. texte p. 96)
- Pr. **Albert Sasson** sur «**Biotechnologies : promesses et défis**» (cf. texte p. 101)
- Pr. **Mostapha Bousmina** sur «**Nano-sciences et nano-technologies, faits et défis : opportunités pour le Maroc** » (cf. texte p. 118)

La deuxième séance du vendredi après-midi 19 mai commence par la réunion des directeurs de collèges qui procèdent à l'élection de trois d'entre eux, devant faire partie du **Conseil d'Académie**; il s'agit des Professeurs Albert Sasson, Mostapha Bousmina et Driss Aboutajdine.

L'Académie par la suite élit les quatre académiciens, membres de la **Commission des travaux** ; il s'agit de MM. Mohamed Aït-Kadi, Abdelilah Benyoussef, Malik Ghallab et Driss Ouazar.

TROISIEME SEANCE

(Vendredi 19 mai 2006 - Après - midi)

Au cours de cette séance, tenue le vendredi 19 mai après midi, M. le Secrétaire perpétuel présente les projets de documents, préparés par la Commission de fondation, dans le but de faciliter le travail des membres de l'Académie, qui sont appelés à les étudier et les enrichir ; il s'agit d'un projet de plan d'action pour l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, ainsi que de propositions concernant les modalités que devrait suivre l'Académie dans sa politique de promotion de la recherche.

Après une discussion concernant la date de la prochaine session plénière, l'Assemblée retient le début de l'année 2007 (février), le Secrétaire perpétuel étant chargé de procéder aux consultations nécessaires et proposer une date précise. Par ailleurs, un débat intéressant, sur le rôle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a permis de rappeler son rôle et ses missions comme stipulés par la loi créant l'Académie ; en particulier certains collègues ont à juste titre rappelé l'importance qu'elle doit également accorder à la question de l'enseignement des sciences.

Au cours de la même séance, l'Académie a écouté les communications scientifiques de :

- **Malik Ghallab** sur «**Défis et espoirs humanistes pour les sciences et les technologies**» (cf. texte p. 144)
- **Philippe Tanguy** sur «**Défis de l'énergie pour le 21^{ème} siècle**» (cf. texte p. 150)
- **Mohamed Aït-Kadi** sur «**Savoirs et enjeux de l'eau**» (cf. texte p. 158)
- **Abdelali Haoudi** sur «**Plan pour une recherche réussie en biomédecine et biotechnologie** » (cf. texte p. 162)

La clôture des travaux est intervenue à l'issue de cette séance au cours de laquelle l'ensemble des académiciens ont adopté **un message de loyauté, de gratitude et de remerciement, adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu Le protège et Le guide dans l'accomplissement de Sa Haute et Noble Mission –.**

COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

«INSTABILITES A LA SURFACE DU GLOBE TERRESTRE»

par Pr. Jean-Michel DER COURT

*Secrétaire perpétuel de l'Académie
des Sciences de France
Membre de la commission de fondation
de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques.*



Monsieur le Conseiller,
Monsieur le Secrétaire perpétuel de l'Académie du Maroc,
Monsieur le Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et
Techniques,
Chères consoeurs, chers confrères,

J'ai choisi de traiter d'un sujet lourd de conséquences scientifiques, sociales et économiques, : "*les instabilités géologiques et géophysiques de la Planète*", sous deux aspects : celui lié à la tectonique des plaques d'une part, et celui lié aux instabilités climatiques d'autre part.

En effet, le pays où nous avons le plaisir et l'honneur d'être réunis a été, tout au long de son histoire, frappé par des séismes et par des problèmes climatiques.

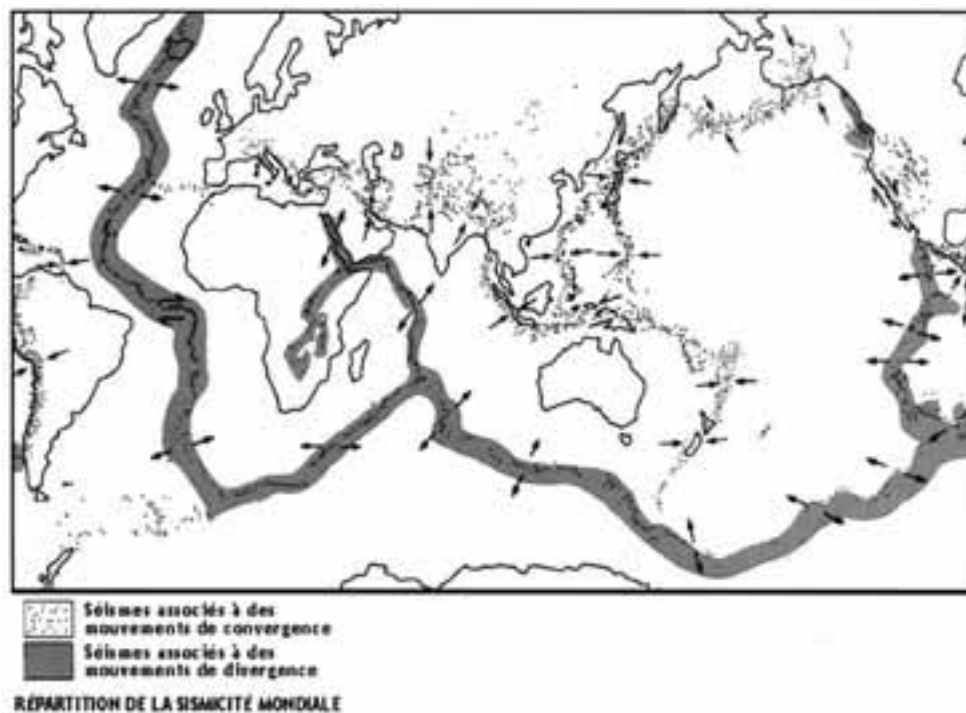
Ces deux instabilités sont liées :

- 1) à la fission de radionucléides accumulés dans les différentes couches de la Terre dès son origine, il y a 4,5 milliards d'années. Elle est responsable de la tectonique des plaques.
- 2) à la fusion nucléaire au sein du Soleil qui émet de l'énergie responsable de la dynamique des couches fluides (atmosphère, hydrosphère).

Considérons un planisphère : on voit, au milieu des océans des zones de grandes instabilités, marquées par des volcans, des séismes peu profonds - là se forme la croûte océanique (zone de divergence) - et deux autres zones d'instabilité:

- l'une dans une grande bande qui s'allonge de l'Asie orientale jusqu'à l'Europe et va mourir dans les îles de la mer des Caraïbes ; c'est la grande zone alpine-himalayenne où les continents du Sud convergent vers l'Eurasie.
- l'autre zone d'instabilité entoure le Pacifique en une ceinture de feu.

FIGURE 1



Entre ces différentes zones de séismes et de volcans, des plaques faites de continents et d'océans ou d'océans seuls se déplacent les unes par rapport aux autres à des vitesses différentes, variant de 10 à 2 cm/an, cette dernière valeur correspond à la vitesse d'ouverture de l'océan Atlantique.

Dans le passé de la Terre, ces mêmes processus ont joué. On détermine l'âge de la croûte océanique grâce aux fossiles qui s'y sont déposés et par des mesures isotopiques des roches. Au fond de l'océan, comme on pouvait le supposer, les roches de même âge s'allongent en bandes parallèles aux zones de divergence actuelles; les plus proches des zones actives sont les plus récentes, les plus éloignées sont les plus anciennes. Une belle symétrie existe entre le secteur occidental et le secteur oriental de l'Atlantique ; mais, dans le Pacifique, la symétrie est limitée au voisinage des zones de divergence actuelles car, tout autour du Pacifique, la croûte océanique plonge sous les océans, créant séismes et volcans.

Connaissant l'âge des croûtes océaniques, il est possible de reconstituer les géographies du passé en rapprochant, pour un même océan, les bandes de croûte du même âge, bref, en retrouvant les zones de divergence de l'époque considérée. Alors, l'image des continents qui se rapprochent apparaît : c'est le cas de l'Europe et de l'Amérique du Nord, de l'Amérique du Sud et de l'Afrique. Pour le Pacifique, cela conduit à faire ressortir les masses de croûte océanique aujourd'hui englouties sous les océans.

Quelques reconstitutions au cours des temps géologiques vont nous montrer combien l'agglomérat actuel de continents, la géographie des océans se sont progressivement formés.

La figure 2 offre une reconstitution autour de 100 Ma. On constate une grande différence avec la carte géologique actuelle. Les continents de l'hémisphère Sud sont regroupés en un continent aujourd'hui disparu (Gondwana) et sont séparés de ceux de l'hémisphère Nord. Un océan Est-Ouest, la Néotéthys, les sépare.

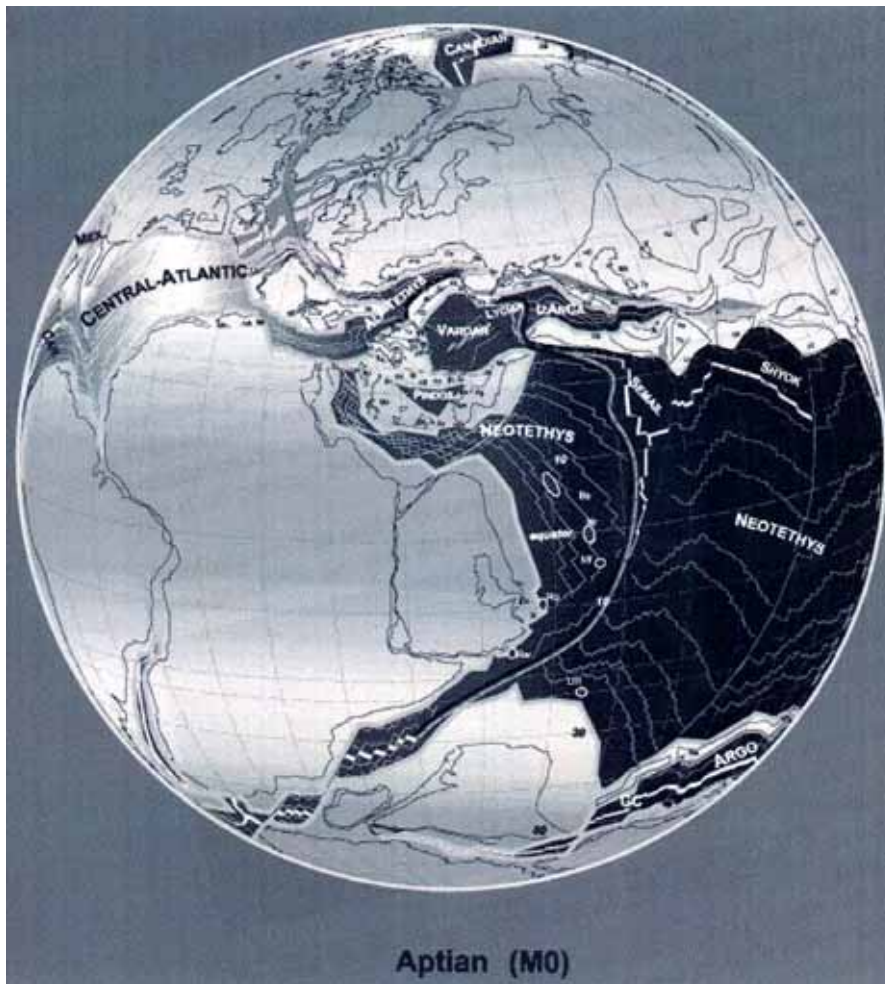


FIGURE 2

G.M. Stampfli & G.D. Borel 2002

Vers -220 Ma (fig. 3), un seul continent existe (la Pangée). La répartition des masses continentales est à peu près égale dans l'hémisphère Nord et dans l'hémisphère Sud, ce qui diffère fondamentalement de ce que nous avons aujourd'hui sur notre planète.

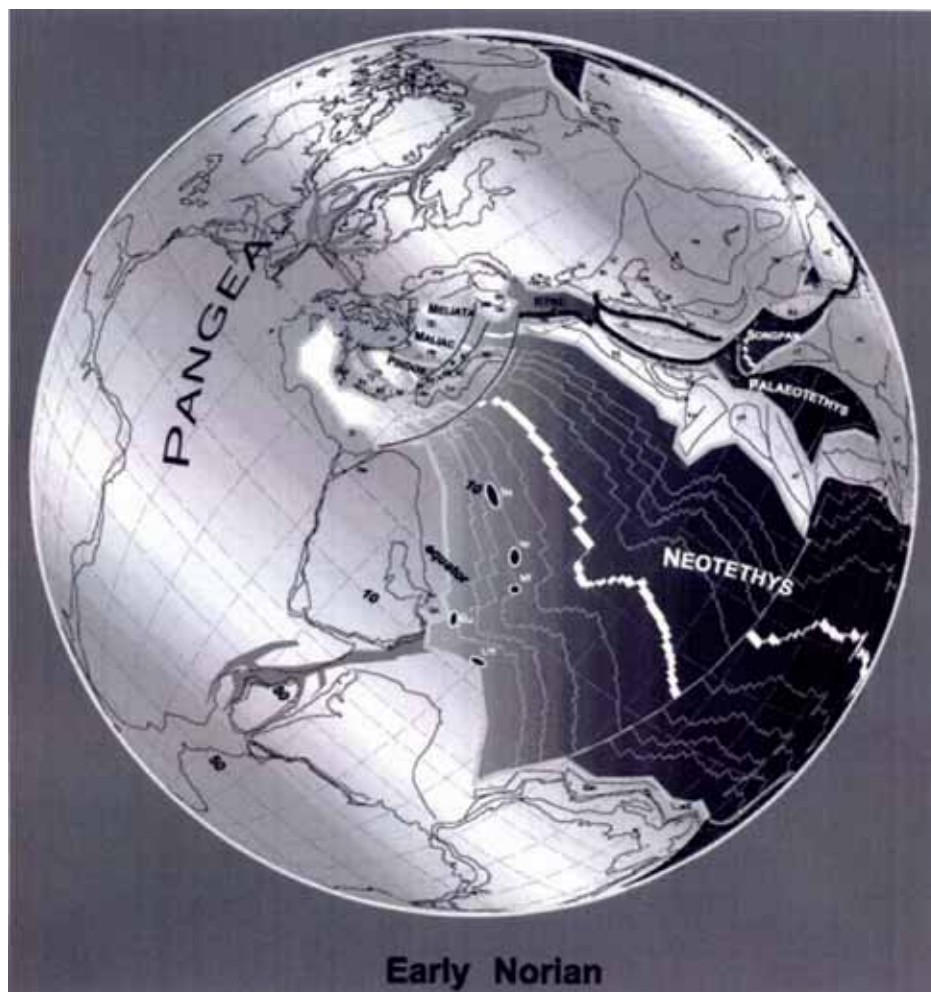


FIGURE 3

G.M. Stampfli & G.D. Borel 2002

Alors que les reconstitutions précédentes ont été faites à partir de la connaissance des âges de la croûte océanique, celles des périodes plus anciennes ne peuvent être utilisées par cette méthode : les croûtes océaniques d'alors ont disparu dans les zones de convergence. On utilise donc des mesures paléomagnétiques pour localiser les latitudes des continents. L'étude des faunes et des flores fossiles relevées sur les continents permet de les situer les uns par rapport aux autres. Les cartes obtenues sont donc plus hypothétiques que les précédentes.

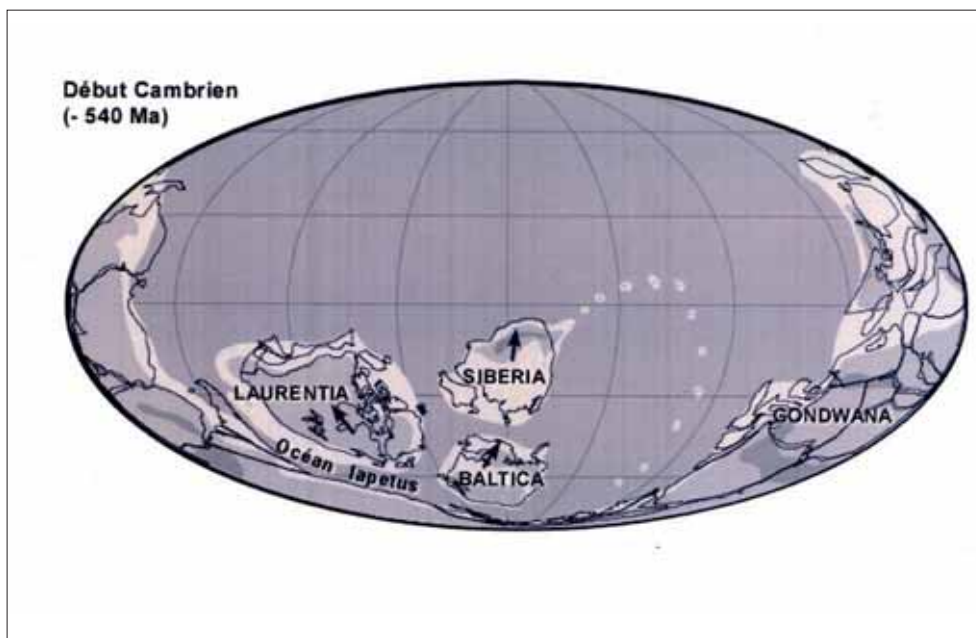


FIGURE 4

© 2001 C.R. Scotese PALEOMAP PROJECT

Ainsi, a été construite une paléogéographie d'il y a -540 Ma (fig. 4 début du Cambrien), la grande majorité des continents qui donneront en partie l'Amérique du Nord et l'Eurasie sont concentrés.

Une des caractéristiques principales de notre planète, actuellement, est l'accumulation de grands volumes de glace aux Pôles. Au cours des 600 derniers millions d'années de notre planète vieille de 4,5 milliards d'années, trois périodes seulement ont cette même caractéristique : vers 700 millions d'années, vers 450 millions d'années et depuis 5 millions d'années. Les premières périodes ont duré quelques millions ou quelques dizaines de millions d'années.

Ces grandes périodes glaciaires sont marquées de nombreux caractères très spécifiques :

- par un retrait des mers de l'océan global, puisque la quantité d'eau est constante sur la Terre, une part importante piégée en phase solide au Pôles, le niveau des mers baisse ;
- les continents sont beaucoup plus étendus ;
- les vents et les courants de surface et de profondeur, sont très actifs ; l'eau des océans est énergiquement brassée et structurée par des courants globaux.

Mais, pendant les trois périodes glaciaires de modestes variations de température permettent des passages de l'eau de la phase solide à la phase liquide; ces variations commandent la géophysique externe de la planète.

L'énergie émise par le Soleil varie selon de nombreux paramètres : l'activité solaire elle-même, la distance Terre-Soleil régie par la mécanique céleste, l'inclinaison de l'axe de rotation du Soleil sur le plan de l'elliptique ...

Au cours du temps, l'énergie reçue par la Terre s'analyse comme une superposition de différents cycles dont les périodes sont voisines de 100 000 ans, de 40 000 ans et de 20 000 ans.

Les processus physiques, chimiques, biologiques sont fortement affectés par cette cyclicité. Ainsi, elle se retrouve dans celle des sédiments marins ou dans la composition des bulles d'air piégées dans la glace accumulée sur les continents arctiques (Groenland) et antarctique (Domef, Vostok et Dome C). L'analyse des gaz emprisonnés dans les bulles permet d'en déduire leur composition et la température de l'air à la date de leur emprisonnement.

La figure 5 présente la cohérence existant entre les différentes courbes :

- l'ensoleillement, résultats de données de la mécanique solaire ;
- le niveau moyen des mers relevé par des traces laissées sur les côtes et sur le plateau continental ;
- les trois forages donnant la température de l'air piégé lors de leur formation.

Ces courbes sont toutes présentées en fonction de l'âge. Le synchronisme est frappant.

On constate l'instabilité climatique depuis 800000 ans. Les géologues, les préhistoriens et les historiens décrivent, eux aussi, de telles variations climatiques.

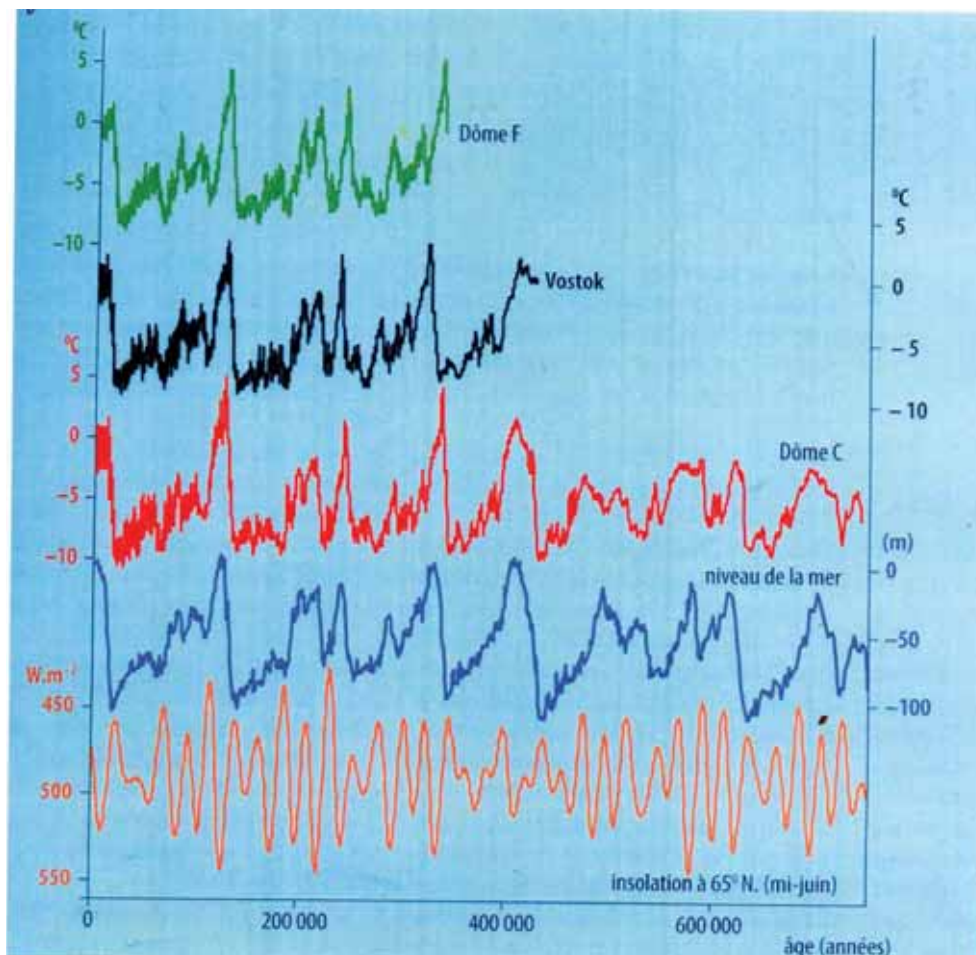


FIGURE 5

J. Jouzel et al.

- Dans les derniers 50 000 ans, les géologues océanographes ont foré, au sud du Groenland et dans l'Atlantique nord, les sédiments marins essentiellement argileux qui mettent en évidence de brutales passées de débris sableux et caillouteux issus des roches affleurant au Groenland dépourvu de glace à cette époque.

- Il y a 18 000 ans, le dernier épisode glaciaire fort, le niveau des mers était 120 mètres plus bas que l'actuel. Entre l'Ibérie et le Maroc, des chapelets d'îles parsemaient l'océan, facilitant le passage des hommes et des femmes, ce qu'établissent les préhistoriens.

- Il y a 8 000 ans, période très chaude et pluvieuse, le Sahara était une savane où abondaient les lacs et que peuplaient une faune et une flore abondantes. A son extrémité orientale, coulait le Nil ; là les modifications climatiques du Sahara se lisent aussi très clairement.

Enfin, les historiens montrent que les dates des vendanges et des moissons traduisent une évolution climatique. Depuis le XII^{ème} siècle, alternent des périodes chaudes (le beau Moyen-âge) et froides (le petit glaciaire des XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles). De même, les relevés des déplacements des péniches sur les canaux des Flandres témoignent de la rigueur des hivers.

La causalité de ces variations climatiques pourrait résulter des variations, dans l'atmosphère, du volume des gaz à effet de serre. Parmi ceux-ci, outre la vapeur d'eau - le plus abondant gaz à effet de serre - le gaz carbonique et le méthane présentent des variations cycliques très cohérentes avec celles de la température.

La figure 6 concerne les températures de la figure 5, mais sur une période de 400 000 ans ; en outre, elle montre les variations du CO₂ et CH₄. la similitude de ces trois courbes suggère que ces gaz puissent être responsables des variations de température.

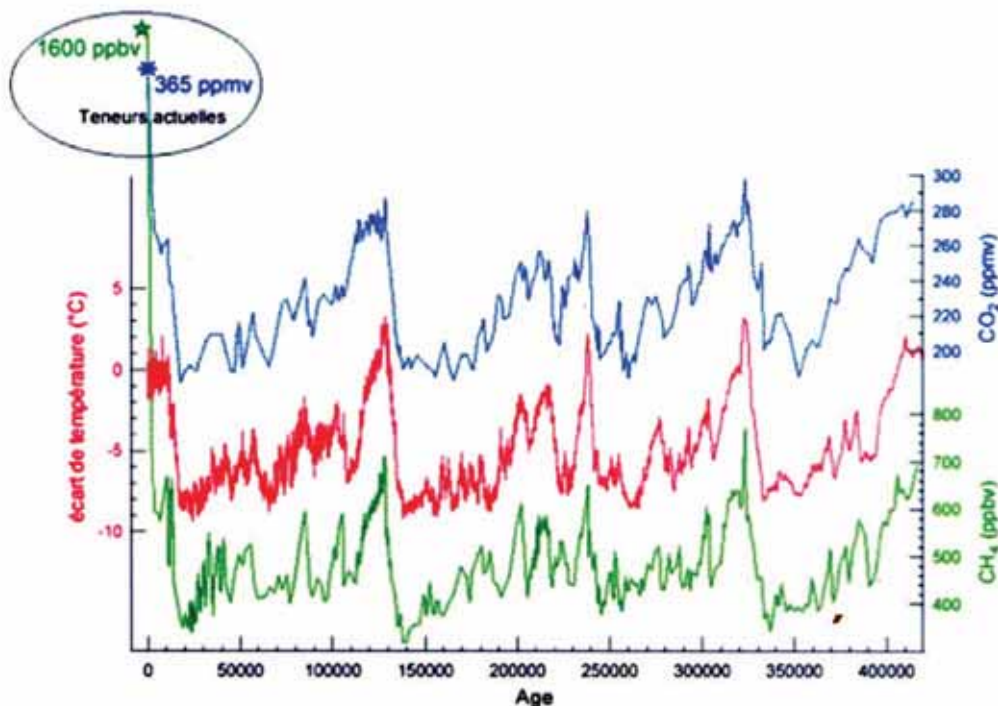


FIGURE 6

J. Jouzel et al.

La planète Terre, pendant les derniers millénaires, les derniers siècles, comme pendant les autres périodes glaciaires, n'a jamais eu un climat stable.

