

المملكة المغربية  
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات



أشغال الدورة العامة الرسمية  
لسنة 2008

الرباط 20 - 22 فبراير 2008

أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات  
أشغال الدورة العامة الرسمية  
(سنة 2008)



Académie Hassan II des Sciences et Techniques  
ACTES DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE  
(Année 2008)

Royaume du Maroc  
Académie Hassan II des Sciences et Techniques



ACTES  
DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE  
Année 2008

Rabat : 20 - 22 février 2008





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



**Royaume du Maroc**  
**Académie Hassan II des Sciences et Technique**



**ACTES**  
**DE LA SESSION PLÉNIÈRE SOLENNELLE**

**Année 2008**

**Rabat : 20 - 22 février 2008**

© Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Rabat  
225, Avenue Mohamed Belhassan Ouazani  
Quartier Ambassador-Souissi  
Rabat, Royaume du Maroc

Dépôt légal : 2008 / 2875  
ISBN : 9954-8908-3-1

Réalisation : **AGRI-BYS S.A.R.L.** (A.U)

Achevé d'imprimer : décembre 2008  
Imprimerie Lawne : 11, rue Dakar, Océan, Rabat, Maroc

# SOMMAIRE

<b>Avant-propos .....</b>	<b>9</b>
<b>Séance d'ouverture .....</b>	<b>11</b>
<b>Allocution du Secrétaire Perpétuel.....</b>	<b>13</b>
<b>Election du nouveau Directeur des Séances .....</b>	<b>19</b>
<b>Compte rendu de la session plénière 2008 (en français) .....</b>	<b>21</b>
<b>Compte rendu de la session plénière 2008 (en anglais) .....</b>	<b>29</b>
<b>Thématique : ANNÉE INTERNATIONALE DE LA PLANÈTE TERRE.....</b>	<b>37</b>
<b>Présentation de l'Année Internationale de la Planète Terre</b>	
Pr. Jean DER COURT .....	39
<b>Le patrimoine géologique</b>	
Pr. Patrick DE WEVER .....	57
<b>Knowledge, diplomacy and sustainable development</b>	
Pr. Abdelhamid ZAKRI .....	63
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>83</b>
<b>Thématique : LA CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE AU MAROC .....</b>	<b>87</b>
<b>Cartographie géologique et développement durable</b>	
Pr. Ahmed EL HASSANI.....	89
<b>Les dinosaures et la crise environnementale de la fin du Crétacé</b>	
Pr. Philippe TAQUET .....	101
<b>Les météorites au Maroc : une richesse scientifique et un patrimoine à préserver</b>	
Pr. Hasnaa CHENNAOUI.....	111
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>133</b>
<b>Thématique : LES EAUX SOUTERRAINES .....</b>	<b>139</b>
<b>The role of science and technology in the water sector</b>	
<b>- illustrated by Danish approach -</b>	
Dr. Torkil JONCH-CLAUSEN .....	141
<b>The groundwater development silent revolution : pros and cons</b>	
Pr. Ramón LLAMAS .....	161
<b>Examples of advances in ground-water modeling : flow, transport and ground-water/surface-water interactions</b>	
Dr. Randall T. HANSON .....	175
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>197</b>

<b>Thématique : OCÉANOGRAPHIE .....</b>	<b>205</b>
<b>Océan et zones côtières : le défi d'une politique intégrée</b>	
Pr. Marcelo DE SOUSA VASCONCELOS .....	207
<b>Ressources halieutiques marocaines : spécificités et stratégie en matière de préservation et d'exploitation durable</b>	
Dr. Abdellatif BERRAHO .....	233
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>247</b>
<b>CÉRÉMONIE DE SIGNATURE DE LA CONVENTION DE COOPÉRATION ENTRE L'ACADÉMIE HASSAN II DES SCIENCES ET TECHNIQUES ET LE CONSEIL SUPÉRIEUR DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ESPAGNOL .....</b>	<b>255</b>
<b>Thématique : RÉFLEXION SUR LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE .....</b>	<b>259</b>
<b>Evaluation of bibliometric indicators for Morocco</b>	
Pr. Hamid BOUABID .....	261
<b>La production scientifique marocaine : données récentes 2001-2006</b>	
Luigi ROSSI et Roland WAAST .....	275
<b>Evaluation de la recherche publique, des individus aux nations</b>	
Pr. Jean DER COURT .....	285
<b>Technology, foresight, evaluation of research and the choice of development strategy : report from a French-Swedish meeting (Dec. 2007)</b>	
Pr. Erik SANDEWALL .....	295
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>299</b>
<b>CÉRÉMONIE D'INSTALLATION DU CHANCELIER ET ACCUEIL DE TROIS NOUVEAUX MEMBRES .....</b>	<b>303</b>
<b>COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES .....</b>	<b>313</b>
<b>Get set for the knowledge economy</b>	
Pr. John O'REILLY .....	315
<b>Le rôle des croyances dans le processus du développement économique: arguments pour une recherche</b>	
Pr. Noureddine EL AOULI .....	317
<b>Les risques attachés aux actions dans la tourmente boursière, pour une approche conditionnelle du risque bêta</b>	
Pr. Nicolas MOUMNI .....	345
<b>Champs locaux et plasticité cristalline</b>	
Pr. André ZAOUÏ .....	365

<b>Conversion catalytique du méthane sur des matériaux phosphatés et développement durable</b>	
Pr. Mahfoud ZIYAD.....	371
<b>Conservation in situ de la biodiversité agricole à travers le soutien de sa gestion à la ferme dans les agroécosystèmes marocains</b>	
Pr. Mohammed SADIKI .....	379
<b>Estimation de mouvement robuste et de faible complexité dans les séquences vidéo</b>	
Dr. Fadwa ESSANNOUNI .....	395
<b>Valorisation du phosphogypse dans l'élaboration d'un ciment sulfoalumineux : aspects physio-chimique et environnemental</b>	
Pr. Abdeljebbar DIOURI.....	405
<b>DISCUSSION</b> .....	417
<b>Rapport d'activité : février 2007 - février 2008</b> .....	425
<b>Appel d'offres pour de nouveaux projets de recherche</b> .....	439
<b>Liste des participants</b> .....	441
<b>Allocution du Secrétaire Perpétuel (en arabe)</b> .....	
<b>Message adressé à Sa Majesté le Roi Mohammed VI (en arabe)</b> .....	
<b>Compte rendu de la session plénière 2008 (en arabe)</b> .....	
<b>Avant-propos (en arabe)</b> .....	





## AVANT-PROPOS

La célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre, proclamée par l'Assemblée générale de l'ONU en Décembre 2005 et placée sous le thème : «les Géosciences au service de l'Humanité», a pour objectif principal de faire de notre planète une Terre plus sûre, plus saine et plus riche pour ses habitants en utilisant de façon plus efficace les connaissances accumulées par les spécialistes en sciences de la Terre.

A l'occasion du lancement au siège de l'UNESCO à Paris de cet évènement, auquel a participé notre Académie, par l'Union Internationale des Sciences Géologiques et l'UNESCO, a été adoptée la Déclaration de Paris sur l'Année Internationale de la Planète Terre. Cette déclaration encourage en particulier la recherche scientifique dans le domaine des sciences de la terre au service du développement durable.

Cette initiative a pour but d'attirer davantage de jeunes vers les géosciences; elle vise aussi à atteindre le grand public en soulignant l'importance centrale des géosciences pour notre avenir et à encourager les décideurs à utiliser les connaissances disponibles pour concevoir leurs stratégies nationales.

Les enjeux, tant mondiaux que régionaux, liés aux changements climatiques, à la pénurie et à la surexploitation des ressources en eau et à la rareté des ressources énergétiques, minérales et minières, suscitent une prise de conscience à l'égard des problèmes environnementaux et un regain d'intérêt de l'opinion publique pour les grands équilibres de la planète et les problèmes qui en découlent. La nécessité de valoriser l'image associée aux géosciences est essentielle. Cela implique une promotion des sciences de la Terre et de l'environnement auprès du public mais également la mise en valeur du patrimoine de notre planète.

Le discours prononcé par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, à l'occasion du Sommet de Johannesburg en 2002, avait parfaitement bien identifié les enjeux majeurs en cause dans la question des besoins environnementaux « *...Nous devrions adopter une stratégie collective et globale sur la base d'un partenariat véritable, d'une solidarité effective et d'une proximité efficiente. Nous avons également le devoir d'établir des normes nécessaires pour endiguer la menace des changements climatiques, de la surexploitation des ressources hydriques, sylvestres et halieutiques et des pressions exercées sur les écosystèmes et la biodiversité. La prise en charge par la communauté internationale de ses responsabilités pleines et entières en la matière, est assurément de nature à dissiper toutes les craintes. Elle aidera à ressusciter l'optimisme quant à l'émergence d'une citoyenneté universelle, fondée sur une solidarité humaine agissante, dans le cadre d'un partenariat efficient entre les Etats, la société civile, le secteur privé et les organisations régionales et internationales...* »

Ces paroles de sagesse et de vision éclairée nous invitent à œuvrer pour la valorisation de la connaissance de notre planète et à contribuer pour la préservation des grands équilibres du système Terre tout en continuant, comme le rappellent l'Union Internationale des Sciences Géologiques (IUGS) et l'UNESCO à «utiliser ses richesses sans en gaspiller ses ressources afin d'assurer la qualité de vie des générations futures».

En participant à la célébration de cette Année Internationale de la Planète Terre, notre Académie a jugé opportun de consacrer le thème général de sa session plénière solennelle 2008 à cet événement international et une grande partie de ses travaux aux géosciences.

Pr. Omar FASSI-FEHRI

## SÉANCE D'OUVERTURE Mercredi 20 février 2008

*M. Rachid Benmokhtar Benabdellah*

*Directeur des Séances*



**Mes chers collègues,  
Messieurs les Ministres,  
Mesdames et Messieurs,**

C'est un plaisir pour moi que d'ouvrir cette séance en donnant la parole tout de suite à Monsieur le Secrétaire Perpétuel.





## ALLOCUTION D'OUVERTURE

*Pr. Omar Fassi-Fehri*

*Secrétaire Perpétuel  
Académie Hassan II des Sciences et Techniques*



**Excellences,  
Honorables invités,  
Mesdames et Messieurs les Académiciens,  
Mesdames et Messieurs,**

C'est avec un réel plaisir que je prends la parole à cette séance d'ouverture de la session plénière solennelle de notre Académie ; nous nous retrouvons aujourd'hui pour nous acquitter d'une des plus importantes activités de notre prestigieuse Institution, celle de réunir de façon régulière l'ensemble de ses membres, pour développer les échanges et la communication entre la communauté scientifique nationale et l'élite scientifique mondiale, aux fins de contribuer à l'accroissement et à la diffusion du savoir scientifique.

En procédant à l'installation de notre Académie le 18 mai 2006, Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, que Dieu L'assiste, recommandait à notre Institution de «mener ses actions de façon progressive dans le cadre d'une programmation réaliste, mais aussi d'une vision prospective, privilégiant certes les secteurs prioritaires mais toujours avec le même objectif, celui à la fois de servir notre pays et de contribuer au développement de la science mondiale».

La session plénière solennelle est pour nous un moment privilégié pour nous rendre compte des progrès incessants faits par la science, et pour nous interroger sur les conditions qui permettent leur épanouissement. C'est aussi une occasion de consolider la vocation de notre pays, comme terre de dialogue et de rencontre entre Hommes de sciences et de savoir, et de mobiliser les énergies et les voies appropriées pour nous acquitter de notre mission.

**Excellences,  
Mesdames, Messieurs,**

Il y a exactement une année, notre Académie tenait sa deuxième session plénière solennelle dans ce même lieu, au cours de laquelle les membres de l'Académie ont examiné le programme d'actions et les projets de recherche soumis par les différents collèges scientifiques pour un soutien financier durant la période 2007-2009. Cette deuxième session avait donné la possibilité à des académiciens et à d'éminentes personnalités scientifiques de l'extérieur et de l'intérieur du Royaume, de présenter des conférences ou des communications scientifiques particulièrement pertinentes au regard de la question du développement humain.

Elle a permis également des interactions fructueuses entre l'ensemble des participants et a dégagé des lignes d'actions à la fois ambitieuses, concertées, réalistes et concrètes, permettant aux différentes instances de l'Académie de développer leurs activités.

Durant l'année écoulée, nous avons pu mettre en œuvre une des premières missions assignées à notre Compagnie par le Dahir de sa création, la promotion et le développement de la recherche scientifique et technique, en apportant un appui à une vingtaine de projets de recherche pour un financement de quelques 55 M DH sur trois ou quatre ans selon les projets.

Au même moment comme instance de réflexion et d'orientation en matière de développement scientifique, chargée selon la loi de «réaliser des études, des analyses et des enquêtes sur le secteur de la recherche», et comme recommandé par notre Assemblée lors de sa précédente session, l'Académie a entamé une réflexion sur l'état de la recherche dans notre pays, sur les réalisations et les perspectives dans ce secteur. Lors de cette session nous prendrons en particulier connaissance de données récentes sur la production scientifique nationale.

Comme troisième action forte menée au cours de l'année écoulée, l'organisation d'une semaine dédiée aux élèves des lycées et collèges sur le thème «les jeunes et la science, l'exploration spatiale: portée éducative», organisée avec le concours de scientifiques de la NASA, a permis à notre Institution d'encourager la diffusion de la culture scientifique au sein de notre jeunesse.

Ce sont là quelques unes des actions menées par notre Institution durant l'année 2007; l'ensemble et le détail de ces activités durant l'année écoulée seront présentés lors de la séance du Vendredi matin.

**Excellences,  
Mesdames, Messieurs,**

Les sciences et les technologies sont aujourd'hui présentes dans la vie quotidienne et dans la plupart des débats publics. La diffusion du savoir et l'information scientifique sont désormais indispensables au développement d'un pays.

Le savoir et l'information deviennent la pierre angulaire de l'organisation et du développement de l'activité économique et sociale. Nous passons d'une économie industrielle à une économie du savoir, par un processus historique qui a évolué, grâce à l'innovation et aux inventions, du machinisme (fin du 18ème siècle) à la révolution informatique et biologique que nous vivons aujourd'hui. La compétition internationale du nouveau siècle sera une

bataille de l'intelligence et du savoir. Dans ce cadre, la recherche scientifique prend partout, en tout cas dans tous les pays qui ne veulent pas rester en marge de l'histoire, une dimension nationale et devient un facteur de puissance au même titre que l'industrie, le commerce ou même les capacités militaires. C'est Ahmed Zewil (Prix Nobel de Chimie - 1999) qui disait «la science et la technologie sont la devise forte du 21<sup>ème</sup> siècle».

Face à ces transformations, il est nécessaire de préciser comment la science et la technologie doivent être conduites face aux attentes sociales, économiques et culturelles de la société, et comment elles doivent être à l'écoute des demandes et besoins de celle-ci.

Les problèmes sociaux tels que le chômage, la pauvreté, l'épuisement de l'énergie fossile, la sécurité alimentaire, la dégradation de l'environnement, la prévention des catastrophes naturelles, le développement durable, les maladies infectieuses etc. .... sont autant de questions pour lesquelles les citoyens espèrent voir la science leur apporter les solutions appropriées. Or, le chemin qui conduit vers des réponses à ces préoccupations n'est pas aussi direct que peut le laisser croire une vision programmatique de la recherche. Il n'y a pas de lien direct entre un problème social, même s'il est bien identifié, et une recherche scientifique qui en analyserait le contenu et proposerait des solutions.

L'attention portée à l'opinion publique est un élément important dans l'organisation des rapports entre recherche scientifique et société. Nous vivons aujourd'hui dans une société dite société de la communication et de l'information, qui assure la promotion culturelle et intellectuelle scientifique de tous et de toutes. C'est le Grand Einstein lui-même qui nous incite à «donner au plus large public l'occasion d'expérimenter de manière consciente et intelligente certaines activités et certains résultats de la recherche scientifique», et il ajoute: «en limitant les connaissances à un petit groupe restreint formé de spécialistes, nous tuons l'esprit philosophique chez le peuple et nous créons un vide sur le plan moral», et il ajoute encore «celui qui sait tout et n'arrive pas à communiquer ce qu'il sait n'est pas plus avancé que celui qui ne sait rien du tout». Les produits de la recherche financée par des fonds publics constituent en effet des «données publiques» et à ce titre ils doivent faire l'objet d'une diffusion en direction du public et des citoyens. La diffusion de l'information et des connaissances scientifiques est une mission qui incombe en premier lieu aux chercheurs, aux enseignants-chercheurs et aux institutions de recherche.

### **Excellences, Mesdames, Messieurs,**

S'il y a un bon exemple pour illustrer l'importance de la diffusion du savoir et de la mise à disposition de l'information scientifique et technique c'est celui de la connaissance accumulée par les «géoscientifiques» dans le Monde. Les données acquises et les informations disponibles, issues des géosciences, sont certainement essentielles pour comprendre notre planète Terre, répertorier ses richesses, découvrir de nouvelles et évaluer l'importance de leur préservation afin de contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des citoyens et pouvoir assurer les grands équilibres de la planète à laquelle nous appartenons tous.

La tenue de cette session plénière coïncide avec la célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre, proclamée par l'Assemblée générale de l'ONU en Décembre 2005 et placée sous le thème : «les Géosciences au service de l'Humanité», l'objectif principal de

cette initiative étant de faire de notre planète une Terre plus sûre, plus saine et plus riche pour ses communautés humaines en utilisant de façon plus efficace les connaissances accumulées par les spécialistes en science de la Terre.

La semaine dernière, à Paris, on a procédé au lancement de cet événement international par l'Union Internationale des Sciences Géologiques et l'UNESCO, événement auquel a participé notre Académie, et au cours duquel a été adoptée la Déclaration de Paris sur l'Année Internationale de la Planète Terre, déclaration qui encourage en particulier la recherche scientifique dans le domaine des sciences de la terre pour développer de nouvelles connaissances au service du développement durable.

Cette initiative vise aussi à attirer davantage de jeunes vers les géosciences, d'atteindre le grand public en soulignant l'importance centrale des géosciences pour notre avenir et d'encourager les décideurs à utiliser les connaissances disponibles pour concevoir leurs stratégies nationales.

Aujourd'hui, les géosciences recouvrent un vaste domaine de connaissances et d'applications qui s'est élargi au cours des dernières décennies du fait notamment qu'elles prennent mieux en compte les interactions entre les différentes sphères constitutives de notre planète: hydrosphère, biosphère et atmosphère, ainsi que les modifications introduites par l'activité humaine.

L'Homme a besoin de sa planète Terre, il en dépend complètement, puisqu'il en est issu, qu'il y a évolué et qu'il y demeurera, à condition qu'il sache conserver l'équilibre du système Terre; pour cela l'Homme doit utiliser les informations à sa disposition sur le fonctionnement du système Terre pour conserver une Terre durable. C'est un patrimoine que nous avons à transmettre à nos enfants, avec la contrainte que la population de notre planète qui est aujourd'hui de 6 milliards et demi sera de 9 milliards à l'horizon de l'année 2050.

Les enjeux, tant mondiaux que régionaux, liés aux changements climatiques, à la pénurie et à la surexploitation des ressources en eau et à la rareté des ressources énergétiques, minérales et minières, suscitent une prise de conscience à l'égard des problèmes environnementaux et un regain d'intérêt de l'opinion publique pour les grands équilibres de la planète et les problèmes qui en découlent.

Cependant, malgré cette prise de conscience et cet intérêt, l'état de l'environnement mondial continue de se détériorer, la consommation excessive des ressources naturelles continue d'exercer d'énormes pressions sur l'environnement; le développement durable reste largement théorique pour la plus grande partie de la population mondiale, et le niveau de sensibilisation et d'action n'est malheureusement pas à la hauteur des défis de la problématique du développement durable.

Face à l'évolution préoccupante de l'état de l'environnement, et dans la perspective du développement durable, les pouvoirs publics doivent se doter d'une capacité d'anticipation suffisante qui exige des méthodes intégrées et novatrices en utilisant au mieux le savoir et les informations scientifiques disponibles et les connaissances les plus récentes. A cet égard, la nécessité de valoriser l'image associée aux géosciences est essentielle. Cela implique une promotion des sciences de la Terre et de l'environnement auprès du public mais également la mise en valeur du patrimoine de notre planète.



Sa Majesté le Roi Mohammed VI prenant la parole devant le Sommet de Johannesburg en 2002, avait parfaitement bien identifié les enjeux majeurs en cause dans la question des besoins environnementaux «...Nous devrions adopter une stratégie collective et globale sur la base d'un partenariat véritable, d'une solidarité effective et d'une proximité efficiente. Nous avons également le devoir d'établir des normes nécessaires pour endiguer la menace des changements climatiques, de la surexploitation des ressources hydriques, sylvestres et halieutiques et des pressions exercées sur les écosystèmes et la biodiversité. La prise en charge par la communauté internationale de ses responsabilités pleines et entières en la matière, est assurément de nature à dissiper toutes les craintes. Elle aidera à ressusciter l'optimisme quant à l'émergence d'une citoyenneté universelle, fondée sur une solidarité humaine agissante, dans le cadre d'un partenariat efficient entre les Etats, la société civile, le secteur privé et les organisations régionales et internationale..»

Ces paroles de sagesse et de vision éclairée nous invitent à œuvrer davantage pour la valorisation de la connaissance de notre planète et à contribuer à la préservation des grands équilibres du système Terre tout en continuant, comme le rappellent l'IUGS et l'UNESCO, «à utiliser ses richesses sans en gaspiller ses ressources afin d'assurer la qualité de vie des générations futures».