A ces mouvements naturels, indépendants de l'action humaine, s'ajoutent, depuis l'ère industrielle, les émissions de gaz à effet de serre associées au développement des usines, des transports (CO₂) et de l'agriculture (CH₄). Mais ceci est une autre histoire.

L'Homme, sur la Terre, n'a connu que la dernière période glaciaire. Il a toujours vécu et vit sur une Terre instable. Le sol tremble, les volcans se fâchent, les courants marins, les vents, les pluies varient d'intensité. Rechercher la stabilité durable est un rêve fou ou un cauchemar. Seules, la science et la technologie permettront à l'Homme de faire varier les cadres de vie sur la planète afin de maîtriser les variations climatiques et anthropiques. C'est là notre devoir à tous.

Je vous remercie de votre amicale attention.

«Impact de la biologie moléculaire et des cellules souches sur la médecine du 21^{ème} siècle»

par Pr. Carlos MARTINEZ ALONSO

*Président du Conseil Supérieur
de la Recherche Scientifique en Espagne,
membre de la Commission de fondation
de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.*



Monsieur le Secrétaire perpétuel,
Mesdames et Messieurs les membres de l'Académie,
Mesdames et Messieurs,

Pour commencer, je souhaiterais saisir cette opportunité pour remercier Sa Majesté Le Roi Mohammed VI pour nous avoir accueillis à l'occasion de l'installation officielle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, je souhaiterais aussi saisir cette occasion pour remercier le Professeur Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel, pour l'effort qu'il a déployé et l'énergie qu'il a investie pour organiser cette réunion.

Justement, nous avons eu l'occasion de contribuer au lancement de cette Académie à laquelle nous aurons l'occasion de contribuer, pour le bien de la science et de la technologie.

Etant donné que l'espagnol est une des langues officielles de l'Académie, je vous demande de m'excuser et continuer mon exposé en langue espagnole en profitant du fait que nous avons d'excellents interprètes pour cette session d'ouverture.

La présentation que je vais faire est un peu différente de la précédente, puisqu'elle concerne l'impact de la biologie moléculaire ainsi que des cellules souches sur la médecine du 21^{ème} siècle. Cette grande découverte et cette grande contribution de la biologie au 21^{ème} siècle ont eu lieu en fait au 20^{ème} siècle grâce aux travaux de Watson et Crick dans le domaine de la biologie moléculaire concernant la structure de l'ADN, qui vont permettre de démarrer un processus d'une extraordinaire envergure.

La première diapositive met en évidence l'impact de cette découverte, qui au départ n'était pas confinée au domaine de la santé, mais a eu des incidences sur la

santé animale, sur l'agriculture, l'environnement et des incidences également sur le plan économique. Le Professeur Albert Sasson, vous parlera plus en détails de ces aspects, donc je ne parlerai pas de ces aspects et je me contenterai uniquement des incidences particulières sur la santé.

La diapositive suivante indique ou souligne au moins trois aspects que je souhaiterais mettre en exergue ; une des grandes révolutions dans la santé a son origine au moment de la Renaissance avec l'introduction des «**nécroses**» comme élément fondamental pour l'identification des causes des maladies ; à partir de là, naît une médecine qui va permettre dans le monde occidental de multiplier la moyenne de vie au milieu du 20^{ème} siècle ; la moyenne de vie était de 40-50 ans au 20^{ème} siècle, actuellement elle est de 83 ans pour les femmes dans certains pays. Cette multiplication ou duplication de l'espérance de vie est due essentiellement au progrès dans deux domaines : les vaccins et les antibiotiques qui contribuent effectivement à augmenter ou pratiquement à doubler l'espérance de vie moyenne ; car ils combattent la cause de la mortalité que sont les agents infectieux. Actuellement, les causes les plus importantes de la mortalité dans le monde occidental car dans le monde global on connaît encore des maladies infectieuses sont le cancer, les maladies cardio-vasculaires, la gériatrie et les maladies chroniques qui, bien entendu, ont leurs origines dans l'altération de notre ADN.

Par conséquent, nous espérons, et d'ailleurs c'est là que réside notre contribution, que la médecine de l'avenir - nous ne savons pas si réellement on doublera l'espérance de vie moyenne - permettra que la vie que nous aurons, nous pourrons la vivre dans de meilleures conditions. Il s'agit d'une médecine centrée sur l'étude de l'ADN et utilisant une nouvelle technologie à savoir l'exploitation des possibilités offertes par les cellules souches pour améliorer la qualité de vie ; et cette médecine qu'on appelait médecine scientifique est aujourd'hui une médecine personnalisée qui met en exergue la médecine préventive et la médecine prédictive.

Pour cela, nous utilisons une technologie qui est fondamentalement centrée sur l'analyse de l'ADN. Je ne rentrerai pas dans les détails, mais je voudrais signaler que seule une petite partie de cet ADN contribue effectivement à créer des protéines, pratiquement 1%. Nous n'avons pratiquement aucune précision sur ce que font les autres 99%, nous avons donc là un champ d'activité de recherche très important.

Le nombre de gènes, dont les êtres humains sont constitués, est modeste. Il est de 25227, et, il y a 3 semaines, ce nombre fluctuait en fonction des techniques de l'informatique qu'on utilise ; et c'est un chiffre pas très supérieur au nombre de gènes dont est constituée, par exemple, la mouche de vinaigre ou le ver Coenorhabditis elegans qui contient 950 cellules. En troisième lieu, bien que cela ne soit pas indiqué ici, ces gènes de la mouche, de la souris ou de l'être humain, partagent non seulement, dans une grande mesure, leurs séquences, leurs structures, mais également leur fonctionnement et ceci est extrêmement important pour certains des éléments que je mentionnerai ultérieurement. Le grand débat actuel est de savoir quels sont parmi ces 25227 gènes ceux qui contribuent réellement au développement et à la progression des maladies. Sur cette

diapositive, vous avez toute une série de technologies dont l'objectif essentiel est justement de manipuler et d'analyser de manière simultanée ces 25227 gènes dont nous sommes constitués. Ceci représente un changement extraordinaire, car n'avez aucun doute, demain et donc plus tôt que prévu, une stratégie fondamentale va définir les étapes de la santé et des maladies. Actuellement, nous ne disposons pas encore de cette technologie mais cela arrivera sans aucun doute ; ces gènes sont déjà au stade des essais et des tests sur des animaux, qui sont en fait des tests très importants pour développer les thérapies de demain.

La diapositive suivante montre que l'on peut également identifier les agents et les modifications qui sont donc responsables des maladies et qui permettent d'étudier la réactivité aux nouveaux traitements thérapeutiques. Il est fondamental de tenir compte des coûts élevés de ces nouveaux instruments ou outils et des résultats qui se dégagent à la lumière de cette recherche. Il s'agit donc de faire en sorte que ces traitements soient administrés de manière efficace et que seuls les patients qui pourront répondre de manière appropriée pourront recevoir ce type de traitement.

Donc, la possibilité d'identifier ces 25227 gènes et la disponibilité de ces outils constituent une avancée extraordinaire en termes d'espérance de vie et de qualité de vie pendant notre existence.

Le deuxième instrument, qui sera fondamental en vue de définir ces nouvelles stratégies thérapeutiques de l'avenir, sont les cellules souches. Ces cellules dont nous provenons tous, sont les conséquences de la fécondation de l'ovule par le spermatozoïde, suivie de plusieurs divisions. Ce sont donc les cellules mères embryonnaires à partir desquelles nous pourrions générer chacun des tissus biologiques dont nous sommes constitués. Ceci, bien entendu, se fait in vivo et se fait d'une manière non contrôlée in vitro.

Sur le transparent suivant, il s'agit d'images de cellules qui sont fabriquées in vivo, et ceci illustre que chacun de nos tissus est généré in vivo à partir de ces cellules mères, alors que l'autre transparent montre qu'à partir de la manipulation in vitro nous pouvons également générer ces tissus. Donc ceci ouvre une fenêtre fabuleuse et une attente extraordinaire pour que demain cette potentialité soit réellement un instrument thérapeutique pour traiter les maladies qui sont aujourd'hui très difficilement traitables ou curables. Ceci peut être fait en laboratoire, mais nous ne le faisons pas de manière contrôlée ; bien entendu son application directe dans la thérapie pose encore quelques problèmes, et parfois même des problèmes beaucoup plus graves comme les alternatives thérapeutiques. Mais, si cette possibilité nous permet de transformer ces cellules mères in vitro en «**myocardiocytes**» que nous pouvons manipuler génétiquement, cela constituera une extraordinaire avancée, combinée aux progrès de la biologie moléculaire.

Le transparent suivant montre que l'ambition de la communauté scientifique ne s'arrête pas là et que l'objectif est non seulement d'utiliser des cellules souches pour générer les organes et tissus in vitro, mais également de comprendre comment chacun de ces organes ou tissus est généré in vivo et comment activer ces organes dans des situations pathologiques. Il existe des organismes dans la nature, qui à

l'instar de l'étoile de mer, sont capables de régénérer une partie de leur corps.

Malheureusement, l'espèce humaine a perdu la capacité de régénérer tous ses tissus ; mais en échange, au cours de l'évolution, nous avons pu développer un système extrêmement complexe qui est l'organe le plus complexe qui existe dans l'univers à savoir le cerveau, qui, s'il ne nous permet pas de nous régénérer, nous permet de comprendre comment les autres organes se régénèrent ; et il existe chez la communauté scientifique des données précieuses qui illustrent comment ce processus de régénération se produit. Par exemple, on peut utiliser un modèle comme le poulet. Par manipulation génétique on peut éviter qu'une extrémité puisse se développer et grandir et par manipulation de l'embryon de poulet on peut régénérer non pas une mais deux extrémités et par conséquent générer des poulets qui ont deux, trois ou quatre pattes ; bien sûr ce n'est pas dans l'intérêt de la communauté des chercheurs et des scientifiques de générer des poulets avec trois ou quatre pattes ou des mouches avec trois ou quatre yeux, mais il est intéressant de comprendre ces mécanismes moléculaires pour que l'on puisse les utiliser de manière appropriée dans des situations qui s'avèreraient d'extrême urgence ou nécessaires. Aujourd'hui, on commence à comprendre le mécanisme de la régénération et on comprend que les gènes impliqués dans la régénération des extrémités peuvent dans le cas du poulet être substitués par des gènes homologues de la mouche ou de l'être humain. Ces gènes injectés dans le poulet peuvent codifier, par exemple, une extrémité de la patte dans l'embryon du poulet et non pas une aile de mouche. Donc, si nous obtenons tous ces résultats, l'objectif est de pouvoir lutter contre le vieillissement, même si le vieillissement est un processus contre lequel on ne peut rien ou qu'on ne peut arrêter ; mais il s'agit d'y trouver des palliatifs.

Sur cette diapositive, nous avons une illustration qui montre que les organes ne sont pas tous condamnés à mourir ; nous avons ici une illustration des cellules tumorales où les cellules souches, auxquelles je faisais référence précédemment, sont des cellules éternelles et qui peuvent être maintenues *in vivo* de manière éternelle. On peut alors dire que la vie ne mène pas toujours au décès. Voilà peut-être un sujet de débat que l'on pourrait avoir un jour à l'Académie. Si nous luttons non pas pour entretenir la jeunesse éternelle, mais pour comprendre le vieillissement, la médecine qui utilise des modèles animaux et qui nous donne des informations sur ces processus, nourrit l'espoir que l'on pourrait appliquer les résultats de ces travaux au genre humain. Avec les manipulations génétiques de la mouche qui permettent de connaître les gènes et l'utilisation des modèles d'animaux, il y a trois situations expérimentales qui nous permettent d'identifier des gènes impliqués dans ces processus.

Le transparent suivant illustre que ce qui permet d'atteindre ou d'augmenter l'espérance de vie de 20 ans, c'est le régime hypocalorique. Le maintien à basse température permet d'augmenter de 20% à 30% l'espérance de vie moyenne. Cela implique que des régions comme le Sud du Maroc, qui sont d'ailleurs très attractives pour le tourisme, ne sont pas appropriées pour étendre l'espérance de vie moyenne. Mais puisque nous voulons comprendre le fonctionnement des gènes dans ce processus, nous pouvons faire en sorte d'essayer pour que cela soit

compatible avec la vie dans le Sud du Maroc ou dans les Caraïbes. Nous pourrions envisager de passer de 82 ans à pratiquement 350 ans de vie moyenne et certaines personnes pourraient vivre 560 ans ; et cela à la condition de comprendre le fonctionnement des gènes impliqués dans ce processus. Je ne suis pas en train de plaider en faveur d'une prolongation de la vie jusqu'à 500 ans, car les conditions de vie ne seraient pas nécessairement optimales ; mais on essaierait d'identifier les mécanismes génétiques et moléculaires associés à ce type de processus.

Je ne souhaite pas conclure en vous disant que nous vivrions dans un monde heureux, si nous vivions 560 ans ; je voulais seulement attirer votre attention sur certaines incidences des progrès scientifiques, sur le transfert de ces technologies dans le monde en voie de développement, qui n'est pas sans problèmes, et également sur le traitement des maladies dans le monde occidental. On oublie d'ailleurs les causes principales de la mortalité chez 6 milliards d'êtres humains sur la planète et je rappellerai que parmi les dix médicaments les plus vendus dans le monde, quatre sont associés à la dépression ou à l'obésité qui est certainement une maladie associée à l'opulence. Il y a donc également des considérations éthiques qui méritent d'être appliquées à ce type de recherche.

Aujourd'hui l'ADN n'est pas l'objet de débat, ce sera quelque chose qu'on débattrait dans l'avenir. Les modèles appliqués aux animaux nous montrent clairement que sans la présence d'oncogènes nous serions beaucoup plus résistants au développement des tumeurs. Par conséquent, on pourrait poser la question si avec les êtres qui vont naître demain, si en manipulant leurs gènes on pourrait les rendre plus résistants à ces tumeurs ; on pourrait alors justifier ou non ce type de technologies.

Je voudrais donc conclure avec l'espoir que cette science nous offrira peut-être un monde meilleur, un monde dans lequel la discussion et le débat doivent constituer l'élément central de notre communication.

Je vous remercie.

«Les biotechnologies : progrès, promesses et défis »

par Pr. Albert SASSON

*Membre de la commission de fondation
de l'Académie Hassan II des Sciences
et Techniques.*



Le domaine des biotechnologies a été choisi pour cet exposé, car il sera sans doute en rapport étroit avec les activités de l'Académie en matière de soutien à la recherche, d'évaluation de celle-ci et de divulgation auprès du public des progrès, des promesses et des défis des biotechnologies. En vérité, des groupes ou des réseaux de chercheurs marocains sont impliqués dans un large éventail de biotechnologies, des formes de coopération régionale ou internationale ont été établies, en tenant compte des moyens et des ressources humaines disponibles. Sans doute, le Maroc pourrait faire mieux, grâce à des efforts de concentration ou de fédération de l'effort de recherche, de coordination plus rigoureuse et d'un soutien centré sur des priorités mieux affichées. L'Académie est appelée à jouer un rôle important dans une telle perspective.

L'exposé pourrait donc contribuer à «préfacer» cet effort national de mobilisation autour des biotechnologies les plus appropriées pour le Maroc.

Progrès et promesses

Au cours des quatre dernières décennies, le mot biotechnologie a progressivement fait partie de notre vocabulaire ordinaire, les scientifiques, les moyens de communication de masse et la société civile ayant joué à cet égard un rôle déterminant. Il s'agit sous ce vocable (utilisé au singulier, mais plus correctement au pluriel) d'englober un large éventail d'applications des découvertes en sciences de la vie, mises en œuvre grâce à l'ingénierie des procédés de production. Fort anciennes, les biotechnologies étaient et sont encore à l'origine de produits alimentaires issus des fermentations microbiennes (pains, fromages et yoghourts, bières et vins) ou des antibiotiques (produits par des actinomycètes et des champignons filamenteux microscopiques sur des milieux de culture de composition relativement simple), ou encore de vaccins (à base d'agents pathogènes à la virulence atténuée), l'essor spectaculaire des biotechnologies à partir des années 1980 est dû aux progrès réalisés dans la connaissance de la structure du génome des êtres vivants, c'est-à-dire de leur patrimoine héréditaire :

isolement, identification et transfert des gènes. Les applications qui en découlent, intéressent tous les champs de l'activité humaine : santé, médecine et pharmacie (biotechnologie « rouge ») ; agriculture, alimentation, nutrition, élevage, foresterie, floriculture, production de fibres végétales (biotechnologie « verte ») ; lutte contre les pollutions et protection de l'environnement, dégradation et recyclage des eaux usées, effluents industriels, déchets solides, biolixiviation des minerais, production de biocarburants et de bioplastiques, pour dépendre moins de la pétrochimie, extraction d'enzymes de microbes et de plantes pour les industries alimentaires, du textile et du cuir (biorémédiation, biotechnologie industrielle et « blanche »).

De la recherche en sciences de la vie, dans tous les domaines de celles-ci, on passe aux biotechnologies expérimentales, puis, à l'échelle industrielle, à la bio-industrie, et enfin à une bio-économie, reposant sur un tissu de compagnies spécialisées, produisant une grande variété de produits destinés à des marchés nationaux, régionaux et mondiaux. Il n'y a donc pas de biotechnologies s'il n'y a pas in fine, un ou plusieurs produits à plus ou moins grande valeur ajoutée sur des marchés de dimension mondiale ou plus restreinte. Comme se plaisait à le répéter le savant britannique Sydney Brenner, prix Nobel de médecine et de physiologie en 2002, de toutes les disciplines et techniques avancées qui font progresser les biotechnologies – comme la génomique, la protéomique, la métabolomique, etc. - , la plus déterminante pour l'essor des biotechnologies est l'économie («of all the omics, the most important for biotechnology is the economics»).

En effet, il ne s'agit pas seulement pour un pays donné de disposer de chercheurs et de bons laboratoires en sciences de la vie, ainsi que d'ingénieurs et de techniciens de qualité, mais encore de pouvoir passer rapidement et efficacement à l'innovation biotechnologique et à en faire un avantage économique, un outil de développement économique et social. Beaucoup de pays ont des difficultés à réaliser cette bio-économie, à l'instar de ce qui se fait en informatique, ou encore dans la conception et l'utilisation de nouveaux matériaux dans les processus industriels.

Nous avons donc assisté depuis 1953 – date de la découverte de la structure de l'ADN, macromolécule sur laquelle repose la génétique des êtres vivants – à une évolution qui, après Louis Pasteur, Robert Koch et Alexandre Fleming, conduisit à l'ingénierie génétique, à l'origine des biotechnologies dites modernes ou avancées. Non seulement ces biotechnologies s'alimentent aux sources des progrès en cours et à venir en sciences de la vie, mais profitent aussi de l'apport d'autres technologies, comme l'informatique (bioinformatique) et les nanotechnologies. Cette convergence de plusieurs technologies est porteuse d'un nouveau saut qualitatif dans les applications, les futurs produits et l'architecture de la bio-économie. C'est d'ailleurs à l'interface des disciplines (biochimie, biophysique, par exemple) que se sont faites de grandes découvertes et, par la suite, des innovations technologiques importantes.

La bio-économie en chiffres

En 2005,

- le chiffre d'affaires annuel et mondial des biotechnologies se montait à 63,15 milliards de dollars (\$), dont 47,79 milliards \$ aux États-Unis, contre 53,367 milliards \$ en 2004 ;
- les dépenses correspondantes en recherche-développement atteignaient alors 20,41 milliards \$ dans le monde, dont 15,98 milliards \$ aux États-Unis, contre 19,54 milliards \$ en 2004 ;
- les pertes dues à la mortalité des compagnies de biotechnologie (start-up) ou aux échecs de commercialisation, s'élevaient à 4,39 milliards \$, dont 2,13 milliards \$ aux États-Unis, contre 6,27 milliards \$ en 2004.

Le nombre de compagnies de biotechnologie (sont exclus les compagnies ou groupes industriels utilisant des biotechnologies classiques ou traditionnelles, comme les industries alimentaires, vinicoles ou brassicoles, etc.) s'élevait à 4.203 en 2005 dans le monde, dont 1.415 aux États-Unis, 1.800 en Europe, 460 au Japon, 200 en Australie. Sur les 1.415 compagnies américaines, 320 environ étaient cotées en bourse, contre seulement une centaine en Europe. On estime qu'en 2007 plus de 815.000 personnes seront employées dans les différents domaines des biotechnologies avancées et que chacune de ces personnes gagnera environ 27.000 \$ de plus par an que tout autre employé dans un secteur technologique comparable.

En 2004, 17 milliards \$ ont été investis aux États-Unis dans les biotechnologies avancées, notamment dans le champ médical et biomédical, soit cinq fois plus qu'en Europe. Autre signe de la bonne santé de la bio-économie, surtout en médecine et santé, les alliances de plus en plus nombreuses entre les grands groupes industriels (par exemple, pharmaceutiques) et les start-up de biotechnologie : 900 nouvelles alliances ont été conclues en 2004, et la tendance mondiale est à l'accroissement de cette forme de synergie.

Biotechnologie médicale et pharmaceutique (« rouge »)

● Les médicaments d'origine biotechnologique représentent, en 2005, 8% à 10% du chiffre d'affaires mondial des produits pharmaceutiques (environ 600 milliards \$) et constituent 40% des nouveaux médicaments commercialisés. En 2010, ce pourcentage atteindra 12%, soit environ 100 milliards \$.

Actuellement, 190 médicaments et vaccins d'origine biotechnologique sont commercialisés, et 400 sont en phase de développement. Le secteur des produits de diagnostic est celui qui croît le plus vite et certains d'entre eux ont aussi des actions thérapeutiques : on parle alors de «théragnostiques»; ce sont les anticorps monoclonaux dont la fabrication croît très rapidement et qui sont en particulier utilisés pour diagnostiquer et lutter contre divers types de cancer.

● Le secteur des vaccins connaît aussi une croissance marquée, à la suite notamment des menaces prévisibles de grippe aviaire et d'autres virus d'origine animale. Le chiffre d'affaires mondial de la vente des vaccins se hausse à une douzaine de milliards \$ et des alliances entre compagnies ont pour but de diminuer

les coûts de production pour des produits qui doivent rester accessibles au plus grand nombre. Des groupes comme Aventis-Sanofi, GlaxoSmithKline, Chiron-Novartis dominent le panorama mondial.

- Les progrès spectaculaires en génétique humaine (cartographie du génome humain et des génomes d'autres espèces animales voisines), l'identification de plus en plus précises des différences génétiques entre individus (SNIPs, « single nucleotide individual polymorphisms », projet de cartographie HapMap de ces différences) ouvre la voie à la médecine personnalisée, à la médecine prédictive, à la plus grande efficacité des essais cliniques des médicaments (qui peuvent représenter jusqu'à 60 % des dépenses nécessaires à la mise au point d'un nouveau produit thérapeutique, qui s'élèvent généralement à 500-800 millions \$). La médecine régénérative, c'est-à-dire le remplacement de tissus ou d'organes, est aussi en développement, en bénéficiant des recherches sur les cellules souches d'origine embryonnaire ou adultes. Les équipes impliquées dans ces recherches, encadrées par des règles d'éthique strictes, ne sont pas seulement implantées dans les pays technologiquement avancés, mais également dans quelques pays en développement, par exemple au Brésil, en Chine ou en Inde.

- La découverte récente de l'existence de cellules souches dans les tumeurs cancéreuses ouvre de nouvelles pistes de lutte contre les cancers, puisque si ces cellules pouvaient être inhibées de façon sélective, on disposerait de traitements bien plus efficaces. On pourrait espérer gagner une bataille de la guerre déclarée au cancer il y a une trentaine d'années et qui n'a pas encore connu un succès décisif.

- Sur le plan de la prévention, outre les vaccins dérivés du génie génétique comme les vaccins anti-hépatite A et B, deux vaccins contre les papillomavirus, qui causent le cancer du col utérin et la mort de dizaines de milliers de femmes chaque année, sont sur le point d'être commercialisés par les compagnies américaine Merck et britannique GlaxoSmithKline. Un vaccin contre les rotavirus, agents de diarrhées chez l'enfant, est déjà commercialisé. Les défis demeurent en ce qui concerne les vaccins contre le sida, le paludisme et d'autres maladies parasitaires, mais des vaccins expérimentaux sont testés dans quelques pays et certains semblent prometteurs.

- Quant aux médicaments et autres procédés thérapeutiques, la thérapie génique reste encore au stade expérimental et les protocoles doivent être encore améliorés notamment sur le plan de l'innocuité pour les patients. Les sociétés de biotechnologie, associées aux grands groupes pharmaceutiques, sont très actives dans la recherche de nouveaux médicaments mieux ciblés et donc plus efficaces, en se fondant sur les progrès de la génomique fonctionnelle, de la protéomique et de la métabolomique. Mais il faut aussi souligner que nous entrons dans l'ère du médicament biogénérique, c'est-à-dire de la fabrication des copies des médicaments d'origine biotechnologique dont les brevets viennent à expiration. Ainsi, en avril 2005, la compagnie pharmaceutique suisse Sandoz - second leader mondial de la production de médicaments génériques - a annoncé l'approbation du premier médicament biogénérique dans l'Union européenne. En mai 2005, ce fut au tour de la compagnie Biopartners, également installée en Suisse et partenaire de

la compagnie sud-coréenne LG Life Sciences, d'annoncer l'approbation par l'Union européenne d'une hormone de croissance humaine biogénérique, et la soumission d'un autre dossier à l'Agence européenne du médicament. D'autres compagnies, comme l'israélien Teva - leader mondial du générique - ou l'allemand Stadar, ont des plans identiques. La Food and Drug Administration des États-Unis est pressée de se prononcer sur des dossiers analogues, tandis que des pays en développement comme l'Inde, la Chine, l'Argentine vont trouver dans ce domaine des avantages compétitifs et des sources de revenu appréciables. En effet, aux États-Unis seulement, Sandoz admet que des médicaments d'origine biotechnologique représentant des ventes annuelles évaluées à quelque 11 milliards \$ ne sont plus protégés par des brevets, mais ne sont pas encore remplacés par des biogénériques.

Bien que la biotechnologie "rouge" nécessite des investissements importants et des chercheurs hautement qualifiés, ainsi qu'un secteur privé proactif, plusieurs pays en développement s'y sont impliqués avec succès : Cuba qui depuis 1986 et sur une vingtaine d'années à investi 1 milliard \$, produit aujourd'hui une large gamme de médicaments, vaccins et outils de diagnostic, dérivés du génie génétique, et exporte annuellement pour 300 millions \$ de produits médicaux, y compris ceux d'origine biotechnologique ; la Chine et l'Inde qui fabriquent aussi un grand éventail de médicaments dérivés de la biotechnologie, ont créé des compagnies particulièrement compétitives sur le plan régional et international (comme Ranbaxy, Cipla et Cadila en Inde), se lancent dans la production de biogénériques et réalisent des opérations conjointes avec des pays ou des groupes industriels du nord (à présent que ces deux nations ont profondément modifié leur réglementation en matière de protection de la propriété intellectuelle) ; l'Argentine, dont la vieille tradition de recherche biomédicale et la qualité des chercheurs en sciences de la vie et en biochimie (trois prix Nobel depuis le début des années 1950 et un quatrième, César Milstein, qui découvrit la technique des hybridomes, à l'origine des anticorps monoclonaux et qui travaillait au Medical Research Council à Cambridge) ont contribué au développement de biotechnologies médicales, par exemple au sein de la compagnie BioSidus à Buenos Aires (médicaments et récemment production d'hormones de croissance humaine dans le lait de génisses de race Jersey, génétiquement modifiées) ; le Brésil (Fondation Biobras, compagnie Vallée, spécialisée dans les produits vétérinaires, dans un pays qui est le premier producteur et exportateur de viande bovine et le second exportateur mondial de poulet de chair) ; le Chili ; l'Afrique du Sud.

Biotechnologie végétale et agricole (« verte »)

Sous ce vocable, on englobe un ensemble de techniques qui vont des plus simples et à faible coût aux plus sophistiquées, fondées, comme dans le cas des biotechnologies médicales, sur le génie génétique et les progrès en génomique végétale (par exemple séquençage complet du génome d'*Arabidopsis*, une petite crucifère, qui est l'outil préféré des généticiens des plantes; et de celui du riz, *Oryza sativa*, de ses deux sous-espèces, *indica* et *japonica*).

Les biotechnologies qui consistent à micropropager les plantes après en avoir

cultivé des tissus sur des milieux de culture solides ou liquides, puis à les multiplier à grande échelle pour obtenir des milliers, voire des millions de plantes identiques, sont les biotechnologies les plus répandues dans les pays en développement. Micropropagation in vitro et multiplication clonale à grande échelle ne demandent pas de grands investissements et permettent de fournir aux agriculteurs, horticulteurs, floriculteurs et conservateurs ou exploitants forestiers, à longueur d'année (sans dépendre des saisons), des millions de plantes, semblables à l'individu d'où on a prélevé le tissu initial et doté des caractères recherchés, qui, après une période en serre, peuvent être transplantées au champ. Ces plantules sont en outre dépourvues de virus ou d'autres agents pathogènes, ce qui est un avantage précieux pour les agriculteurs. Ces biotechnologies s'appliquent aussi bien aux cultures alimentaires que de rente (bananier, agrumes, myrtilles, espèces forestières - pin et eucalyptus, fleurs - orchidées, roses, œillets, gerberas, etc.). Les « bio fabriques », c'est-à-dire les ensembles de serres et de laboratoires de micropropagation et de culture de tissus qui les accompagnent, produisent des millions de plantules par an et ont permis à quelques pays en développement de conserver ou de renforcer leur rôle dans l'exportation de produits agricoles, de fleurs et de bois/pâte à papier. Par exemple, au Costa Rica, second exportateur mondial de bananes (derrière l'Équateur) ; au Brésil, premier exportateur mondial de jus d'orange ; en Colombie, premier exportateur mondial d'œillets ; en Thaïlande, premier producteur d'orchidées ornementales ; ou encore au Chili, cinquième exportateur mondial de pâte à papier (avec un revenu annuel de plus de 3 milliards \$), qui a mis au point la propagation végétative à grande échelle de *Pinus radiata* et dont le secteur forestier joue un rôle très important dans l'économie de ses régions au climat tempéré et frais.

Les pays en développement ne sont pas absents non plus des recherches et des applications en génétique végétale. En 2005-2006, on commémore le dixième anniversaire de l'introduction à l'échelle industrielle de variétés cultivées dans le génome a été modifié pour acquérir un caractère agronomique nouveau. Ces cultures dites transgéniques, de première génération, qui sont résistantes à des ravageurs (insectes) ou qui sont tolérantes à un herbicide, utilisé en même temps que leur culture pour éliminer des mauvaises herbes ou adventices, sont présentes aujourd'hui sur 90 milliards d'hectares environ dans le monde, soit quelque 5% des terres cultivées. Cela est significatif et cette superficie est appelée à croître, en dépit de réticences ou des rejets exprimés à l'égard de ces cultures dans la plupart des pays de l'Union européenne (qui pourtant en a autorisé la culture après un moratoire de quelques années et a fixé les règles de cette culture dans une directive de la Commission européenne). Après les États-Unis qui cultivent quelque 50 millions d'hectares, viennent l'Argentine avec plus de 18 millions d'hectares, le Canada, la Chine, le Brésil. Là encore, le rôle des pays en développement est important. Ces pays, en effet, qui se sont dotés des structures de recherche adéquates et ont promulgué et appliqué des systèmes de régulation en biosécurité, inspirés de ceux en vigueur aux États-Unis ou en Europe, considèrent que les cultures transgéniques sont un outil pour leur développement économique et social et ne veulent pas être tenus à l'écart de la «révolution» biotechnologique. Ils

insistent pour appliquer les règles et normes de biosécurité et d'innocuité pour les consommateurs, mais sans excès ou régulation démesurée.

- Ainsi, la Chine qui a réussi à séquencer le génome du riz (*Oryza sativa*, subsp. *indica*) en même temps qu'un consortium international et que la compagnie semencière suisse Syngenta, a produit en laboratoire plusieurs variétés de riz transgénique, les a évaluées en champ dans des essais contrôlés par les autorités de régulation, et se prépare à les approuver pour leur culture à grande échelle. Elle cultive aussi du coton transgénique, résistant à des ravageurs et à des herbicides, sur près de 40 % de la surface totale consacrée à cette culture ; les variétés utilisées sont à la fois celles que la Chine achète à la compagnie semencière et agrochimique américaine Monsanto, et celles que les agronomes chinois ont sélectionnées pour les adapter aux divers milieux locaux. La Chine investit, en fonds publics, plus que les États-Unis en biotechnologie végétale : quelque 500 millions \$ par an en 2005-2006 et sans doute 1 milliard \$ dans deux ou trois ans. Mais, en tenant compte de l'investissement du secteur privé, les États-Unis restent le champion mondial incontesté.

- L'Argentine cultive du soja, du maïs et du coton transgéniques, comme aux États-Unis. Troisième exportateur mondial de soja, après les États-Unis et le Brésil, la culture du soja transgénique, tolérant aux herbicides, a progressé de façon spectaculaire, associant l'usage de ces nouvelles semences avec une pratique agricole utilisée de longue date, la culture sans labour. Ce nouveau paradigme agricole, réunissant la biotechnologie et de bonnes pratiques agronomiques, offre à ce pays des perspectives de développement particulièrement prometteuses. Près de 95% du soja cultivé et exporté est transgénique ; il trouve des débouchés en Chine, gros importateur (bien que ce pays soit le berceau du soja), mais aussi en Europe, comme aliment des animaux d'élevage. Grâce aux revenus des exportations de soja (taxe de 23% à l'exportation), l'État argentin a pu rembourser à la fin de l'année 2005 sa dette de 20 milliards \$ à l'égard du Fonds monétaire international (FMI). Dans un pays où l'agriculture ne reçoit aucune subvention, les biotechnologies sont un outil indispensable à la compétitivité de l'Argentine sur les marchés internationaux, face aux États-Unis qui subventionnent largement leurs agriculteurs, à l'instar de l'Union européenne dans le cadre de la politique agricole commune.

L'Argentine a approuvé un plan décennal (2005-2015) pour le développement de la biotechnologie, où le secteur privé est particulièrement « impliqué » et le gouvernement tout à fait proactif. Cette synergie est illustrée par la création d'un Institut agrobiotechnologique (INDEAR) à Rosario, la capitale du soja, grâce à l'association de deux entreprises (BioSidus et Bioceres) avec le Conseil national de science et technologie (CONICET) et à un investissement de 10 millions \$ sur cinq ans. À cela s'ajoute la coopération avec l'Espagne, dont l'Institut de biotechnologie des plantes du Conseil supérieur de la recherche (CSIC) à Barcelone collabore avec le CONICET sur les lieux-mêmes de l'INDEAR. Dans ce dernier travailleront une centaine de personnes sur la génomique structurale et fonctionnelle d'espèces cultivées comme le soja ; sur la tolérance des cultures à la sécheresse, à la chaleur ou au froid, en se fondant sur des recherches en génétique moléculaire ; et sur la résistance des plantes aux agents pathogènes.

● Quant au Brésil que l'on qualifie souvent comme la future puissance agro-industrielle du monde dans les prochaines années, l'engagement dans la biotechnologie verte est tout à fait clair, en même temps que ce pays a enregistré des progrès marquants en recherche agronomique au cours des trente-cinq dernières années. Premier exportateur mondial de café, de sucre, de jus d'orange, de viande bovine, second exportateur mondial de poulet de chair et de soja (derrière les États-Unis), le Brésil compte assurer sa suprématie en s'appuyant sur l'innovation agronomique conventionnelle (illustrée par l'excellence des travaux réalisés par l'Entreprise brésilienne de recherche agronomique et zootechnique – EMBRAPA), mais aussi sur les biotechnologies avancées. C'est ainsi qu'en dix ans (1994-2004), la superficie cultivée en soja transgénique est passée de 10 millions d'hectares à 21 millions d'hectares, alors qu'en Argentine elle triplait, de 5,1 millions d'hectares à 14,3 millions d'hectares. L'Uruguay et la Bolivie connaissaient une évolution moins spectaculaire, mais, à l'instar du Brésil et de l'Argentine, considéraient cette innovation biotechnologique comme utile à leur développement agricole et nécessaire à leur compétitivité agro-industrielle.

Au Brésil, le soja produit dans des exploitations gigantesques, certaines atteignant 100.000 à 150.000 hectares, est au cœur du secteur agro-industriel qui rapporte un quart du produit intérieur brut (PIB, qui se monte à plus de 600 milliards \$ en 2005) et qui contribue à 40% des exportations totales annuelles (34 milliards \$ en 2004) ; c'est « l'ancre verte » de l'économie brésilienne. Cette prédominance du secteur agro-industriel n'est certainement pas étrangère à la décision du président Luis Ignacio Lula da Silva d'approuver d'abord la commercialisation du soja transgénique, peu de temps après son élection, puis la culture de ces variétés, qui avaient été approuvées par les comités de biosécurité. En mars 2005, la loi sur la biosécurité était promulguée, un conseil national de biosécurité était créé, tandis qu'au parlement brésilien se formait un Front en faveur de la biotechnologie et de l'innovation technologique. Le réalisme politique et économique, fondé sur une recherche de qualité et sur des mesures de biosécurité rigoureuses, à prévalu contre l'alarmisme non avéré.

En 2000, le Brésil faisait irruption sur la scène de la génomique microbienne, lorsque ses chercheurs travaillant au sein d'un réseau unissant près de 150 laboratoires (constituant le système Onza), utilisant à la fois des techniques avancées de séquençage de l'ADN et de la bio-informatique, publièrent la structure du génome de *Xyliella fastidiosa*, agent microbien pathogène qui cause la chlorose des agrumes et qui est donc une grave menace pour les vergers du premier producteur et exportateur de jus d'orange. Ces recherches génétiques permettraient de trouver une parade contre la maladie et aussi contre une affection de la vigne, la maladie de Pierce, causée par une autre souche de *X. fastidiosa* et particulièrement menaçante dans les vignobles de Californie. Le Brésil prête d'ailleurs son assistance aux chercheurs américains pour lutter contre cette maladie, an ayant recours à la biotechnologie.

La génomique de la canne à sucre est une autre priorité de la recherche-développement. Cette initiative, SUCEST, a pour objet principal de maintenir une

productivité élevée ainsi que la position de leader mondial du Brésil pour la production de sucre de canne. La combinaison de facteurs climatiques optimaux pour cette espèce de graminée (en particulier dans la région centrale du Brésil, à Riberão Prato), de l'existence de collections de variétés cultivées particulièrement abondantes qui alimentent la sélection variétale conventionnelle, mais aussi la création de variétés transgéniques, et de la synergie entre recherche publique et privée (deux compagnies de biotechnologie, Allelix Genomics et CanaVialis soutenues par le plus grand conglomérat industriel brésilien, Votorantim – 6 milliards \$ de revenu annuel) a pour résultat le coût de production de sucre le plus bas au monde : 120 \$ la tonne (qui pourrait encore baisser grâce à la culture de variétés de canne à sucre transgéniques).

Les recherches en génomique végétale concernent aussi l'eucalyptus, dont plusieurs espèces, cultivées à très grande échelle, constituent le pivot d'une puissante industrie de production de cellulose et de pâte à papier. Il s'agit de sélectionner des variétés à croissance rapide et ayant des qualités favorables à la transformation industrielle du bois.

Outre des pâturages bien adaptés à l'élevage bovin, la génomique des espèces concernées est aussi un objectif de la recherche zootechnique, qui vise à accroître la productivité, la qualité de la viande, la traçabilité des animaux et des produits de boucherie. Après avoir dépassé l'Australie, le Brésil est en 2006 le premier exportateur mondial de viande bovine ; il fait des efforts importants pour répondre aux normes internationales de qualité et de sécurité alimentaire, en utilisant les outils biotechnologiques et informatiques. Il en est de même pour la production de volaille et particulièrement de poulet de chair dont les volumes produits ont été multipliés par 5,36 entre 1970 et 2005, alors que ceux de la viande bovine l'avaient été par 2,64. Sur une production mondiale évaluée à 80,3 millions de tonnes (+3% en 2005), 7,55 millions de tonnes sont commercialisées et le Brésil arrive quasiment en tête des pays exportateurs. La disponibilité de grandes quantités de soja, comme aliment des élevages intensifs de volaille, est un avantage compétitif de taille. La génomique du poulet (le séquençage de l'ADN a été réalisé en 2005-2006 par un consortium international, comprenant la Chine, où l'expertise est grande, s'agissant d'un animal d'origine asiatique) est là encore un instrument d'amélioration de la production aviaire ainsi qu'un outil au service de la lutte contre les maladies des volailles (par exemple, contre la grippe aviaire).

Le soutien apporté par le gouvernement brésilien au secteur agro-industriel n'est pas incompatible avec l'aide résolue au secteur agricole familial, qui joue un rôle considérable dans l'alimentation des Brésiliens. Outre les aspects d'assistance sociale, de redistribution des terres (encore jugée insuffisante) et de réforme agraire, la recherche agronomique, y compris les biotechnologies végétales, s'efforce d'améliorer la production des petits paysans ainsi que la productivité de leurs cultures vivrières (manioc, maïs, patate douce, cucurbitacées, espèces maraîchères et fruitières). Un autre grand défi posé au Brésil et à son développement concerne la protection et la gestion rationnelle des ressources du bassin amazonien, ainsi que la préservation des droits des populations

amérindiennes qui y vivent. Outre les mesures de surveillance et de protection des écosystèmes, l'étude, la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique de la flore, de la faune et des microorganismes des forêts amazoniennes peuvent bénéficier de la contribution des biotechnologies.

● L'Inde, à l'instar de l'Argentine ou de la Chine, a aussi adopté une « feuille de route génomique » (Genomic Road Map), qui fixe les étapes de l'adoption et de la culture de variétés transgéniques. Outre le coton transgénique adopté par l'un des grands pays producteurs de cette fibre textile et dont la superficie croît rapidement, une moutarde transgénique a été sélectionnée et sa culture à grande échelle permettra à l'Inde de réduire son déficit en huiles végétales. Le gouvernement indien, en association étroite avec de grandes compagnies nationales, incite les paysans de certains États de l'Union indienne à se tourner vers la culture et l'exportation de produits horticoles (fruits et légumes) et de fleurs, afin d'accroître leurs revenus ; les biotechnologies végétales sont alors d'un appoint important pour l'accroissement de la productivité et de la qualité des produits. Il faut rappeler que l'Inde a été l'un des premiers pays en développement à octroyer une haute priorité aux biotechnologies et à créer un département ministériel à cet effet au début des années 1980.

● Le Chili a lancé l'Initiative Génome Chili (Iniciativa Genoma Chile) en 2004, en lui consacrant 6,5 millions \$ au minimum. Ces recherches de génomique intéressent la vigne, des espèces fruitières et des microorganismes. Le Chili est le premier exportateur mondial de raisins de table; c'est aussi un producteur important de vins de qualité qui concurrencent avec succès les vins des pays européens comme la France, l'Italie ou l'Espagne. Outre les travaux de sélection variétale de cépages ou de cultures de vigne par les techniques agronomiques conventionnelles ou assistées par des marqueurs génétiques, les recherches portent sur des variétés de vigne transgéniques (raisins de table, Sultanina) résistantes à la pourriture grise (*Botrytis cinerea*). De telles plantes ont été obtenues au laboratoire et sont cultivées en serre, avant des essais au champ. Pour accroître sa compétitivité internationale, le Chili a développé des systèmes sophistiqués de détection de la maturité des grains de raisins afin de procéder aux vendanges en temps opportun dans les différentes zones de culture et pour les divers cépages; les techniques de fermentation alcoolique sont également très bien maîtrisées et un laboratoire de biochimie avancée mène des recherches de pointe sur les arômes des vins en vue de mieux répondre aux goûts des consommateurs.

Le Chili est aussi le troisième exportateur mondial de nectarines. Les fruits à noyau sont donc l'objet de recherches poussées, notamment pour sélectionner des variétés résistantes aux agents pathogènes, comme le virus «sharka». Ce dernier attaque aussi les fruits des mêmes variétés dans les pays européens, où l'on fait des recherches analogues afin de réduire les pertes, estimées à plus de 167.000 tonnes de fruits par an dans sept pays européens. Les chercheurs chiliens s'efforcent aussi de créer de nouvelles variétés aux qualités organoleptiques répondant aux goûts des consommateurs des pays importateurs.

La génomique des microbes impliqués dans la biolixiviation des minerais de cuivre est aussi un domaine de recherche prioritaire, car l'extraction minière est le premier secteur économique national. Premier exportateur mondial de cuivre et bénéficiant de prix très avantageux, la compagnie nationale CODELCO est un agent économique de premier plan. Le gouvernement chilien, la CODELCO et une compagnie japonaise ayant des intérêts miniers au Chili, Nippon Mining Metals, ont créé une nouvelle compagnie, Biosigma, qui est chargée d'améliorer les processus de lixiviation par des microorganismes ; la génomique de ces derniers représente donc un outil de choix, non seulement pour accroître l'extraction de cuivre et d'autres métaux, mais encore réduire sensiblement la pollution que causent les procédés physico-chimiques de production du cuivre.

Toujours dans le domaine de la génomique, l'étude d'un parasite microbien du saumon, *Piscirickettsia salmonis*, est justifiée par l'importance économique de la salmoniculture, le Chili étant le second exportateur mondial de saumon après la Norvège.

La priorité accordée aux recherches en génomique végétale et microbienne a conduit le gouvernement chilien à créer avec les centres de recherche, les universités et les compagnies du secteur privé concernés des consortiums de recherche-développement, qui seront à la fois les acteurs et les bénéficiaires des recherches.

● Le Mexique qui a été le premier pays en développement dont les chercheurs avaient réussi à transformer des variétés cultivées (pomme de terre et piment) au début des années 1970, au sein de l'unité du CINVESTAV (Centre de recherches et d'études avancées) d'Irapuato (État de Guanajuato), et qui est aussi le berceau du maïs, vient de consacrer un budget de l'ordre de 50 millions \$ à la génomique du maïs. Le Mexique possède en effet une très grande diversité génétique de cette culture ainsi que des collections de germoplasme importantes ; il est donc très bien placé pour apporter une contribution encore plus déterminante à l'amélioration de cette plante, dont le rôle agro-économique est capital aussi bien dans les pays développés que dans les pays en développement.

● Le cas du coton transgénique mérite une mention spéciale. C'est en effet de toutes les cultures transgéniques (maïs, soja, colza/canola) celle qui progresse la plus rapidement. Elle offre en effet des avantages et des bénéfices importants aux agriculteurs, petits ou grands, qui l'adoptent. Le coton est attaqué par un grand nombre d'insectes ravageurs, ce qui nécessite des épandages fréquents (plus de 12 par saison) de pesticides/insecticides ; les mauvaises herbes sont un autre grave inconvénient de cette culture. La mise au point par la société semencière et agro-alimentaire américaine Monsanto de variétés de coton transgéniques tolérantes aux herbicides utilisés pour éliminer les adventices et résistantes aux insectes ravageurs (coton Bt) a permis d'accroître les revenus des agriculteurs et de diminuer très nettement les quantités de biocides employées, et donc de réduire sensiblement la pollution des sols causée par ces derniers ainsi que le nombre d'accidents (empoisonnements) chez les utilisateurs.

Les États-Unis, l'Inde, le Pakistan, la Chine, les Philippines, la Thaïlande, l'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, etc., cultivent le coton tolérant aux herbicides et résistant aux insectes parasites. L'utilisation de ces nouvelles variétés s'accompagne parfois de bonnes pratiques agronomiques, comme l'absence de labour (à l'instar du soja transgénique). L'Égypte a mis au point des variétés transgéniques de son coton hautement apprécié pour ses longues fibres, tandis que des essais de ces variétés nouvelles sont conduits au Burkina-Faso et au Mali ; les pays d'Afrique subsaharienne (Ouest africain) sont de gros producteurs d'un excellent coton, dont la filière fait vivre quelque 10 millions de personnes. Ces pays et d'autres producteurs qui ne bénéficient pas de subventions et qui s'efforcent de rester compétitifs sur les marchés internationaux (grâce au faible coût de la main-d'œuvre et aux innovations biotechnologiques), réclament à l'Organisation mondiale du commerce (OMC) l'élimination progressive des subventions que les États-Unis et quelques pays européens (Espagne) accordent à leurs producteurs. La concurrence serait alors plus équitable et l'innovation biotechnologique aurait un sens.

● L'impact socio-économique des cultures transgéniques pendant neuf ans aux États-Unis peut-être illustré par les données suivantes :

- le revenu annuel (2003) des agriculteurs augmenta de 1,9 milliard \$, à cause de la réduction des coûts de production (1,47 milliard \$) et de l'accroissement des rendements (+2,6 millions de tonnes); de la réduction de l'usage des pesticides (-23.000 tonnes) et de l'ensemencement direct sans labour préalable;
- les consommateurs américains ont acheté l'équivalent de 28 milliards \$ de produits dérivés de cultures transgéniques aux agriculteurs de leur pays.

On évalue à plus de 8 millions le nombre d'agriculteurs qui, dans le monde, cultivent les variétés transgéniques, et une grande proportion d'entre eux sont des agriculteurs disposant de faibles surfaces et de moyens modestes. C'est dire que l'innovation biotechnologique n'est pas réservée aux seuls gros exploitants. Le rôle de l'État est précisément de veiller à ce que cette innovation soit adoptée par les petits exploitants agricoles, grâce à diverses formes d'assistance.

● Les produits de seconde génération dérivés des cultures transgéniques en sont au stade des recherches de laboratoire ou des essais en serre ou en champ. L'exemple le plus remarquable est celui du riz « doré » qui comprend des variétés de riz (*Oryza sativa* sous-espèce *indica*) enrichies en bêta-carotène ou provitamine A, à la suite de transformations génétiques. Celles-ci réussies par Ingo Potrykus et ses collaborateurs en Suisse ont consisté à transférer dans ces variétés de riz les gènes qui contrôlent la synthèse de cette provitamine, naturellement absente des grains de riz ; ces derniers prennent alors une teinte jaune ou dorée. Près d'une douzaine de brevets couvrant l'utilisation des gènes nécessaires à cette opération ont été cédés aux chercheurs suisses, notamment par la compagnie Syngenta, car le projet a un objectif humanitaire : éviter à des centaines de milliers d'enfants de devenir aveugles, chaque année, en raison de la xérophtalmie (dessèchement de la cornée) causée par l'avitaminose A. C'est là une maladie nutritionnelle grave, que

L'on peut combattre par des apports de vitamine A dans l'alimentation (fruits et légumes riches en cette vitamine) ou sous forme concentrée (gélules ou comprimés, liposolubles). L'idée des chercheurs suisses était donc d'incorporer la provitamine A aux grains de riz, c'est-à-dire de la biofortifier, de sorte que l'ingestion d'un tel riz doré serait suivie de la transformation par le foie de la provitamine A (bêta-carotène) en vitamine A. Douze années de travaux ont été nécessaires avant de procéder aux essais au champ aux Philippines, en Louisiane et probablement en Chine, afin de vérifier la transmission du nouveau caractère génétique sur plusieurs générations de plantes et de récolter assez de grains de riz pour mener les essais cliniques indispensables pour démontrer l'effet bénéfique sur la santé des consommateurs. La commercialisation du riz « doré » est envisagée vers 2010 et, pour des raisons éthiques, il est prévu que les riziculteurs pauvres (revenu annuel inférieur à 10.000 \$) recevront les graines gratuitement (sans avoir à payer les royalties), ce qui ne sera pas le cas des gros exploitants.