**Excellences,  
Mesdames, Messieurs,**

En participant à la célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre, notre Académie a jugé opportun de consacrer le thème général de sa session à cet événement international et une grande partie de ses travaux aux géosciences.

Je voudrais aussi présenter mes vifs remerciements à toutes les éminentes personnalités qui ont bien voulu accepter notre invitation et participer à l'ouverture de cette session plénière. Je remercie tout particulièrement les personnalités scientifiques, de l'extérieur et de l'intérieur du Royaume, qui ont accepté de présenter des conférences ou des communications scientifiques au cours de cette session.

Comme je remercie mon ami le Professeur Abdellatif Berbich, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume et l'ensemble de son personnel pour l'aide qu'ils nous apportent, comme à l'accoutumée, dans l'organisation matérielle de notre session plénière.

Le Professeur Hubert Reeves, éminent astrophysicien, devait être des nôtres et faire une conférence il y a deux jours sur «L'avenir de la vie sur Terre». Malheureusement, à cause de problèmes de santé, il nous a contacté pour s'excuser et nous prévenir qu'il ne pourrait être parmi nous ; à notre tour, nous nous excusons auprès de nos invités pour ce contre temps, et au nom de vous tous nous souhaitons un prompt rétablissement au Pr. Reeves. Dans le cadre de cette session, plusieurs communications scientifiques seront présentées sur le thème «Planète Terre»; à cette occasion, je remercie les membres du Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer pour l'aide précieuse qu'ils ont apportée à l'Académie dans la préparation de la session sur la planète Terre.

Durant la session, seront également traités l'état de la production scientifique et la question de l'évaluation des activités de recherche. Quelques communications scientifiques faites par des membres de l'Académie ou des chercheurs marocains seront présentées et débattues; enfin la session débattrait du rapport d'activités 2007.

Puisse Dieu couronner de succès nos 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, et tendre vers l'objectif fixé à l'Académie par Sa Majesté le Roi que nous avons rappelé au début de cette allocution «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale».

**Je vous remercie pour votre attention.**

---

**- M. Rachid Benmokhtar Benabdellah : Directeur des Séances**

Merci Monsieur le Secrétaire Perpétuel.

En raison de l'absence de M. Hubert Reeves, je vous propose donc de tenir une pause immédiatement et de nous retrouver dans un quart d'heure pour reprendre nos sessions, ce qui nous permettra de prendre un peu d'avance et d'allonger le temps des discussions.

A tout de suite.

## ELECTION DU NOUVEAU DIRECTEUR DES SÉANCES

### - M. Rachid Benmokhtar Benabdellah

Chers collègues,

Avant de reprendre nos sessions, conformément au programme qui nous a été distribué, je voudrais commencer par une question d'ordre administratif. Comme vous saviez, nos textes de lois prévoient une durée pour le Directeur des Séances. L'année dernière, au mois de mai, ma mission en tant que Directeur des Séances était achevée, et vous aviez, en attendant, bien voulu la prolonger jusqu'à la session prochaine. Nous y sommes, et je voudrais vous proposer d'élire un nouveau Directeur des Séances. Conformément à nos textes, l'élection se fait dans le cadre d'une session plénière comme celle d'aujourd'hui. La démarche est la suivante, il peut y avoir des propositions, et si elles sont secondées nous procédons au vote et à l'élection du Directeur des Séances. Donc, sans plus tarder, je mets les choses entre vos mains et je vous laisse la parole.

### - Pr. Abdellatif Berbich

Mes chers collègues,

Je me permets de vous rappeler tout d'abord que le Directeur des Séances doit être élu parmi les membres résidents de l'Académie. Son rôle ne se limite pas seulement à la direction des séances de la session plénière, il doit diriger aussi les autres sessions ordinaires et il doit également remplir un rôle très important au sein de la Commission des Travaux de l'Académie. Pour ces raisons, je pense que l'idéal serait que le futur Directeur des Séances soit quelqu'un parmi les membres résidents, mais autant que possible parmi les membres résidents au Maroc et autant que possible à Rabat. Cela lui permet de travailler en collaboration avec les autres Collèges et avec les autres organes de l'Académie.

Je me permets de proposer pour cette fonction multiple notre collègue et ami le Pr. Mohamed Ait Kadi. Comme vous le savez, Mohamed Ait kadi est déjà membre du Collège des Sciences et Technique de l'Environnement, de la Terre et de la Mer; il est membre de la Commission des Travaux; il a une expérience très vaste; il est connu et reconnu pour sa sagesse, par sa disponibilité et par le fait qu'il a déjà été amené en quelque sorte à diriger des séances de ce type. Je vous propose donc le Pr. Mohamed Ait kadi comme futur Directeur des Séances.

### - Pr. Mostafa Bousmina

J'appuie la proposition du Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume. Effectivement, Mohamed Ait Kadi satisfait tous les critères et grâce à ses qualités il pourrait nous aider beaucoup au sein de l'Académie.

*«Applaudissements de l'Assemblée en signe d'élection à l'unanimité».*

**- M. Rachid Benmokhtar Benabdellah**

Il ne me reste plus qu'à souhaiter la bienvenue au Pr. Mohamed Ait Kadi et lui souhaiter plein succès dans ses nouvelles fonctions. Je suis convaincu qu'il sera un excellent Directeur des Séances. Sans tarder, je l'invite à venir me remplacer à cet endroit.

**- Pr. Omar Fassi-Fehri (Secrétaire Perpétuel)**

Avant que M. Rachid Benmokhtar cède la place à notre ami le Pr. Mohamed Ait Kadi, je voudrais au nom de vous tous féliciter M. Benmokhtar pour tout le travail accompli dans la tâche que nous lui avons confiée lors de la session inaugurale de notre Académie. Il a su diriger nos travaux à chaque session qu'elle soit ordinaire ou qu'elle soit plénière avec intelligence et avec sagesse. Comme nous pouvons le constater, grâce à lui nous avons pu travailler dans de très bonnes conditions. Au nom de vous tous, je voudrais le remercier et le féliciter d'autant qu'il reste évidemment l'une des chevilles ouvrières de notre Institution comme membre de la Commission de fondation et des autres instances de notre compagnie.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi**

Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques,  
Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume,  
Monsieur le Chancelier,  
Chers collègues membres de l'Académie,  
Honorable assistance,



Je suis doublement ému par l'honneur qui m'est fait, et je voudrais aussi me joindre à Monsieur le Secrétaire Perpétuel pour rendre un hommage appuyé à M. Rachid Benmokhtar qui a dirigé nos travaux depuis l'installation de notre Académie. Il est extrêmement difficile de réaliser ce qu'il a fait compte tenu de son charisme, de sa jovialité et surtout de l'immense culture scientifique et technologique dont il dispose et qui lui a beaucoup facilité la tâche. C'est très humblement que j'essaierai avec votre aide de faire en sorte que ce programme extrêmement chargé se réalise dans les temps.

Je vous remercie encore une fois pour cet honneur et je vous propose que nous commençons notre programme qui s'inscrit, comme l'a rappelé M. le Secrétaire Perpétuel, pour cette première partie dans le cadre de la célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre.

## COMPTE RENDU DE LA SESSION PLÉNIÈRE 2008

Rabat, Février 20-21-22, 2008-

**La session plénière solennelle 2008 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, s'est tenue au siège de l'Académie du Royaume du Maroc, à Rabat, les 20-21 et 22 février 2008.**

**Mercredi 20 février 2008**

**Séance d'ouverture**

**&**

**Célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre**

Le mercredi 20 février 2008, à 09h, au siège de l'Académie du Royaume du Maroc, à Rabat, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a procédé à l'ouverture solennelle de sa troisième session plénière, en présence des académiciens et des personnalités invitées.

Au cours de la séance d'ouverture, le Secrétaire perpétuel de l'Académie, Pr. Omar Fassi-Fehri, a fait une allocution où il a présenté le thème général de la session consacré à l'Année Internationale de la Planète Terre, ainsi qu'un aperçu succinct sur les actions fortes réalisées par l'Académie au cours de l'année 2007 ; à ce sujet, l'Académie a privilégié depuis son installation par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, une action, certes s'inscrivant dans le cadre de ses missions définies par la loi mais qui se distingue par son caractère multiforme. Dans son allocution, le secrétaire perpétuel a exprimé la profonde gratitude de tous les académiciens, et leurs remerciements déferents à Sa Majesté le Roi pour Sa bienveillante sollicitude à l'égard de leur institution.

A l'issue de la séance d'ouverture, l'Académie a procédé à l'élection de M. Mohamed Ait Kadi comme Directeur des séances, en remplacement de M. Rachid Benmokhtar Benabdellah dont le mandat est venu à expiration.

Le thème scientifique général de la session plénière 2008 a été consacré à la célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre. Plusieurs communications portant sur ce thème ont été présentées par des personnalités scientifiques du Maroc et de l'étranger.

Au cours de la séance du mercredi (matin), trois communications, se rapportant aux géosciences, ont été présentées :

- Cartographie géologique au Maroc et développement durable (A. El Hassani, Maroc),
- Les dinosaures et la crise environnementale de la fin du Crétacé (Ph. Taquet, France),
- Les météorites au Maroc, une richesse scientifique et un patrimoine à préserver (Mme Hasnaa Chennaoui, Maroc).

L'après midi, quatre communications scientifiques, concernant les ressources aquifères et les ressources halieutiques, ont été présentées :

- The role of science and technology in the water sector illustrated by Danish approach (T. Jonch-Clausen, Danemark),
- The groundwater development silent revolution : pro and cons (M.R. Llamas, Espagne),
- Examples of advances in Hydrologic Modelling of Flow, Transport & Groundwater/ surface-water interactions (Randall T. Hanson, USA),
- Océans et zones côtières : le défi d'une politique intégrée (Marcello D.S. Vasconcelos, Portugal).

#### **Jeudi 21 février 2008 (matin)**

##### **Célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre (suite)**

La première séance du jeudi 21 février 2008 (matin), a été consacrée à la poursuite de la célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre. Trois communications scientifiques, se rapportant à ce thème, ont été présentées :

- Présentation de l'Année Internationale de la Planète Terre (J. Dercourt, France),
- Gestion du patrimoine géologique (P. De Wewer, France),
- Connaissance, diplomatie et développement durable (A. Zakri, Malaisie).

#### **Jeudi 21 février 2008 (matin)**

##### **La recherche scientifique : production, évaluation et expériences étrangères**

Le début de la deuxième séance du Jeudi 21 Février 2008 (matin), a été marqué par la signature d'une convention de coopération entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et le Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique d'Espagne, convention signée par le Pr. Omar Fassi-Fehri, Secrétaire perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et le Pr. Carlos Martinez-Alonso, Président du Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique d'Espagne. Après la cérémonie de signature, l'Académie a poursuivi ses travaux par la présentation de communications scientifiques consacrées au thème « la recherche scientifique : production, évaluation et expériences étrangères ». Quatre communications ont été présentées :

- Evaluation de la recherche marocaine par les indicateurs bibliométriques (H. Bouabid, Maroc),
- Présentation des résultats de l'étude «ESTIME» (MM. L. Rossi et R. Waast, France),
- Expérience du Comité National français d'Evaluation de la Recherche (J. Dercourt, France),
- Technology, Foresight, Evaluation of Research and the choice of Development strategy : Report from a French-Swedish meeting (Erik Sandewall, Suède).

### **Jeudi 21 février 2008 (après-midi)** **Communications scientifiques**

Le début de la séance du jeudi (après midi) a été caractérisé par l'accueil solennel par l'Académie du Pr. Mostapha Bousmina, nommé par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, Chancelier de l'Académie, ainsi que trois nouveaux membres de l'Académie MM. Abdelaziz Meziane Belfkih, Marcello De Sousa Vasconcelos, Ismaïl Akalay, nommés par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde, respectivement membre résident, membre associé et membre correspondant.

Par la suite, six communications se rapportant aux sciences économiques, sciences physiques, sciences agricoles ont été présentées :

- Get set for the knowledge economy (John O'Reilly, Grande Bretagne),
- Les risques attachés aux actions dans la tourmente boursière – pour une approche conditionnelle du risqué bêta (Nicolas Moumni, France),
- Le rôle des croyances dans le processus du développement économique (N. El Aoufi, Maroc)
- Champs locaux et plasticité cristalline (André Zaoui, France),
- Conversion catalytique du méthane sur des matériaux phosphatés et développement durable (M. Zyad, Maroc),
- Conservation in situ de la biodiversité agricole à travers le soutien de sa gestion à la ferme dans les agroécosystèmes marocains (M. Sadiki, Maroc).

En fin de journée et en marge de la session plénière 2008, une cérémonie a été organisée en l'honneur de notre collègue, Pr. Malik Ghallab, membre résident, membre de la Commission de Fondation, et Directeur du Département Sciences et Technologie à l'INRIA (France), à qui le Professeur Jean Dercourt, membre associé de notre Académie et Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences (Française), a remis au nom du Président de la République française les insignes de Chevalier de la Légion d'Honneur, en présence de M. l'Ambassadeur de la République française, de tous les académiciens, et de la famille et des amis du récipiendaire. Au cours de cette cérémonie ont pris la parole successivement Pr. Abdellatif Berbich, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume, Pr. Omar Fassi-Fehri, Pr. Jean Dercourt, Pr. Malik Ghallab et Monsieur l'Ambassadeur de France, Jean-François Thibault.

Au cours de la même journée et avant le Dîner officiel donné à l'occasion de la session plénière, une cérémonie a été organisée par le Secrétaire Perpétuel en l'honneur du Pr. Mostapha Bousmina pour lui présenter les félicitations et les vœux de toute notre Compagnie après sa nomination Chancelier de l'Académie par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le protège.

**Vendredi 22 février 2008 (matin)**  
**Rapport d'activités et appel d'offres 2008-2009**

En début de séance, deux communications scientifiques se rapportant aux sciences chimiques et aux sciences et technologies de l'information ont été présentées par de jeunes chercheurs marocains:

- Valorisation de phosphogypse dans l'élaboration d'un ciment sulfoaluminat ; aspects physico-chimique et environnemental (Adeljebbar Diouri, Kénitra),
- Estimation de mouvement robuste et de faible complexité dans les séquences vidéo (Mme Fadwa Essannouni, Rabat).

Après ces deux exposés, le Secrétaire perpétuel de l'Académie a présenté le rapport d'activités qui a porté sur toutes les actions entreprises par l'Académie depuis la session de février 2007.

Dans ce rapport, le Secrétaire perpétuel a rappelé les actions menées par les différentes instances de l'Académie, en mettant en œuvre les missions de l'Académie telles que stipulées par le Dahir de sa création et en ayant toujours présents à l'esprit les orientations et conseils donnés par Sa Majesté le Roi dans Son Discours d'Agadir du 18 mai 2006. Dans ce cadre, une action multiforme a été privilégiée visant à la fois à mettre en place une administration de l'Académie, à contribuer à la réflexion sur l'état de la recherche au Maroc, à promouvoir la recherche scientifique dans notre pays en apportant un appui à des actions scientifiques par le financement de projets de recherche (soit un montant de 55 millions de dirhams sur les 3-4 ans à venir) qui se distinguent par leur qualité et leur intérêt pour le développement du pays, à diffuser la culture scientifiques, en particulier auprès des élèves des lycées et collèges, à développer une présence sur le plan international; au même moment la construction du siège de l'Académie était engagée, un travail de publications important réalisé (Actes des sessions, Annuaire, Bulletin de l'Académie-biennuel-, la Lettre de l'Académie-trimestrielle-), et un site Web de l'Académie en quatre langues créé.

Par la suite, le Chancelier a présenté les propositions des collègues concernant l'appel d'offres 2008-2009 et les thématiques retenues; ces propositions seront soumises prochainement à la Commission des travaux et au Conseil de l'Académie pour décision finale.

Après ces deux présentations, les académiciens purent entamer une large discussion qui a permis de dégager un certain nombre de recommandations :

**I – Questions générales :**

- Procéder à une étude sur l'évolution de la recherche scientifique au Maroc;
- mettre en œuvre, rapidement, le cahier de charges et les termes de références concernant l'appel d'offres qui sera lancé en 2008 auprès de la communauté scientifique marocaine;
- développer la coordination avec les autres opérateurs qui interviennent en matière de recherche scientifique pour suivre l'évolution des indicateurs de sciences et de technologies;



- développer une coordination avec les différents opérateurs dans le domaine de la recherche (Ministère, Universités, CNRST, secteur privé...) pour, dans le domaine de la promotion de la recherche scientifique, rationaliser notre action et la rendre plus efficace, en évitant le double emploi.
- constituer un comité d'experts pour la mise en œuvre du plan d'action stratégique adopté en 2007.
- ne jamais perdre de vue que l'Académie doit «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale».

## **II- Travail des Collèges scientifiques :**

- privilégier et soutenir dans tous les cas l'excellence;
- inviter les collèges à organiser des tables rondes et des séminaires où seront présentées et discutées des questions scientifiques de leur ressort;
- appréhender le problème de la transversalité des thèmes entre les collèges par la multiplication des réunions de directeurs de collèges pour assurer une plus grande coordination entre les collèges scientifiques;
- privilégier la composante d'interdisciplinarité dans la sélection des projets de recherche à soutenir;
- développer l'action des collèges auprès des jeunes chercheurs ; les collèges doivent être des lieux de rencontre avec les jeunes chercheurs.

## **III- Promotion de la recherche scientifique et soutien à l'excellence :**

- mettre en œuvre, rapidement, le cahier de charges et les termes de références concernant l'appel d'offres qui sera lancé en 2008 auprès des chercheurs marocains concernés par les thématiques retenues par la commission des travaux sur proposition des collèges.
- permettre quelques actions de promotion et de soutien à la recherche concernant des propositions «spontanées» lorsqu'elles remplissent les critères d'excellence sur le plan scientifique;
- privilégier la composante d'interdisciplinarité dans la sélection des projets de recherche à soutenir;
- soutenir les projets de recherche en tenant compte du budget, des priorités nationales définies par les autorités en charge de la recherche, ainsi que du soutien apporté par d'autres instances nationales ou étrangères;
- améliorer les critères et les procédures de sélection des projets en privilégiant le potentiel d'impact et la pertinence scientifique;
- indiquer le budget global réservé à l'appel d'offres et signaler le montant total réservé à un projet de recherche;
- faire appel si nécessaire à l'expertise externe pour l'évaluation des projets;
- identifier des niches dans lesquelles le Maroc est susceptible dans des délais raisonnables de devenir performant (sur les plans scientifique et économique).

#### **IV- Organisation des sessions plénières :**

- réduire le nombre de communications et d'exposés durant les sessions plénières et réserver plus de temps à la discussion.

**Vendredi 22 février 2008 (après-midi)**  
**Réunion des collèges**  
**&**  
**Clôture de la session**

Le vendredi après midi, l'Académie a continué ses travaux par la réunion de chaque collège scientifique qui a procédé à l'élection de son directeur et du co-directeur, ce qui a donné les résultats suivants :

- **Collège des Sciences et techniques du vivant**
  - Directeur : réélection de Mr. Albert Sasson
  - co-directeur : réélection de M<sup>me</sup> Rajae El Aouad
- **Collège des Sciences et Techniques de l'environnement, de la terre et de la mer**
  - Directeur : réélection de Mr. Ahmed El Hassani
  - co-directeur : réélection de Mr. Mohammed Jellali
- **Collège des Sciences physiques et chimiques**
  - Directeur : élection de Mr. Abdelilah Benyoussef
  - co-directeur : élection de Mr. Hassan Saidi
- **Collège des Sciences de la modélisation et de l'information**
  - Directeur : réélection de Mr. Driss Aboutajdine
  - co-directeur : élection de Mr. Youssef Ouknine
- **Collège des Ingénierie, Transfert et Innovation technologiques**
  - Directeur : réélection de Mr Philippe Tanguy
  - co-directeur : réélection de Mr Bounahmidi Tijani
- **Collège des Etudes stratégiques et Développement économique**
  - Directeur : élection de Mr. Noureddine El Aoufi
  - co-directeur : élection de Mr. Mohammed Berriane

**Election du nouveau Conseil d'Académie :**

En sont membres es-qualité le Secrétaire Perpétuel (O. Fassi-Fehri), le Chancelier (M. Bousmina), et trois membres élus par les directeurs de collège (A. Sasson, réélu; D. Aboutajdine, réélu; A. El Hassani, élu).

**Election de la Commission des Travaux :**

Au cours d'une séance à huit-clos, l'Académie a procédé à la désignation des membres de la Commission des Travaux, trois membres es-qualité, le Secrétaire Perpétuel (O. Fassi-Fehri), le Chancelier (M. Bousmina), le Directeur des séances (M. Aît-Kadi) et quatre membres résidents (M. Ghallab, réélu; R. Benmokhtar, élu; A. Benyoussef, réélu; D. Ouazar, réélu); M. Essassi y siègera comme observateur.

**Séance de clôture**

La clôture des travaux est intervenue à l'issue de cette séance au cours de laquelle les académiciens ont adopté un message de déférence, 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 -.





## **MINUTES OF THE THIRD ANNUAL PLENARY SESSION**

**- Rabat, February 20-21-22, 2008 -**

**The 2008 plenary session of the Hassan II Academy of Science and Technology was held on February 20-21-22, 2008 in the seat of the Academy of the Kingdom of Morocco (Rabat).**

\*\*\*\*\*

**Wednesday, February 20<sup>th</sup>, 2008**

**Opening Session**

**&**

**Celebration of the International Year of Planet Earth**

On Wednesday, February 20<sup>th</sup>, 2008, at 09 AM, in the seat of the Academy of the Kingdom of Morocco in Rabat, the Hassan II Academy of Science and Technology proceeded to the solemn opening of its third annual plenary session in the presence of the academicians and the invited personalities.