La biofortification des variétés ou espèces cultivées (maïs, pomme de terre, haricot, patate douce, blé et riz, etc.) par voie conventionnelle ou/et par voie du génie génétique est un domaine de recherches actives dans le monde ; l'enrichissement en vitamines, en oligo-éléments (fer, zinc), en acides aminés et en acides gras essentiels est une préoccupation des nutritionnistes et de l'industrie agro-alimentaire. Des huiles végétales de soja, de tournesol ou de colza, enrichies en acides gras insaturés à longues chaînes de carbone (oméga 3 et oméga 6), existent et proviennent de variétés transgéniques dont les voies de biosynthèse des acides gras insaturés ont été modifiées par génie génétique. Ce sont les huiles du futur dont l'effet sur la santé des consommateurs a été démontré, notamment dans la diminution du risque de maladies cardio-vasculaires.

Des fruits à maturation retardée afin d'en accroître la durée de vie en magasin de vente sont aussi en cours de développement. La première variété cultivée transgénique fut en 1995 une variété de tomate à maturation retardée (Flavr/Savr tomato, sélectionnée par la compagnie américaine Calgene) ; le gène contrôlant la synthèse de la galacturonase, enzyme dégradant les parois des cellules végétales et donc ramollissant les fruits, avait pu être bloqué par la technique dite de l'ARN anti-sens. Cette nouvelle variété de tomate connut un grand succès, aussi bien sous la forme de légume frais que de sauce tomate. Mais à la suite d'une campagne anti-OGM assez violente, sa production fut interrompue. La technologie reste toutefois pertinente et les recherches portent non seulement sur des fruits des régions tempérées (melons, pastèques, fruits à noyaux), mais encore sur des fruits tropicaux (papaye, mangues, avocats, annones, fruits de la passion, etc.). Les gains pour les pays en développement, où les pertes post-messiales sont souvent considérables, seront très importants sur le plan économique (par exemple, pour les exportateurs de bananes ou les producteurs de papaye – un excellent fruit sur le plan nutritionnel, mais qui se dégrade rapidement ; il existe une variété de papaye transgénique, résistante au virus de la tache annulaire, ringspot virus, qui est largement cultivée aux îles Hawaï et dont des variétés semblables ont été créées dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est et en Jamaïque). On a vu que dans le cas de la vigne, qu'il s'agisse

de raisins de table ou de cépages pour la vinification, les recherches portent non seulement sur la sélection de variétés transgéniques résistantes à des maladies fongiques ou à des virus (comme celui du court-noué) pour lequel il n'y a pas de résistance naturelle, mais encore sur la synthèse d'arômes particuliers que réclament les consommateurs et qui peut être obtenue soit en transformant la plante, soit en agissant sur les levures de la fermentation alcoolique.

- Dans le domaine non alimentaire, il s'agit, par exemple, de produire des variétés de coton aux fibres colorées (ce qui éviterait la teinture ultérieure et la pollution éventuelle par des colorants synthétiques) ; de nouvelles fibres textiles (par des vers à soie au génome modifié) ; de l'amidon ayant une composition particulière (contenant plus d'amylopectine et moins d'amylose, produit à partir de manioc ou de pomme de terre, ou encore de maïs) et destiné à l'industrie papetière ; du bois contenant moins de lignine et donc plus de cellulose (à partir de pins, de peupliers ou d'autres espèces forestières transgéniques, comme c'est le cas en Scandinavie, au Canada, en Nouvelle-Zélande et probablement au Chili), afin de réduire la pollution consécutive au traitement de la lignine.

- Les produits de la troisième génération dérivés de cultures transgéniques en sont au stade des recherches de laboratoire ou de quelques rares essais en serres. Il s'agit de substances médicamenteuses – vaccins, anticorps, protéines thérapeutiques – qui au lieu d'être produites par des cellules microbiennes ou animales, ou encore par des animaux domestiques (chèvres, brebis ou vaches) dans leur lait, le seront par des plantes. Cela a l'avantage de diminuer considérablement leur coût de production et de réduire les risques de contamination par des agents pathogènes animaux ou humains (virus, notamment). Outre les recherches portant sur la production de vaccins anti-hépatite B, anti-cholérique, anti-colibacilles entéropathogènes, d'anticorps monoclonaux anti-tumoraux, d'hormones de croissance, on peut citer le cas de la synthèse d'une lipase gastrique par des plants de maïs transgénique, utilisable dans le traitement de la mucoviscidose (à Clermont-Ferrand, par la société Meristem Therapeutics).

Biotechnologie industrielle et environnementale («blanche»)

- Il s'agit d'un ensemble de biotechnologies mises en oeuvre pour produire des enzymes destinées aux industries agro-alimentaires, textiles et de traitement des cuirs, en ayant recours à la diversité des micro-organismes et en particulier à ceux vivant dans des conditions extrêmes (extrémophiles vivant dans des sources thermales ou dans les grandes profondeurs de l'océan, ou encore dans des lacs très salés ou près de milieux volcaniques). Les enzymes extraites de ces microbes très particuliers ont des propriétés intéressantes, comme la thermorésistance ou la tolérance à de fortes concentrations en sels, pour la fabrication de lessives ou pour servir dans des traitements drastiques. Le délavage des tissus servant à la fabrication des blue-jeans fait aussi appel à des enzymes qui ont remplacé l'usage de la pierre ponce pour obtenir le même résultat.

- La biotechnologie industrielle est impliquée, on l'a vu, dans la biolixiviation des minerais, puisque ce sont des microbes vivant dans des conditions extrêmes

aussi (à des pH très bas), dans les liquides qui aspergent les minerais ou les déchets des mines et qui peu à peu s'enrichissent en métaux extraits par les microbes (thiobacilles notamment). Ces technologies s'appliquent à l'extraction du cuivre, de l'or et d'autres métaux, et sont utilisées par les grands pays miniers comme l'Afrique du Sud, l'Australie, le Chili, ou encore le Canada et le Ghana (or).

● La production de biocarburants comme l'alcool (éthanol), obtenu par fermentation alcoolique de sucre de canne ou de betterave, ou encore comme le biodiesel provenant d'huiles végétales (huiles de colza, de palme, huiles de friture) fait aussi partie de la biotechnologie industrielle, comme l'est la fabrication de plastiques à partir de polymères synthétisés par des micro-organismes (bioplastiques) ou par des espèces cultivées. Dans les deux cas, l'objectif est de s'affranchir du pétrole et de la pétrochimie. Le Brésil est le plus grand producteur mondial d'éthanol, utilisé comme carburant dans les deux-tiers de sa flotte de véhicules automobiles (souvent en association avec l'essence, dans les véhicules dits flex-fuel). Ayant adopté un programme Pro-Alcool dès le milieu des années 1970, le Brésil a progressivement maîtrisé toute la filière de production de l'éthanol, depuis la sélection des variétés les plus productives de canne à sucre (y compris des variétés transgéniques), la production de saccharose à un coût très bas, la fermentation alcoolique de ce dernier, et jusqu'à l'adoption des moteurs à brûler ce carburant. Auto-suffisant en pétrole depuis 2005, le Brésil s'affirme comme le leader mondial de la production et de l'utilisation de biocarburants. Il compte relever le prochain défi, qui est de produire ces biocarburants non plus à partir de sucre de canne ou d'huiles végétales, mais de biomasse végétale (paille de graminées, chaumes de céréales, sorgho, herbe), c'est-à-dire essentiellement de cellulose. Les États-Unis qui tentent de diversifier au maximum leurs sources d'énergie et de réduire leur dépendance du pétrole, consomment des volumes croissants de biocarburants et travaillent activement sur la conversion de la biomasse cellulosique en carburants.

● La biotechnologie « blanche » comprend tous les procédés de traitement des eaux usées, des effluents industriels et des déchets solides, donc de décontamination de l'environnement et de recyclage des matériaux. On parle alors de biorémediation, puisque ce sont des microbes – bactéries, actinomycètes, ou micro-algues – qui, dans des conditions d'aérobiose ou d'anaérobiose, dégradent les matières organiques et épurent les milieux. Certaines espèces de plantes sont capables d'absorber et d'accumuler dans leurs tissus de grandes quantités de métaux lourds et toxiques ; elles sont aussi des agents de dépollution, puisqu'après récolte et incinération des plantes ces métaux peuvent être récupérés. Il s'agit de phytoremédiation.

Cette biotechnologie « blanche » jouit d'une bonne acceptation sociale, à cause de son impact positif sur l'environnement et du large éventail des technologies disponibles et susceptibles d'être adaptées à des situations économiques et technologiques très variées. Selon le cabinet McKinsey & Co., la biotechnologie industrielle et environnementale auront pour effet en 2010 d'accroître de 175 milliards \$ le chiffre d'affaires de ce vaste secteur, estimé à environ 280 milliards \$ actuellement.

Défis

● Le plus grand défi est sans doute, malgré l'essor spectaculaire incontestable des biotechnologies dans le monde entier, leur large acceptation sociale, ce qui implique l'information régulière et objective de tous les publics, sans condescendance et en comprenant leurs craintes ou les peurs (quelquefois irrationnelles) de celles et ceux qui refusent l'adoption des biotechnologies et particulièrement les biotechnologies ayant recours au génie génétique et aux organismes génétiquement modifiés (OGM). Mais comprendre les peurs ou les réticences n'équivalent pas à avoir raison. Le débat citoyen sur les biotechnologies doit se fonder sur les faits et l'expérimentation, et non sur des croyances ou des idéologies.

● Des incertitudes existent, des risques aussi, car il n'y a pas de risque zéro pour aucune technologie. C'est pourquoi une démarche ou une approche de précaution est nécessaire, mais elle doit être fondée sur une évaluation rigoureuse des risques réels ou potentiels (mais pas fictifs) ainsi que sur leur gestion rationnelle. C'est pourquoi la meilleure garantie d'un développement des biotechnologies est l'existence d'un système de biosécurité et d'une réglementation qui évolue en fonction des progrès des connaissances et qui n'a pas pour objet d'entraver la recherche et ses applications. Tous les pays qui ont adopté les biotechnologies avancées, se sont dotés de tels systèmes de biosécurité, à la fois pour rassurer les consommateurs sur l'innocuité des produits dérivés de ces biotechnologies quant à leur santé, et pour en évaluer l'impact sur l'environnement (notamment sur la diversité biologique). Dans ce vaste domaine de la réglementation, de la traçabilité et de la détection des OGM, l'Europe est généralement considérée comme plus rigoureuse que les États-Unis qui ont pourtant un cadre de régulation et de contrôle tout à fait satisfaisant. En agrobiotechnologie, l'Europe est pour le moment dans une position plutôt réticente, alors qu'aux États-Unis on célèbre volontiers dix années de culture des plantes transgéniques sans accident notable.

● La sécurité alimentaire est une préoccupation mondiale, « de la fourchette à la ferme » comme cela s'affirme dans divers programmes de la Commission européenne. Les biotechnologies appliquées à l'agriculture, à l'alimentation et à l'élevage doivent répondre à cette préoccupation. Elles peuvent aussi servir à lutter contre les fraudes alimentaires, grâce à « l'étiquetage » (tagging) génétique, qui garantit l'origine et l'authenticité des aliments et des boissons. La coexistence entre cultures transgéniques, l'agriculture conventionnelle et l'agriculture dite « organique » ou « biologique » doit permettre le choix des agriculteurs et prévenir les dommages éventuels. Plusieurs pays ont adopté ou examinent des législations appropriées sur cette coexistence des agricultures, ou encore sur la ségrégation éventuelle des produits contenant ou non des OGM.

● Comment concilier la protection de la santé des consommateurs et de l'environnement avec les règles du commerce international des produits dérivés des biotechnologies ? C'est là un autre défi et les débats se poursuivent au sein de l'OMC, mais aussi de la conférence des parties à la Convention sur la diversité biologique et de la conférence des parties au Protocole international de biosécurité

ou Protocole de Carthagène. Il s'agit de concilier les contraintes ou les exigences de la biosécurité (au niveau national et international) avec les dispositions de libre échange, et d'éviter que les premières ne soient interprétées comme des entraves au commerce international.

● Le défi pour les pays en développement est de ne pas perdre l'opportunité que représentent les biotechnologies pour le progrès de leurs sociétés. On a vu que plusieurs d'entre eux ont pris l'option d'un ferme engagement et compteront de plus en plus dans l'essor mondial des biotechnologies. Il reste que beaucoup d'entre eux nécessitent l'aide régionale et internationale pour ne pas perdre le train des biotechnologies. C'est là une question d'éthique de la solidarité entre les peuples et les nations. Le défi est aussi de faire bénéficier des biotechnologies les petits agriculteurs et les petites et moyennes entreprises. Certains exemples cités plus haut montrent que les biotechnologies, surtout les plus simples, sont à la portée de ces agriculteurs et de ces entreprises. L'État doit aussi jouer son rôle pour aller vers cette autre exigence éthique. Il en va aussi de la compétitivité des économies des pays en développement que les biotechnologies peuvent aider à améliorer la productivité et la qualité de leurs productions.

● Quant aux défis de nature bioéthique, ils concernent surtout les biotechnologies en rapport avec la santé et la médecine humaine, l'expérimentation avec des cellules souches, par exemple, ou encore les implications de la médecine prédictive ou de la thérapie génique. Les pays mettent en place des comités nationaux de bioéthique qui s'efforcent de répondre à ces défis et de trouver les solutions appropriées dans le cadre du droit et du respect de la dignité humaine. Mais il faut souligner que l'impératif éthique le plus pressant reste la lutte contre la pauvreté et l'éradication de la misère qui demeure la priorité des priorités.

“Nanomaterials, Nanotechnology and Nanoscience ! : Facts, Challenges and Opportunities for Morocco”

by Pr. Mostapha BOUSMINA

Director of Department of chemical engineering

(Laval University - Canada)

*Member of the founding Commission of the Hassan II
Academy of Science and Technology*



Summary

This note makes a brief overview of our current knowledge in nanomaterials and nanotechnology and addresses the potential applications and highlights some of the scientific and engineering challenges. The subject is vast and hence it is a daunting task to summarise this remarkably rich and multifaceted area. Therefore, this report is evidently neither exhaustive nor complete. It is rather intended to be an introductory text to a very hot area with emphasis on some potential technological opportunities for Morocco. To avoid copyright problems, all the reported figures are obtained in our research group at Laval University, Quebec, Canada.

1. Introduction:

Behind almost any technology, there is a great effort concerning the development of materials. In the past man had at its disposition some given materials like wood, glass, copper and other metals and the challenge was for the scientists to characterise (as much as they can) the properties of such materials and for the engineers to find some specific niches of applications for such properties. Nowadays with the revolution of nanomaterials, the approach is completely the inverse, in the sense that the final application dictates the structure of the material. We have an idea about some required properties needed for a specific application and the strategy consists in modifying matter at various scales to impart the final material with such properties. Now it's possible to manipulate and organize matter at nanoscale-1-billionth of meter (nm)- and arrange atoms and molecules to impart the final material with an extraordinary spectrum of properties. Atoms and molecules can be organized in several regular structures that include arrays, lattices, and objects with different shapes and functionalities. For instance, nanoparticles can be made in various shapes: spherical, cubic, pyramidal, tubular, lamellar, rods, wires, and other shapes. Molecules can also be arranged in thin and monolayer films and solids can be made in well calibrated mesoporous and nanoporous structures.

Chemists have always manipulated atoms and molecules and the researchers in the field of catalysis and colloidal science have obtained since decades nanostructures before the nanomania and before the word nano has become "sexy". Atoms and molecules have been described in details but the scientists had no picture to show. Recently a tremendous development has been made in tools of investigation and observation such as STM (scanning tunnel microscope), AFM (atomic force microscope) and HRTEM (High-resolution transmission electron microscope) having a resolution of 1\AA (0.1 nm). Now it is possible to observe directly atoms and their special disposition in the crystalline lattice. Politicians and masters of investment in science like pictures!

Nanomaterials are characterised by high surface area that imparts them with specific properties that are different from those exhibited by the bulk of the same material. For instance the bandgap, i.e. the energy needed by an electron to jump from the valence band to the conduction band, becomes smaller in nanosystems. Heat capacity, melting point, conductivity, mechanical resistance and optical and magnetic properties are also different from those of the bulk. The number of atoms at the surface with respect to those in the volume increases with decreasing the size of the particles. It follows that various properties can be obtained by changing the size of the particles and their number in a cluster of particles. For instance a 2-nm gold particle has 50% of its atoms on the surface, whereas the number of atoms at the surface drops to 5% for a 20-nm particle. Although constituted by the same nature of material, these two particles exhibit different properties. This offers a unique opportunity of tailoring materials with a whole spectrum of properties just by changing the nature and the size of the particles. The number of properties can be even increased by functionalizing the surface of such particles and changing their spatial assembly.

These unique properties and their potential applications in various high-tech niches have attracted colossal investments in many countries at international level. The public and private investments are even higher than those made for military-oriented objectives during the second world-war. USA, Japan and Canada take the lead. Europe came into play a bit later, but recently the European countries have made important investments in nanomaterials and nanotechnology by spending quite one billion dollars a year in nanotech research and development activities.

Nanostructured materials have a wide range of applications in various fields such as in electronics. Microelectronic technology has known a tremendous success in miniaturising transistors and circuits at micro level. Nowadays, a processor contains more than 40 millions of transistors. This makes computers faster and allows them to store larger quantity of information. However, microelectronics has reached a technological limit due to the involved process based on classical lithography. Efforts are then directed towards nanotechnology that is expected to provide future computers with tens of billions of transistors. Other technological advances have already been made in various fields, but our current knowledge suffers from fundamental understanding of the properties behind such technical manipulation of matter at nanoscale. New tools have been used and new properties have been discovered, but it is enough to qualify such

intellectual effort by the word Nanoscience? To roughly discuss such a question, let us first make a brief overview about the evolution of our knowledge on the structure of matter and see how nanoconcept was invented. Thereafter, existing and potential applications will be presented, available techniques for structuring matter at nanoscale will be addressed and finally scientific challenges will be discussed and potential opportunities for Morocco will be highlighted.

2. Brief history on the origin of the Nanothings (!)

The concept of organisation of matter at small scales that cannot be observed by the naked eyes goes back to Greeks. To explain formation of wine from a mixture of water and a paste of wine, Democritus (460-370 BC) imagined that matter is formed by empty space (Voids) and indivisible elementary entities called Atoms. Atoms of the wine paste desegregate and intrude the voids (free volume) in water. Democritus stated that if we change the number of atoms, i.e. concentration (and their peculiar organisation) that fill the voids, then different colors of the mixture and therefore different tastes of wine will be obtained. He also pointed out that there are several types of atoms that are agitated by perpetual and disordered movements. Of course Democritus could not estimate the size of atoms and voids and could not imagine the various possible combinations between such atoms, but the qualitative idea of matter that is structured at a size that is undetected by the naked eyes was postulated.

Plato (427-348 BC) took the idea of atoms, but since he was believing only in geometry and nothing else than geometry, atoms are for him not characterized by their nature but rather by their shape. They may be cubic, spherical, pyramidal, and conical. As the most important philosophical authority of his time, he wrote on the front door of the Academy "No man can enter here if he is not a geometer". After Plato, the famous Aristotle (384-322 BC) discarded the concept of atom and replaced it by four constituents of nature: air, fire, water and sand. The idea was strongly supported by the masters of the Church who argued that the body of Jesus is indivisible and therefore matter cannot be constituted by atoms. Thereafter, no discussion was possible for quite 16 centuries. The first who publicly disagreed with the statement was Giordano Bruno (1548-1600) and after him Galileo, both defended the concept of atom at the expense of their lives. The first was burned at the stake in Rome in 1600 and the second was condemned for the rest of his life in 1633. Many other known scientists mainly in France were against the idea of atom like Claude-Louis Berthollet (1748-1822) who was used to say "who ever observed an atom?". Others had the same objection like Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881), Ernst Mach (1838-1916: the discoverer of the sound wall), Oswald, Descartes (the man of authority and the height of impertinence) and of course Marcellin Berthelot, who was the perpetual secretary of the French Academy of Science, where during his mandate the word "Atom" was forbidden to pronounce. In England, the concept of atom was adopted by Isaac Newton (1642-1727), Robert Boyle (1627-1691), John Locke (1632-1704), John Dalton (1766-1844), Michael Faraday (1791-1867) and James Clerck Maxwell (1831-1879) who imposed definitely the concept. After atoms, the same debate concerned

thereafter molecules (John Dalton and Amadeus Avogadro 1776-1850). Combination of atoms to form molecules was officially accepted during the international congress on Chemistry that was held in Karlsruhe (South west of Germany) in 1860. Association of atoms and molecules to form complex structures was then developed and comprehension of matter based on atomic and molecular chemical bonds (covalent, hydrogen, and metallic bonds) was proposed. Such reasoning was used by Häüy (1784) to link the macroscopic symmetric properties of matter to the elementary symmetry occurring at atomic and molecular levels. The exercise was further simplified by detailed knowledge about atoms and their structure as they were classified from the lightest one (hydrogen) to the heaviest one (Uranium) in the periodic table by Dmitri Mendeleev (1834-1907). Chemical reactions were then understood from thermodynamics standpoint due to the huge contributions of Willard Gibbs (1839-1903) on free energy and Ludwing Boltzmann (1844-1906) on entropy. Thermodynamically admissible and non-admissible chemical reactions helped chemists in selecting the right reactants to carry out chemical syntheses.

It became then clear that manipulating matter at atomic and molecular scales can change completely the macroscopic properties. However, the question is how to manipulate matter at this scale and how to displace atoms and molecules from one location to another?

The first answer was given by James Clerck Maxwell (1831-1879). In his book on theory of heat, Maxwell described an imaginary being able of transporting molecules one by one from one side to another through a membrane separating two compartments in a closed box. Maxwell stated that the effort of the imaginary creature and the direction of the transport can be tuned by the temperature of molecules in one of the two connecting compartments. The idea is that gradients in temperature act as a motor for the displacement. The same idea was used for transfer of matter (Adolf Fick, 1829-1901) that occurs due the gradient in chemical potential (gradient in concentration for simple case), and transfer of momentum (Navier 1785-1836 and Stokes, 1819-1903) due gradient in velocity.

The follower of Maxwell, Lord Rayleigh (1842-1919) repeated a very simple and ingenious experiment that was carried out before by the first ambassador of the young republic of United-States in France, Benjamin Franklin (1706-1790). The experiment consisted in spreading a small known quantity of oil (of about 1 cm^3) on the surface of water. Due to surface tension effects, the oil then formed a perfect flat disc on the surface of water suppressing the local waves. Such phenomenon was known from the Greeks and was used by fishermen to see where the fish is. Using a stick yard, Lord Rayleigh measured the diameter of the disc and therefore its surface (S). Knowing the initial volume ($V=1 \text{ cm}^3$), he could evaluate the thickness of the film ($h = V/S$). The obtained result is the surprising number of about 5 nm! Formation of thin films at the nanometric scale was demonstrated.

If atoms are assumed to have a dimension of about 10^{-8} cm , then in 1 cm^3 there are approximately 10^{23} atoms (number of atoms, molecules in a gram mole of a

chemical substance). This is the extraordinary Avogadro number calculated first by Johann Josef Loschmidt (1821-1895) and later by Jean Baptiste Perrin (1870-1942) who called it Avogadro number to honor the work of Amadeus Avogadro (1776-1856) on the molarity.

In classical physics such as continuum mechanics, the Avogadro number is taken as a reference unit and only collections of Avogadro number (i.e. averaging properties) are of interest. In contrast, manipulation of matter at nanoscale goes beyond the Avogadro number and rather the focus is made on atoms and molecules individually. The question of interest is therefore how macroscopic properties that are accessible experimentally can be determined from microscopic description of matter. The first answer was given first by Maxwell and by Boltzmann in their description of properties of gazes.

Using various repartition configurations of thermally agitated infinitesimal spheres, Ludwig Boltzmann (1844-1906, the man who discovered entropy as it is written on the epitaph of his tomb), found various properties of gazes and calculated an important quantity in thermodynamics called by Boltzmann "Entropy". Entropy was used before by Clausius (1822-1888) in add-hoc manner, but without clear and transparent physical meaning. The expression of such entropy as given by Boltzmann is discrete and considers molecules as infinitesimal particles. However such a link between microscopic and macroscopic worlds was made for gazes. Condensed matter is more complex and the properties are numerous and many of them cannot be described by collisions and pressure concept as it is the case of gazes. Some molecular theories are for sure available and in many cases are able of describing cooperative movements in dense media such as in polymers. For instance, molecular dynamics can be nicely described by reptation theory (and its subsequent modifications) introduced in 1991 by de Gennes (Nobel Prize in 1991) and by Doi-Edwards (1986). However, only few molecular theories are available and in many cases such theories scale up the dynamics of atoms and molecules supposed to behave as the macroscopic objects using classical theories of forces, momentum, kinetics and thermodynamics. We will see later that in many cases matter behaves differently at nanoscale.

The infinitesimal scale is not only a characteristic of matter by also of light and sound. In his work on light, Isaac Newton (1642-1727) considered that light is constituted by elementary particles called photons. Light was described by Christiaan Huygens (1629-1695) in form of waves characterised by specific wavelengths. The wave character of light was evidenced by Thomas Young (1773-1829) using a simple a tricky experiments of interferences. Later, light was described by both particles and waves. One of the important discoveries in this area by Newton is the relationship between color of light and the distance. This finding is very important in science and mainly in technology of thin films and nano-objects. Thin films such as oil film on water surface or the surface of a bubble-soap exhibit different colors that translate the spatial difference in thickness of the film. Such a property is currently used to evaluate the thickness of thin films like ultramicrotomed slices of matter suited for transmission electron microscopy.

Quantum dots that will be described later change also their color as a function of their size.

Ernest Rutherford invented the way of studying the structure of atoms by bombarding them with other particles. He discovered the structure of atoms, which are formed by a heavy nucleus surrounded by a lighter cloud of electrons that are agitated in perpetual movement. In condensed matter atoms are disposed in regular fashion as can be evidenced by x-ray (discovered by Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) who received the very first Nobel Prize in physics in 1902).