During the opening session, the Permanent Secretary of the Academy, Pr. Omar Fassi-Fehri, gave a speech relating to the general topic of the session and presented the programme of the 2008 plenary session and has set out in brief the actions carried out by the Academy in 2007; Since it was installed by His Majesty the King Mohammed VI, the Academy has prioritized a multifaceted action based on the objectives set forth in the Dahir of its creation. Moreover, in his speech, the Permanent Secretary expressed the profound gratitude of all academicians to His Majesty the King for his kind solicitude to them.

After the opening session, the Academy proceeded to the election of Mr. Mohamed Aït-Kadi as Sessions Director replacing Mr. Rachid Benmokhtar Benabdellah whose mandate expired.

The general scientific topic of the 2008 plenary session was devoted to the celebration of the International Year of Planet Earth. Several communications on this topic were presented by eminent scientists from Morocco and abroad.

During the session of Wednesday morning, three scientific communications, related to geosciences, were presented :

- Geological mapping in Morocco and Sustainable Development (A. El Hassani, Morocco).
- Dinosaurs and the environmental crisis in the last of Cretaceous (Ph. Taquet, France).
- The meteorites in Morocco, a scientific and a rich heritage to preserve (Hasnaa Chennaoui, Morocco).

In the afternoon, four scientific papers communications on water resources were presented:

- The role of science and technology in the water sector illustrated by Danish approach (T. Jonch-Clausen, Denmark)
- The groundwater development silent revolution: pro and cons (MR Llamas, Spain)
- Examples of advances in Hydrologic Modeling of Flow, Transport & Groundwater / surface-water interactions (Randall T. Hanson, USA)
- Oceans and Coasts: the challenge of an integrated policy (Marcello D.S. Vasconcelos, Portugal)

**Thursday, February 21<sup>st</sup>, 2008 (Morning)**  
**Celebration of the International Year of Planet Earth (following)**

The first session of Thursday, February 21<sup>st</sup>, 2008 (morning), was dedicated to the continuation of the celebration of the International Year of Planet Earth. Three scientific communications, related to this topic were presented :

- Presentation of the International Year of Planet Earth (J. Dercourt, France)
- Management of the Geological Heritage (P. De Wever, France)
- Knowledge, diplomacy and sustainable development (A. Zakri, Malaysia)

**Thursday, February 21<sup>st</sup>, 2008 (Morning)**  
**The Scientific Research : Production, Evaluation and Foreign Experience**

The second session of Thursday, February 21<sup>st</sup>, 2008 (morning) was marked by the signing of an agreement on scientific cooperation between the Hassan II Academy of Science and Technology (Pr. Omar Fassi-Fehri, Permanent Secretary) and the Spanish Higher Council for Scientific Research (Pr. Carlos Martinez-Alonso, President).

After the signing ceremony, the Academy has continued its works by presenting four scientific communications devoted to “scientific research: production, evaluation and foreign experiences” :

- Evaluation of Moroccan research using a bibliometric based approach (H. Bouabid, Morocco)
- Presentation of the results of the study “ESTIME” (MM. L. Rossi, and R. Waast, France)
- Experience of the French National Committee for Research Evaluation (J. Dercourt, France)
- Technology, Foresight, Evaluation of Research and the choice of Development strategy: Report from a French-Swedish meeting (E. Sandewall, Sweden).

**Thursday, February 21<sup>st</sup>, 2008 (Afternoon)****Scientific Communications**

The session of Thursday (afternoon) was characterized by the solemn reception of Pr. Mostapha Bousmina, appointed by His Majesty King Mohammed VI, may God help Him, as Chancellor of the Hassan II Academy, as well as three new members of the Academy MM. Abdelaziz Meziane Belfkih, Marcello De Sousa Vasconcelos and Ismail Akalay, appointed also by His Majesty King Mohammed VI, may God protect Him, respectively resident member, associate member and a corresponding member.

Thereafter, six communications relating to economic sciences, physical sciences and agricultural sciences were presented:

- Get set for the knowledge economy (J. O'Reilly, England)
- The risks attached to the shares in the stock market turmoil - for a conditional approach of beta risky (N. Moumni, France)
- The role of beliefs in the economic development process (N. El Aoufi, Morocco).
- local fields and crystal plasticity (A. Zaoui, France)
- Catalytic Conversion of methane on phosphatic materials and sustainable development (M. Zyad, Morocco)
- In situ conservation of agricultural biodiversity through the support of its management on the farm in the Moroccan agroecosystems (M. Sadiki, Morocco).

In the end of the afternoon, and on the fringe of the plenary session, a ceremony was held in honour of our colleague, Pr. Malik Ghallab, a resident member, member of the Foundation Committee, and Director of the Department of Science and Technology at INRIA (France), to whom Pr. Jean Dercourt, associate member of the Hassan II Academy and Permanent Secretary of the Academy of Sciences ( France), submitted on behalf of the President of France the insignia of Chevalier de la Legion d'Honneur, in the presence of the Ambassador of France, the academicians, the family and friends of Pr. Malik Ghallab. During this ceremony Pr. Abdellatif Berbich, Permanent Secretary of the Academy of the Kingdom, Pr. Omar Fassi-Fehri, Pr. Jean Dercourt, Pr. Malik Ghallab and M. Jean-François Thibault, Ambassador of France gave successively a speech.

During the same day and before the official Dinner given on the occasion of the plenary session, a ceremony was organized by the Permanent Secretary in honor of Pr. Mostapha Bousmina in order to present for him the congratulations and best wishes of all our Institution after his appointment by His Majesty the King, as Chancellor of the Academy.

**Friday, February 22<sup>nd</sup>, 2008 (Morning)****Activity Report and Call for Projects 2008-2009**

At the beginning of the session, two scientific communications related to the chemical sciences and information science and technology were presented by young Moroccan researchers:

- Use of phosphogypsum in the development of a cement sulfoaluminate; physico-chemical and environmental aspects (A. Diouri, Kenitra)
- Estimation of robust movement and low complexity in the video sequence (Mrs. F.adwa Essannouni, Rabat).

After these two communications, the Permanent Secretary of the Academy presented the activity report which summarises all the actions undertaken by the Academy since the session of February, 2007.

In this report, the Permanent Secretary presented the various activities carried out by the Academy's governing bodies in order to implement the objectives set forth in the Dahir (Royal Decree) of its creation, and especially the guidelines given by His Majesty on His speech in Agadir on May, 18, 2006. These actions are the following :

- Establishment of the administrative bodies of the Academy,
- Contribution to reflection on the state of research in Morocco,
- Promotion of research and dissemination of science in our Countries by funding scientific research projects (55 million dirhams on 3-4 years) which are distinguished by their quality and their possible spin-offs,
- Organization of several scientific events in order to disseminate scientific culture, especially among students in schools and colleges,
- Establishment and strengthening of an international co-operation,
- Construction of the Academy headquarters,
- Publication of a several publications : proceedings of the sessions, Yearbook, Bulletin of the Academy (twice), Letter of the Academy(quarterly), and creation of the Academy's website in four languages.

Thereafter, the Chancellor presented the proposals of the scientific colleges concerning the call for projects 2008-2009 and thematics retained; these proposals will be submitted to the Work Committee and the Academy Council for a final decision.

After these two presentations, the academicians started a discussion that ended with a certain number of recommendations:

**I- Miscellaneous :**

- Conduct a study on the evolution of scientific research in Morocco,
- Implement quickly, the specifications and terms of reference regarding the call for projects which will be launched in 2008 within the Moroccan scientific community,



- Develop coordination with other institutions to follow the indicators in science and technology,
- Develop coordination with the different operators in the field of research (Ministry, Universities, CNRST, private sector ...) in order to streamline our efforts and to make them more effective by avoiding double employment,
- Establish an expert committee for the implementation of the action plan adopted in 2007,
- Contribute to the development of science.

## **II- Work of the scientific colleges:**

- Prioritize and support the excellence,
- Invite the scientific colleges to organize round tables and seminars in order to discuss scientific topics related to their specialities,
- Apprehend the transversal connections between the topics of the different colleges by multiplying the directors meetings in order to ensure greater coordination between the scientific colleges,
- Take into account the interdisciplinary aspect during the selection of research projects to be granted,
- the scientific colleges should develop actions for young scientists,

## **III- Promotion of scientific research and the support of the excellence :**

- Implement quickly, the specifications and terms of reference regarding the call for projects which will be launched in 2008 within the Moroccan scientific community,
- Implement some actions to support “the spontaneous” proposals when they meet the criteria of excellence,
- Take into account the interdisciplinary aspect during the selection of research projects to be granted,
- Support research projects taking into account the budget, the national priorities as well as the support provided by other national or foreign institutions,
- Improve the rules of selection of the projects with an emphasis on the potential impact and scientific relevance,
- Indicate the global budget earmarked for the call for projects and report the total amount earmarked for a research project,
- Appoint experts if it is necessary for the evaluation of projects,
- Identify niches in which Morocco could within a reasonable time become efficient (both scientifically and economically)

## **IV- The plenary sessions organization :**

- Reduce the number of communications and presentations in the plenary sessions and devote more time for discussion,

**Friday, February 22<sup>nd</sup>, 2008 (Afternoon)****Meeting of Scientific Colleges  
&  
Closing Session**

On Friday afternoon, the scientific colleges held their meetings and proceeded to the election of their directors and co-directors :

**• College of Life Science and Technology**

- Director : reelection of M. Albert Sasson
- Co-director : reelection of Mme Rajae El Aouad

**• College of Environmental, Earth, and Marine Sciences and Technology**

- Director : reelection of M. Ahmed El Hassani
- Co-director : reelection of M. Mohammed Jellali

**• College of Physical and Chemical Science**

- Director : election of M. Abdelilah Benyoussef
- Co-director : election of M. Hassan Saidi

**• College of Modeling and Information Science**

- Director : reelection of M. Driss Aboutajdine
- Co-director : election of M. Youssef Ouknine

**• College of Engineering, technological Transfer and Innovation**

- Director : reelection of M. Philippe Tanguy
- Co-director : reelection of M. Bounahmidi Tijani

**• College of Strategic Studies and Economics Development**

- Director : election de Mr. Nouredine El Aoufi
- Co-directeur : election de Mr. Mohammed Berriane

**Election of the new Academy Council :**

The Academy Council is made up of the Permanent Secretary (O. Fassi-Fehri), the Chancellor (M. Bousmina), and three members elected by the college directors (A. Sasson, reelected; D. Aboutajdine, reelected; A. El Hassani, elected).

**Election of the Work Committee :**

During a closed meeting, the Academy proceeded to the election of the Work Committee, three members es-quality, Permanent Secretary (O. Fassi-Fehri), the Chancellor (M. Bousmina ), the Sessions Director (M. Aît-Kadi), and four resident members (M. Ghallab, reelected; R. Benmokhtar, elected; A. Benyoussef, reelected; Ouazar D., reelected); M. Essassi will sit as observer.

**Closing Session**

The plenary session closed its work by the reading and the adoption of a message of deference and gratitude addressed to His Majesty King Mohammed VI - may God protect Him and Guide Him in His High and Noble Mission -.





**Thématique :**  
**ANNÉE INTERNATIONALE**  
**DE LA PLANÈTE TERRE**



## PRÉSENTATION DE L'ANNÉE INTERNATIONALE DE LA PLANÈTE TERRE

***Pr. Jean DERCOURT***

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



Cette Année Internationale a été décidée par l'ONU le 22 décembre 2005, sur proposition l'Union Internationale des Sciences Géologiques (IGSU) et de l'UNESCO. L'ensemble des géosciences réunies au sein de l'IGSU s'y sont associées. Cette Année est centrée sur 2008, elle a été préparée en 2007 et se prolongera en 2009.

65 pays ont constitué des Comités scientifiques nationaux d'organisation.

Pour quels objectifs?

- Faire connaître aux élèves, aux étudiants et à leur entourage, les apports des géosciences à l'amélioration du mode de vie et à la satisfaction des besoins vitaux de tous les peuples.
- Accompagner la croissance démographique (6 milliards à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, 9 milliards prévus en 2050). Elle se fera particulièrement sentir dans une quarantaine de mégapoles peuplées de plus de 10 millions d'habitants.

Pour qu'une population en forte croissance puisse vivre et se développer, il faut, d'une part, des sols susceptibles d'être mis en culture et, d'autre part, de l'eau pour irriguer, car toute forme de vie implique la présence d'eau.

Pour atteindre ces objectifs, dix thèmes ont été retenus par le Comité international de l'Année Internationale. Ces thèmes tirent donc leur cohérence du fait qu'ils concernent tous la planète Terre qui, au sein du système solaire, est seule porteuse de vie.

Dès sa formation (4,5 Ga), la Terre est animée de mouvements cycliques autour du soleil (cycles de Milankovitch). Le soleil, une étoile banale, siège d'une fusion nucléaire, génère un rayonnement énergétique qui atteint la Terre comme toutes les autres planètes (climats).

La planète Terre, par fission nucléaire interne, est animée de courants de convection, qui sont responsables de la dynamique de la Terre profonde et, à ce titre, de la genèse des océans. Ils entourent également la Planète d'une magnétosphère.

A partir de 2,5 milliards d'années, la vie envahit progressivement la Planète. La photosynthèse et la respiration modifient la composition moléculaire des différentes couches superficielles de la Terre. La biodiversité s'installe.

A certaines époques (600 millions d'années, 300 millions d'années et 5 millions d'années), de rares périodes glaciaires s'installent, c'est-à-dire que, durant ces périodes, les pôles et les régions élevées des montagnes sont couverts de glaces. Nous sommes dans une de ces périodes où les variations de l'énergie solaire et de la composition des gaz de l'atmosphère induisent de très nombreuses variations climatiques cycliques (cycles de 400 000, 110 000, 40 000, 20 000 ans) provoquant des modifications importantes du niveau des mers et donc de la géographie planétaire.

Le genre *Homo* est apparu au cours de cette période glaciaire et l'*Homo sapiens*, il y a 120 000 ans. C'est dire qu'il a subi de très nombreuses et importantes variations de température et de géographie.

Dans ce cadre, les géosciences participent à la réduction des conséquences des risques planétaires (risques climatiques, risques tectoniques, ...) et, en outre, à la réduction des risques sanitaires en modélisant l'environnement géographique. Et, pour ce faire, elles découvrent, exploitent des ressources géologiques indispensables à la vie de l'Humanité : matériaux de construction, matériaux et processus énergétiques (énergie fossile, nucléaire, hydraulique, éolienne, etc.)

Les géosciences œuvrent pour connaître et agir sur la Planète. Elles contribuent à créer un environnement où l'Humanité en forte croissance trouvera des moyens pour vivre dignement et de façon durable.







## ANNEE INTERNATIONALE DE LA PLANETE TERRE

A l'initiative de l'Union Internationale des  
Sciences Géologiques (août 2000)  
et de l'Unesco (février 2001)



Organisation des Nations Unies  
pour l'Éducation, la Science  
et la Culture



*Proclamée par les Nations Unies*

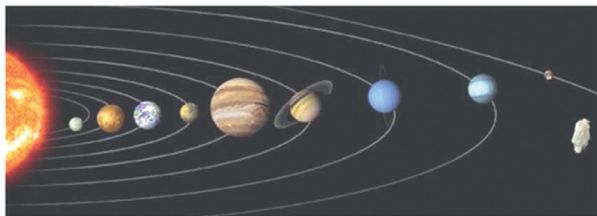
*le 22 décembre 2005*

2

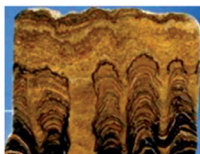


## ANNEE INTERNATIONALE DE LA PLANETE TERRE

Planète → Système solaire



Terre → Vie



3



## Le programme scientifique porte sur 10 grands thèmes multidisciplinaires :

- **les mégapoles** - aller plus loin, construire autrement
- **les sols** - l'épiderme de la Terre
- **les eaux souterraines** - pour un usage durable
- **la Terre profonde** - de la croûte au noyau
- **l'océan** - la Planète Bleue
- **le climat** - climats anciens, climats futurs
- **la Terre et la vie** - origine de la biodiversité
- **les risques naturels** - minimiser les risques, maximiser la prévention
- **la Terre et la santé** - construire un environnement sain
- **les ressources** - vers un usage durable

4



## I - GEOSCIENCES AU SERVICE DE L'HUMANITE PROLOGUE

Collectivité d'hommes et de femmes sur la Planète

2006	➔	2050
6,5 Gh		9 Gh

### MEGAPOLIS

- Croissance attendue
- Concentration actuelle

↙  
**SOLS**

↘  
**EAU DOUCE**

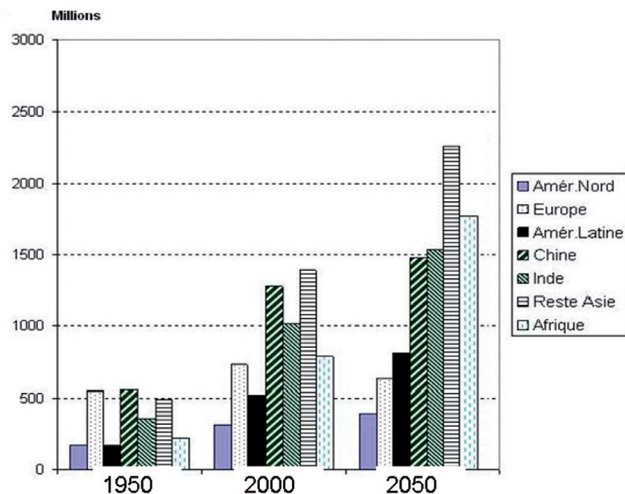
5



## GEOSCIENCES AU SERVICE DE L'HUMANITE

## PROLOGUE

## Population des grandes régions du monde, 1950-2050



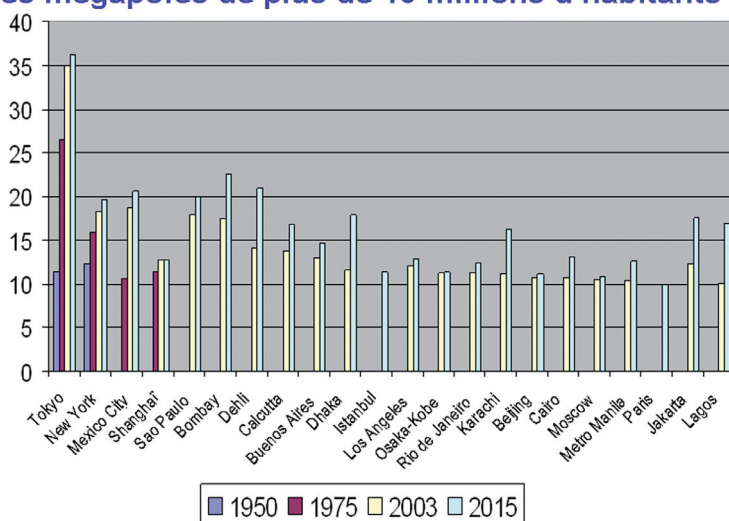
6



## GEOSCIENCES AU SERVICE DE L'HUMANITE

## PROLOGUE

## Les mégapoles de plus de 10 millions d'habitants



7

### Land available for agriculture in 2000 (10<sup>6</sup>ha)

	World	Asia	Latin Amer.	WANA	SS Africa	OECD	Russia
Area cultivated 2000 (a)	1600	439	203	86	228	387	265
Area fitted for agriculture (b)	4400 (IIASA) 4153 (FAO)	586	1066	99	1031	874	497
a/b	39%	75%	19%	87%	22%	44%	53%

FAO data

8



(Adapted from Shiklomanov, 1999, and Académie des Sc., 2006)

<b>WATER DEMAND</b>	<b>2000</b>	<b>2025</b>	<b>2050</b>
POPULATION (millions)	<b>6181</b>	8000	<b>9200</b>
IRRIGATED AREA (millions Ha)	<b>264</b>	307	<b>331</b>
AGRICULTURAL WITHDRAWAL (Km <sup>3</sup> /year)	2605	3053	3283
TOTAL CONSUMPTION (Km <sup>3</sup> /year)	<b>1975</b>	2321	<b>2511</b>
RAIN-FED AGRICULTURE (Km <sup>3</sup> /year)	<b>5000</b>	7000	<b>9000</b>
CULTIVATED AREA (millions Ha)	<b>1500</b>	2000	<b>2500</b>

9



## II - PLANETE TERRE AVANT LA VIE

### 1) SYSTEME SOLAIRE

Mécanique céleste

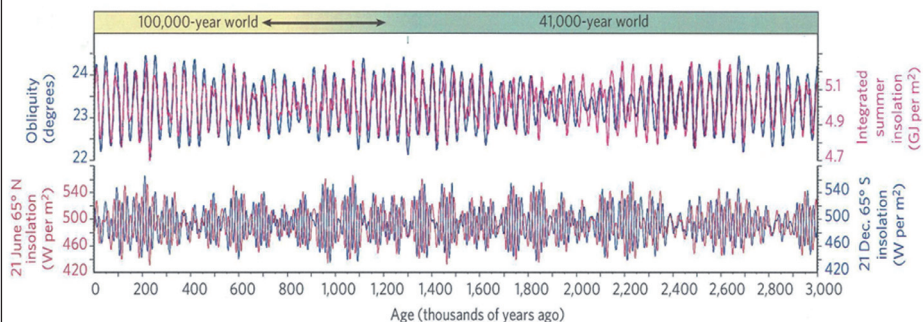
Cycles de Milankovitch-Berger

### 2) LE SOLEIL EST UNE ETOILE

**Fusion nucléaire** - Energie - Tempêtes magnétiques

Nuit/jour – Eté/hiver – Chaud/froid

10



11

## PLANETE TERRE AVANT LA VIE

### 3) LA TERRE EST UNE PLANETE

#### Fission nucléaire – Energie

- Géodynamique interne
  - Convection tectonique des couches profondes
  - Volcans, séismes, tsunamis
- Géodynamique externe
  - Courants océaniques
  - Vents atmosphériques
  - Magnétosphère : protection contre le vent solaire

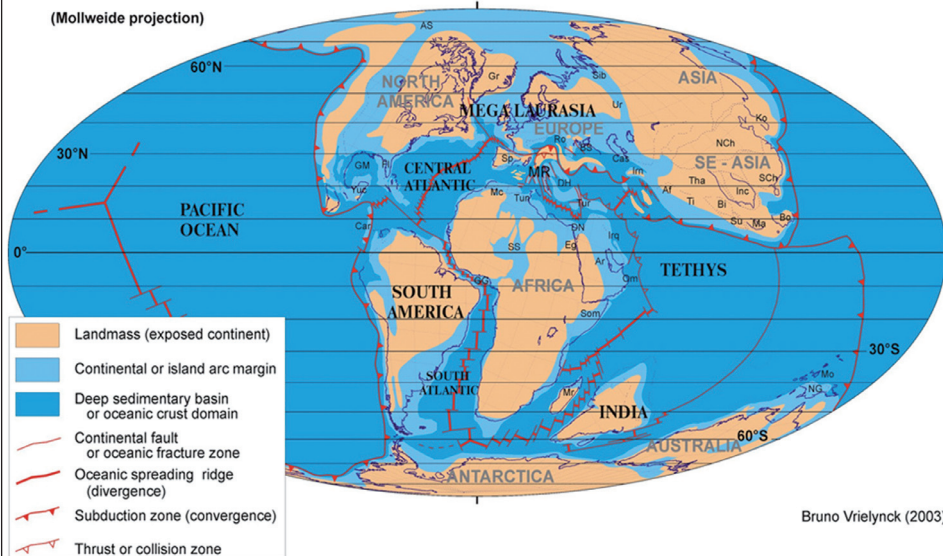
**TERRE PROFONDE**  
**OCEANS / CONTINENTS**  
**CLIMATS**

12

### CENOMANIAN (96-92 Ma)

Position at 95 Ma

(Mollweide projection)



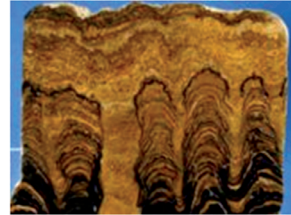
13



### III - EXPLOSION DE LA VIE

- **PHOTOSYNTHESE ET RESPIRATION**

Modification des eaux et de l'atmosphère  
 Apparition des sols  
 Evolution de la teneur en O<sub>2</sub> en gaz à effet de serre (eau, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ...)

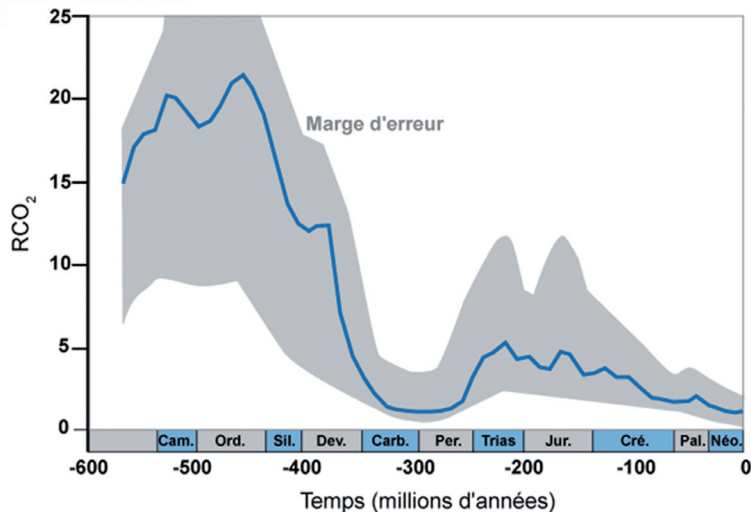


- **STOCKAGE CO<sub>2</sub>**

- Carbonates
- Charbons
- Pétroles

**CLIMATS  
RESSOURCES**

14

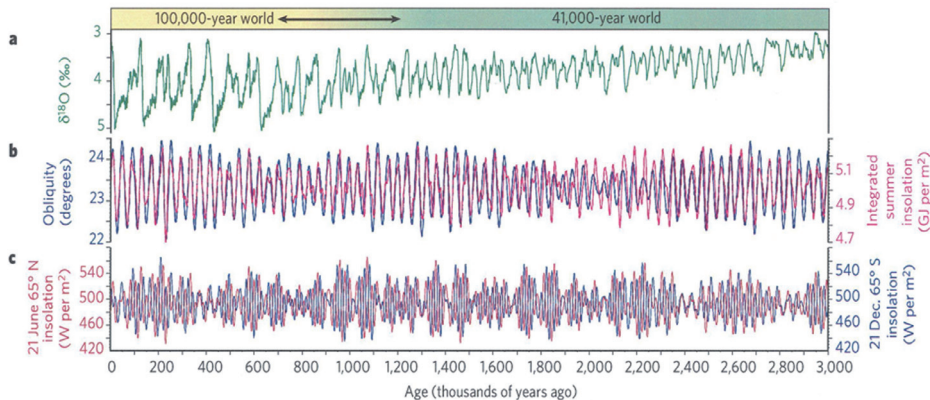


Évolution de la quantité de dioxyde de carbone atmosphérique par rapport à l'actuelle (RCO<sub>2</sub>) au cours du Phanérozoïque. D'après Berner, 2003.

15



- Depuis 3 Ma, la phase actuelle commence, l'*Homo* n'a connu que celle-là
- Le climat est rythmé, chaque étape dure peu

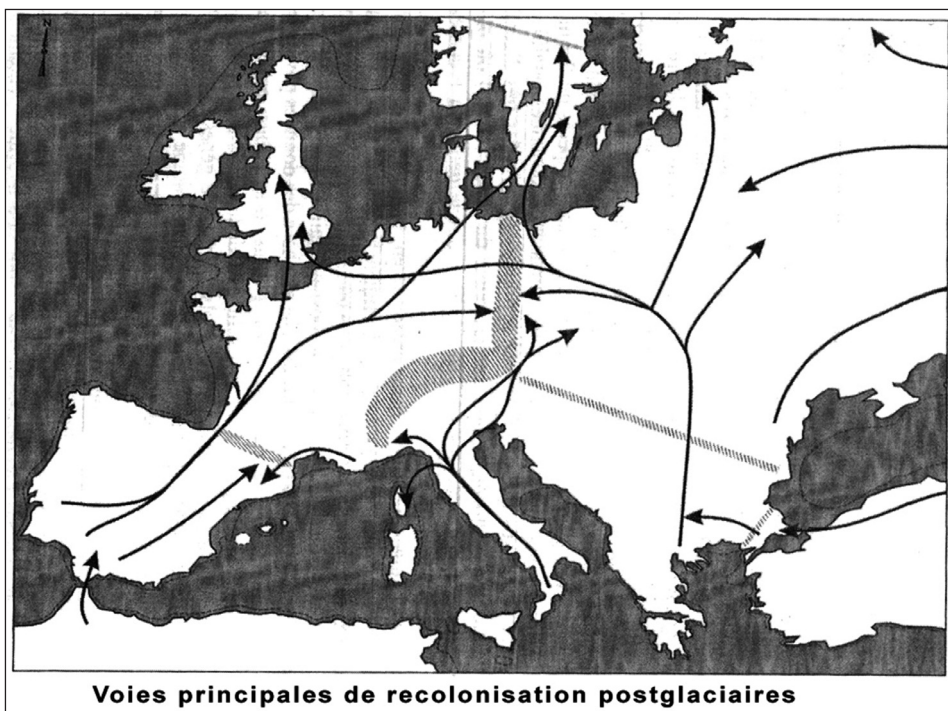
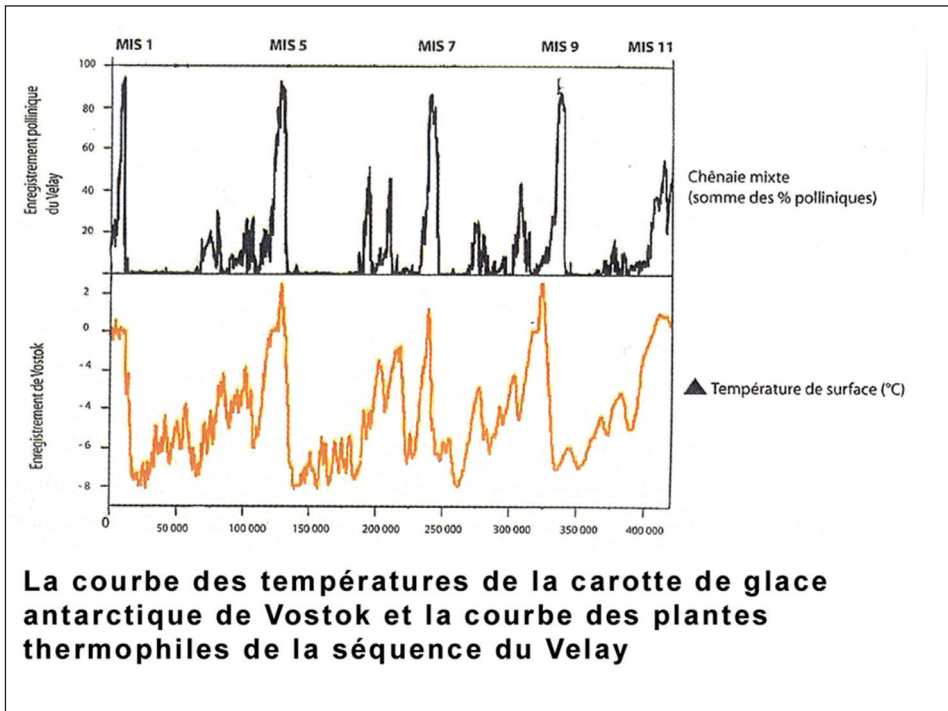


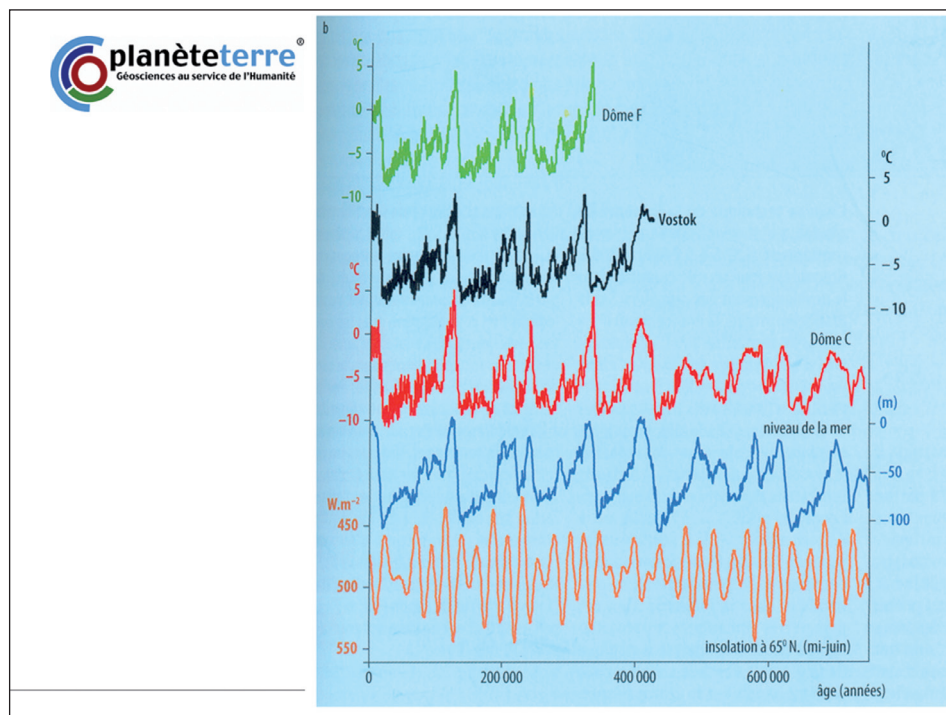
#### IV - FRAGILITE – DIFFERENTES PHASES GLACIAIRES

- Migration de la biodiversité
- Attention : concurrence d'espèces de vertébrés, par exemple

**VIE ET BIODIVERSITE**





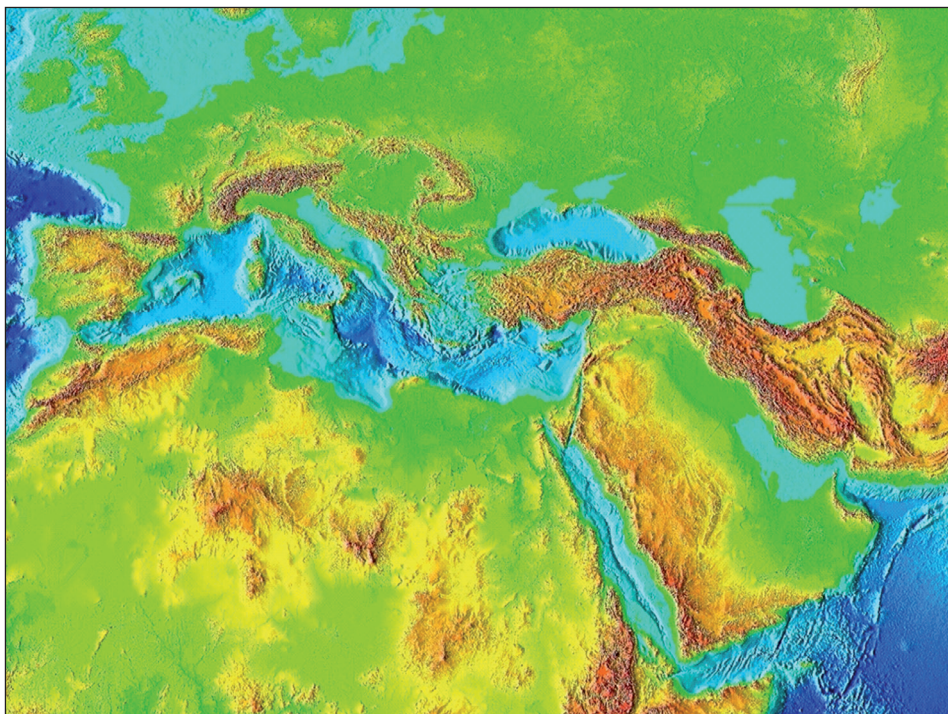


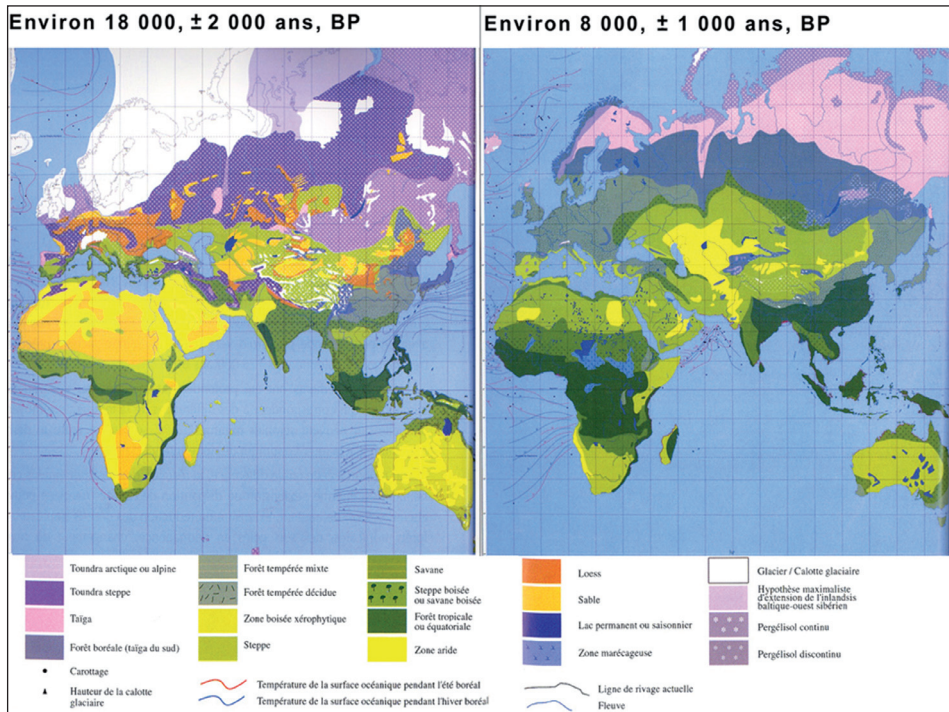
Cheval du diverticule axial de Lascaux (Dordogne).





**Bisons - Nef de Lascaux (Dordogne)**



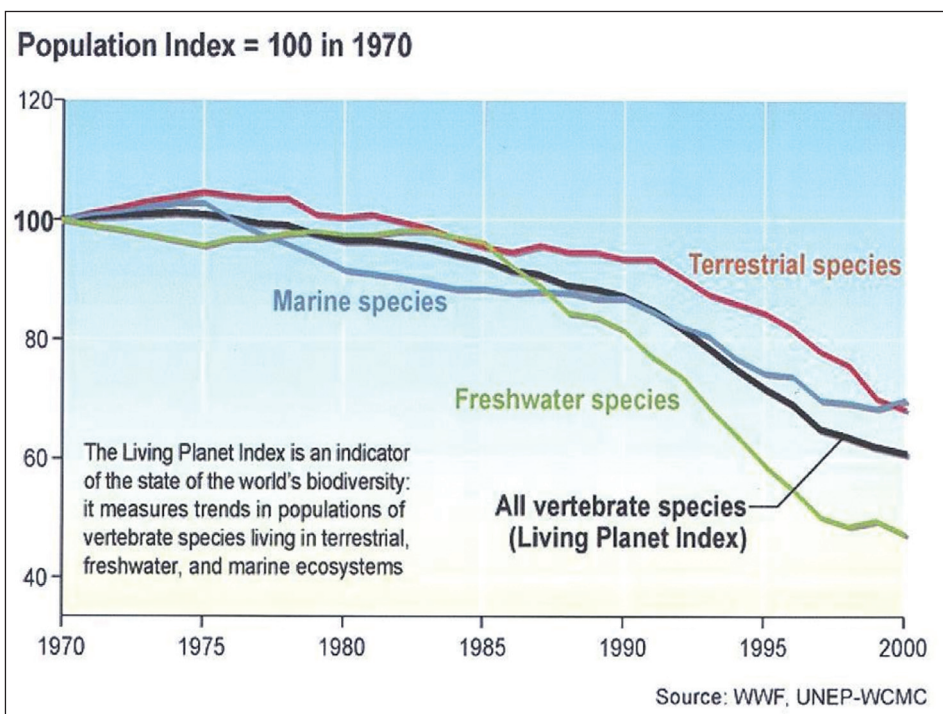
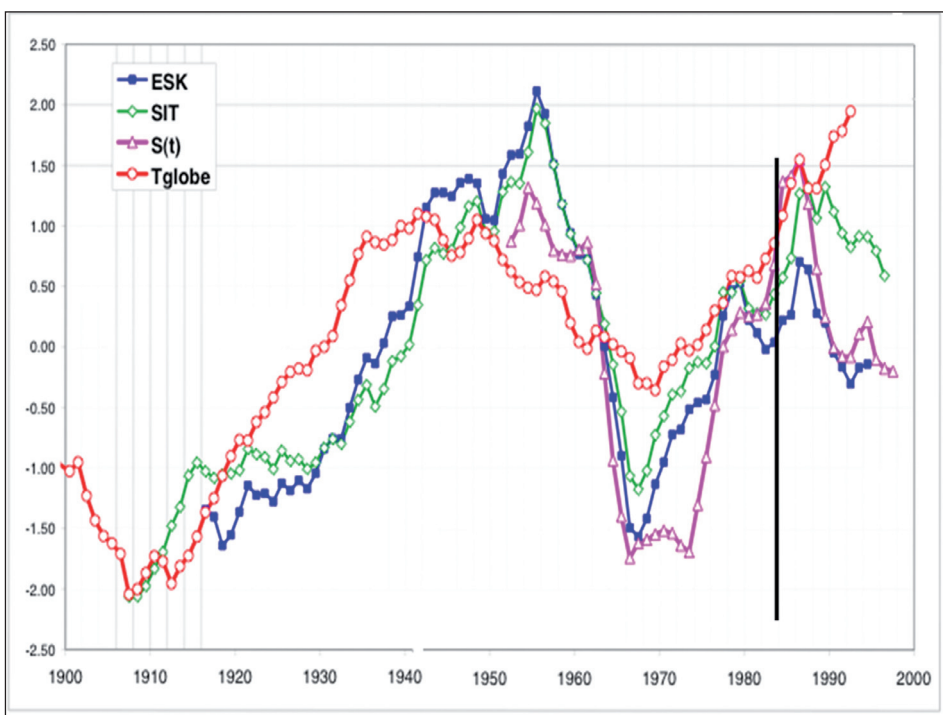


La tendance magnétique globale ressemble  
à celle des variations de la température de  
surface globale

... et la température s'écarterait des  
variations solaires et magnétiques depuis  
le milieu des années 1980

Le Mouél et al, 2005

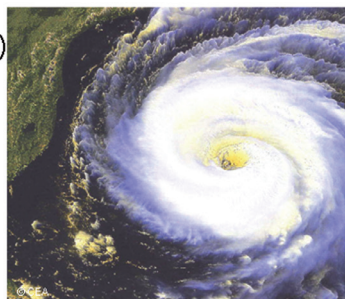




## V - L'HOMME SUR LA PLANETE

### 1) **RISQUES**

- \* Géodynamique externe (climatique)
  - Température (gaz à effet de serre)
  - Niveau des mers
  - Déplacement des zones de vie
- \* Géodynamique interne



### 2) **SANTE**

- \* Faim
- \* Milieux de vie des pathogènes
- \* Pénibilité des tâches

28

## L'HOMME SUR LA PLANETE

Rappel : **SOLS – EAU**

### 3) **RESSOURCES**

Découvrir - Exploiter – Réhabiliter

- \* Matériaux
- \* Energie
  - Liée à la fusion nucléaire :
  - Energies fossiles
  - Vents
  - Soleil
  - Liée à la fission nucléaire
- \* Déchets



29



## CONCLUSION

- Connaître pour agir
- Agir au service de l'Humanité
- Il est capital de placer un événement à son âge et dans sa durée
- La grande peur du millénaire : les Géosciences y répondent







## LE PATRIMOINE GÉOLOGIQUE

***Pr. Patrick DE WEVER***

***Directeur Géosciences  
Service Patrimoine Naturel  
Muséum National d'Histoire Naturelle, France***



Le concept de patrimoine géologique résulte de l'élargissement de la notion de patrimoine, de patrimonium «ce que l'on tient de la main du père». Ainsi ce n'est pas seulement une notion attachée aux biens familiaux mais une notion beaucoup plus large qui concerne les biens collectifs architecturaux, historiques, artistiques, culturels... La notion de patrimoine naturel, reconnaît que des éléments de la nature font partie des biens communs. Le patrimoine géologique prend en compte le passé de la Terre, il souligne la notion du temps.