The other crucial contribution in our “not acceptance or not of the concept of atoms” but in our deep understanding of atomic structure was due to Niels Bohr (1885-1962) who found that classical laws of physics are not anymore valid at atomic level. Inside atoms, electrons turn around the nucleus in specific orbits characterised by packets of energy (quanta). Of course Bohr used classical laws of physics (equilibrium of forces) but he introduced the concept of quantum constraints. Although, Bohr’s theory uses very rough approximations, it gives the right order of admissible quantum energies and explains many physical phenomena such as radiation of black bodies and photoelectric effect. He could in fact calculate the exact value of energy needed by an electron to drop from a higher-energy orbit to a lower one, emitting a photon of discrete energy (quantum) and predicted the spacing between the spectral lines of light measured before by Johann Balmer (1825-1889). Link between atomic structure and light was demonstrated. This was the origin of spectroscopy and characterisation of atomic and molecular structures by their spectra. Absorption of light by an atom and the use of light energy by electrons to change their orbit were clearly explained by Bohr and these ideas (and the ideas of Max Plank) were at the origin of Einstein’s work on photoelectric effect for which he obtained the Nobel Prize. Bohr explained also the effect of the application of an electrical or magnetic field on the level of orbital energies and finally he explained in a remarkable manner the earlier classification of atoms in the periodic table by Mendeleiv. The equations proposed by Bohr are extremely simple (college level), but the ideas behind are genius and were in combination with the work of Max Plank (1858-1947, Nobel Prize in 1918) at the origin of the quantum mechanics theory. Bohr received the Nobel Prize in 1922. Later works used the simple orbital concept of Bohr but in more probabilistic way and atomic and molecular orbital theories and orbital hybridation were proposed by Erwin Schrödinger (1887-1961, Nobel Prize in 1933), Max Born (1882-1970, Nobel Prize in 1958), Enrico Fermi (1901-1954, Nobel Prize in 1938), Wolfgang Pauli (1900-1958), Werner Heisenberg (1901-1976, Nobel Prize in 1932), Von Neumann (1903-1957), Paul Dirac (1902-1984, Nobel Prize in 1933) and of course Albert Einstein (1879, 1955, Prize Nobel in 1921). Quantum mechanics and quantum chemistry were then born and chemists could calculate and predict the possible chemical compounds that can be obtained from a chemical reaction. Not only the possible chemical compounds are predicted, but also their spatial configuration and conformation as were confirmed in many cases by NMR spectroscopy.

The discovery of quantum mechanics has completely changed our conception

of nature. Molecules, atoms, electrons and even smaller objects can be nicely described by quantum mechanics. Quantum mechanics was discovered before the word "nano" was invented and before experimental observations and manipulation of matter at nanoscale were made. Theories of quantum physics such as theory of cords deals with on object at even smaller scale ($10_{-34}m$).

In his treatise on quantum mechanics in 1930, Paul Dirac (1902-1984) stated that there should be a kind of internal movement in molecules and atoms that can generate specific molecular and atomic spectra. Spectrum of one single-molecule and even one single-atom is now possible. The pressure of laser light radiation slows down and cools dramatically atoms issued from a hot oven. Then through a special configuration of a magnetic field operating in ultrahigh vacuum, a single atom can be trapped and confined during few milliseconds, which is enough to carry out spectroscopic measurements on purely isolated atoms, without the interference with the surrounding medium. A single atom can also be deposited on a regular solid surface and investigate the spectrum of its upper surface using atomically sharp tip of tunnel or atomic force microscope equipped with highly focused laser light. The same tip allows studying local mechanical properties by compression or by lateral frictions. It allows also measuring Van der Waals (1837-1923) and Lenard Johns (1894-1954).

In 1953, Henry Taube (Nobel Prize in Chemistry) made various experiments to understand electron exchange between two metallic atoms linked with a long organic molecule that can convey electrons from one side to the other. Many of Taube's experiments were imaginary, because he hadn't at his disposition the new tools to investigate such quantum phenomena. Later, his idea was experimentally realized in 1995 with fullerene molecules (containing 60 atoms of carbon). The physicist from IBM, Rolf Landauer has described in 1957, in quite remarkable details, the future of nanomanipulation of matter and predicted some quantum behaviours of small components. In his talk at the American Physical Society meeting (1959), the physicist and Nobel Prize in physics, Richard Feynman (1918-1988), summarised the possibility of manipulating matter at nanoscale by stating that there is plenty of room at the bottom. If matter could be organised at atomic and molecular scale then it would be possible to write the 24 volumes of the Britannica Encyclopaedia on the point of a needle.

The term nanotechnology was introduced by the Tokyo Science University Professor Norio Taniguchi in 1974 to describe the control of materials manufacturing with nanometer tolerances. The concept was used later in 1986 by E. Drexler (USA) in his book *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* that describes molecular nanotechnology.

The direct nanomanipulation dream imagined by Maxwell became reality in 1981 with the discovery by G.K. Binnig and H. Rohrer (from IBM Zurich) of the scanning tunnel microscope (STM). The two researchers were awarded the Nobel Prize for their discovery. The tip of STM or AFM can be made of few selected atoms that can scan the surface and interact with it. Due to quantum effects (tunnel

effect), electrons can be exchanged between the tip and the surface. This allows probing properties of atoms and their local interactions with the surface through Van der Waals forces. Using the atomically sharp tip of STM, D. Eigler and E. Schweizer (1990) could displace xenon atoms to draw the IBM initials on a surface of nickel. Such technical prowess opened the gate to a tremendous development in nanomanipulation of matter and it became possible to organise matter and to determine its properties at nanoscale and not at the Avogadro number scale.

At the same period efforts were devoted to the discovery of both new individual nanostructures and techniques for probing their properties. In 1985, Kroto from University of Sussex, GB and R. Smalley and R. Curl from Rice University, Houston, USA have discovered a form of carbon organisation (other than graphite and diamond) with hollow buckyballs form made of 60 atoms of carbon (Fullerene). The discovery was awarded the Nobel Prize. Another form of the Fullerene family having a tubular form (Carbon nanotubes) was found by Sumio Iijima from the NEC laboratory in Tsukuba, Japan in 1991. Fullerenes are another allotropic form of carbon different from graphite and diamond. Graphite consists of plans made of hexagonal arrangement of carbon atoms with external electrons characterized by sp^2 hybrid orbitals. In diamond, carbon atoms are arranged in centered tetrahedral form, where atoms occupy both the center and the corners. External electrons are characterized by sp^3 hybrid or new allotropic orbitals. In fullerenes, electrons are characterized by mixed hybridation due to the curvature of the structure. with

In 1992 a research group of Mobil Oil Company (Kresge et al.) synthesized mesoporous silica with regular and well calibrated pores that range from 2 to 50 nm. Mesoporous and microporous were known before (between 1930-1935), but their fundamental understanding was missing. Even if, in some cases, mesoporous materials are made from amorphous silica (or others such as alumina, etc.), such a structure gives a nice x-ray pic due to its large scale repeated regularity. Such structures have tremendous applications in catalysis field, where the surface area is a key factor. Porous materials with pore size less than 2nm (microporous or nanoporous) can also be fabricated. Using a home-made process, we have recently (2004) synthesized at Laval University well controlled nanoporous structures with regular porosity of about 5 Å in diameter (See Figure 5).

In the late 1980s, Toyota Central Research Labs in Japan used clay to reinforce polyamide matrix (the use of clay as additive was known from the early Egyptians). Clay has a sandwich type structure made of 1nm thick overlapping lamellae. If adequately separated and distributed within a polymeric matrix host, various enhanced properties can be obtained. Such delamination is generally obtained through two steps: intercalation (insertion of small molecules within the interlamellar spacing to expand the structure) and exfoliation (delamination of the lamellae within the polymer). This opened a new field of activity called polymer nanocomposites, where nanoparticles with various shapes (spherical like metal oxides, tubular like carbon nanotubes, layered like clay, ellipsoidal, pyramidal and other forms) are dispersed within a polymeric matrix. New and completely synthetic silica with lamellar type structure has been synthesized in our laboratory

at Laval University in 2001, without need of the intercalant agent. Various functional metal oxide nanoparticles, quantum dots with various sizes and both single and multiwalled carbon nanotubes have been also been synthesised in our group (See Figures in section 6).

3. Techniques for organizing matter at the nanoscale

There are two main streams for organising matter at nanoscale, The first one has been largely used in microelectronics where the approach is to go from the macro to the nanoscale (top-down) and the second one takes the inverse way going from atoms to larger scale (bottom-up). The two main streams use at least four routes for organizing matter at the nanoscale. The first one is used by physicists thanks to the extraordinary possibilities offered by new capabilities of field emission microscopes. Atomically sharp tip of STM and AFM can be used to interact locally and specifically with a given surface to displace atoms one by one from one location to another. The second route is quite similar to the first one, but instead of using chemically coated tips or tips that have Van der Waals interactions with the specific atoms, atoms may be displaced by external stimulus such as locally focused magnetic or electrostatic field. The third strategy consists in self-assembly that takes place in living systems such as our brain. Nervous cells or neurones interconnect through chemical self-assembly. Gradients in composition generated by cells act as guide for axons growth, i.e, prolongations of the neurons by which they transmit signals to the cells downstream in the data processing sequence of nervous information. Similarly, molecules programmed by specific functional groups can self-assemble in well defined 10-to-100 nm structure that can be predicted in advance (Bottom-up approach).

The forth route uses living micro-organism systems as reactors. For instance bacteria are able to displace objects, synthesise molecules and organise matter though specific interactions with the substrate. If well fed by ATP (Adenosine triphosphate fabricated by the enzyme ATPase), millions of bacteria can be used as slaves to execute various well defined tasks with high precision in a very short time. In the next century, this kind of slavery will lead to dramatic change in the way static and dynamic (living!) objects will be fabricated.

At such nanoscale, physics, chemistry, biology, materials science and engineering converge towards the same principles and in many cases the same tools are used for fabrication and characterisation. As a result, new fundamental and engineering knowledge will emerge from such truly multidisciplinary field. Manipulating matter at this scale is not just another jump toward miniaturisation, where the classical fundamentals of physics and chemistry are just scaled down, but a rather true new scale with its own concepts and fundamentals is emerging. This will lead to dramatic changes in the way materials and devices are understood and will be produced in the future. The ability to fabricate the nanoscale building blocks with precise size and shape and with well controlled composition and functionality and then assemble them in larger structures will lead to the development of material structures never observed in nature before and beyond from what is known from

classical chemistry. Nanopractice will also play a major role for better understanding nature and our universe and will serve as a platform (like spatial station) for future development in even smaller boundary scale that physics is already dealing with and will deal with in the future (picoscience: protons, neutrons, quarks and bosons: photons for electromagnetic interactions, Z , W^+ and W^- for weak interactions, gluons for strong interactions and graviton for gravitational forces).

From Egyptians to Greeks and to modern time, atoms, molecules and their spatial arrangements have been discovered, their properties have been studied and yet the challenges are enormous and the spectrum of properties and functionalities are quite infinite. In the late sixtieth man traveled from to the moon and an extraordinary adventure has been started for discovering the infinitely large space. Recently such adventure has also taken the opposite direction for discovery the infinitely small world. The travel expenses are however negligible with respect to the first kind of travel and the applications are more numerous with tangible impact on our daily life.

4. Applications

Nanostructured materials have high potential applications in a variety of sectors such as in high-tech lighter and stiffer materials, electronics, semiconductors, catalysis, automotive and aerospace, biomaterials, genetics, telecommunication, NEMS (Nanoelectromechanical systems), BioNEMS, MMS (man-machine systems), optics and photonics, health, agriculture, energy, environment, housing, security, computers-based devices, robotics, quantum physics and other unanticipated applications.

Examples of such nanostructured objects include efficient nanochips, nanofilters, new materials for conducting light, sound, electricity and electromagnetic waves, highly efficient nanoelectrodes, nanorefrigerators, nanosensors and various other both static and moving nano-objects such as nanomotors and nanomachines. For instance the group of IBM used an atomically sharp tip of STM to displace atoms one by one in a specific location on a lattice to make nanocircuits with the desired input and output channels. The group of NIST (National Institute of Standards and Technology) in Colorado (USA) fabricated a chip-sized refrigerator made of superposition of a thin film that comprises a metallic layer, a dielectric layer and a superconductive layer. Such nanorefrigerator can cool objects much bigger than itself to millikelvin temperatures due to quantum mechanical tunnelling of electrons between the metal layer and the superconductive layer. Such a device has potential application in a variety of cryogenic sensors in the semiconductor industry and aerospace. The group of Harold Craighead at Cornell University fabricated a 10-micrometers long nanoguitar equipped with six strings about a hundred atoms wide. It's therefore an instrument invisible to the naked eyes. If played by a laser beam, it emits inaudible notes which, at 40 megahertz, are 17 octaves higher than those of a normal guitar. One can hear its sound only if transformed 17 octaves below. The same group fabricated a tiny nanoelectromechanical oscillating cantilevers to detect masse of a virus, which is of about 10 attograms by detecting the variation in the vibration

frequency of the cantilevers. An attogram is one-thousandth of a femtogram, which is one-thousandth of a picogram, which is one-thousandth of a nanogram, which is a billionth of a gram (10^{-18} g).

Nanotransistors made of carbon nanotubes and working with one electron have been fabricated by Cees Dekkers and his team at Delft Institute of technology and also by Paul McEuen from University of California at Berkeley and also by our group at Laval University. Such transistors work however for the moment at low temperature and are difficult to produce due to the non uniformity of the deformed nanotubes.

The current technologies for size reduction in computer components are based on the classical concept, which consists in transporting the information by electrons and treating it by transistors. Future computers may use a different strategy with DNA as a substitute to electrons. In fact, DNA is known to act a vector of genetic information in living systems by storing colossal data using the four sequences ATGC (Adenine, thymine, guanine and cytosine). The information can be transferred by self-assembly or by the help of enzymes. To each DNA unit sequence corresponds a complementary molecule than can combine with it in solution to form a double helix. For instance the sequence ATGC has its mirror complement, TACG, with which it combines by self-assembly. Enzymes are also able to do such operation and other more complex ones. Such capacity of DNA to transfer information was used in 1994 by Leonard Adleman from University of South California and in 2000 by Lloyd smith from Wisconsin University, to make nanochips able of treating complex information (Hamiltonian calculus).

However, the technology is not yet mature due to the difficulty in manipulating well localised DNA sequences. The technology will take benefit from future development in techniques for DNA sequencing. Hybrid solutions using synthetic nanoparticles such as nanotubes, nanowires and quantum dots may be used. Quantum computers are also expected to know important development in the future.

Since 1991, Artificial synapses between nanoelectronic devices and individual mammalian neurons have been fabricated. In 2004, a chip containing some 100 titanium alloy-based nanoelectrodes has been implemented in the cortex near neurons in the brain of the young American Mathew Nagle by John Donohue from Brown University (USA). With such high-tech nanodevice related to a computer, Mathew Nagle can control objects by his brain (thinking about action). Clearly, such brain-computer-machine interface was made possible by new functional nanomaterials both in the electrodes and in the computer.

Magnetic sensors have been made by alternating few-nanometers thin films of different metals such as cobalt and copper. Such sandwich-type structures allow great storage and treatment of electromagnetic data.

Other nanomaterials and other applications are discovered each day and the dream is to fabricate in the future nanomachines that can target specific locations in human body and repair the damaged cells such cancer affected cells or specifically destroy cholesterol molecules. The dream is transform energy sun into

electrical power with high conversion. The dream is to store the whole world libraries in one single chip. The hard dream is to synthesize new DNA molecules and therefore new sources of life and also new age-fighting molecules to allow human being to live 200 years and more. The long-term dream is to be able to teletransport any objects from any location to another. The big dream is to work out a single and unique general theoretical background that can take into account the fundamental forces of nature. The dreamed dream is to transfer and transplant functional molecules like DNA between living beings (vegetal, animal and human being) and the undreamed dream is to impart inorganic molecules with the same functionalities as organic ones (unanimated to animated ones!)

5. Scientific challenges

Manipulating matter at such a scale raises important challenges from both scientific and engineering viewpoints. The laws of physics that are based on averaging approach such as in continuum mechanics are in this case not any more applicable at the nanometric scale, where the grained matter is characterized by a high specific surface area. Matter is “chaste”; it doesn’t like nudity and does not like exposing its body. If grinded by external mechanical stresses, the obtained grains will immediately recombine to form larger structures (like in DNA, a highly stable and indestructible structure). However, using adequate surface treatment and peculiar chemistry, it is possible to stabilise such individual nanoscale grains. In such a situation, bulky forces and stresses such gravitational forces, pressure and viscous stresses are negligible with respect to surface forces and Van der Waals forces. Viscosity for instance is a bulk property that reflects the resistance to flow due to internal frictions between molecules inside a liquid. When such a liquid is made in a monolayer 2D-thin film, internal frictions may only be considered in the plan. If lateral pressure, expressed in force per unit length, is low, such frictions are negligible and only frictions between molecules and the solid surface (tribology) are important. Example of such a behavior can be illustrated on PDMS (polydimethyl siloxane) oil sheared between two crossed cylinders made of mica using surface force apparatus developed by J. Israleashvili at UCLA University in Santa Barbara (Figure 1.). The experiments have been done in our laboratory at Laval University by the M.Sc student Alexandre Myaloo in collaboration with my colleague professor Suzanne Giasson.

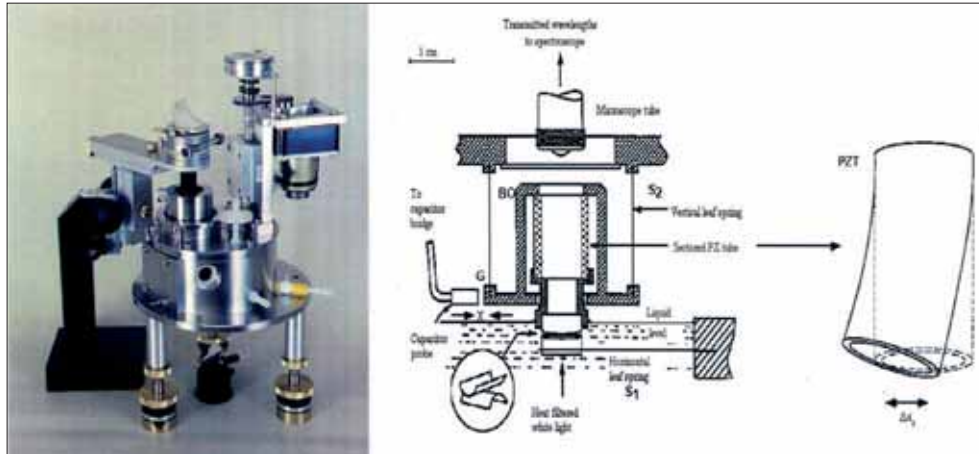


Figure 1. Surface for apparatus of J. Israelachvili.

The results are shown in Figure 2, where the viscosity is measured as a function of the gap between the two cylinders.

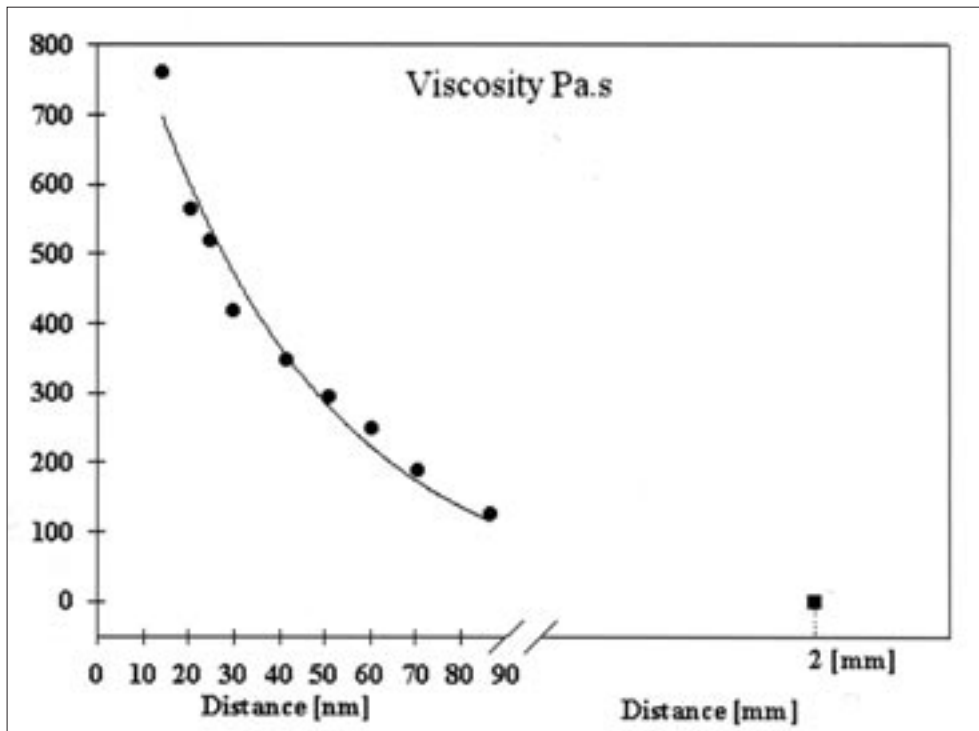


Figure 2: Variation of the viscosity of PDMS oil at 24 °C as a function of the sample thickness.

Clearly, the figure shows that at large gap values, the viscosity is very small and matches the value measured from the classical rheometers using Couette geometry. As the distance of separation between two cylinders decreases, the viscosity increases and at a gap of about 10 nm, there is a dramatic increase in viscosity and the PDMS liquid behaves like a solid body. Of course, at short distances only forces can be measured and the use of stresses and therefore viscosity is rigorously meaningless.

Various other physical properties such as thermal and electrical conductivities, magnetic and optical properties, elasticity and toughness, heat capacity and melting point, etc. show important transitions when matter is brought at nanometric scale. For instance in classical systems the conductance (the inverse of resistance) increases linearly when the section is decreased, whereas in nanosystems such increase occurs by steps (quantum effect). The total resistance in nanocircuits made of several resistances put in series or in parallel does not follow the classical Kirchhoff's law (1824-1887). Several other new behaviours have been observed, but the crucial question is whether or not a new science has been discovered.

Fabrication of nano-objects and measurements of their new properties are not enough to qualify such exercise by Nanoscience. One can only talk about Nanoscience when new laws of physics are discovered. Of course new properties have been identified, but their fundamental description is based on classical laws of physics as they are or with slight modifications (first and second laws of Newton, Ohm's law and coulomb's law for electricity, Flick's law for diffusion, Fourier's law for heat transfer, Navier stokes equation for momentum transfer, quantum mechanics, classical and irreversible thermodynamics, statistical physics and molecular and numerical simulations). The used modifications of classical laws of physics or the new add-hoc equations used to describe the new behaviours have not yet been verified for various systems. Whether or not such equations depend on the nature of the nanosystem or are general has not yet been clarified. It is therefore premature for the moment to qualify such empirical equations by new laws and it is not legitimate to qualify the whole nanobusiness by the word: Nanoscience. Eventually, the fundamentals of such nanoscience can be discovered in the future, but time-being only nanomaterials and simple nanodevices and some of their new properties have been discovered. Despite this lack of understanding, nanotechnology is on the road.

The paradox is that laws of physics that can describe matter at even smaller scale (quantum mechanics) have been discovered before fabrication of nano-objects. Quantum mechanics has known clear success in describing various behaviors and states of several infinitesimal objects. Nanosystems are not small enough to be rigorously qualified as quantum systems and not so big to be studied by classical laws of physics. Nanosystems have intermediate scale and present the missing part that can connect quantum physics to classical physics.

In its essence, the debate of our concern is fundamentally quite similar to the question that Einstein was dealing with at the end of his life. How to reconcile the

general relativity (GR: the science of big objects) with the quantum theory (QT: the science of infinitesimal objects). The two theories have different and contradictory bases and seem to be incongruous, but they are able to nicely describe the same world. In fact, in general relativity (GR) the equations are completely deterministic. If the mass, velocity and the position of an object are known at a given time, its position and its velocity can be easily predicted at ulterior time. There is only one predicted solution. Inversely in quantum theory, the position (X) and velocity (V) cannot be known simultaneously, which can be translated theoretically by the fact that the corresponding operators cannot commute: the result of XV is not the same to that of VX and the all information is described by a probabilistic wave function. Only the probability of existence of such object is accessible. The equations are rather probabilistic and random. This apparently contradicts our common sense based Aristotelian causality logic. In GR the space is curved, mass generates energy and vacuum has no energy, while in QT, space is flat, mass has no energy and vacuum contains a colossal amount of energy.

Big efforts are devoted to reconcile the two theories and to connect quantum theory reasoning to our common and classical logic based on causality, locality and reparability of events. New theories propose that our classical common sense is just a peculiar limiting case of a general theory based on errors rather than on absolute knowledge. Owing to the new theories, such errors are negligible in the macroscopic world and become important when zooming on matter at very small scale. However, if such statement is correct, this means that all the properties that can be measured at nanoscale are not unique. The needle of the voltmeter instrument for instance cannot indicate a unique position and therefore it is impossible to determine from nanoscale measurements electrical conductivity of matter and other similar properties. Clearly, since nanosystems lie between quantum objects and big objects, one expect a mix of uniquely predictable events and random events. Among such theories quantum gravity uses various routes such as the quantizing of general relativity. Such a theory is not yet available and big scientific challenges from both experimental and theoretical standpoints need to be solved before reaching a true Nanoscience, where theories for soft-matter and solids merge into a unique entity.

Some stochastic and statistical techniques are nowadays under development such as statistical molecular physics, lattice Boltzmann approach, molecular and eventually atomic dynamics, but the concepts are not yet mature and the detailed theory is still missing.

6. Opportunities for Morocco

In terms of research, there are four types of countries. The first category includes USA, Japan and Canada. These countries are able of doing fundamental and engineering research in all branches of science and technology. The second category is formed by countries that can make a lot of research but not in all areas. This includes some European countries (such as England, Germany, France, Italy, Holland etc.), Australia, China and Korea. The third category includes Brazil, Israel,

South Africa, and some Asian countries such as India, Malaysia, Taiwan, Philippines, etc. These countries focus their efforts on specific niches. The countries of the fourth category, like Morocco, do have some research activity but they are still looking for opportunities and specific niches to reach the third category. In the recent years, Morocco has made big efforts in electronics, off-shoring and aerospace, but the true Moroccan technological know-how is still to be developed.