L'expression «patrimoine géologique» inclut tous les objets et sites relatifs aux disciplines des Sciences de la Terre. Le terme géologie est à prendre dans son acception large. Il inclut la paléontologie, la minéralogie, la tectonique, la sédimentologie...

Le patrimoine géologique englobe les objets et sites qui conservent la mémoire de la Terre, de l'infra-microscopique au panorama : les roches et les minéraux, les traces de vie (fossiles, habitats, mines...), les structures, les indices de climat, les témoins de l'évolution des sols, sous-sols et paysages passés ou actuels. Les objets géologiques correspondent aux collections publiques, aux collections industrielles, aux musées, aux archives des sociétés savantes, aux publications, aux cartes, aux documents manuscrits... Ces objets d'intérêt géologique constituant, à terme, le patrimoine ex situ. Les sites représentent le patrimoine in situ. En outre, la notion de patrimoine implique que ces biens sont conservés au présent et transmis aux générations futures. Une approche humaniste consiste en effet à dire : «nous n'héritons pas la Terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants».

La préservation des objets géologiques de référence est une préoccupation ancienne de la communauté géologique. Elle s'est faite notamment à travers les collections des musées ou autres établissements publics. La nécessité de sauvegarder des sites, patrimoine géologique in situ, est apparue plus récemment et s'est beaucoup développée depuis le début des années 80, notamment en France, même si cette nécessité était déjà reconnue antérieurement. Elle a ainsi vu l'apparition des premières réserves géologiques (au sein du réseau des Réserves Naturelles de France).

La mobilisation de la communauté géologique pour sensibiliser et pour faire reconnaître la valeur du patrimoine géologique s'est intensifiée après un congrès international tenu en 1991, à la suite duquel a été publiée la «déclaration internationale des droits de la mémoire de la terre». Les actes du colloque ont été rassemblés dans un mémoire (n°165) de la Société géologique de France en 1994.

Pourquoi protéger le patrimoine géologique?

Le patrimoine géologique mérite d'être protégé :

### **1- En tant qu'élément du patrimoine naturel**

La conception humaine de la nature s'est, jusqu'ici, souvent limitée aux éléments vivants (faune et flore), aux habitats et milieux naturels. Les éléments géologiques, minéraux - éléments non vivants- n'étaient pas ou peu considérés. Pourtant, la liaison entre géosystèmes et écosystèmes est une évidence: les écosystèmes actuels ne sont que la dernière image d'un film que le géologue cherche à restituer. L'environnement géologique et l'histoire de la Terre fournissent des indices qui permettent de comprendre l'évolution de la vie et de la biodiversité actuelle. Contrairement aux espèces biologiques, les objets géologiques ne se reproduisent pas et la détérioration d'un site, même local, entraîne sa perte définitive.

### **2- Pour son intérêt pédagogique**

La préservation d'échantillons et de coupes géologiques in situ est indispensable pour l'enseignement ou la sensibilisation du public aux sciences de la Terre. Le terrain est l'outil pédagogique le plus concret qui puisse exister dans cette discipline. La représentation dans l'espace d'un objet géologique (tel un plissement) et sa relation avec le temps (discordance, strates) sont des concepts difficiles à appréhender. La pratique sur le terrain reste une approche nécessaire de l'enseignement des sciences de la Terre.

### **3- Pour sa valeur scientifique**

Roches, fossiles, minéraux et leurs agencements sont autant d'indicateurs qui permettent de comprendre le fonctionnement et l'évolution de la Terre, de la Vie. L'étude des fossiles dans leur environnement de dépôt permet de faire des comparaisons avec l'évolution de l'environnement présent. Ainsi, certaines évolutions biologiques ou climatiques actuelles peuvent être mieux comprises par le biais de travaux de recherche in situ, encore faut-il que ces sites soient préservés.

### **4- Pour sa valeur esthétique (rareté, unicité, beauté)**

La seule valeur esthétique de certains sites justifie leur protection. Leur vocation touristique leur confère aussi une valeur économique, ils concourent au développement d'un secteur d'activité nouveau: le géotourisme.

### **5- A des fins socio-culturelles**

L'homme désire comprendre l'environnement naturel, et socio-économique dans lequel il évolue. Cette prise de conscience nécessite le passage par une approche géologique.

L'Histoire de la nature dans laquelle l'homme a sa place, est liée à l'Histoire de la planète, à l'évolution des paysages dont la splendeur résulte des seuls processus géologiques dans bien des cas. De la même façon, les pratiques agricoles et industrielles anciennes sont dépendantes du sol et du sous-sol; les matériaux de construction traditionnels sont liés aux ressources locales en roches. A ce titre, certains sites géologiques permettent de comprendre la vie et l'histoire d'une région; d'autres fournissent les matériaux nécessaires pour la restauration de monuments historiques. C'est pour cette raison par exemple que les services de conservation des monuments historiques sont très demandeurs quant à la localisation d'anciennes carrières.

Le patrimoine géologique doit faire l'objet d'une attention particulière de l'ensemble de la collectivité. Pour que la collectivité en prenne conscience, le géologue a le devoir de l'informer. La protection trouve son ancrage dans nos capacités à sensibiliser les citoyens, les décideurs ou aménageurs.

Pour illustrer cette démarche je citerai quelques exemples :

- il y a actuellement 12 réserves géologiques en France. Pour les rendre mieux visibles auprès du public, un joli livre, simple d'accès, intitulé «Mémoire de la Terre» leur a été consacré.

- la France fut l'un des berceaux de la stratigraphie ce qui explique que de nombreux étages (43 initialement) de l'échelle internationale des temps géologiques ont leur localité éponymes dans ce pays. Pourtant seuls 8 stratotypes, étalons de temps, font aujourd'hui l'objet de mesure de protection. Pour sensibiliser le public à la richesse de ce patrimoine une collection de livres, destinée à un large public intitulée «Patrimoine géologique : stratotypes» a été lancée par le Muséum National d'Histoire Naturelle, à Paris, en collaboration avec d'autres partenaires (un livre par stratotype). A ce jour deux livres sont sous presse : Lutétien et Hettangien. Sept autres sont en cours de rédaction : Barremien, Stampien, Givetien, Aquitanien, Aptien, Albien, Toarcien. D'autres seront mis en chantier sous peu.

- la géologie est souvent ressentie comme une discipline austère. Elle rebute donc beaucoup de nos citoyens. Pourtant les passionnés que nous sommes savent bien que la géologie peut être une fête pour l'esprit, et un ravissement pour l'imagination ... Afin de faire partager notre enthousiasme nous avons lancé une collection de fascicules intitulés «balades géologiques» qui proposent un itinéraire urbain montrant que la géologie partie intégrante de notre environnement en fonction des propriétés physiques, esthétiques, économiques ... mais aussi du contexte politique, social ... Le ton de ces fascicules est léger et émaillé d'anecdotes historiques afin d'en égayer au maximum la lecture.

Sensibiliser le public au patrimoine est une première étape. Ensuite il est nécessaire de valoriser, voire de protéger le patrimoine. Ces objectifs passent obligatoirement par un inventaire qui seul permettra un classement pertinent des sites.

## **Inventorier pour connaître**

Afin de cerner l'intérêt des objets et sites un inventaire a été lancé officiellement en France en 2007. Cet inventaire permettra, au même titre que pour la faune et la flore, de savoir si un aménagement du territoire par exemple risque de compromettre un site géologique qui mérite d'être conservé. Bien que l'inventaire n'ait pas pour but principal la protection, il

offrira un ensemble homogène permettant de faire ressortir les sites majeurs pour lesquels une protection s'impose. Il permettra aussi aux curieux ou aux enseignants de connaître les sites accessibles pour les aider dans une démonstration, une sensibilisation pédagogique ou simplement se cultiver.

Comme l'indique l'article L. 411-5 du Code de l'Environnement, modifié par la Loi relative à la démocratie de proximité de 2002, l'Etat est le maître d'ouvrage de l'inventaire du patrimoine géologique national. Il est représenté par la Direction Nature et Paysage (DNP) du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable au niveau national et par ses services déconcentrés, les Directions Régionales de l'Environnement (DIREN) à l'échelon régional.

### **Procédure de validation**

Les rubriques de l'inventaire ont été élaborées par une commission du ministère de l'Environnement qui rassemblait des représentants de sociétés savantes, des musées, des principaux établissements traitant de géologie, des associations d'amateurs, des réserves naturelles de France. A partir du cahier des charges ainsi établi un logiciel, nommé «géotope» a été réalisé, en veillant à ce qu'il fonctionne avec de petits ordinateurs, ceux dont dispose le mode associatif. Ce logiciel, gratuit est distribué par les Directions Régionales de l'Environnement qui peuvent ainsi attribuer des numéros de sites (pour éviter que différents sites ne portent le même numéro). Le Vade mecum, le guide technique et le logiciel sont rassemblés sur un CD-Rom unique, disponible auprès des DIREN. Le Cd est fourni aux seuls utilisateurs qui s'engagent à reverser les données informatisées.

Dans chaque région la saisie des sites s'effectue soit par des individus, des associations, soit par des organisations professionnelles. Les dossiers renseignés sont alors envoyés à la Direction Régionale de l'Environnement qui soumet leur validation à une commission. Les sites validés sont alors envoyés pour validation au niveau national. L'homogénéité des informations recueillies permet d'envisager des classements de l'importance des sites en terme de vulnérabilité, de contenu, de représentativité ...

Les sites retenus alimentent une base de données qui est mise à disposition du public sur un site qui rassemble aussi les données de la faune, de la flore, des habitats sensibles (Inventaire National du Patrimoine Géologique). Cette procédure a l'avantage de fournir les informations relevant de la géologie en même temps que celles relevant du vivant, celui-ci étant trop souvent seul pris en compte quand on s'intéresse à la nature ... en France comme ailleurs.

Les données sont regroupées dans un même système d'information, accessibles sur le site du Service du patrimoine Naturel du Muséum National Histoire Naturelle (<http://inpn.mnhn.fr>), qui a reçu de l'Etat la mission de développer et de gérer une banque de données sur la Nature, sur la base des collections et inventaires, existants ou à venir. L'inventaire national du patrimoine géologique (référence des connaissances) a d'abord une vocation informative. Sur la base des informations recueillies, il permettra de définir et de mettre en place une politique adaptée en faveur de la gestion et de la valorisation de ce patrimoine. Il est l'occasion d'évaluer aussi rigoureusement que possible chaque site, en tenant compte de son état de conservation et des éventuels besoins et moyens

à mettre en œuvre pour le sauvegarder. Ces données seront mises à disposition des gestionnaires du territoire et des décideurs comme outil d'information et d'aide à la décision. Ainsi certains géotopes sensibles et/ou remarquables sont susceptibles d'être préservés du fait de leur inscription sur un inventaire.

## **La mise en place du protocole en région**

Un protocole a été établi par la CPPG afin de définir le rôle de tous les acteurs impliqués dans la réalisation de cet inventaire national. La DNP impulse cette politique nationale auprès des DIREN et préfets de région.

En effet, les DIREN et les préfets de région représentent l'Etat et deviennent les garants de l'exécution de l'inventaire. Les préfets de région sont chargés d'informer les collectivités territoriales, les préfets de départements, de même que les commissions départementales des sites, perspectives et paysages, et les instances départementales en charge de l'environnement quant à la phase d'élaboration de cet inventaire. Ces derniers sont à la fois sensibles au patrimoine et à la protection des espaces. Il est important aussi que l'information soit répercutée auprès des communes.

L'inventaire du patrimoine naturel est placé sous la responsabilité scientifique du Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN). Les CSRPN ont notamment la charge d'identifier la valeur scientifique des inventaires du patrimoine naturel lors de leur élaboration ou de leur mise à jour. Sur la base de ces renseignements et observations, le but essentiel est d'attribuer à chaque site une valeur patrimoniale, d'évaluer sa vulnérabilité et d'identifier les besoins en matière de conservation et de protection. Toutes les fiches sont associées à un auteur : cette traçabilité permet de vérifier ou de modifier facilement ces fiches, le cas échéant.

## **L'évaluation et l'inscription de nouveaux sites**

Les DIREN sont chargées de récupérer ces données informatiques, ce qui leur permet de vérifier la bonne exécution de l'inventaire. Elles les transmettent aux CSRPN, seuls garants de la validité scientifique régionale du patrimoine naturel. Pour les valider, ceux-ci s'appuieront sur le coordinateur scientifique et la commission régionale du patrimoine géologique afin de s'assurer de l'exactitude des informations, du respect des critères permettant d'attribuer la valeur patrimoniale de chaque site et de l'évaluation des besoins de protection.

Les fiches informatisées sont alors validées ou non. A cet échelon peut aussi s'opérer une première hiérarchisation des sites et objets selon leurs valeurs patrimoniales (Onglet Intérêts et Rubrique Evaluation du logiciel Geotope) et selon leurs besoins de protection (Onglet Vulnérabilité et Rubrique Besoin Protection du logiciel Geotope).

L'ensemble des inventaires régionaux est ensuite envoyé au Muséum National d'Histoire Naturelle, garant de la cohérence nationale et de la validité scientifique. Celui-ci s'appuiera sur les conseils d'une commission nationale, afin de juger de l'opportunité de modifier, ou non, les fiches des inventaires.

Cette dernière étape étant réalisée, toutes ces données sont chargées sur le système d'information du Réseau National des Données sur la Nature et le Paysage (RNDNP)<sup>1</sup>. Finalement, la diffusion de ces informations se fera par le biais du portail Internet de l'inventaire national du patrimoine naturel<sup>2</sup>. Certaines informations jugées sensibles resteront en accès restreint, alors que toutes les autres données sont évidemment consultables par les gestionnaires et l'ensemble des utilisateurs, du scientifique à l'amateur.

L'objectif principal de cet inventaire est de fournir une base de données afin de faciliter la mise en place d'une politique ou de politiques de gestion et de protection du patrimoine. Conformément au logiciel, cette liste de sites et objets géologiques permet un double classement selon des valeurs patrimoniales et selon leurs besoins de protection. À terme, ce système de classement permet de fournir une liste nationale ou des listes régionales de sites et objets remarquables et vulnérables, indispensables à la mise en place de mesures de préservation du patrimoine géologique.

---

<sup>1</sup> Cf. le Chapitre 5 – La stratégie de la France vis-à-vis du patrimoine géologique.

<sup>2</sup> Site : <http://inpn.mnhn.fr>.

## KNOWLEDGE, DIPLOMACY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*Pr. Abdelhamid ZAKRI*

*Institute of Advanced Studies  
United Nations University - Tokyo, Japan*



Diplomacy is the art, practice and science of relations between nations. It is an ancient practice and at one time used to be confined to issues of sovereignty and national security. At the beginning of the 21 Century, one of the great issues confronting the international community is that which pertains to sustainable development: meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. Sustainable development ranges from the state-of-health of the environment to advances in biology.

Multilateral diplomacy today includes responses to the opportunities, challenges and fears regarding climate change and environmental degradation to the so-called 'Bio Revolution.' For instance, how would nations deal with global warming which was once regarded as an "Inconvenient Truth" by Al Gore to that of an "Unfortunate Reality" by Ban Ki-Moon.

On bio-revolution, there is the view on one hand that biotechnologies will benefit humanity by unlocking the scientific, health, food, and commercial potential contained within biodiversity/genetic resources. On the other hand, there is a range of social, scientific, and community actors that decry the dangers inherent in genetic engineering and the release of GMOs into the environment. Questions may include whether your breakfast cereals contain genetically-modified organisms? Is the new wonder drug for weight loss based on knowledge pirated from indigenous people? Is stem cell research the precursor to human cloning? Will bio-weapons become the ultimate WMD?

Such contrasting views are now not only held by mere individuals or NGOs but by governments and leading political personalities. The issues need to be addressed at the multilateral level.



The global significance is best found in the linkage between biodiversity and biotechnology. Biodiversity which is found in abundance in 'gene-rich' countries is seen as the raw material that could be the basis for the biotechnology industry which is much dominated by the 'technology-rich' countries. The challenge that arises is not only how to conserve biodiversity and use its components in a sustainable manner but how to regulate access to genetic resources and share the benefits of research in a fair and equitable manner.

Central to the above debates is the role of science and technical knowledge in global governance. There is therefore an urgent need for academy of sciences everywhere to equip themselves with the capability to bring scientific knowledge to inform decision making at the national and international levels.

*“Morocco - rooted in Africa, watered by  
Islam and rustled by the winds of Europe” -  
King Hassan II*





**Diplomacy – the art, science or practice of conducting negotiations between nations**

## **Sustainable Development**

“ meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”

*Our Common Future (1987)???*



## Millennium Development Goals

- Eradicate extreme poverty and hunger
- Achieve universal primary education
- Promote gender equality and empower women
- Reduce child mortality
- Improve maternal health
- Combat HIV/AIDS, malaria and other diseases
- Ensure environmental sustainability
- Develop a global partnership for Development

## The MA will focus on:

**Ecosystem services** (the conditions and processes supported by biodiversity through which ecosystems sustain and fulfil human life, including through the provision of goods)

- **Provisioning:** e.g. Food, Water, Fiber, Fuel, Other biological products
- **Supporting:** e.g. Biodiversity, Pollination, Waste Treatment
- **Cultural:** e.g. Cultural, Aesthetic, Social relations

The consequences of changes in ecosystems for  
**human well being**

The consequences of changes in ecosystems for  
**other life on earth**

# Largest assessment of the health of Earth's ecosystems

- Experts and Review Process
  - Prepared by 1360 experts from 95 countries
  - 80-person independent board of review editors
  - Review comments from 850 experts and governments
  - Includes information from 33 sub-global assessments
- Governance
  - Called for by UN Secretary General in 2000
  - Authorized by governments through 4 conventions
  - Partnership of UN agencies, conventions, business, non-governmental organizations with a multi-stakeholder board of directors

## Some Findings

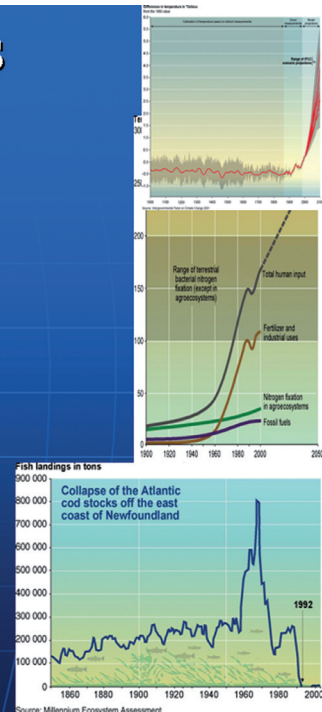
- Over the past 50 years, humans have changed ecosystems more rapidly and extensively than in any comparable period of time in human history
- This has resulted in a substantial and largely irreversible loss in the diversity of life on Earth

## Some findings

- More land was converted to cropland in the 30 years after 1950 than in the 150 years between 1700 and 1850
- 20% of the world's coral reefs were lost and 20% degraded in the last several decades
- 35% of mangrove area has been lost in the last several decades
- Amount of water in reservoirs quadrupled since 1960
- Withdrawals from rivers and lakes doubled since 1960

## Key Problems

- Among the outstanding problems identified by this assessment are the dire state of many of the world's fish stocks; the intense vulnerability of the 2 billion people living in dry regions to the loss of ecosystem services, including water supply; and the growing threat to ecosystems from climate change and nutrient pollution.





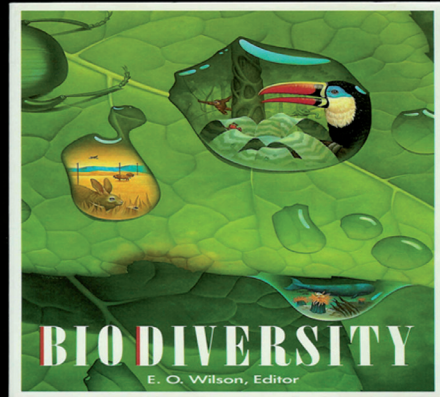
## Unprecedented Change

- Humans have made unprecedented changes to ecosystems in recent decades to meet growing demands for food, fresh water, fiber, and energy
- These changes have helped to improve the lives of billions, but at the same time they weakened nature's ability to deliver other key services such as purification of air and water, protection from disasters, and the provision of medicines
- The pressures on ecosystems will increase globally in coming decades unless human attitudes and actions change

## Key features of successful responses

- Better protection of measures to conserve natural resources are more likely to succeed if local communities are given ownership of them, share the benefits, and are involved in decisions.
- Even today's technology and knowledge can reduce considerably the human impact on ecosystems. They are unlikely to be deployed fully, however, until ecosystem services cease to be perceived as free and limitless, and their full value is taken into account.
- Natural assets will require coordinated efforts across all sections of governments, businesses, and international institutions. The productivity of ecosystems depends on policy choices on including investment, trade, subsidy, taxation, and regulation, among others.

**“...It is the foundation upon which human civilizations have been built. Its conservation is a prerequisite for sustainable development and, as such, constitutes one of the greatest challenges of the modern era.”**



## **Fundamental Issues with the CBD**

- Conservation of biodiversity
- Sustainable use of its components
- Fair and equitable sharing of benefits out of the use of genetic resources

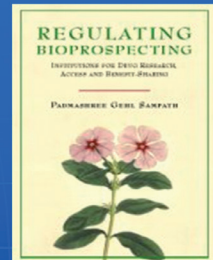
## “Sorcerer II Global Expedition”



- The Venter Institute's global expedition to sample microbial abundance and diversity in marine and coastal environment
- Findings from the voyage will be used, among others, to design and engineer species to replace petro-chemicals; track and avoid emerging viruses; and understand the effects of ballast water

## Access and benefit-sharing of genetic resources (ABS)

- In recent years, moved from a side-event to the centre stage of international environmental law-making
- Almost half of all the decisions of the Conference of Parties of the CBD in its 10-year history are on ABS
- “Provider countries” and “User Countries”
- “Sovereign rights” versus “Common Heritage”





## “The last frontier”?



- **Antarctica and the Deep Seabed**
  - Harsh marine environments, such as deep-ocean hydrothermal vents, polar oceans, and extremely saline bodies of water are yielding valuable extremophiles for biotechnology .
  - Common Heritage? Lawless? How to sustainably manage these resources? Who should have access?

## “Potential treasures” of Antarctica

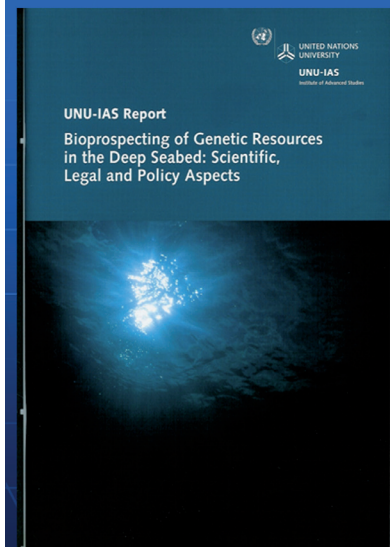
- **Anti-freeze protein from *Marinomonas protea* (found in Antarctic lakes) may prolong shelf-life of ice-cream (Unilever patent)**
- **Glycoprotein from an Antarctic bacteria for wound healing and skin, hair and nail treatment (Spanish patent)**
- **Extract from an Antarctic black yeast with anti-tumor properties (Russian patent)**



## Who owns Antarctica?

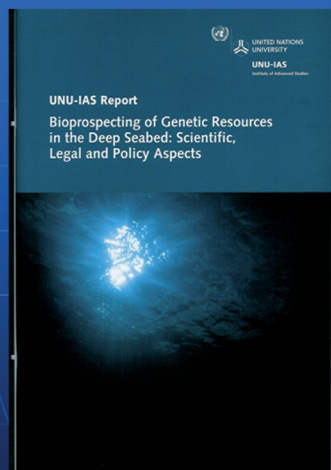
- Who owns the Antarctic genetic resources?
- How can scientists working in the Antarctic Treaty area legitimately acquire these resources?
- Is benefit sharing feasible, and if so, with whom?
- Who owns these commercial products resulting from these resources?

## “Treasures from the seas”



- 32 of 34 phyla on earth are from the world's oceans
- Worldwide sales from marine biotech products around US\$100 billion in 2000)
- Marine drugs – antioxidant, antifungal, anti-HIV, antibiotic, anti-cancer, anti-malarial, suntan creams

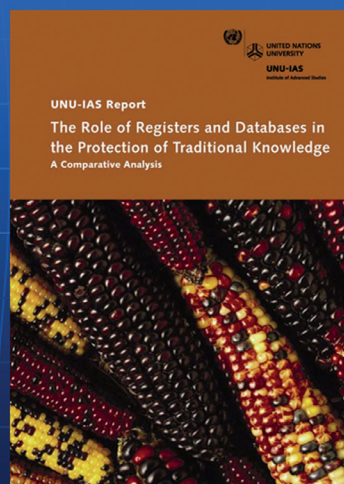
## Bioprospecting in Deep Seabed



- Research and bioprospecting underway in deep seabed
- Ocean bioprospecting needs rules
- Currently beyond CBD or UNCLOS
- Regulations will allow governments, scientists and the private sector to work together

## Traditional knowledge

- **Traditional Knowledge (TK) & IPR**
- Always had high spiritual and utilitarian value to indigenous peoples, but in the last few decades its value for commercial uses is increasing
- How to preserve TK and ensure indigenous peoples are not exploited
- How to involve more TK holders in the process which for the most part have remained outside of international debates



# Traditional knowledge



- 80% of population in developing countries still depend on traditional medicine for their daily needs
- TK is a crucial part of our present and future scientific knowledge base
- TK is increasingly subject of biopiracy (e.g. tumeric from India; ayahuasca from Amazon; beans from Mexico, and maca from the Andes)
- Protection of TK is high on the biodiplomacy agenda

## Issues

- Cases of dubious patenting of human bloodlines
- Cases of unapproved and uncompensated use of genetic resources and traditional knowledge

## Traditional knowledge and IPRs

- “Western” science versus the sciences of indigenous peoples and local communities
- Threats facing traditional knowledge
  - lack of recognition of its value and worth
- Currently being debated at UN Permanent Forum for Indigenous People, WIPO, CBD

## Biotechnology is an emerging issue on the international agenda

- WTO’s trade-related intellectual properties (TRIPs) Agreement require most developing countries to develop an IPR regime
- Ongoing globalization of the patent system under the Patent Cooperation Treaty (PCT) is further speeding this development
- Biotechnology is one of the key elements that affect the shape and boundaries of the IPR regime – a top agenda in WIPO, CBD, UNGA



## “Bio Revolution”

- One of the hottest and most controversial issues facing the international community is how to respond to the opportunities, challenges and fears regarding the so-called ‘Bio Revolution’



## “Bio Revolution”

- *pros*: biotechnologies will benefit humanity by unlocking the scientific, health, food, and commercial potential contained within biodiversity/genetic resources
- *cons*: a range of social, scientific, and community actors decry the dangers inherent in genetic engineering and the release of GMOs into the environment



## Issues

- Does your breakfast cereals contain genetically-modified organisms?
- Is the new wonder drug for weight loss based on knowledge pirated from indigenous people?
- Is stem cell research the precursor to human cloning?
- Will bio-weapons become the ultimate WMD?

## “Bio Revolution”

- The controversies are not only confined to the people on the street or *cause celebre* of NGOs

- “Biotechnology is a key driver in the global effort to alleviate poverty and hunger...”



# Cloning, an emotive and divisive issue among UN negotiators

- Apparent unanimity on the need to ban reproductive cloning
- But efforts to develop an international convention/treaty stalled due to severe divisions over the issue of therapeutic cloning
- Issue rests on whether researchers should be allowed to use cloning techniques to produce embryos to serve as a source of stem cells for potential therapeutic purposes



## “UN Treaty on Human Cloning”

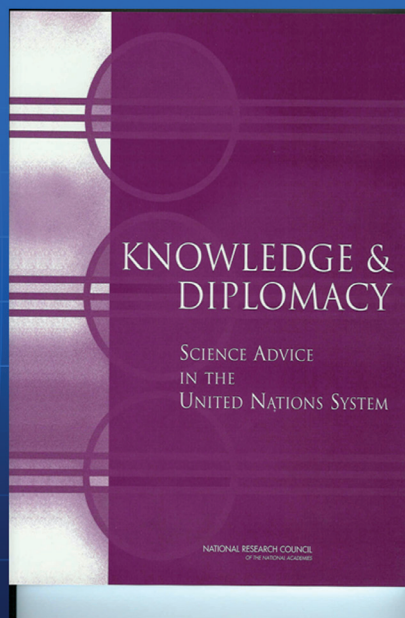
- Up to now, there's no binding instrument to regulate cloning at the international level





## Knowledge and Diplomacy

- Greater need for making informed, equitable, sustainable, and representative decisions, based on scientific understanding



## UNU-IAS Links with Academia

- Linking Japanese professors with the UN System
- Millennium Ecosystem Assessment
- Academy of Sciences of the Developing World (TWAS)
- Science Council of Japan
- Science Council of Asia
- International Council of Science (ICSU)
- International Association of Universities (IAU)
- Islamic World Academy of Sciences







UNITED NATIONS  
UNIVERSITY

### Precious Niche of UNU

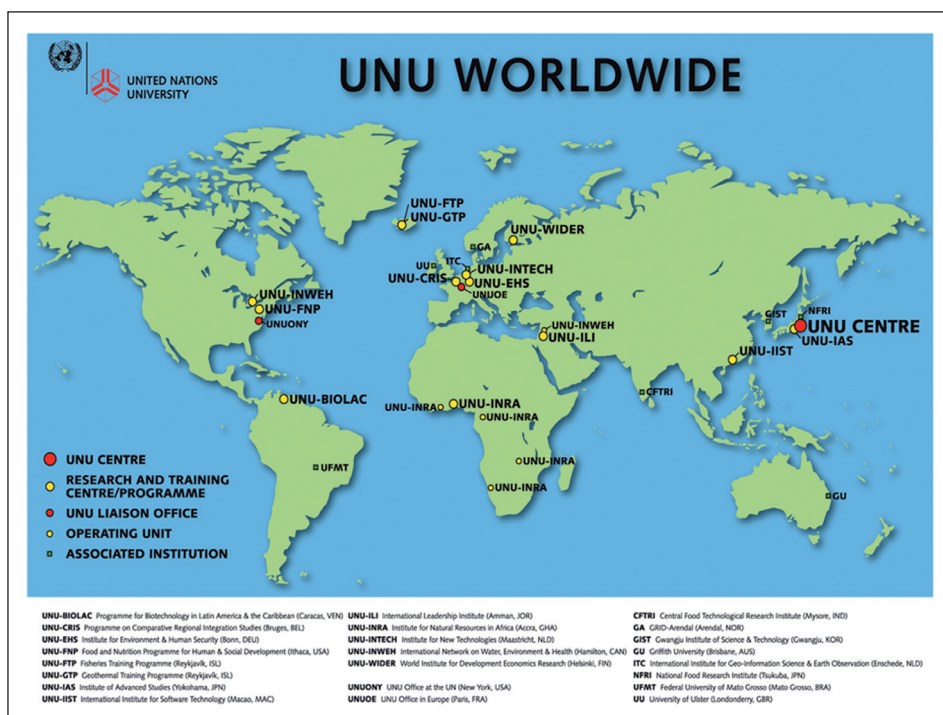
= given by the two parts of its name:  
United Nations and University

- Being a **university** provides the autonomy and independence that guarantee its objectivity and integrity;
- Being **United Nations** focuses the work of UNU on the agenda of UN: peace, security, governance; development, environment and the related science and technology.



## UNU's Mission

*"contribute, through research and capacity development, to efforts to resolve the pressing global problems that are the concern of the United Nations, its peoples and Member States"*



**UNU's Roles**

1. an international community of scholars;
2. a bridge between the United Nations and the international academic community;
3. a think-tank for the United Nations system;
4. a builder of capacity, particularly in developing countries; and
5. a platform for dialogue and new and creative ideas.

## **DISCUSSION**

**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Pr. Zakri. Je voudrais juste dire que l'Académie soutient plusieurs projets de recherche qui traitent certaines thématiques que vous avez évoquées dans votre exposé, dont deux projets intéressent l'arganier et un intéresse la propriété intellectuelle. Nous sommes malheureusement obligés de rogner un peu sur le temps imparti à la discussion.

**- Pr. Mohamed Besri** (CSTV)

Je réagis à l'exposé du Pr. Jean Dercourt qui nous a fait une excellente présentation, présentation qui nous amène à nous poser de très nombreuses questions. Personnellement, en tant qu'agronome, je m'en pose une : la planète Terre peut-elle répondre aux besoins d'une population de plus en plus galopante particulièrement en eau et en terre? Vous avez donné des chiffres montrant les disponibilités en terre dans certaines régions du globe? Cependant, à mon avis, les transformations de la planète Terre auxquelles nous assistons ne doivent pas nous plonger dans un pessimisme. Pourquoi? Parce que je pense que la planète Terre peut encore répondre aux besoins de cette population en constante progression, particulièrement en terre et en eau.

Le potentiel génétique des plantes actuellement cultivées ou de celles qui pourront l'être dans le futur, le potentiel terre et eau dont nous disposons sont encore très mal exploités. Nous avons donc encore de nombreux moyens d'action. Nous pouvons multiplier les rendements par 3 ou par 4 en exploitant au maximum ce matériel génétique. Donc, nous avons encore de nombreux moyens d'agir au service de l'humanité. Je voudrais avoir votre point de vue Monsieur le Pr. Jean Dercourt. Merci.

**- Pr. Jean Dercourt** (CSTETM)

Mon cher collègue, je suis enthousiaste de votre intervention. Ça signifie bien que c'est aux hommes qui savent et qui peuvent agir de prendre la parole et de prendre part à l'action comme vous. Je partage tout à fait l'idée que les agronomes, les hydrogéologues ont à prendre en main ce qui n'est actuellement qu'un concert de lamentations. Il est sûr que la planète peut le faire, ce que j'ai en doute c'est : veut-elle le faire? Ou bien c'est parce qu'il y aurait une quantité d'interdits qui parsèmeraient la route de l'action que je crois la situation est dangereuse. Le rôle des académies est peut être de dire parfois aux politiques qui nous gouvernent un certain nombre de choses. Hier, il y a eu à l'Académie des Sciences de France une séance très intéressante et beaucoup très surprenante la Ministre de l'écologie est venue se mettre devant la fusillade, et je dois dire qu'elle s'est comportée avec beaucoup d'attention et a dit plusieurs fois je ne sais pas que, et c'est une femme (ingénieur polytechnicien) qui a reconnue dans notre compagnie un grand nombre de ses professeurs. Mais voyez-vous nous n'avions pas su avec l'esprit qu'il convenait faire passer des messages. En dialoguant avec le pouvoir de décision, un grand pas a été fait ce jour là. Je crois que les académies ont à proclamer ce que vous venez de faire, il faut que nous sachions nous faire comprendre et répondre aux objections non scientifiques qui heurtent notre chemin.

**- Pr. Badia Bouab (CSTETM)**

Mon intervention va porter sur l'exposé que nous a fait le Pr. Patrick de Wever sur le patrimoine géologique. Ce que j'ai envie de dire si la problématique la préservation, de la valorisation et du patrimoine paraît simple dans son énoncé, à l'examen plus attentif elle se révèle d'une extrême complexité et en particulier pour nous au Maroc. En effet, pour nous, il y a d'abord un problème institutionnel. La problématique du patrimoine montre qu'il s'agit là d'un système assez complexe et qui pourrait être décliné en plusieurs sous-systèmes. D'abord celui de la recherche scientifique qui va permettre la connaissance, un deuxième sous-système celui des différents acteurs intervenants tant les autorités, les collectivités, les ministères, les populations locales qui vivent de ça; et puis enfin les retombées de la mise en valeur de ce patrimoine. Alors face à cette complexité systémique, la question qui se pose c'est quelle pourrait être encore là le rôle de l'Académie pour la sensibilisation et pour les recommandations qui s'imposent et que l'on devrait se faire?

**- Pr. Patrick de Wever (Directeur Géosciences, Muséum National d'Histoire Naturelle, France)**

Le problème institutionnel existe effectivement parce que pour faire un inventaire de patrimoine il y a d'autres priorités. Je dois avouer qu'en France on a la chance d'appartenir à la Communauté Européenne qui impose des règles et donc l'Europe nous impose de faire un inventaire Nature. Depuis la sortie de la loi en 2002, désormais les roches, les montagnes appartiennent à la Nature. Aujourd'hui les retombées c'est évidemment le géotourisme et ça implique ce qu'on appelle un développement durable.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi (Directeur des Séances)**

Ainsi nous arrivons au terme de ces séances réservées à la célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre qui est placée sous le thème «**les géosciences au service de l'Humanité**». Monsieur le Secrétaire Perpétuel vous a dit pourquoi. Le Pr. Jean Dercourt l'a brièvement souligné également. Je pense que face aux enjeux que nous avons discutés hier et ce matin, qu'ils soient des enjeux démographiques, des changements climatiques, la raréfaction des ressources, la dégradation des écosystèmes, notre Académie est interpellée à créer comment l'Humanité trouvera des moyens pour vivre dignement. Nous continuons à réfléchir ensemble à cette problématique dans toute sa dimension qu'elle soit politique, sociale ou économique. Il me reste à remercier tous les orateurs avant de passer à la Cérémonie de signature de la convention de coopération entre notre Académie et le Centre de la Recherche Scientifique de l'Espagne.



**Thématique :**

**LA CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE AU MAROC**





# CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

*Pr. Ahmed EL HASSANI*

*Directeur du Collège des Sciences et Techniques de  
l'Environnement, de la Terre et de la Mer  
Académie Hassan II des Sciences et Techniques*



## 1. Bref historique de la cartographie :

Une carte est une représentation géométrique généralement plane, simplifiée et conventionnelle, de toute la surface terrestre ou d'une partie, dans un rapport de similitude convenable. La cartographie réunit l'ensemble des études et des techniques qui permettent à l'homme de se représenter l'espace sur lequel il exerce une activité politique, économique ou scientifique.

Les hommes ont utilisé des cartes depuis la plus lointaine Antiquité, vraisemblablement avant même l'invention de l'écriture. Certains dessins sur les grottes préhistoriques pourraient bien constituer des croquis de leurs territoires.

La cartographie remonte donc aux premières civilisations, une plaquette d'argile babylonienne datant de 2500 ans avant JC est la première carte de l'humanité (fig. 1). La représentation de la terre se développa rapidement pendant l'Antiquité. La cartographie scientifique est née de la civilisation grecque, les romains, eux, optèrent pour la cartographie utilitaire.

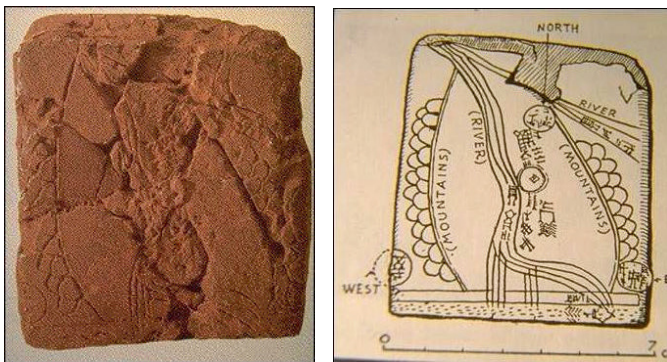


Fig. 1 : La première carte babylonienne sur plaque d'argile et son explication

La conception de la cartographie babylonienne est celle d'un univers ayant la forme d'un disque flottant sur un océan et elle se présente sous forme de petites cartes sur tablettes d'argile: surtout des cartes militaires et cadastrales (fig. 2).



Fig. 2 Carte montrant la conception d'un univers ayant la forme d'un disque flottant sur un océan.

Vient ensuite la cartographie mathématique par le passage d'une cartographie à caractère régional à une cartographie à l'échelle planétaire. La civilisation grecque apportera beaucoup à la cartographie du fait de l'apparition des peuples navigateurs - explorateurs - commerçants internationaux: les Phéniciens.

Claudius Ptolemaeus (communément appelé Ptolémée : 90-168 après J.C) est l'un des précurseurs de la géographie, auteur de plusieurs traités scientifiques qui ont exercé par la suite une très grande influence sur les sciences islamique et européenne. Il établit une carte importante pour la navigation (fig. 3).



Fig. 3 Carte de Ptolémée

Ptolémée attribua des coordonnées à tous les lieux et particularités géographiques qu'il connaissait. Il exprimait la latitude mesurée à partir de l'équateur comme aujourd'hui, selon la durée du jour le plus long plutôt qu'en degrés. Il fixa le méridien de longitude 0 au point le plus à l'ouest qu'il connaissait, les Iles Canaries.

Au 12<sup>ème</sup> siècle un cartographe arabe nommé «Al Idrissi» (1100-1165) créa une mappemonde de 350 cm x 150 cm. Le système d'Al Idrisi suivait les divisions climatiques provenant des grecs. Les cartes d'Al Idrissi sont considérées comme des chefs d'œuvres de la cartographie arabe. Elles ont eu une influence profonde sur les cartographes musulmans pendant 3 siècles.