Conversely to the other traditional sectors of technology, where North America, Europe, Australia and Asia have taken a considerable lead, the sector of nanotechnology is still at its infancy and Morocco can start with equality, and even with a certain advance since some of the Moroccan researchers are international leaders in this field. According to the article published in PLoS Medicine ((volume 2, Issue 4, pages 0300-03003 (2005): www.plosmedicine.org) and which draws up the opportunities for emerging countries and the countries in the process of development, the sector of nanotechnology was identified as one of the priority sectors, provided important investments and scientific efforts are made. The McKinsey report (www.mckinseyquarterly.com) which analyzes the strong and weak points and which puts forward the economic niches of opportunities for Morocco, the valorization of the natural resources, automotive, energy and materials sectors arise as priority axes of development.

6.1. Energy

Evidently, Morocco has no gasoline and no gas and therefore energy problems are important. It has also some problems of water, not like its African neighbours, because the country has made big effort since the seventieth to construct several dams and reservoirs in all parts of the country, but clean water is still a big problem. Technological challenges are also in enhancing medical diagnostic, producing home-made medicines, developing home-made and competitive technologies, transforming and valorising natural resources and developing the technological infrastructure of the country.

Morocco has no gasoline, but has a lot of sun and quite all the houses, even in pour areas, do have parabolic antenna for TV channels. These antennas are directly exposed to sun during quite all the year. The challenge here may be to coat the surface of such antenna with a thin film that can transform sun energy to electricity. For sure, future TV channels will be captured without need of antenna, but time being, such antenna exist and benefit should be taken from their permanent exposal to sky and to sun.

The ever growing demand in energy coupled to dwindling supplies of fossil fuels favours the development of clean and renewable resources, such as wind, ocean waves and geothermal powers, superconductivity, fuel cells, biomass-based energy and solar energy.

If captured efficiently and transformed with high conversion, solar energy could be an almost unlimited source of energy. A solar cell (or a "photovoltaic" cell) is a semiconductor device that converts photons from the sun (solar light) into electricity . Such a property is due to the photoelectric effect of conductive

materials. When a photon hits a material, three situations may be encountered: i) the photon is transmitted through the material, ii) it is reflected by the surface and/or iii) it is absorbed by the bulk, which either dissipates the captured energy into heat and/or generates electron-hole pairs, if the photon energy is higher than the material band-gap value. When absorbed by a crystalline lattice, the photon gives its energy to an electron in the valence band that covalently bonds between neighboring atoms. If this energy is larger than the bond energy, the electron is excited into the conduction band, where it is free to move around within the semiconductor. The departure of the electron leaves behind a hole in the valence band. Such a hole will be replaced by an electron of the neighboring atoms leaving another hole behind. Clearly the absorption of photons by semiconductor creates mobile electron-hole pairs (excitons), where electrons and holes move

in opposite directions. Therefore a photovoltaic cell should be able of transporting both electrons (n) and holes (p).

While the old technology relies on large-area single or multiple layers p-n junction diodes, the new technological developments rely on thin film technology using limited amount of photoactive materials. A common example of thin film technology is the amorphous silicon solar cell contained in various everyday items such as pocket calculators and watches. However, the amorphous silicon cells have low conversion efficiency (5 to 8%) and tend to degrade rapidly in intense light even when stabilized. Additionally, the silicon used for crystalline solar cells is of the same grade as the one used for microchips fabrication (higher than 99.9% purity). Solar cells technology does not need such high purity silicon but the technology for producing cheap silicon with medium quality is still to be developed. Other materials used for thin film solar cells are copper indium selenide (CIS), copper indium gallium selenide (CIGS), gallium arsenide (GaAs) and cadmium telluride (CdTe). If well designed, these materials can give a conversion efficiency of about 30% and more but the technology is very expensive (hundred times more expensive than the classical devices) and their use is only justified in very limited high-tech niches applications such as in satellites and space exploration.

Current research developments are carried out on three fronts: i) lowering the cost of the current technology solar cells and combining it with other energy sources, ii) developing new structures and architectures to lower the amount of the used materials and iii) developing new materials with high capacity of absorbing light that can serve at the same time as charge carriers. The most promising route with respect to new materials is the use of i) conductive polymers as a matrix such as P3OT (poly[3-octyl thiophene]) and MEH-PPV (poly[2-methoxy-5-(2'-ethylhexyloxy-p-phenylenevinylene)]) and quantum dots or/and carbon nanotubes as a dispersing phase, ii) micro and mesoporous metal oxide structures containing quantum dots and carbon nanotubes.

Quantum dots are made of an assembly of some 100 atoms. They are closely packed in compact structure with various sizes and shapes, which imparts this kind of particles with efficient quantum properties.

Figure 3 shows an example of quantum dots that were synthesized in our group at Laval University. Such quantum dots have a dimension of approximately 10 to 20 nm and can be made in various forms: spherical, cubic and pyramidal as illustrated by the transmission electron (TEM) micrographs of Figure 3.

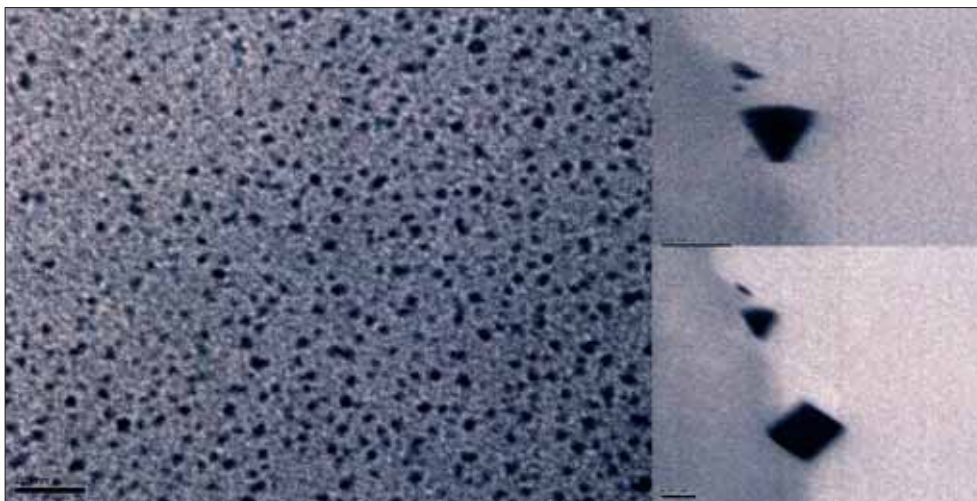


Figure 3: Quantum dots with various shapes having a dimension of few nanometers (10-to-100 atoms) (Laval University).

Sun energy can also be transformed into electricity by new concentration of light into optical nanofibers with minimum energy loss.

Quantum dots are able to transport both electrons and holes (excitons), and therefore they are suitable for photovoltaic cells fabrication. By varying the size of the quantum dots, the cells can be tuned to absorb different wavelengths of sun light (sun light is not a laser) and the technology is expected to give a conversion that can be higher than 40% with small surfaces.

Quantum dots can also be used as markers in genetics for DNA sequencing. In fact, as has been mentioned before, quantum dots change their color as a function of their size. The surface of quantum dots of various sizes can be functionalized to ensure specific interactions with the four basic elements of DNA (Adenosine, cytosine, thymine and guanine and cytosine). A solution of DNA put into contact with a lattice of quantum dots can be imaged by optical microscope coupled with UV source and UV detector. ACTG could be easily located on the array by the color of their quantum dots substrate. Coupled to automatic digital image analyses, such a process would allow rapid DNA sequencing in one shot rather than using the classical technique of multiple dilutions. This will allow physicians to make cartography of Moroccan population and identify the genes responsible for specific diseases. In the future, sequencing of DNA of new born persons can be easily made to predict the various potential genetic future diseases to which such persons

could be exposed during the different stages of their lives. Curative strategies could be then adopted to prevent them from such diseases.

Sequencing of DNA can also be used to fabricate new medecins from a variety of sources. For instance, there is a special tree in Morocco called Argania that has survived thousand of years in the south of Morocco in harsh climatic conditions. Argania has been exposed to various insects and requires only 5ml of water per day. This means that it has a immunizing system of defense and perhaps it contains some antibiotic-type of molecules that are worth to extract. The same strategy could be used with various vegetal and animal systems.

Quantum dots can be also arranged in particular percolating pathway to transmit the quantum properties as it is shown in Figure 4 .

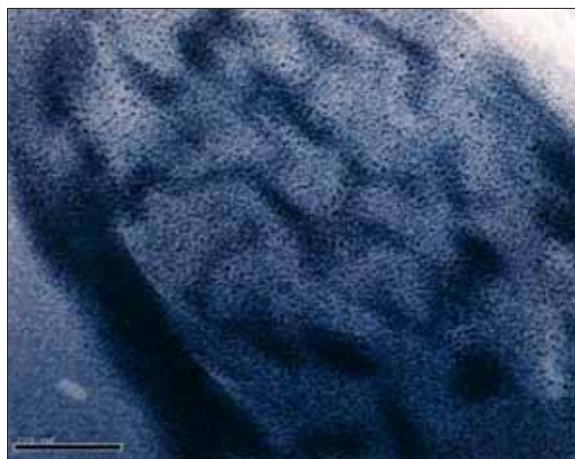


Figure 4. Percolating pathways of quantum dots fabricated at Laval Universiy

Light can also be filtered and focused by atomically structured materials such as mesoporous and nanoporous (called microporous in catalysis field) structures. Such structured materials can also be used in nanofiltration, molecular separation and of course in catalysis due to their high surface area than can be over $1000\text{m}^2/\text{g}$. Figure 5 shows an example of such nanoporous structure with well calibrated holes of about 5.4 \AA in diameter (approximately 4 carbon-carbon single bonds).

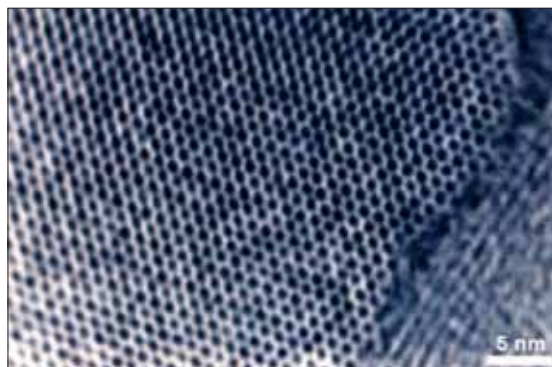


Figure 5: HRTEM image of nanoporous silicate synthesized at Laval University. The average pore size is of about 5.4 Å.

Other microporous and mesoporous materials with well calibrated structures can be tailored with high precision. Such nanostructured materials have potential applications not only in solar cells development, but also in water filtration, catalysis, depollution (decomposition and sequestration of CO₂), biomaterials, optics and photonics, nanoelectronics, hydrogen reservoirs, and fuel cells for electricity generation in houses, cars, engines, cell phones and computers.

Morocco has many chemists, physicists and material engineers that can combine their efforts on this well promising field, which is very important for Morocco's future energy and its development in high-tech niches.

6.2 Nanoparticles and Nanocomposites

6.2.1 Metal oxides and spherical nanoparticles

Nanoparticles with various shapes, sizes, compositions and functionalities can be produced by several techniques using gas, liquid or solid phase. These include among others, self-assembly and templating techniques, sol-gel technique, microemulsion, inverse microemulsion, colloidal precipitation, supercritical fluid-based technique, aerosol flow reactor method, supercritical anti-solvent method, media milling method, high gravity reactive precipitation, high-pressure homogenization technique, co-continuous precipitation and milling and grinding techniques. Sol-gel, microemulsion and precipitation of colloidal particles are among the most used techniques. The majority of the chemically based strategies for the fabrication of nanosized metallic particles start with a reduction reaction of positively charged entities. The solvent maybe polar like water or non-polar like hydrocarbons, depending on the nature of the salt or the complex used. The choice of the reducing agent depends on the nature of the metal used. Each of these techniques requires careful control of the reaction parameters.

For instance in sol-gel technique, the metal oxide particles are prepared through hydrolysis of metal precursors such as alkoxides in alcoholic solution. This results in the corresponding hydroxides that are thereafter condensed by eliminating water to obtain a network of metal hydroxide. When all the hydroxide species are present in

one networklike structure, the system leads to a dense porous gel. After drying and removing the solvent, an ultrafine structure of metal hydroxide is obtained. Further thermal treatment leads to the corresponding nanosized metal oxide particles.

In the reverse-microemulsion-mediated technique, nanometre-sized aqueous micelles are dispersed in an oil phase and are used as nanoreactors for controlling hydrolysis and condensation of metal alkoxides. Unlike sol-gel process, the reaction rate in this approach is controlled by the diffusion of precursors from the oil phase (for example, iso-octane) to the aqueous domains, instead of the hydrolysis. To tailor the particle morphology, structure, and surface area of metal oxides nanoparticles, synthesis parameters such as the composition (composition of the mixture of surfactants, such as polyethylene oxide adducts and linear alcohols) water to alkoxide ratio, aging time, powder recovery, temperature and drying technique are of importance. The size and morphology of the metal oxides nanoparticles obtained by this approach are governed by the composition of the reverse micro emulsion (size of the reverse micellar domains, as well as the phase stability). For given water content, a discrete size of spherical nanoparticles having 3-10 nm can be obtained. These nanoparticles present a good thermal stability and high surface area.

A second approach consists of the precipitation of monodisperse colloidal particles of the metal precursors. Careful control of the kinetics of the precipitation can result in highly monodisperse nanoparticles. The kinetics of nucleation and particles growth in homogenous solutions can be adjusted by the controlled release of the anions and cations. For nucleation to occur, the solution must be supersaturated either by directly dissolving the solute at higher temperature and then cooling to low temperature or by adding the necessary reactants to produce a supersaturated solution during the reaction. Thus, it is essential to control the factors that determine the precipitation process, such as pH and the concentration of the reactants and ions. Organic molecules are used to control the release of the reagents and ions in the solution during the precipitation process. The particle size is influenced by the reactant concentration, pH, and temperature. By engineering these factors, nanoparticles with narrow size distributions such CdTe, TiO₂, ZnO₂, ZrO₂ and other metal oxides can be produced.

The various techniques can lead to monodisperse or polydisperse particles size that can range from few to hundreds of nanometers. Figure 6 shows an example of such particles with well calibrated size and shape.

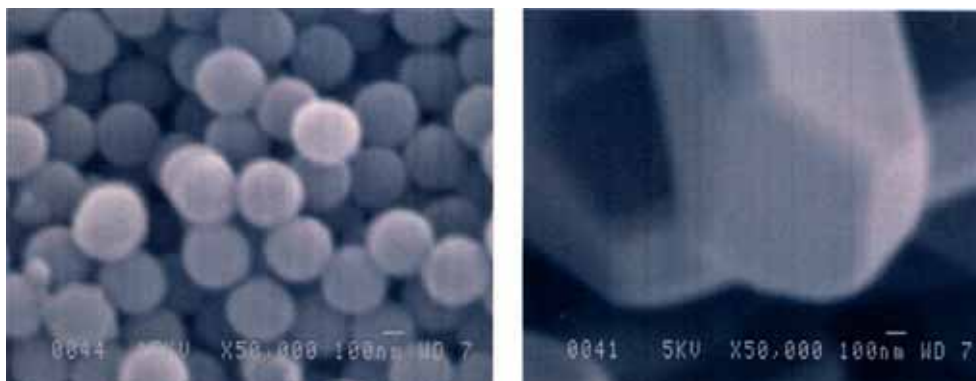


Figure 6 : Nanoparticles synthesised at Laval University. The left image corresponds to TiO_2 particles synthesised by sol gel technique and the right one corresponds to synthetic hydroxyapatite for bone repair and bone replacement application.

These nanoparticles can be used in a variety of applications reported in the introduction section and can be used as they are or alternatively, they can be incorporated in metallic, ceramic or polymeric matrices to make nanocomposites. For instance spherical nanoparticles made from zirconium can be sintered to fabricate ceramics for orthopaedic and dental prosthesis. Titanium oxide particles scatter light and therefore are used in solar creams, silicates nanospheres coated with titanium oxide are used for smoothing skin. Nanoparticles-based cosmetic products represent an annual business of trillions of dollars.

Morocco has again here a great opportunity to develop a know-how in this field using many chemists that work in the various Moroccan universities. Potential companies that will produce such nanoparticles (or the nanotubes described in the next section) even without their incorporation in a hosting matrix and without their transformation into a final product can be immediately created, provided a clear vision and important investment in this hot and high-tech area.

6.2.2 Carbon nanotubes:

Carbon nanotubes have extraordinary properties such as conductivity, heat transfer and mechanical properties. Before the discovery of carbon nanotubes, diamond, another structure of carbon assembly was the hardest known material in nature and it has a density of 3.52 g/cm^3 . The word diamond comes from Greek adamas, which means invincible. It cannot be scratched by any other material except by a higher-grade diamond. This is why knives for ultra-microtoms for transmission electron microscopy are made of diamond. It has a traction modulus of about 1-1.2 TPa (tetraPascal). Carbon nanotubes have a modulus of about 60 times higher than that of diamond (60 TPa). This extraordinary hardness combined to their flexibility, their low density ($1.3\text{-}1.4 \text{ g/cm}^3$), their high thermal conductivity and their very high electrical conductivity (that can be higher than metals such as silver and copper), makes this material suited for many applications

such as in aerospace, automotive, electronics, biomaterials, waterproof tear-resistant clothes and combat jackets, ultrahigh-speed flywheels, computer circuits, superconductors, solar cells, magnets, etc.

Figure 7 shows a new route developed in our group at Laval University to make carbon nanotubes with very mild experimental conditions.

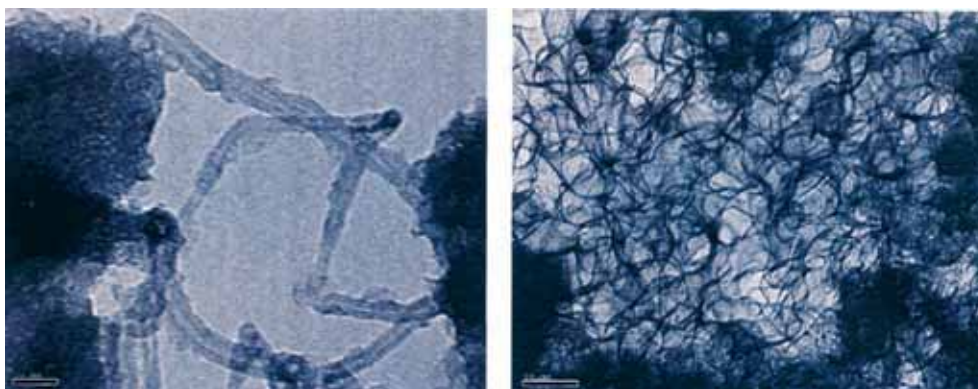


Figure 7: Carbon nanotubes and nanowires synthesised at Laval University

6.2.3 Polymer nanocomposites:

Polymer Nanocomposites (PNC) consist of inorganic particles with nanometric dimensions dispersed in a single phase or a multiphase polymeric matrix. The most used nano-particles are made of clay of sodium Montmorillonite class (Na-MMT), that are commercialized in form of micronic agglomerates of lamellae structured in form of a sandwich-type structure with a thickness of 0.3-1 nm and a length of 50-100 nm for each layer. The dispersion of the nanometric layers in the host polymeric matrix is obtained through two steps: i) intercalation and ii) exfoliation. Intercalation (expansion of the inter-lamellar spacing to 3-6 nm) is usually obtained via ion exchange using organic amine salts or quaternary ammonium salts $\text{RNH}^+\text{}_3\text{CL}^-$. Exfoliation is generally obtained through reactive chemical compounding or by intensive mechanical melt-mixing MMT with the polymeric matrix. Due to their high aspect ratio (typically >100), volume fractions of nanoparticles as small as 2-7 are enough to reach percolation threshold and to impart the PNC with mechanical properties that are in some cases comparable to those obtained upon 30-50wt% addition of glass fibers, without greatly altering the density and the transparency of the matrix. High barrier, conductive and thermal resistance properties have been reported for PNC without changing the classical machinery used for thermoplastics (no abrasion phenomena during processing). An example of dispersion of clay lamellae within a polymer matrix is shown in Figure 8. Such polymer nanocomposite is made of Clay/poly(butylene succinate-co-adipate) (PBSA) that exhibits some remarkable mechanical properties, while being "biodegradable material" suited for food packaging applications. .

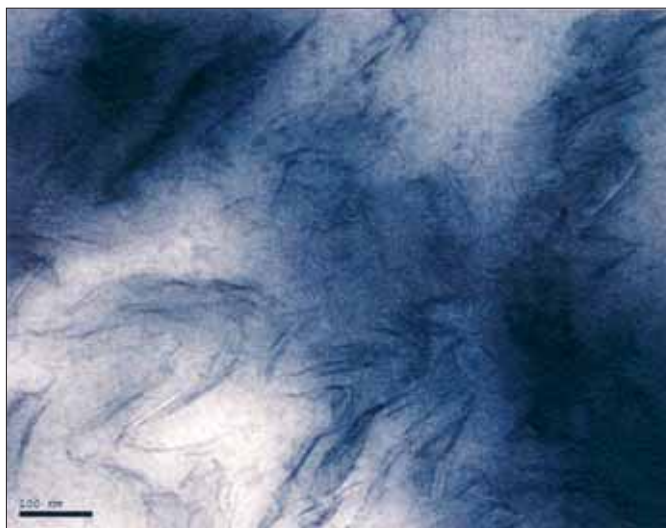


Figure 8: Clay/poly(butylene succinate-co-adipate) (PBSA) prepared at Laval University.

There are few companies in the world that have the monopoly on the commercialization of clay: mainly Nanocor and Southern-Clay, both are American companies. Morocco disposes of many sources of clay with various types and compositions. If adequately modified (and there is the required expertise in Morocco for doing such modifications), the organo-clay of Morocco could be sold worldwide as it is or alternatively, it can be used as a filler in polymer matrixes for automotive applications, food and other types of packaging, surface finishing and surface printing etc.

6.2.4 Piezoelectric nanocomposites

Polymers are versatile materials that can be fitted for endless novel applications. An outstanding example is the recent development of nonpolar cellular polymers with piezoelectric properties which can be used in the fabrication of actuators and transducers.

In general, piezoelectricity can be defined as the ability of certain materials to generate an electrical response, such as a voltage or current, in response to a mechanical stimulus. Although the piezoelectric effect is based on electric dipoles, diverse cellular polymer films exhibit a ferroelectric behaviour when the cavities of the polymer are charged by means of a high electrical field (micro-plasma discharges). The resulting material, which carries positive and negative electric charges on opposite internal void surfaces, is called a ferroelectret. The polarity of these engineered dipoles can be switched either by external electrical fields or upon the application of a mechanical stress on the polymer surfaces, i.e., by mechanically or electrically stressing the film. As a result, piezoelectric nonpolar cellular polymers are suitable for interconverting mechanical and electrical signals.

Cellular polymer films are attractive for large-scale practical applications as

piezoelectric materials because of their low cost, non-toxic composition, suitability for industrial manufacture and good ratio between mechanical strength and weight. Moreover, cellular polymer films can be fabricated from virtually any polymer by well-known physical methods.

The morphology of cellular polymer electrets is characterized by closed cells or voids dispersed in a solid polymer (see Figure 9). This cellular phase may be formed by two basic methods: a) injection of gas bubbles in the molten thermoplastic matrix before solidification, or b) loading of the polymer with filler particles, which serve as stress concentrators for microcracks during subsequent stretching.

Piezoelectric effects in cellular polymers are induced by internal charging of voids by dielectric barrier microdischarges, via corona discharge applied in the vicinity of the film surface. This is accomplished by imposing a large voltage drop between an electrode and an insulated surface over which the film is placed, in the presence of ionized gas. As a result, electric charge layers on the tops and bottoms of the voids are created (See Figure 9) and the charge is trapped on the internal walls of the cellular structure. In this way, the charged voids in cellular polymers form perfectly oriented, engineered macroscopic dipoles that give rise to electromechanical sensitivity, i.e., the dipole moment changes upon application of a mechanical stress on the polymer surfaces.

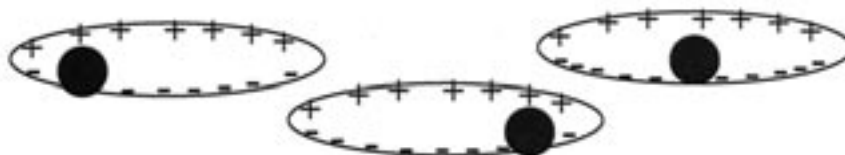


Figure 9: The structure of a cellular piezoelectric polymer nanocomposite with the filler particles that facilitate void formation (Ongoing project at Laval University).

Such piezoelectric cellular polymer nanocomposites can be used for the fabrication of very sensitive sensors for applications such as loudspeakers, strain, stress and temperature sensors, detection of pulse, heartbeat and blood pressure.

Combining the Moroccan expertise in nanoparticles fabrication, in polymers and polymer processing and in electrophysics, high-tech devices of this nature can be fabricated. Morocco disposes also of many theoreticians (lack of experimental infrastructure) with strong background in mathematics (French school) who work on complex systems, classical, statistical and quantum mechanics and magnetism. Nanomaterials and their applications such those exposed in this paper offer unique model systems for making important contribution both in science and in technology.

7. Concluding Remarks:

Manipulation of matter and nanoscale is a truly multidisciplinary field, where

the classical artificial frontiers between the various branches of science and engineering disappear by letting the place to a common world, where physicists, chemists, biologists, geneticists, material scientists, mathematicians and engineers are asked to work together. Although the field is still in infancy and the theoretical principles are not yet mature and transparent, various materials and several applications in a variety of niches are continuously discovered. Morocco has made big efforts in the seventieth, eightieth and ninetieth to send students abroad for scientific education. The majority of them got their Ph.D and engineering diploma and are now working both in Morocco and abroad. Comparatively to many countries, including some of the European ones, Morocco disposes of a good number of Ph.Ds working in physics, chemistry and biology. It would be of great benefit to gather some of the talented researchers on common projects dealing with nanomaterials and nanotechnology for developing home made nanoparticles, carbon nanotubes, quantum dots, Moroccan organoclay, ceramics, new metal alloys, polymer nanocomposites and nanobiomaterials. Universities have also to introduce in their curriculum courses on new knowledge in physics, chemistry and biology using nanoconcepts. If serious efforts are devoted to this new and hot area, the country can expect important scientific, technological and economical benefits.

« Défis et espoirs humanistes pour les sciences et les technologies »

par Pr. Malik GHELLAB

*Directeur du laboratoire LAAS
(Toulouse-France),
membre de la commission
de fondation de l'Académie Hassan II
des Sciences et Techniques.*



Quelle est la principale richesse du Maroc?

Cette question, qui nécessite sans doute plusieurs réponses circonstanciées et argumentées, me semble tout à fait pertinente pour notre Académie. Permettez-moi de proposer un premier élément de réponse, non experte, à cette question, et dans une deuxième partie de cette intervention, d'expliquer la référence humaniste de mon titre.

Une des principales richesses de ce pays me semble être sa jeunesse. Habitant une Europe où les enfants se font de plus en plus rares, c'est en effet toujours un grand bonheur pour moi à chaque fois que je reviens dans mon pays natal, que de passer devant une école à l'heure de la sortie des classes, que se soit une école de grande ville ou une école de villages reculés, comme j'ai eu l'occasion d'en visiter récemment aux confins du Sahara.

C'est un grand bonheur que de voir un flux d'enfants tumultueux, bruyants, pleins de vie, de bonne santé et de joie, reprendre les chemins buissonniers. À leur vue, je me surprends à sourire, à me refaire une réserve d'optimisme. C'est surtout un grand bonheur que de les voir scolarisés, les voir être formés, formés à apprendre, formés à découvrir par eux-mêmes. C'est bien une de nos missions que de les sensibiliser à la recherche et à la science, et de contribuer à améliorer leur formation. Ces nombreux enfants scolarisés symbolisent en effet le potentiel et l'avenir de ce pays.

Ce grand bonheur à la vue des enfants est cependant teinté d'inquiétude, inquiétude face aux responsabilités et aux nombreux défis qu'il nous faut relever, pour eux, dès maintenant, et avec eux.

Ces enfants connaîtront en effet un moment unique et critique dans l'histoire de l'humanité. Ils vivront, lorsqu'ils auront notre âge, le moment où la courbe de la population humaine passera par son maximum: 9,2 milliards de personnes. Ensuite, ce chiffre devrait décroître, si tout va bien, par un effet heureux du développement économique et social.

Ces projections sont loin d'être fantaisistes, elles sont associées à une marge d'erreur relativement faible, + ou - 300 à 400 millions, si j'en crois les publications récentes en démographie, une discipline qui dispose aujourd'hui de modèles bien précis.

Ce passage par un maximum critique, vers 2050, de plus de 9 milliards d'humains, soulève d'énormes défis, à la résolution desquels il nous faut travailler tous les jours, car 2050 est terriblement proche. Un premier défi est celui de l'énergie. Fort heureusement, le niveau de vie augmente partout dans le monde, et les demandes d'énergie, pour le transport, pour la production, pour l'habitat, sont explosives. Si on projette les habitudes de consommation d'énergie de l'Occident à l'ensemble des 9,2 milliards d'humains de demain, nous aurions besoin de ressources énergétiques de 6 planètes comme la Terre.

Une hypothèse plus réaliste, sinon la seule possible, est d'être beaucoup plus économe de nos ressources et de mieux les partager. Les marges d'économie sont, fort heureusement, considérables.

Les défis de l'énergie doivent être abordés sur de très nombreux angles d'attaques, depuis le thermonucléaire, jusqu'à l'agriculture, les biotechnologies, et l'urbanisme, en passant par l'astronomie et la géologie. Mais un des fronts les plus importants de ces défis me semble être celui de l'énergie électrique sur lequel je voudrais dire quelques mots, en attendant la présentation suivante de notre collègue Philippe Tanguy sur les autres formes et sources d'énergie.

L'électricité est un excellent vecteur d'énergie. C'est une énergie propre, une énergie très flexible sur toute la gamme des puissances. C'est une énergie en très rapide croissance : aujourd'hui 15.000 milliards de KWh, 60.000 milliards dans quarante ans, sans doute davantage si on passe des 30 à 40% de l'énergie totale consommée aujourd'hui à une proportion plus grande pour l'électricité. Mais l'énergie électrique reste difficile à maîtriser, à produire, à stocker, à transformer efficacement. Fort heureusement les cellules photovoltaïques, par exemple, sont passées en une quinzaine d'années d'un rendement de 10% à un rendement supérieur à 30%, sans doute davantage pour les cellules multi-spectrales, en particulier avec les nano-technologies, dont nous à parlé notre collègue Mostapha Bousmina. Beaucoup d'espairs sont permis sur le plan des énergies renouvelables.

Les marges de gain possibles dans la transformation et l'utilisation de l'électricité sont très importantes. Par exemple, si on améliore le rendement des réfrigérateurs domestiques en Europe on gagne une tranche nucléaire. L'amélioration de l'éclairage peut être davantage bénéfique. Les gains potentiels dans les transports sont encore beaucoup plus importants. Un cyclomoteur électrique consomme 10 fois moins qu'un cyclomoteur à essence comparable, lequel consomme 10 à 20 fois moins qu'une voiture. Sur tous ces fronts beaucoup de recherches restent à faire.

Un autre défi que soulève cette progression démographique est celui de l'eau, ressource essentielle pour le Maroc. La rationalisation de son utilisation, de sa distribution, de son recyclage, de ses transformations et en particulier de sa

désalinisation, est un sujet de travail et de recherche pluridisciplinaire d'une très grande urgence.

Il n'y a pas que la ressource en eau qui deviendra de plus en plus critique. L'accès à certaines ressources alimentaires, en particulier aux protéines animales, dont la production est coûteuse, pose d'ores et déjà, de sérieux problèmes. Par exemple, la ressource halieutique, également très importante pour le Maroc, semble aujourd'hui suivre une courbe décroissante inquiétante. Nous prélevons plus que les capacités naturelles de renouvellement. Ici également de nombreux travaux de recherche sont nécessaires.

Les préoccupations sur les ressources ne sont qu'une composante des questions plus larges de protection de l'environnement, lesquelles soulèvent des problèmes considérables et des risques majeurs, à prévoir et à éviter à tout prix. On connaît malheureusement déjà une partie des effets négatifs des gaz à effets de serre. Mais d'autres risques sont potentiels. Il s'agit, par exemple, d'une acidification de l'eau de mer ou d'une inversion des courants majeurs, tels que le Golf Stream, dont on note déjà une diminution substantielle du débit de retour Nord-Sud, effets complexes qui pourraient être dus à la conjonction de plusieurs causes, comme nous l'a expliqué notre collègue Jean Dercourt.

Les accords de Kyoto dénotent assurément une première prise de conscience mondiale sur ce sujet. Mais la logique d'un marché des droits d'émettre des gaz à effet de serre, un marché du droit à polluer, n'est pas plus acceptable moralement qu'un marché du droit de nuire à son prochain. De plus, cette logique est largement dépassée par les effets des phénomènes, à arrêter d'urgence. Il est essentiel que les scientifiques de tous les pays, et en particulier du Maroc, lequel risque beaucoup dans ce processus de réchauffement, soient mobilisés sur ce front de la connaissance, de la modélisation et de la prédiction de l'environnement.

Une autre composante des défis de l'environnement est celle de la géographie humaine. Il est très vraisemblable que l'immense majorité des 9,2 milliards d'humains, vivra en milieu urbain. Il nous appartient d'urgence de trouver d'autres modèles d'urbanité que celles des mégapoles de plusieurs dizaines de millions de personnes, ingérables, polluées, agressives, violentes et très peu humaines. D'autres formes de production, de distribution et d'interaction, mettant en œuvre judicieusement des technologies de communication et de transports, existantes ou à créer, sont nécessaires.

Sur ce point également la bonne solution ne pourra pas nécessairement être importée de l'extérieur. Un effort important de recherche est nécessaire, par exemple, sur la base des traditions d'urbanité et de civilisation de ce pays, en les renouvelants dans le contexte de demain.

La liste de ces défis formidables pour la recherche, pour la science et la technologie, est loin d'être exhaustive. Elle est aussi loin d'être insurmontable. Il ne s'agit pas de se sentir non concerné ou dépassé, mais plutôt de mobiliser tous les efforts, car les raisons d'espérer sont nombreuses. Une première raison évidente d'espérer est que nous sommes aujourd'hui de plus en plus conscients des défis que nous devons affronter. Nous savons formuler correctement les problèmes qui se

posent à nous et que nous devons résoudre en deux générations. Mais l'espoir principal de progrès, le seul sur lequel je conclurai cette intervention est l'homme, source et raison d'être de tous les progrès qui nous intéressent.

Un argument essentiel qui ne devrait pas vous surprendre et sur lequel je voudrais insister est que l'être humain qui affrontera ce point critique du maximum démographique n'est pas le même que celui d'aujourd'hui. Pas plus que l'humain d'aujourd'hui n'est le même que celui du début du XX^{ème} siècle.

En effet, l'espérance de vie était, il y a un siècle, de 45 ans dans les pays occidentaux, elle est aujourd'hui de 75 ans. L'espérance de vie en bonne santé, c'est-à-dire, sans handicap ni hospitalisation, est à peine de six mois plus courte. Cette évolution heureuse est due en particulier aux vaccins, aux antibiotiques, aux progrès des systèmes de prévention et de soin, comme nous l'a expliqué notre collègue Carlos Martinez-Alonzo. Cette évolution est aussi due à des facteurs sociaux, tels que la réduction des travaux pénibles et dangereux, mais également à la réduction du nombre des victimes des conflits armés, sur laquelle il nous reste assurément beaucoup à faire. Cette augmentation de l'espérance de vie, qui est considérable si on la ramène à la vie d'adulte, qui a plus que doublé en un siècle, a un énorme impact sur les relations familiales, sur les relations sociales, sur le partage et l'organisation du travail et des richesses entre les générations. Beaucoup de problèmes restent posés et doivent être résolus dans l'optique d'un allongement encore plus grand de l'espérance de vie ; on pense aujourd'hui qu'une espérance de vie de 130 ans serait à notre portée dans 2 générations.

Il n'y a pas que l'espérance de vie en bonne santé qui ait progressé de façon radicale en un siècle. Non seulement le niveau moyen d'éducation, de formation et de connaissance a beaucoup progressé, mais il semble que les capacités cognitives humaines ont également augmenté de façon substantielle. C'est le cas, si on considère que le Quotient Intellectuel est un indicateur, parmi d'autres, de ces capacités cognitives. En effet le Quotient Intellectuel a progressé de près de 20% en un siècle, toutes choses égales par ailleurs, c'est-à-dire à niveau équivalent de formation, d'alimentation et de soin. Voilà qui peut vous paraître surprenant, mais sans doute pas plus surprenant que les progrès que l'on constate dans les résultats athlétiques et sportifs. La seule explication satisfaisante qui semble avoir été proposée à cette augmentation du Quotient Intellectuel est l'intensification des stimuli informationnels, et en particulier visuels dont nous bénéficions. Cette intensification ira en s'amplifiant considérablement grâce aux possibilités de la toile, des média mobiles et de l'intelligence ambiante.

Ces deux exemples d'évolutions majeures de l'humain, en espérance de vie et en Quotient Intellectuel relèvent du XX^{ème} siècle. Les progrès et la convergence des sciences et technologies de l'information et des sciences de la vie ouvrent des perspectives d'une tout autre nature pour le XXI^{ème} siècle, sur deux plans essentiels:

- notre relation à l'outil
- notre relation à l'évolution naturelle.

De tout temps, l'outil a été un prolongement de la main de l'homme, une amplification et une spécialisation selon les besoins d'agir, d'une espèce non spécialisée, sans niche écologique spécifique. Aujourd'hui l'outil informationnel, l'outil intelligent des STIC est une amplification formidable de nos capacités sensorielles et de nos capacités cognitives. En 2005, c'est 10 milliards de microprocesseurs qui ont été commercialisés. Seulement 2% de ces 10 milliards trouveront place dans un ordinateur. 9,8 milliards trouveront place dans des artefacts divers, et parfois même sur l'homme. Si nous ne percevons pas suffisamment bien cette évolution formidable, c'est en particulier dû aux interfaces hommes-machines qui restent rudimentaires. Mais les travaux, par exemple sur l'interface cerveau-ordinateur commencent déjà à donner des premiers résultats prometteurs. On sait guider un fauteuil roulant à partir des seuls signaux d'électro-encéphalogramme., c'est à dire à piloter une machine par la pensée. D'autres exemples de micro systèmes embarqués ou portés par l'homme, pour prolonger ou pallier des organes déficients, sont également à l'étude. TI est clair que l'humain qui bénéficiera de tels prolongements sensoriels et cognitifs marquera une évolution importante.

Concernant le 2^{ème} point, il est bien connu que l'évolution naturelle s'appuie sur deux ressorts principaux: la sélection et la mutation.

Depuis des millénaires l'agriculteur et l'éleveur ont su mettre à profit empiriquement les mécanismes de sélections, mais en restant tributaires des hasards de mutations aléatoires. Aujourd'hui les mécanismes de mutation deviennent compréhensibles. Leur maîtrise sera rapidement à notre portée, pour le meilleur comme pour le pire. Il n'est pas surprenant que des recherches sur le mouvement en robotique permettent d'aborder des questions fondamentales de conformation moléculaire et de docking de molécules biochimiques; en d'autres termes, d'utiliser des outils de modélisation et de calcul puissants pour aider à déterminer des lieux de possibles actions biochimiques. Assurément beaucoup reste à faire dans cette voie, avec discernement et prudence, mais avec un potentiel formidable comme nous l'a rappelé notre collègue Albert Sasson.

Il est essentiel que non seulement les scientifiques de tous les pays soient impliqués et concernés, mais aussi qu'ils puissent porter le débat sur la place publique pour que chacun ait voix au chapitre et soit partie prenante et responsable d'évolutions aussi majeures.

Ce qui caractérise l'humain pour le philosophe Michel Serres est sa capacité à manipuler le temps, celui de l'évolution culturelle et sociale, et aujourd'hui le temps de l'évolution biologique. Tout vivant agit et se déploie dans l'espace. L'homme manipule aussi le temps. "L'Homo Faber résume en un tour de main ce que la nature met en patience multimillénaire à faire émerger, sans le vouloir. L'humain est un vivant en voie d'auto-évolution".

Nous avons toujours été dans le flot contingent de l'évolution naturelle. Aujourd'hui nous avons considérablement accéléré la dynamique de cette évolution et commençons à en comprendre toutes les gouvernes. Bien sûr, nous ne sommes plus à l'heure du scientisme réducteur et naïf, et de programme de René

Descartes de "Devenir maîtres et possesseurs de la nature". Toutes nos actions nous mettent nous-mêmes et très largement en jeu. Ces perspectives peuvent nous surprendre, elles peuvent nous effrayer. Elles nous placent face à des responsabilités inattendues. Nous devons les intégrer dans nos schémas de pensée. Nous devons les affronter, car le pire serait que l'auto-évolution ne soit réellement "auto" que pour une partie et au bénéfice d'une partie d'humains.

Il appartient à l'institution académique que nous inaugurons aujourd'hui, dont je salue la création et à laquelle je souhaite beaucoup de succès, en particulier pour inciter à aborder une partie des défis que j'ai mentionné, de faire en sorte que les scientifiques de ce pays, que les hommes et les femmes de ce pays, soit parmi les acteurs de cette auto-évolution. Je souhaite avec vous que ces enfants des écoles marocaines d'aujourd'hui, notre source d'optimisme et d'espoir, seront nombreux à se dire dans quarante ans que l'Académie Hassan II des sciences et techniques a été un excellent investissement.

«Les défis énergétiques au XXI^{ème} siècle : un bref aperçu»

par Pr. Philippe TANGUY

*Département du génie chimique
de l'Ecole Polytechnique (Montréal),
responsable du département
recherche-développement de Total-Amérique,
membre de la commission de fondation
de l'Académie Hassan II des Sciences
et Techniques.*



Satisfaire les besoins énergétiques globaux au XXI^{ème} siècle constitue un des grands défis des générations à venir. L'augmentation sans précédent de la demande en énergie à laquelle nous faisons face depuis quelques années est alimentée par la croissance économique rapide des nouveaux pays industrialisés, une tendance massive à l'urbanisation dans des pays à forte population et le simple effet de la démographie. Un traitement en profondeur de la question de l'offre et de la demande en énergie dépasserait le cadre de cette présentation. Ainsi, dans ce discours inaugural à l'occasion de l'installation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques par S. M. Mohammed VI, nous porterons notre attention sur trois points pour lesquels l'échelle de temps joue un rôle prépondérant, à savoir : l'impact du développement humain sur la demande en énergie, le problème technique de suppléer à nos besoins actuels et les voies prometteuses pour assurer notre avenir énergétique.

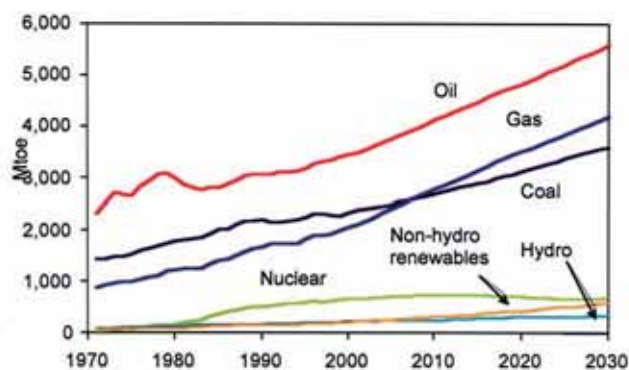
Énergie et développement humain

Cet assemblage de photos de la Terre prise par des satellites de nuit illustre de manière remarquable le caractère inégal de la distribution de la consommation d'énergie entre les pays riches du Nord et les pays pauvres du Sud. Il existe un fossé important en termes de consommation d'électricité comme l'illustrent les différences de densité d'illumination. Les mêmes écarts sont observables dans la consommation de carburants liquides qui est reliée à la mobilité des hommes et des biens, un autre indicateur du développement économique.



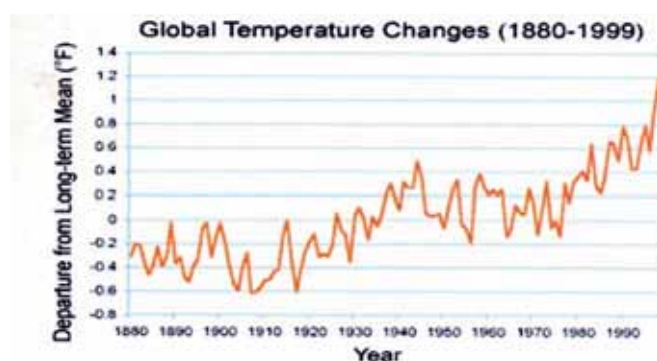
Éclairage nocturne de la Terre (<http://visibleearth.nasa.gov>)

Rappelons quelques chiffres pour illustrer ces différences. Selon les statistiques compilées par la société pétrolière BP en 2005, la consommation en énergie atteint 6 tep (tonne équivalent pétrole) dans des pays très voraces en énergie, tels que le Canada et les États-Unis, alors qu'elle est inférieure à 1 tep dans les pays les plus pauvres. La consommation quotidienne de pétrole est de 25 millions de barils par jour en Amérique du Nord et seulement de 2,8 millions en Afrique. Comme l'industrialisation et la consommation énergétique obéissent aux mêmes tendances, la pression sur la fourniture d'énergie va s'accroître dans un proche avenir pour deux raisons: le décollage économique de plusieurs pays en voie d'industrialisation rapide et très peuplés (Brésil, Inde, Chine) et l'augmentation globale de la population. Si rien n'est fait pour infléchir les tendances actuelles (le scénario BAU ou *business as usual*), l'Agence Internationale de l'Énergie prévoit que la demande en pétrole augmentera de 50% d'ici 2030. Les projections sont les mêmes pour le gaz naturel et le charbon. En pratique, ceci signifie que seulement pour le pétrole, 40 millions de barils supplémentaires devront être extraits, transportés et raffinés quotidiennement dans le monde.



Consommation énergétique (www.bp.com, 2005)

De tels chiffres donnent à réfléchir et le scénario BAU est loin d'être réjouissant s'il devait se réaliser. En fait, nous sommes face à deux obstacles, à savoir une diminution graduelle des ressources conventionnelles qui va limiter les possibilités de croissance, et des contraintes environnementales dont les émissions de gaz à effet de serre (CO₂ et méthane) et leur effet sur les changements climatiques. La production pétrolière va atteindre son pic de production historique dans la prochaine décennie, suivie de peu par la production de gaz naturel, considéré comme un substitut. Le délai requis pour mettre en place des sources d'énergie alternatives est tel que la situation ne porte pas à l'optimisme d'autant que les investissements nécessaires n'ont pas été réalisés. Sur le plan environnemental, il est difficile d'établir des liens scientifiques irréfutables entre les modifications apparentes des phénomènes météorologiques et l'origine anthropogénique de l'augmentation de la température moyenne mesurée. Néanmoins, comme le montre le graphique ci-contre publié sur le site web du National Climatic Data Center des Etats-Unis, les observations quotidiennes et l'analyse des séries chronologiques de température devraient nous inciter à appliquer le fameux principe de précaution. Depuis le début de la révolution industrielle il y a deux cents ans, la concentration de l'atmosphère en CO₂ s'est accrue de 50%. En vertu du scénario BAU, les projections d'Exxon Mobil prédisent une augmentation additionnelle de cette concentration de 62% d'ici 2030. Plusieurs modèles climatiques ont été mis au point récemment pour estimer les effets sur l'atmosphère d'une surconcentration en CO₂. Le modèle IGSM du MIT prédit ainsi une augmentation supplémentaire de la température moyenne globale de 1,5 degrés centigrades en 2050 par rapport au niveau d'avant 1990. Les effets du réchauffement climatique sur les écosystèmes dans les régions arctiques canadiennes et russes se font déjà sentir.



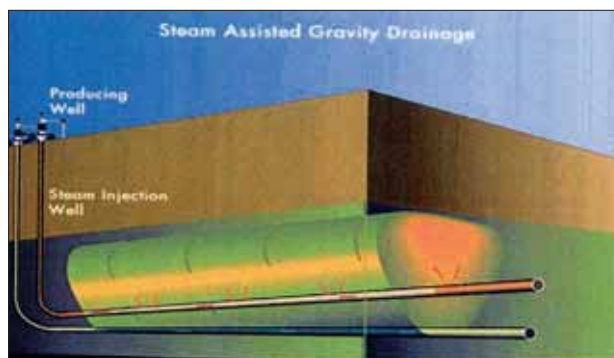
Changements de température globaux (www.ncdc.noaa.gov)

La limitation des émissions peut être réalisée de deux manières, soit par la réduction de la consommation – une position défendue par certaines compagnies pétrolières comme Total S.A. en France – ou par une meilleure gestion de la filière « carbone » et le passage graduelle à une économie basée sur des énergies ne faisant pas intervenir le carbone – la position des pétrolières anglo-saxonnes. La difficulté

principale est de couper les émissions globales sans pénaliser les économies fragiles des pays en émergence. Actuellement, plus de 1,6 milliards d'humains sont sans électricité. Sans politique volontariste, en 2030, ce chiffre sera encore de 1,4 milliards.

Suppléer aux besoins énergétiques actuels

Lorsqu'elles ont été publiées il y a quelques années, les projections de l'Agence Internationale de l'Énergie ont été fortement critiquées car elles mettaient l'accent sur les hydrocarbures et minimisaient l'impact des énergies renouvelables. Cependant, plusieurs experts indépendants ont confirmé qu'il était déjà trop tard pour modifier le mix énergétique pour les vingt années à venir en raison du temps nécessaire pour déployer un nouveau paysage énergétique sur une grande échelle. Cela signifie qu'en pratique notre avenir proche reposera encore sur une production d'énergie primaire à base de ressources fossiles. Dans la mesure où la production d'hydrocarbures « faciles » commence à diminuer ou tout au moins ne suffit plus à la demande, de nouvelles sources de pétroles extraits des sables bitumineux (huile lourde) ou de gisements extrêmes (production en offshore ultra-profond ou dans les régions arctiques), la renaissance du charbon et le retour de l'énergie nucléaire formeront probablement la base d'un cocktail énergétique beaucoup plus diversifié.



Procédé de drainage à la vapeur (www.encana.ca)

L'exploitation des sables bitumineux consomme une quantité d'énergie importante. Deux procédés peuvent être utilisés, soit le procédé minier dans des mines à ciel ouvert et un procédé de récupération *in situ*. Dans le procédé minier, le minerai est tout d'abord broyé puis l'huile est séparée par flottation comme dans le cas de l'extraction du cuivre par exemple. Ce procédé génère des résidus qui doivent être entreposés de manière acceptable sur le plan environnemental et le terrain doit être restauré. Le procédé d'extraction *in situ* le plus prometteur est le drainage à la vapeur illustré par la figure ci-contre. De la vapeur est injectée dans le sous-sol par un puits dédié. La chaleur de la vapeur chauffe la formation et accroît la mobilité de l'huile. Des drains horizontaux sont utilisés pour capter l'huile émulsionnée qui est ensuite pompée vers la surface. Ce procédé est a priori plus attrayant que le procédé minier car il permet d'accéder à de très vastes

quantités d'huiles lourdes enfouies dans le sous-sol. Cependant, la génération de vapeur nécessite de l'énergie. À l'heure actuelle, c'est le gaz naturel qui sert de source principale, mais le charbon, l'huile lourde elle-même ou encore le coke de pétrole qui provient du prétraitement de l'huile lourde avant son raffinage sont tous considérés comme source d'énergie pour la génération de vapeur.

L'exploitation à grande échelle du charbon à des fins énergétiques est considérée comme l'un des déclencheurs de la Révolution Industrielle au XVIII^{ème} siècle. Son déclin graduel dès le début du XX^{ème} siècle a pour origine le coût plus attractif du pétrole comme énergie primaire. Ironiquement, le retour programmé du charbon notamment en Asie où se trouvent de vastes réserves est causé par une offre insuffisante en pétrole et partant des prix élevés. Les réserves de charbon sont estimées à 250 ans de production au taux d'exploitation actuel.

La renaissance du charbon est également justifiée par sa grande flexibilité en tant que source d'énergie primaire. Il peut être facilement converti en électricité dans des centrales thermiques, mais également en essence par le célèbre procédé Fischer-Tropsch inventé en Allemagne avant la Deuxième Guerre Mondiale. Enfin, il peut être utilisé dans la synthèse des molécules de base utilisées en chimie industrielle.