Fig. 4 - Mappemonde d'Al Idrissi (vers 1154)

**Lorsqu'Al Idrissi arriva à Palerme en 1139**, il se lança dans la constitution d'un planisphère et d'un commentaire associé -le Livre de la promenade de celui qui désire découvrir le monde (كتاب نزهة المشتاق في اختراق الأفاق) plus communément connu sous l'appellation de Livre de Roger, qui constitue l'un des meilleurs ouvrages de cartographie médiévale.

Le Livre de Roger comprend une description de la Sicile, de l'Italie, de l'Espagne, l'Europe du Nord, et de l'Afrique, ainsi que de Byzance : c'est une description résolument universaliste .

Au 13<sup>ème</sup> siècle, on assiste à la naissance de la carte marine, elle a pour but, à l'origine, de faciliter la navigation en méditerranée. A partir de la fin du 15<sup>ème</sup> siècle, eurent lieu simultanément la redécouverte de l'œuvre de Ptolémée et les grands voyages d'exploration.

Les grandes découvertes marquent un tournant dans l'histoire de la cartographie. En effet, il était urgent pour les Royaumes d'Espagne et du Portugal de représenter ces nouveaux territoires dans le but de les rendre indiscutables. On assiste alors à la création des écoles d'hydrographie et à la naissance de nouvelles méthodes scientifiques pour la détermination des côtes. Exemple «Europe Mediterranean Catalan Atlas de 1375».





Fig 5.- Les Portulans (1300 -1500), carte nautique conçue pour la navigation

Avec la Renaissance, débute alors l'expérimentation scientifique basée sur l'ordre (notamment par Descartes), notions de cause à effet :

- Innovations technologiques d'importance (invention de l'imprimerie par Gutenberg en 1455).
- On redécouvre en occident l'œuvre de Ptolémée.

En 1477 on voit apparaître les premières cartes imprimées en occident via des plaques de cuivre gravé. Les cartes sont en noir et blanc, la couleur est mise manuellement.

Les grands voyages sur les Océans Atlantique et Indien des Hispano-Portugais Colomb, Vasco de Gama, Balboa, Magellan et El Cano, à la fin du 15<sup>ème</sup> et au début du 16<sup>ème</sup> siècle, élargirent considérablement les connaissances géographiques de la Terre. L'Amérique apparaît pour la première fois sur une carte du monde en douze feuilles de l'Allemand Waldseemüller (fig. 6).



Fig. 6 : *Universalis cosmographia secundum Ptholomaei traditionem et Americi Vespucii aliorumque lustrationes*, la mappemonde sous la direction de Martin Waldseemüller et imprimée en 1507 est la première carte sur laquelle apparaît le mot «America».

À la fin du 16<sup>ème</sup> siècle, la Terre est représentée dans sa forme et ses proportions réelles. Mais les thèses de Copernic sur le positionnement du Soleil au centre de l'Univers, appuyées ensuite par l'astronome Galilée sont rejetées catégoriquement par l'Église.

On voit donc à travers ce bref historique que la cartographie a toujours joué des rôles importants et multiples, notamment dans la connaissance des pays, dans le développement socio-économique et dans l'élaboration des plans d'aménagement de ceux-ci. De nos jours la cartographie est devenue un outil indispensable pour tout développement ou investissement durables d'un pays et, à ce titre, la cartographie géologique tient une place prépondérante.

## **2. La cartographie géologique des 20<sup>ème</sup> et 21<sup>ème</sup> siècles :**

Les cartes géologiques représentent le support principal de diffusion de l'information géologique. Elles représentent la synthèse des connaissances et localisent un nombre considérable de données sur le sous-sol. Elles sont indispensables pour l'aide à la décision en aménagement du territoire, prospection des ressources minérales, exploration et protection des eaux souterraines, lutte contre les pollutions, prévention des risques naturels et caractérisation des terroirs.

Dans tous les pays, la cartographie est une mission du Service Géologique; cette mission est d'aspects multiples et peut être décrite de la façon suivante:

- assurer l'inventaire géologique du territoire national par la collecte, la conservation et le traitement des renseignements, échantillons et documents d'ordre géologique et hydrogéologique;
- faire la synthèse de ces observations et les mettre à la disposition du public sous forme de publications et de cartes géologiques;
- faire l'inventaire des ressources naturelles du sous-sol (eaux souterraines, matériaux de construction, ..) et fournir les informations nécessaires à une gestion durable de celles-ci;
- susciter dans le grand public un certain intérêt pour les sciences de la terre, éveiller en lui une prise de conscience de leur importance fondamentale pour tout ce qui concerne l'aménagement du territoire et la protection de la nature et de l'environnement.

## **3. Pourquoi une carte géologique?**

Beaucoup de gens se demandent sans doute à quoi sert une carte géologique. Pourtant, sous les quelques centimètres ou mètres de dépôts dits superficiels (sol, limon etc), les roches sont partout sous nos pieds.

Le sous-sol supporte donc nos habitations, les industries et les ouvrages d'art (ponts, barrages), stocke notre eau potable, fournit les matières premières, sert d'entrepôt pour les déchets ou est percé de tunnels. La connaissance de la répartition spatiale des divers types de roches se révèle donc indispensable pour pouvoir résoudre des tâches pratiques dans de nombreux domaines.

D'où l'intérêt primordial de l'existence de la carte géologique qui synthétise, le mieux, l'état des connaissances du sous-sol.

Son utilité est évidente lorsque l'on se place dans l'optique du «développement durable» qui implique notamment une «gestion parcimonieuse des ressources naturelles d'un pays».

De ce fait, la carte géologique est indispensable pour :

- la gestion et l'exploitation des ressources :
  - Le gestionnaire de l'espace attend donc de la carte géologique une délimitation précise des gisements exploitables, l'aménagement des plans de secteur, la gestion des eaux souterraines, de façon à éviter le voisinage d'activités incompatibles.

En outre, les ressources du sous-sol ne sont pas renouvelables : des dizaines, voire des centaines de millions d'années furent nécessaires pour la formation de ces roches que nous dynamitons, broyons, calcinons avec tant d'ardeur. Certains de ces produits doivent être exploités avec parcimonie car ils sont limités, en particulier les roches ornementales. Nous ne pouvons nous permettre de les gaspiller en leur affectant une destination moins noble que celle que leurs qualités leur confèrent. Il faut que les générations à venir puissent elles aussi disposer de ces splendides matériaux.

De même, la carte géologique permet aux hydrogéologues de déterminer l'extension géographique des gisements d'eau souterraine et de fixer des zones de protection appropriées.

- De la carte géologique, on attend donc qu'elle nous permette d'évaluer précisément la qualité et la quantité de nos gisements de façon à en planifier l'exploitation.
- l'évaluation des risques : La carte géologique aide à la localisation de ces phénomènes pour éviter d'y installer des bâtiments ou des ouvrages d'art.

De par sa géologie, le Maroc est concerné par le risque sismique, les glissements de terrains, les inondations, les tsunamis... Nous ne sommes pas situés dans une zone de haute sismicité, pourtant, certaines régions du territoire ont connu des tremblements de terre importants (1751, 1961, 1969, 2004).

Notre pays connaît, dans sa partie nord essentiellement, des glissements de terrain (vu l'âge géologiquement jeune de la chaîne du Rif).

La cartographie géologique aide dans le choix de l'emplacement des constructions, de leur nature, des tracés des voies de communication sur les terrains les plus stables et les moins sensibles aux risques naturels. Elle permet d'identifier les zones à risques (glissements de terrain, effondrements) et proposer des sites pour la stabilité des habitations et des ouvrages d'art (ponts, barrages, routes, autoroutes, tracé de chemins de fer,...).

- l'analyse environnementale et l'aménagement du territoire en général (stockage des déchets, restauration des monuments avec des matériaux adéquats, protection des sites). De nouveau, le planificateur doit disposer d'une carte géologique précise à l'échelle des plans de secteurs pour mieux définir les sources éventuelles de pollution.

Une autre contrainte doit aussi être prise en compte, la vulnérabilité à la pollution. Il n'est pas indiqué, par exemple, de placer un zoning industriel sur un sous-sol calcaire fissuré riche en eau ou criblé de cavités karstiques, milieux très propices à la diffusion des pollutions et qui peuvent encore être déstabilisés si des industries y installent des captages pour exploiter la nappe aquifère.

Dans le cas de sites contaminés, tels que les anciennes décharges, la carte géologique permet au planificateur de disposer d'une carte précise à l'échelle des plans de secteurs. Cela permet de mieux définir les sources éventuelles de pollution et il est donc nécessaire de savoir si les roches environnantes et celles qui recouvrent le site sont suffisamment



étanches, afin que les matières susceptibles de mettre en danger l'environnement et de nuire à la santé ne puissent pas migrer plus loin.

- la recherche scientifique et l'intégration dans la cartographie géologique et la paléogéographie, la connaissance du patrimoine géologique, ainsi que dans les programmes internationaux.

Analyse environnementale, protection de l'environnement, valorisation des sites et du patrimoine géologique : La nécessité de la protection de la faune et de la flore et de leurs habitats s'est peu à peu imposée à notre mode de vie et de pensée. En revanche, l'idée de protection des formations géologiques suscite encore trop d'indifférence et d'incompréhension. Nous oublions que ce sont les seuls témoins des forces prodigieuses qui animent notre planète et des formes de vie anciennes, à jamais disparues, qui s'y sont succédées pendant des centaines de millions d'années. Pourtant le substrat géologique étudié comme mémoire de l'histoire de la Terre, devient paysage, héritage et patrimoine au moment où il est valorisé grâce à des motivations écologiques relevant de l'attrait que l'homme peut lui donner.

Le substrat géologique peut ensuite être exploité suite à des stimulations écologiques et économiques, ce qui implique la conception et la réalisation de projets touristiques ayant comme base ce substrat géologique (c'est le géotourisme) et là aussi on constate le rôle primordial de la carte géologique.

Ce concept de géotourisme s'inscrit dans une dynamique mondiale concrétisée notamment dans la politique de l'UNESCO, par la création de géo-parcs et de réserves ou de sentiers géologiques. Il repose sur l'utilisation du patrimoine géologique d'une région pour supporter son développement aussi bien en le faisant connaître (valorisation de l'intérêt scientifique, de sa rareté, de son aspect esthétique ou de son intérêt pédagogique) qu'en se servant de lui comme support d'une activité économique. Le géotourisme représente aujourd'hui un facteur essentiel du développement local.

Dans cette optique, le concept de réserve ou de sentier géologique peut donc produire de l'emploi et des nouvelles activités économiques. (Le Maroc, faut-il le rappeler, paradis des géologues, regorge de richesses dans ce sens et nous n'avons que l'embarras du choix); seulement à nos jours, le champ de la protection du patrimoine géologique est faiblement pris en compte et joue un rôle mineur.

La réhabilitation des sites en fin d'exploitation pourrait conduire à de tels projets. Elle peut consister à remettre le site dans un état qui ressemble à son état initial, c'est à dire à reboucher le trou, solution rarement satisfaisante puisque les propriétés physiques initiales ne seront pas restaurées. Il y aura donc, par exemple, peu de chances pour que le site redevienne constructible. Par contre une destination récréative est souvent envisageable: base aquatique, terrain de sport, de promenade, réserve «naturelle» ou géologique si l'exploitation a mis à nu des phénomènes géologiques dignes d'intérêt.

Des sentiers géologiques pourraient être établis dans diverses régions de notre pays, un projet est d'ailleurs en cours de réalisation (le géoparc du Mgoun) et une étude de faisabilité est également en cours pour la région de Rabat (projet financé par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques).

La carte géologique permet d'apprécier d'un seul coup d'oeil les terrains susceptibles de répondre à ces besoins (anciennes carrières etc).

## 4. Comment sont donc réalisées les cartes géologiques ?

La carte géologique est en général le reflet de son époque, il en résulte ainsi une hétérogénéité inhérente aux programmes de cartographie (exemple : Plan Naturel de Carthographie Géologique, PNCG).

### 4.1. Les levés géologiques et établissements de cartes.

L'établissement de la carte géologique est un travail complexe qui nécessite l'intervention de nombreux spécialistes et qui se subdivise en plusieurs phases successives :

La première phase consiste dans le recueil des données, effectué par un ou plusieurs géologues qui parcourent la région à cartographier. Chaque affleurement qui permet d'observer une formation géologique (tranchée de route, fouille de fondation, falaise, carrière, exploitation minière etc.) est étudié, identifié et repéré sur la carte. A ces observations de terrain s'ajoutent les données des sondages peu profonds et des forages de plus grande profondeur.

Dans une deuxième phase les échantillons de roche prélevés dans les affleurements ou dans les forage sont analysés pour en tirer le maximum d'informations possibles comme par exemple : l'âge, la nature, la composition minéralogique et éventuellement chimique, le contenu paléontologique, le milieu de formation, la texture, etc...

Ces deux premières phases des travaux cartographiques peuvent être réalisées par les ingénieurs géologues du Service géologique avec le concours de professeurs et d'étudiants des Universités et aussi de la coopération internationale; car la réalisation d'une carte géologique est l'œuvre d'une équipe multidisciplinaire en géologie.

Vient ensuite la phase de la synthèse où le géologue rassemble, ordonne et interprète l'ensemble des données recueillies tant sur le terrain qu'au laboratoire et en construit la carte géologique. Cette phase peut être complétée par l'étude de photos aériennes et de nos jours même par des images spatiales fournies par des satellites artificiels.

Jusqu'il y a quelques années, le stade suivant était le passage à un institut de cartographie pour la mise au net et en dernier lieu à l'imprimerie.

### 4.2. Du levé géologique à la cartographie numérique : modélisation spatiale et outil SIG

#### 4.2.1. Constat :

L'approche par le Système d'Informations Géographiques (SIG) présente un potentiel d'analyse et de valorisation considérable pour les données géologiques. Cette évidence, reconnue par tous, ne se traduit pour l'instant au Maroc que par peu de réalisations concrètes dans le domaine des cartes géologiques.

#### 4.2.2. Cartes géologiques et SIG :

La carte géologique traditionnelle concentre en 2D, voire en 3D (formations géologiques superposées) une gamme d'informations de natures très diverses (lithologique, chronologique, structurale, morphologique...) et de type spatial varié (données ponctuelles, linéaires, surfaciques). Chaque objet cartographié recèle une grande richesse sémantique qui se révèle lorsque l'on tente de concevoir les bases de données spatiales et tabulaires qui permettent de modéliser dans un SIG l'information contenue sur la carte géologique.

La solution SIG permet également la production de nouvelles cartes papier avec une qualité équivalente aux cartes produites à travers une chaîne d'édition classique.

La carte géologique est un témoin et un modèle obtenu à un instant donné et donc plus ou moins « périssable ». L'évolution des concepts, des connaissances, des outils et des méthodes d'analyse est telle qu'après dix à quinze années, une carte géologique est en partie périmée. Il faut alors la compléter en intégrant de nouvelles interprétations, de nouveaux concepts et surtout de nouvelles observations.

#### 4.2.3. La Cartographie numérique :

Il faut dire que la cartographie connaît une véritable mutation avec l'utilisation des outils numériques aussi bien au niveau de la fabrication des documents cartographiques que par le biais de l'intégration de ces cartes dans les systèmes d'informations géographiques et les banques de données géoréférencées interopérables.

Dans le domaine de la géologie, en particulier, la cartographie numérique a considérablement progressé et désormais une « carte géologique » est un ensemble de fichiers géoréférencés au format vecteur et stockés dans des banques de données géographiques structurées, gérées et mises à jour.

C'est au début des années 1990 que les premiers outils informatiques ont été utilisés par les géologues cartographes. Le géologue arrive depuis cette date à dessiner la maquette de la carte dès la phase d'acquisition sur le terrain et donc devenu possible pour lui de dessiner un document provisoire, qu'il peut améliorer au fur et à mesure.

Le positionnement des points d'observation sur un fond géographique est devenu possible grâce au micro-ordinateur, au GPS et aussi aux nombreux logiciels de dessins de type SIG. C'est ainsi que le géoréférencement des données s'est donc substitué au simple report manuel des points d'observation (affleurements) sur un fond topographique papier et devient ainsi au cœur des préoccupations des géologues.

Il y a seulement dix ans, l'objectif du géologue cartographe était d'amener la réalisation de la carte jusqu'à l'impression d'un document respectant au mieux les règles de la rédaction cartographique. La carte géologique imprimée comportait alors une somme considérable d'informations mais datées et donc figées dans le temps.

De nos jours, la carte géologique est un ensemble de fichiers géoréférencés au format vecteur et stockés dans des banques de données géographiques structurées, gérées et mises à jour sous le contrôle d'un administrateur de données. Le processus de production de la carte géologique s'est donc inversé, le fichier SIG précède désormais l'édition d'une carte imprimée qui ne fera pas nécessairement partie des livrables du projet.

En parallèle, le géologue a pris conscience de l'intérêt de stocker l'information géologique dans des banques de données, ce qui l'a amené à élaborer des modèles conceptuels de plus en plus sophistiqués définissant les règles logiques pour la description des données géologiques. Cette structuration lui permet de sélectionner les données dont il a besoin à partir de requêtes portant sur les différents critères préalablement notés dans sa banque de données.

## 5. Apport de la Carte géologique

La contribution de la carte géologique est très importante dans le domaine du Génie Civil: contribution de la Géologie pour la réalisation des grands projets (autoroutes, chemins de fer, tunnels, barrages,...) pour une bonne gestion du risque.

La carte permet dans ces cas de faire:

- un descriptif détaillé de la nature du sol et du sous-sol,
- Ressources hydriques,
- Ressources naturelles,
- Inventaire des structures (étude néotectonique et sismotectonique pour déterminer le zonage et le microzonage sismiques).

Dans la Gestion des Risques Naturels (L'étude de ces risques passe par diverses étapes):

- Amélioration par la carte géologique des connaissances sur les phénomènes à l'origine des aléas naturels (séismes notamment),
- Modélisation et estimation de ces aléas (réalisation de cartes de risques géologiques),
- Estimation de la vulnérabilité du bâti à l'aléa sismique,
- Dispositions à prendre dans les régions soumises à ces risques.

## 6. La cartographie géologique au Maroc

Le Maroc est qualifié de «Paradis des Géologues», par la richesse et la complexité de sa géologie, ainsi que par les potentialités en différentes ressources minérales qu'offre le sous sol national. Ce qui a conduit les pouvoirs publics à mettre en place un Plan National de Cartographie Géologique (PNCG). Ce programme visait à doter le pays d'une infrastructure géologique appropriée, outil essentiel au développement de la recherche minière et pétrolière, à l'évaluation des ressources en eau, à l'aménagement du territoire, à la protection de l'environnement, ainsi qu'à la prévention des risques naturels.

### 6.1. Taux de réalisation (source LPEE)

Depuis 1996, date de lancement du PNCG, le bilan de la cartographie géologique, géophysique, et géochimique se présente comme suit :

- Couverture géologique : 80 cartes achevées et 54 en cours
- Couverture géophysique : 136 cartes achevées et 262 en cours
- Couverture géochimique : 11 cartes achevées et 9 en cours

Ainsi, le nombre de cartes réalisées jusqu'à fin 2006 s'élève à 221 et le taux de couverture est :

- 31% en cartes géologiques, contre 27% en 2002
- 18,5% en cartes géophysiques, contre 15% en 2002
- 8,3% en cartes géochimiques, contre 6% en 2002
- La cartographie géologique avec le PNCG visait à développer les capacités du Pays en matière de cartographie géoscientifique et en matière de système d'information géologique (SIG)

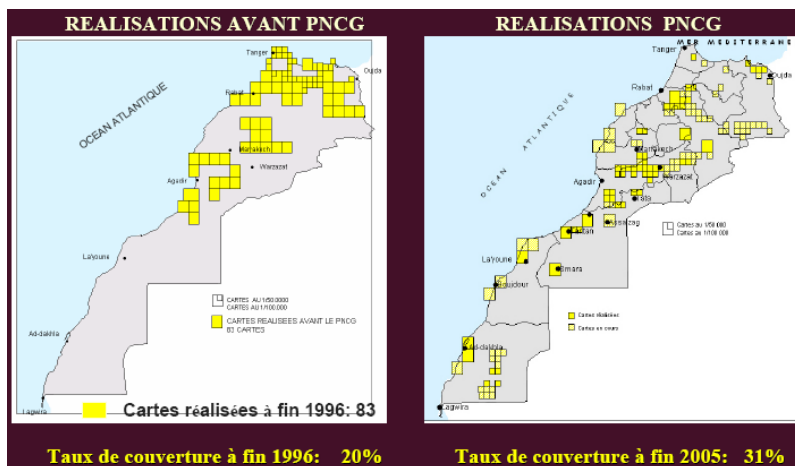


Fig : 7 – Taux de réalisations de la cartographie géologique (source MEM)

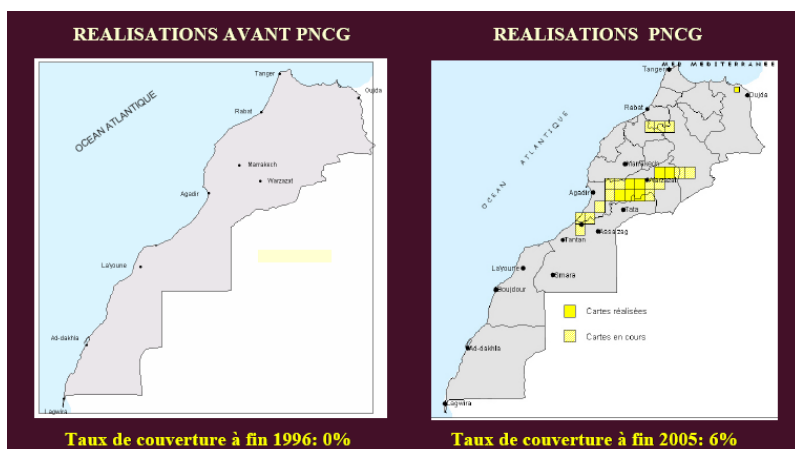


Fig : 8 – Taux de réalisations de la cartographie géochimique (source MEM)

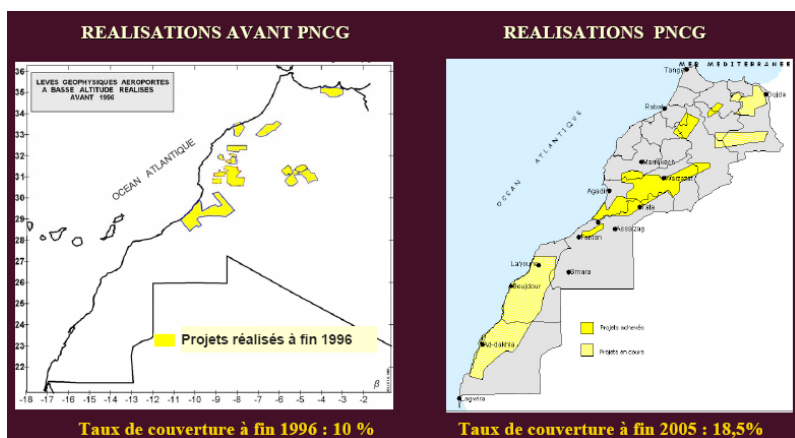


Fig : 9 – Taux de réalisations de la cartographie géophysique (source MEM)

## 6.2. Constat :

- Faibles réalisations en 10 ans,
- Ralentissement du programme depuis 2005, à cause de la suppression de la Direction de la Géologie de l'Organigramme du Ministère de l'Energie et des Mines,
- Impossibilité de couvrir le territoire national dans les délais fixés par le PNCG (soit 10 à 15 ans après son lancement),
- Ceci implique des impacts négatifs sur plusieurs projets d'investissement (sur la prospection pétrolière, la recherche minière, l'aménagement du territoire,...)