L'exploitation des schistes bitumineux et du charbon n'est pas sans effet négatif sur l'environnement, une situation socialement de moins en moins acceptable. Dans le cadre d'une gestion environnementale responsable, il est sérieusement envisagé de capter le carbone dès son émission puis de le séquestrer dans des réservoirs permanents (pièges géologiques). Le développement d'une filière de captation et de séquestration économique constitue un enjeu majeur. Plusieurs procédés de capture prometteurs sont en cours d'évaluation ou de développement basés sur des mécanismes physiques ou chimiques comme l'absorption, l'adsorption, la cryogénie, ou des réactions chimiques ou biochimiques. Une ou plusieurs solutions acceptables devraient donc émerger à brève échéance. Pour ce qui est de la séquestration géologique du carbone, plusieurs pistes sont considérées, comme le stockage dans des réservoirs d'hydrocarbures épuisés, des anciennes mines de charbon ou encore des formations basaltiques. Plusieurs essais pilotes sont en cours et les résultats obtenus sur l'injection du CO₂ dans l'aquifère salin de Sleipner au large de la Norvège sont des plus encourageants.

Par ailleurs, l'énergie nucléaire (pour la génération d'électricité) va probablement constituer une part importante de notre mix énergétique dans les décennies à venir. La technologie nucléaire est fiable et ne génère aucun gaz à effet de serre, permettant ainsi aux pays de l'OCDE de mieux respecter leur quota d'émission fixé par les accords de Kyoto. L'uranium est une énergie fossile dont les réserves sont aussi finies. Notons cependant qu'avec les technologies des réacteurs nucléaires les plus récentes, la consommation d'uranium est beaucoup plus efficace et attractive du point de vue économique. Reste le problème important du traitement des déchets et du stockage à résoudre. Mais on peut espérer que les progrès de la recherche en ingénierie permettront de trouver une solution acceptable à long terme tant sur le plan environnemental que sociétal.

C'est clairement la densité énergétique importante des hydrocarbures et du charbon qui a rendu leur exploitation économique. En raison de l'épuisement à terme de ces ressources, l'exploitation potentielle d'autres ressources fossiles fait actuellement l'objet de recherches sérieuses, en particulier les schistes bitumineux ou pétrolifères. Ces schistes sont formés par des calcaires qui contiennent de la matière organique appelée kérogène. Leur contenu énergétique dépend de leur richesse en liaison H-C. Ils peuvent être brûlés pour produire de l'électricité – L'Estonie est actuellement le seul pays exploitant à grande échelle les schistes bitumineux à des fins de production électrique – ou encore ils peuvent être traités pour en extraire de l'huile. Si l'on considère un rendement moyen d'un quart de baril de pétrole par tonne de schistes, les réserves estimées sont de 4500 milliards de barils soit environ 4 fois les réserves de pétrole connues. Aux États-Unis, un



Un échantillon de schiste bitumineux (www.drexel.edu)

pays possédant de vastes réserves de schistes, la teneur en huile est comparable à celles des sables bitumineux de l'Alberta. Le Maroc possède lui aussi des réserves importantes estimées à 35 milliards de barils, un chiffre qui correspond à plusieurs décennies de consommation intérieure d'hydrocarbures. En pratique, l'exploitation économique des schistes bitumineux représente encore un défi majeur. Plusieurs technologies sont en concurrence dont l'exploitation minière suivie d'une combustion en lit fluidisé et la combustion *in situ*. Comme dans le cas des sables bitumineux, l'exploitation des schistes a un impact négatif sur l'environnement qu'il convient de traiter avec le plus grand soin.

Options pour un avenir énergétique durable

L'utilisation des énergies renouvelables constitue la seule réponse possible pour un avenir durable. Plusieurs ressources sont a priori prometteuses et ici encore, le futur reposera sans doute sur un mix énergétique plutôt qu'une source unique. L'énergie éolienne est l'énergie renouvelable la plus industrialisée à l'heure actuelle. La technologie est bien établie et les coûts de production électrique avoisinent celle des énergies fossiles. Des aérogénérateurs de 6 MW apparaîtront cette année et une nouvelle génération d'éoliennes de 8 voire 10 MW est prévue d'ici quatre ans, permettant encore d'abaisser le coût du kWh.



Aérogénérateur de 100 kW (www.geograph.co.uk)

L'énergie solaire est une autre énergie renouvelable qui se développe rapidement. Deux filières sont étudiées : les cellules photovoltaïques qui convertissent directement les photons en électricité grâce à un semi-conducteur en silicium, et les tours solaires. La production électrique photovoltaïque est une réalité industrielle pour la production électrique dans les régions isolées non connectées au réseau de distribution. Le rendement des cellules atteint maintenant 15%. Le principe des tours solaires est de concentrer les rayons lumineux captés par des batteries de miroirs paraboliques sur une chaudière à vapeur reliée à une turbine, ou encore d'utiliser un collecteur dans lequel circule un fluide caloporteur de type sel fondu par exemple. Le fluide caloporteur est relié à un échangeur de chaleur couplé à un turbogénérateur. Plusieurs projets sont en cours de pilotage, dont le projet de tour solaire du Sandia National Laboratory du Department of Energy des États-Unis et le parc solaire de l'Université de Séville en Espagne. L'avantage des énergies éolienne et solaire est leur caractère intrinsèquement renouvelable. Toutefois, ce sont des énergies intermittentes, ce qui pose la question de leur intégration dans le réseau ou encore de leur stockage.



Centrale thermique solaire (www.nrel.gov)

L'océan recèle un vaste potentiel énergétique et son exploitation pourrait passer par deux voies distinctes, mécanique ou thermique. L'énergie mécanique des océans provient des marées et des vagues. Dans le cas des marées, un barrage est utilisé pour forcer l'écoulement de l'eau dans des turbogénérateurs. C'est le cas de l'usine marémotrice de la Rance en France, et celle de la Baie de Fundy au Canada. La conversion de l'énergie de la houle, quant à elle, fait appel à plusieurs dispositifs dont des canaux guidant les vagues dans des réservoirs, des flotteurs actionnant des pompes et des colonnes d'eau utilisant l'oscillation de la houle pour comprimer un gaz. L'exploitation de l'énergie thermique des océans est encore à l'état primitif mais le potentiel est bien réel. Le principe est d'utiliser la différence de température entre la surface de l'océan et le fond de la mer pour générer de l'électricité par l'entremise d'une pompe à chaleur.

La biomasse constituée par l'ensemble de la végétation et de ses dérivés est la plus ancienne ressource connue d'énergie renouvelable et celle qui a été longtemps la seule utilisée. Son caractère attractif est lié à sa nature entièrement renouvelable via le cycle végétatif mais aussi au fait qu'il s'agit d'une ressource très bien distribuée à l'échelle de la planète. La biomasse peut être utilisée pour la production de bioénergie, de biocarburants ou de bioproduits. La conversion de la biomasse en énergie passe par les mêmes voies que celles du charbon ou du gaz naturel, à savoir la gazéification pour la conversion en énergie et la synthèse Fischer-Tropsch pour la fabrication d'essence. L'utilisation des technologies de fermentation permet la production d'alcools comme l'éthanol qui peut servir de carburant ou de biomolécules pour la chimie. Sa combustion émet du CO₂ mais l'aspect développement durable est assuré par la capture de ce CO₂ via le cycle végétatif.

L'hydrogène semble être l'énergie du futur. Il est actuellement produit à partir d'énergies fossiles principalement dans les raffineries de pétrole, mais on envisage le recours massif à l'électrolyse de l'eau pour sa production en utilisant de l'électricité générée par une source renouvelable. L'hydrogène peut être brûlé pour générer de l'électricité ou utilisé dans les piles à combustible pour alimenter des moteurs électriques par exemple dans des véhicules automobiles. La combustion de l'hydrogène ne génère pas de gaz à effet de serre et constitue donc une énergie propre.

Ce bref aperçu montre qu'à long terme il n'y pas de crise énergétique. Il existe encore des ressources énergétiques fossiles en abondance, ce qui laisse suffisamment de temps pour mettre au point des techniques de production d'énergie à partir de ressources renouvelables et les déployer industriellement. Dans quel délai? La réponse est clairement liée aux efforts de recherche qui seront entrepris. Ce qui est probablement plus préoccupant est notre avenir plus immédiat qui va dépendre du quadruplet huile-gaz-charbon-nucléaire pour satisfaire notre demande énergétique et alimenter notre croissance. Il faut souhaiter que les efforts entrepris pour suppléer à nos besoins immédiats n'occultent pas les investissements nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques des générations futures.

«SAVOIR ET ENJEUX DE L'EAU»

par Pr. Mohammed AIT KADI

*Président du Conseil général
du développement agricole (Rabat),
membre résident de l'Académie Hassan II des
Sciences et Techniques.*



**Monsieur le Secrétaire perpétuel,
Mesdames et Messieurs les membres de l'Académie,
Mesdames et Messieurs,**

Je voudrais exprimer ma profonde gratitude à Sa Majesté Le Roi Mohammed VI qui a bien voulu me nommer membre de cette prestigieuse Académie. Je suis particulièrement ému et honoré de me retrouver dans cette assemblée aux côtés de tant d'éminents scientifiques. Mon itinéraire professionnel m'a fait sans cesse osciller entre la réflexion scientifique et l'action engagée dans le domaine de l'eau. J'espère que la rencontre croisée de ces expériences m'a apporté les connaissances et le jugement qui me rendront digne de la confiance qui m'a été accordée.

Je remercie également Monsieur Le Secrétaire perpétuel de m'avoir invité à faire une brève communication sur l'eau au Maroc. Je comprends ce choix car, je vous le redirai, l'eau est un enjeu majeur dans notre pays. Mais les sciences de l'eau ne sont qu'une branche de l'arbre multiple des sciences que vous représentez. Je m'acquiesce donc de ma tâche avec un sentiment d'humilité scientifique. Mais, je me rassérène en même temps. Aujourd'hui en effet, nous vivons la science dans la complexité et toutes ses branches se complètent et se fertilisent entre elles. J'espère que ce que je vous dirai sur l'eau entrera dans cette compréhension commune de la complexité que nous partageons.

Mesdames et Messieurs

L'eau est l'un des enjeux les plus déterminants du futur de notre pays. La gestion de sa rareté interpelle les savoirs et donne aux scientifiques et aux ingénieurs une responsabilité sociétale majeure. Ce constat m'a conduit à m'interroger sur la connaissance scientifique et technique de l'eau et sur les réponses qu'elle pouvait apporter pour affronter ses enjeux. Je traiterai ce questionnement en me concentrant sur quatre points. Avant de les aborder, permettez-moi de rappeler que l'Académie du Royaume du Maroc a consacré sa

session d'automne 2000 à « la politique de l'eau et la sécurité alimentaire du Maroc à l'aube du XXI^{ème} siècle ». Les actes de cette session apportent des éclairages et des réflexions sur de nombreux aspects que je n'aborde pas dans cette brève intervention. Ces actes peuvent donc être utilement consultés

Dans mon premier point, je voudrais rappeler que notre interrogation d'aujourd'hui n'est pas nouvelle. Le Maroc a toujours connu l'aridité et, au cours des siècles, une science considérable s'est accumulée pour apprendre à bien gérer l'eau. Comment aurait-on pu, sans cette longue chaîne de transmission des savoirs, réaliser ces merveilles techniques que sont les khattaras de Marrakech et du sud de l'Atlas ? Comment aurait-on pu construire ces complexes barrages qui, dans le Ziz, le Rheris, dans la vieille ville de Noul près de Guelmim, dérivent des eaux de crue pour irriguer d'immenses étendues arides ? Que dire des ouvrages hydrauliques qui aux XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles permirent le fonctionnement des sucreries de Chichaoua ? et que dire, aussi, de la profusion de ces technologies à petite échelle qui permirent et permettent encore la collecte des eaux et la répartition ordonnée de leur usage. Je pense, enfin, à Fès et à ses réseaux d'alimentation en eau potable, d'irrigation et d'assainissement édifiés au Moyen-âge et qui n'ont rien à envier aux systèmes sophistiqués conçus aujourd'hui. Ces savoirs sur l'eau font partie de notre culture et, plus profondément encore de notre civilisation qui a toujours placé les questions de l'eau au centre de ses préoccupations scientifiques, techniques juridiques et culturelles.

Avec mon deuxième point, je me tourne vers les savoirs contemporains que nous avons su accumuler à la suite de cette longue tradition. Ces savoirs nouveaux, nous les avons acquis dans l'aventure décisive de la maîtrise technique de nos ressources en eau. Cette aventure, est avec le recul, l'une des grandes réalisations de notre pays depuis son indépendance. Nous en devons l'exceptionnelle dynamique à la vision qu'en eut Feu Sa Majesté Hassan II.

L'eau c'est d'abord le climat. Celui-ci, vous le savez, est caractérisé par une sécheresse estivale et il est à l'origine d'apports d'eau très variables selon les saisons et les années. Les ressources en eau sont mal réparties, les deux principaux bassins, celui de l'Oum errbia et celui du Sebou fournissent 50% des écoulements. Ces contraintes et ces déséquilibres se sont conjugués pour aggraver les difficultés et pour nous imposer des efforts d'une ampleur considérable pour les maîtriser. Nous avons du concevoir et construire des aménagements régulateurs complexes et d'une grande diversité, nous avons du modifier la géographie et imaginer des ouvrages novateurs pour transférer les eaux entre les bassins. Le Maroc dispose aujourd'hui de 113 barrages avec une capacité totale de 16 milliards de m³ et de 13 systèmes hydrauliques de transfert d'eau. Pour rentabiliser cette infrastructure, des aménagements hydro-agricoles ont été réalisés pour irriguer plus de 1,2 millions d'hectares et une puissance hydro-électrique de 1700 MW, a été installée. L'eau potable est sécurisée pour la quasi-totalité de la population urbaine et le taux d'accès en milieu rural a atteint 70%. Dans toutes ces réalisations « l'école marocaine de l'eau » n'a pas hésité devant l'audace technique et technologique. Son savoir faire est reconnu et s'exporte de plus en plus au niveau international.

Cette reconnaissance a aussi permis au Maroc de prendre la place qui lui sied dans le débat international sur l'eau. En 1997, l'année de l'inauguration du barrage Al Wahda, le plus grand du Maroc, s'est tenu le premier forum mondial de l'eau à Marrakech. Ce forum avait appelé à développer une vision de l'Eau, de la Vie et de l'Environnement pour le 21^{ème} siècle. Cette initiative a, depuis, structuré l'agenda international sur la question de l'eau. C'est dans ce contexte, également, que Le Grand Prix Mondial Hassan II de l'Eau a été institué par le Gouvernement marocain et le Conseil Mondial de l'Eau pour honorer l'excellence des apports scientifiques, techniques et politiques dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Je ne manquerai pas de citer, enfin, le discours de Sa Majesté Le Roi Mohammed VI devant le XXII^{ème} Sommet France-Afrique. Ce discours a été centré sur la problématique de l'eau à laquelle notre continent se trouve sérieusement confronté. L'appel a été lancé pour que soit prise une initiative audacieuse, généreuse et réaliste pour l'eau dans le cadre du programme du NEPAD et des grands rendez-vous de l'année comme celui du G8. La réunion du G8; qui a suivi à Evian, a adopté un plan d'Action pour l'eau. De même, le NEPAD a élaboré un plan d'action à court terme dans le secteur de l'eau et de l'assainissement. Tout ceci illustre notre grand engagement au niveau international qui interpelle notre production scientifique dans le domaine de l'eau.

Mesdames et Messieurs

Mon troisième point se concentrera sur les enjeux de l'eau au Maroc. Nous sommes en effet confrontés à des évolutions de fond ainsi qu'à des tendances majeures qui replacent la problématique de l'eau dans des configurations nouvelles et le plus souvent, alarmantes.

Nos ressources en eau, tout d'abord, sont fragiles et menacées. Les régimes hydriques sont perturbés par la dégradation du couvert végétal des bassins versants, celle-ci contribuant à amplifier l'irrégularité des écoulements et donc à diminuer les ressources en eau exploitables. Les nappes souterraines, pour leur part, sont très exposées aux surexploitations. Nous sommes aussi confrontés à une dégradation de la qualité des eaux, en particulier, par des salinisations souvent irréversibles ainsi que par des pollutions d'origine multiple. Nos infrastructures de régularisation des eaux sont elles aussi menacées. L'envasement des barrages réduit leur capacité. Les pertes annuelles correspondent à un potentiel d'irrigation de 6 à 8 000 ha. L'augmentation continue de la demande exerce, pour sa part, des pressions qui annoncent des déséquilibres graves. Des situations de pénurie d'eau conjoncturelles ou structurelles sont déjà présentes. Elles risquent de s'étendre et s'aggraver. Le dernier grand enjeu est celui des changements climatiques. Les scientifiques savent désormais que certaines détériorations ne pourront plus être évitées. L'aridification s'étend dans notre pays et nous aurons à faire face à des irrégularités plus marquées.

Devant la gravité de ces enjeux, mon quatrième point s'adresse aux réponses de la science et de la technique. Nos évaluations, nos recherches à long terme sur l'eau nous montrent en effet que nous pourrions éviter les situations extrêmes et entrer

dans des processus de durabilité avec une gestion intégrée et rationnelle de nos ressources. Nous devons, en effet, mettre en œuvre un processus qui favorise la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources connexes, nous devons maximiser, de manière équitable, le bien-être économique et social qui en résulte, sans pour autant compromettre la pérennité d'écosystèmes vitaux. Nous savons que cela est techniquement possible. Mais, il nous faut, pour cela, augmenter et diversifier les offres en eau et, par ailleurs, introduire une éthique de la consommation d'eau avec une politique orientée vers une gestion de la demande.

Les enjeux, vous le voyez, nous forcent à donner une importance beaucoup plus grande qu'auparavant aux apports de la science et de la technologie de l'eau. A chaque stade du cycle de l'eau, aussi bien dans la nature que dans la société, son étude requiert des connaissances particulières. Mais celles-ci sont aussi étroitement interdépendantes. C'est donc, fondamentalement, une démarche multidisciplinaire qu'il faut privilégier. Nous devons, à cet égard, ne jamais oublier ce précepte formulé par Pascal dans ses pensées et qui affirme « toute chose étant aidée et aidante, causée et causante, je tiens pour impossible connaître le tout sans connaître les parties et de connaître les parties sans connaître le tout ». Ainsi, de la source à l'océan, des eaux souterraines aux masses nuageuses, l'eau doit capter l'attention de nombreuses disciplines scientifiques. Pour faire face à ce défi, notre pays a besoin de développer des centres d'excellence dans le domaine de l'eau, de faire progresser une accumulation de savoirs capable d'appréhender les mécanismes complexes du cycle naturel de l'eau, de développer les moyens, de mieux connaître les ressources, de les sauvegarder et d'en protéger la qualité. Ces centres d'excellence doivent, en même temps, stimuler le développement de technologies appropriées et moins onéreuses permettant l'utilisation des ressources non conventionnelles par le recyclage et le dessalement, de lutter contre les gaspillages. Ils doivent s'investir également dans les aspects socio-économiques pour optimiser les allocations d'eau et gérer les ressources dans la perspective de leur développement durable.

C'est dans cet approfondissement des savoirs mais aussi dans un partage des connaissances avec toute la société que nous pourrions scientifiquement et techniquement accompagner la vision et les choix exprimés par Sa Majesté Mohammed VI à l'ouverture de la 9^{ème} session du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat tenue en 2001 à Agadir. Nous devons garder présent à l'esprit Ses recommandations qui mettent l'accent sur la nécessité de changer radicalement notre perception et notre attitude à l'égard de l'eau.

Voilà l'essentiel de ce que je souhaitais vous dire sur les savoirs sur l'eau. J'espère en avoir transmis le message scientifique et celui de la coopération interdisciplinaire qui l'accompagne nécessairement. Je vous remercie de votre attention.

“Roadmap to Successful Research Enterprise in Biomedicine and Biotechnology”

by Pr. Abdelali HAOUDI

*The Department of Microbiology (Virginia of University – USA)
corresponding member of the Hassan II Academy of Science and Technology*



Renaissance maker. the Arab scientist and philosopher Ibn-Sina (Avicenna, 980 to 1037)



Arab seed of science. Ibn-Rushd (Averroes, 1126 to 1198)

ARAB SCIENCE

TWENTY FIRST CENTURY AND BEYOND !!

Current Funding of Arab Science

- Lack of funding
- poor institutional support
- meager integration within the international scientific community
- More general factors (wars, conflicts, and international political
- Saudi Millionaire Plans an NSF for Arab Scientists: Mohammed Abdul Latif Jameel announced that a holding company he heads the Jeddah-based Abdul Latif Jameel Co., will make a \$1 million annual donation to the Arab Science and Technology Foundation (ASTF) to launch and support a new peer-reviewed research competition.

Scientific Research in Arab Countries

- Arab countries currently produce less than 1% of citations in the world
- Arab countries contribute less than 0.5% of papers appearing in the 200 leading medical journals
- Annual spending on research and development in Arab countries is estimated at 0.15% of their gross domestic product (GDP), compared to a world average of 1.5%.

The technology divide

- marginalises developing countries.
- makes it hard for them to meet their basic needs.
- makes it hard for them to participate in the global economy and manage the environment.

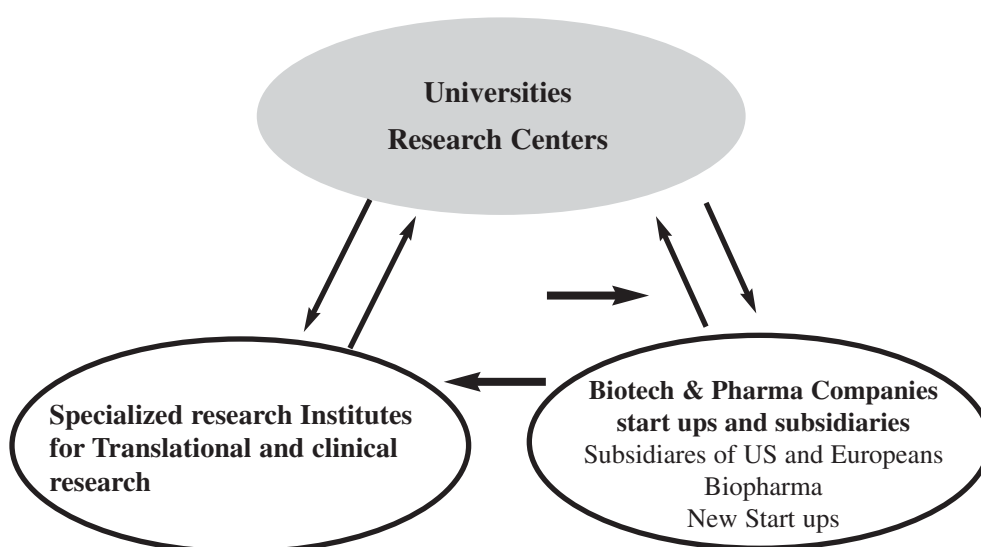
How to make technology transfer work for human development ?

- Technological innovation is vital for growth and poverty reduction in developing countries. Many of the technologies most important for the needs of developing countries do exist, but they are not accessible to them.
- Technology is widely recognized as one of the major determinants of economic growth, and the idea that the 'simple' transfer of technology from developed countries to developing countries will result in growth and thereby reduce poverty is appealing.
- Globalization will close the technology divide, and level the playing field between countries.

What can be done?

For sustainable, long-term development the focus of attention of policy makers and development agencies should be on the development of local capabilities to develop, adapt and use technologies.

Integrated Approach for a successful Biomedical and Biotechnology Initiative: Science & Technology



Role of Science and Technology Park

Vision: A better life for all Moroccans through sustainable knowledge and technology-based development that effectively balances human needs and humanities with economic opportunities

Mission: To promote university, academic, industry and government collaborations leading to the establishment and maintenance of research, scientific and technology-based facilities within the Technology Park, creating quality jobs and opportunities for its citizens.

Aims and Scope

- o The creation of scientific research of excellence in Morocco that will provide high quality training for students and researchers in biomedicine and biotechnology mainly on the genetic basis of diseases with special emphasis on diseases with high prevalence in Morocco and the region, using the state

of the art technologies and approaches such as genomics, proteomics, bioinformatics and stem cell research (Cancer, Infectious diseases, Cardiovascular and Metabolic diseases).

- o The creation of such research institutes will help train and retain students and highly qualified Moroccan scientists and limit the brain drain that causes tremendous loss to Morocco and the Arab countries.
- o This will also attract well trained researchers and scholars from abroad in order to participate in this newly developed research institute, where they will find a stimulating and appropriate environment for their work and form an efficient vehicle **for successful technology transfer.**

Roadmap to Success in Biomedical Research

- **Strong research divisions** in areas of biomedicine and biotechnology
- **Trans-divisions Implementation Group** describing the specificities, activities, and applications for a wide range of diseases and biological functions.
- **High-risk Research Implementation Group** to provide support to a highly select group of individuals who have the potential to make extraordinary contributions to medical research.
- **Translational Research Implementation Group** to provide Core Services that will facilitate the translation of basic discoveries to early phase clinical testing.
- **Clinical Research Implementation Group** to address the career development of clinical researchers at multiple points in the educational pipeline
- **Public-private partnerships Implementation Group** to enhance research, training, and information activities. To initiate and expand such collaborations, to identify scientific initiatives that could be accelerated, improved upon, or facilitated by public-private partnerships.

Vibrant Research Programs

- o **Program in Targeted**
- o **Program in Translational**

Development of peer-reviewed scientific publications (Open Access)

- Journal of Biomedicine and Biotechnology (*Open Access*)
<http://www.j-biomed-biotech.org>
- The Journal of Biomedicine and Biotechnology (JBB) is an international journal publishing original work in all areas of biomedicine (carcinogenesis, epidemiology, gene therapy, mutagenesis, pathology, pharmacology, toxicology, etc.) and biotechnology (microbial, animal, and plant biotechnology).

- JBB articles are reviewed/indexed in BIOSIS, Biotechnology Citation Index, CAB Abstracts, Chemical Abstracts (CAS), Elsevier BIOBASE (Current Awareness in Biological Sciences), EMBASE (the Excerpta Medica database), e-psyche, Global Health, INIST-CNRS (Pascal Database), INSPEC, ISI Alerting Services, PubMed, SciSearch (Science Citation Index Expanded), Scopus and PubMed Central.