## 6.3. Les Recommandations pour notre Pays :

- Restaurer la Direction de la Géologie et du Patrimoine Géologique... ou bien,
- Créer une Institution spécialisée en Cartographie géologique (sorte d'Agence Nationale...) qui doit veiller à:
  - Associer les géologues des universités marocaines à la réalisation de ces cartes,
  - Réhabilitation des écoles de terrain,
  - Soutenir l'ouverture de module «cartographie géologique» dans le Master des Universités,
  - s'impliquer dans les écoles doctorales des Sciences de la Terre par l'attribution de bourses de recherche pour étudiants dans le cadre de marchés en cartographie.

## 7. Conclusions

Les méthodes anciennes, étant relativement abandonnées, laissent la place à l'usage du SIG et permettent de le placer au centre du processus de production des futures cartes géologiques et donc de constituer le noyau analytique et évolutif de l'information géologique.

Le géologue cartographe peut directement traduire les données de terrains dans le SIG en les confrontant, à tous les stades de production de la carte (levé, numérisation), à d'autres produits géoréférencés tels que MNT (Modèle Numérique de Terrain) et orthophotos. Cette information peut ensuite être reprise dans le processus d'édition cartographique classique grâce à un protocole de transfert des données qui a été testé.

Cette méthode a été développée originellement pour la production du SIG géologique à partir des données cartographiques de terrain, mais elle a pu être facilement adaptée à la vectorisation et au transfert sur SIG des cartes déjà publiées.

La conception et l'implémentation future d'une véritable géodatabase est un autre défi qui doit être tenu pour permettre de gérer l'information sur une large échelle.

Ainsi implémenté, le SIG géologique devrait offrir à terme une méthode d'acquisition et une plateforme d'édition commune pour les futures cartes de l'Atlas géologique marocain. Il offrira par ailleurs un outil d'analyse et de mise à jour à même de répondre aux besoins d'un large public allant de l'étudiant au décideur en passant par le chercheur et le praticien.

Une bonne gestion de la thématique permettra sans aucun doute le développement durable de notre pays dans le secteur de la cartographie en général et géologique en particulier.

## LES DINOSAURES ET LA CRISE ENVIRONNEMENTALE DE LA FIN DU CRÉTACÉ

*Pr. Philippe TAQUET*

*Muséum national d'Histoire naturelle - Paris, France*

*Membre résident de l'Académie Hassan II des*

*Sciences et Techniques*

*taquet@mnhn.fr*



### Résumé

L'histoire du monde vivant a été entrecoupée de crises majeures au cours desquelles la biodiversité a subi des fluctuations importantes. A la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années, les Dinosauriens non-aviens, les Reptiles marins, les Reptiles volants et les Ammonites disparaissent en raison des profonds bouleversements de leurs environnements.

Un examen des différents scénarios tentant d'expliquer la crise de la fin de cette période géologique, permet de retenir quatre hypothèses principales: l'extinction des espèces aurait été consécutive, soit à la chute d'un astéroïde, soit à des éruptions volcaniques intenses, soit à un refroidissement dû à une moindre activité solaire, soit tout simplement à la compétition entre espèces.

Quel scénario proposent aujourd'hui les scientifiques pour expliquer la crise de la fin du Crétacé? Cette crise a-t-elle été soudaine et brutale ou au contraire graduelle et lente? Pourquoi certaines espèces animales ont-elles survécu à la crise alors que d'autres ont disparu? Une telle crise est-elle susceptible de se reproduire dans le futur?

Au-delà des questions que nous nous posons à propos des crises biologiques, le regard porté sur le passé de la Terre et sur l'histoire de la vie nous permet de mieux comprendre le monde dans lequel nous vivons aujourd'hui.

### Introduction

Nous avons aujourd'hui une bonne connaissance de la structure de la planète sur laquelle nous vivons et nous savons quelles ont été les étapes de sa longue histoire qui a commencé il y a quelques 4 milliards 500 millions d'années. Mais il n'en a pas toujours été ainsi. En 1665, l'allemand Athanasius Kircher publiait dans deux magnifiques volumes ce qu'il pensait des mondes souterrains et il imaginait notre globe terrestre comme étant



une sphère creuse renfermant un immense feu central relié par des conduits aux volcans, réservoir autour duquel étaient réparties de grandes poches d'eaux souterraines. Ces poches communiquaient avec le fond des océans par des canaux. Pour expliquer la formation de la terre, les savants échafaudaient de multiples théories plus ingénieuses les unes que les autres, des géothéories, qui avaient pour principal défaut de ne reposer sur aucune observation fiable et convaincante.

Il a fallu attendre la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle pour qu'un naturaliste comme le Français Georges Louis Leclerc, Comte de Buffon, propose un ouvrage plus argumenté sur une *Théorie de la Terre* et sur *Les Epoques de la Nature*. Mais le regard que portaient les hommes sur la formation des terrains qui se trouvent sous leurs pieds va véritablement changer en Europe dans les années 1795-1800. Ainsi à Paris, des naturalistes travaillant dans le site privilégié qu'était le Muséum National d'Histoire Naturelle, fondé en 1793, vont par leurs découvertes et par leurs travaux, jeter les bases d'une approche très scientifique de l'étude de la Terre, en montrant qu'il était possible de reconstituer les étapes de l'histoire de notre planète grâce à l'étude des restes fossilisés que l'on trouve dans les couches qui se sont déposées les unes au-dessus des autres au cours du temps.

## Les débuts de la Géologie et de la Paléontologie

Ces recherches et ces résultats eurent lieu en plein coeur de Paris. Cela n'est pas dû au hasard, mais au contraire à des conditions extrêmement favorables: ces naturalistes regroupés dans un nouvel établissement entièrement consacré aux sciences de la nature, avaient sous leurs pieds des carrières en cours d'exploitation; des galeries souterraines, creusées sous le Jardin des Plantes et sous les rues de Paris servaient à extraire des blocs d'un calcaire compact utilisé pour la construction des immeubles, des bâtiments et des monuments de Paris. Ce calcaire était pétri de restes fossiles, de coquilles marines, d'oursins montrant que ces bancs horizontaux avaient été déposés par la mer non loin de là, sous la butte Montmartre et reposant sur ces bancs calcaires se trouvaient d'épaisses couches de gypse, gypse alors exploité en carrières souterraines dans Paris, ou à l'air libre autour de la ville, pour la fabrication du plâtre de Paris. Or les carriers trouvaient dans ces bancs de gypse des ossements, parfois des squelettes entiers de quadrupèdes, de vertébrés fossilisés. Ces restes fossiles étaient amenés au Muséum et ils furent étudiés par un jeune naturaliste qui venait d'être nommé professeur d'anatomie des animaux dans cet établissement.

Ce jeune chercheur, brillant et passionné, nommé Georges Cuvier, venait de montrer en 1795 grâce à sa connaissance de l'anatomie qu'il existait parmi les éléphants deux espèces bien distinctes, l'éléphant d'Afrique d'une part et l'éléphant d'Asie d'autre part, dont les crânes et les dents présentaient des différences caractéristiques; de plus il venait de comparer le squelette de ces deux espèces d'éléphants à une troisième espèce dont on avait récolté les ossements dans les terres gelées de Sibérie, et que l'on connaissait sous le nom de Mammouth. Cuvier démontra que les caractères ostéologiques du Mammouth en faisaient également une espèce de la famille des éléphants, mais différente de l'éléphant d'Afrique et de l'éléphant d'Asie. De plus il montra que le Mammouth n'existait qu'à l'état fossile et qu'aucune région du monde n'abritait plus de Mammouth vivant. Cette troisième espèce d'éléphant était donc une espèce *perdue*, éteinte. Ainsi grâce à l'anatomie comparée, il devenait possible d'étudier convenablement des squelettes fossiles, anciens, trouvés dans les profondeurs de la terre et de comparer leurs squelettes aux squelettes des animaux vivant aujourd'hui dans la nature.

Après l'étude du Mammouth, Cuvier étudia donc les animaux trouvés dans le gypse et il constata qu'il existait ainsi dans les couches plus profondes de l'écorce terrestre, plus anciennes que les couches gelées de Sibérie, des animaux qui n'avaient pas d'équivalent dans la nature actuelle. Cuvier allait décrire ces animaux ressemblant vaguement à des tapirs et il nomma l'un d'entre eux le *Paleotherium* (ou mammifère du passé).

Enfin, l'étude d'un énorme crâne fossile trouvé à Maastricht dans les Pays-Bas, dans des couches plus profondes encore, c'est-à-dire dans les couches de la craie, plus anciennes que celles du gypse, allait lui permettre de montrer l'existence de Reptiles de grande taille, fossilisés, sans équivalent dans la nature actuelle. Cuvier, grâce à sa connaissance de l'anatomie saura prouver que ce crâne était celui d'un grand lézard marin, présentant des affinités avec la famille des Varans, mais d'un animal aujourd'hui disparu et que l'on nommera le Mosasaure (le Saurien de la Meuse).

Ainsi Cuvier a su reconstituer une histoire géologique qui peut se diviser en plusieurs périodes parfaitement distinctes: une période très ancienne avec un monde peuplé de grands Reptiles marins et terrestres, suivie d'une période avec un monde peuplé de mammifères proches des tapirs, suivie elle-même d'une période avec un monde peuplé de Mammouths, précédant lui-même la période actuelle. Pour expliquer des changements aussi importants d'une période à l'autre, Cuvier imagina que s'étaient produits des bouleversements exceptionnels, des événements catastrophiques qu'il nomma les *Révolutions du globe*. Les faunes avaient été détruites par des catastrophes et le repeuplement avait dû se produire à partir d'aires épargnées ou protégées.

Avec son ami, le géologue Alexandre Brongniart, Cuvier va utiliser les fossiles caractéristiques de chaque formation présente dans le Bassin de Paris pour dresser la première carte géologique. Sur une carte topographique, les contours de chaque formation affleurant à la surface du sol furent dessinés et une couleur différente fut attribuée à chacune d'elle. Les deux auteurs donnèrent en même temps une coupe géologique des formations du Bassin de Paris. La lecture de cette coupe permet de suivre la succession des dépôts marins, puis après le retrait de la mer, la succession de dépôts terrestres, puis de constater le retour de la mer avec de nouveaux dépôts marins. Il devenait ainsi possible de reconstituer les différentes étapes de l'histoire de la terre et de suivre la succession des faunes dans le temps.

Ces méthodes d'étude furent perfectionnées par le grand géologue anglais Charles Lyell et exposées dans un ouvrage fameux intitulé *Principles of Geology*. Lyell au cours d'un voyage en Italie observa à Puzzuoli près de Naples les colonnes du temple romain de Serapis. Il constata que la base de ces colonnes portait jusqu'à plusieurs mètres de hauteur les restes incrustés de coquilles marines, certaines ayant perforé le calcaire. Cette observation lui permit d'affirmer que la mer était venue envahir le continent puis qu'elle s'était retirée depuis l'époque romaine. On avait en cet endroit la preuve du changement au cours du temps du niveau de la terre et de la mer. Mais à la différence de Cuvier, Lyell affirma l'existence dans l'histoire de la terre de changements graduels, progressifs et non soudains et catastrophiques.

Au fil des années et à la suite de nombreux travaux de terrain, les principales étapes de l'histoire de la vie ont été reconstituées. Après la découverte de l'existence de grands lézards marins, fut apportée la preuve à partir de 1824 de l'existence de grands reptiles terrestres. Près d'Oxford, en Grande-Bretagne fut récoltée dans des calcaires du Jurassique moyen une mâchoire d'un énorme Reptile carnivore que l'on baptisa du nom de *Megalosaurus* (le Saurien géant), puis toujours dans le même pays furent décrits les restes d'un grand

Reptile herbivore bipède que l'on nomma *Iguanodon* (l'animal à dents d'Iguane). Peu à peu furent ainsi découverts des Reptiles de grandes dimensions, appartenant à des espèces totalement disparues, dont les membres très solides étaient dressés verticalement comme ceux des mammifères (à la différence de ceux des Reptiles classiques, qui pratiquent la reptation et dont les membres s'écartent du corps obliquement). Pour ces Reptiles différents, l'Anglais Richard Owen créa en 1842 le terme de Dinosaur (ou Saurien terrible). Depuis ces premières descriptions, des centaines d'espèces de Dinosaures herbivores ou carnivores ont été récoltées sur tous les continents, dans des terrains dont l'âge va de -230 millions d'années (Trias supérieur) à 65 millions d'années (Crétacé supérieur).

Les Dinosaures ont peuplé notre planète durant 165 millions d'années, au cours de l'Ere Mésozoïque, c'est-à-dire au Trias, au Jurassique et au Crétacé. Les Dinosaures ont régné avec succès sur toute la terre, Les Platéosaures du Trias, les Diplodocus du Jurassique et les Tyrannosaures du Crétacé ont été des succès de l'évolution.

## Des Dinosaures au Maroc

Au Maroc, les couches géologiques ont livré de remarquables Dinosaures. Les premières récoltes eurent lieu dans la région d'El Mers à 85 km de la ville de Fes en 1926. Dans des couches du Bathonien (Jurassique moyen: 160 millions d'années) furent récoltés de nombreux éléments de squelettes d'un dinosaure herbivore quadrupède, qui furent décrits sous le nom de *Cetiosaurus moghrebiensis* par Albert Félix de Lapparent. Puis René Lavocat découvrait à son tour un autre Dinosaur herbivore, un Sauropode, dans l'Anti-Atlas marocain et plus précisément dans la région des Kem-Kem. Les restes de ce Dinosaur aux vertèbres pourvues d'énormes épines dorsales étaient dans un niveau du Crétacé inférieur (110 millions d'années); l'animal fut nommé *Rebbachisaurus garasbae*. Depuis cette date les découvertes se sont multipliées; les plus récentes et les plus spectaculaires ont été celle de *Atlasaurus imelakei* trouvé en 1980 dans la région de Tillougit (dans le Haut Atlas) dans un niveau du Jurassique moyen (160 millions d'années). Le squelette, complet, d'une quinzaine de mètres de longueur est celui d'un énorme Dinosaur herbivore, de la famille des Brachiosaures, dont les membres antérieurs, légèrement plus hauts que les membres postérieurs donnent à cet animal une allure de Girafe, mais d'une girafe qui serait reptilienne. Les dimensions de l'animal sont impressionnantes avec un fémur de deux mètres de longueur. Plus récemment dans le petit village de Tazouda, au Nord-Est de Skoura, dans la province de Ouarzazate, a été découvert un gisement du Jurassique inférieur (180 millions d'années) dans lequel abondent les restes de deux Dinosaures: un herbivore quadrupède qui a été nommé *Tazoudasaurus naimi* et un carnivore bipède *Berberosaurus liassicus*; le site qui a livré ces Dinosaures se trouve au sommet d'une petite colline dominant la vallée; la couche fossilifère inclinée à 45° se trouve dans un environnement tellement spectaculaire qu'il a été décidé de construire sur la couche même un bâtiment qui permettra dans un avenir proche de voir et d'admirer les ossements fossiles encore en place. Le site de Dinosaures de Tazouda deviendra l'un des hauts lieux du patrimoine géologique marocain. Enfin récemment, des restes de Dinosaures ont également été trouvés dans les niveaux de phosphates du Crétacé supérieur de la région de Khouribga.

Au Maroc, comme ailleurs, les Dinosaures ont donc peuplé avec succès notre planète; on sait aujourd'hui qu'une lignée de petits Dinosaures carnivores, aux os graciles et creux, a donné naissance à la lignée des oiseaux au cours du Jurassique supérieur. Les écailles des reptiles (qui sont faites de kératine, comme nos ongles) se sont fragmentées en minces filaments pour donner une structure originale et nouvelle, la plume. La plume fut d'abord

un très bon isolant, permettant à des animaux à la température variable de garder leur chaleur. Des plumes plus élaborées seront utilisées ensuite par les oiseaux pour voler. La capacité de voler constituant un grand avantage pour échapper aux prédateurs.

## L'extinction des Dinosaures

Mais tous les Dinosaures (à l'exception des Dinosaures engagés dans la voie menant aux oiseaux) vont disparaître de la surface de la terre, il y a 65 millions d'années. Cette disparition a fait couler beaucoup d'encre et de nombreuses hypothèses ont été avancées pour expliquer cette extinction.

Avant de passer en revue les principales explications avancées aujourd'hui par les scientifiques, il est nécessaire de rappeler que l'extinction, c'est-à-dire la mort d'une lignée animale, n'est pas un phénomène aussi exceptionnel qu'on ne le croit. Au cours des temps géologiques ont eu lieu de très grandes extinctions. On a recensé cinq extinctions majeures: la première il y a 443 millions d'années entre l'Ordovicien et le Silurien, la deuxième à la fin du Dévonien il y a environ 360 millions d'années, la troisième entre le Permien et le Trias il y a 250 millions d'années ( c'est la plus grande extinction qui ait jamais eu lieu avec la disparition de près de 90% des faunes et des flores), la quatrième entre le Trias et le Jurassique il y a 200 millions d'années, la cinquième à la fin du Crétacé il y a 65 millions d'années. Entre ces cinq extinctions majeures, ont également eu lieu d'autres extinctions moins importantes, plus d'une vingtaine. A la fin du Crétacé, il y a 65 millions d'années, disparaissent dans les océans les grands Reptiles marins, Ichthyosaures, Plésiosaures et Mosasaures; avec eux disparaissent aussi les Ammonites, mollusques céphalopodes marins logés dans une coquille enroulée en spirale dont on voit aujourd'hui de nombreux spécimens en vente au bord des routes du Maroc; disparaissent également les Bélemnites, animaux proches des seiches et des calmars dont le rostre se conserve sous forme d'un cylindre pointu à son extrémité; disparaissent également les Rudistes, organismes marins possédant deux valves dont l'une plus ou moins conique était fixée au fond de la mer. Sur les continents, les Dinosaures non aviens: herbivores quadrupèdes ou Sauropodes, Carnivores bipèdes ou Théropodes, herbivores bipèdes ou Ornithopodes, disparaissent, ainsi que tous les Reptiles volants.

Mais si tous ces groupes d'animaux sont rayés de la carte du monde, il faut noter par ailleurs que d'autres groupes survivent et franchissent sans encombre la crise biologique de la fin du Crétacé. Dans les mers, les Bryozoaires (petits organismes marins vivant en colonies), les Brachiopodes (coquillages dont l'une des valves est percée au niveau du crochet), les Gastéropodes, les Nautilies, les Oursins, les Crustacés, les Foraminifères, les Poissons, et sur terre les Lézards, les Serpents, les Crocodiles, les Oiseaux et les petits Mammifères, survivent au-delà de la limite Crétacé-Tertiaire. Pour expliquer la crise de la fin du Crétacé, il faut donc trouver une explication qui tienne compte, d'une part de la disparition au même moment d'un certain nombre de groupes zoologiques dans les mers et sur les continents, et d'autre part de la survivance d'autres groupes également dans les mers et sur les continents.

Il est intéressant d'examiner les principales hypothèses, qui reposent sur des données fiables et sérieuses, et qui proposent aujourd'hui une explication de la mort des Dinosaures il y a 65 millions d'années. Elles sont au nombre de quatre; deux font appel à des événements soudains et catastrophiques, deux font appel à des événements graduels et étalés dans le temps.

*La chute d'une météorite.* Cette hypothèse très spectaculaire a été proposée en 1980 par les américains Luis Alvarez, prix Nobel de physique et par son fils Walter, géophysicien. Ces auteurs ont noté que la disparition des Dinosaures coïncide avec la présence dans les couches de terrain à la limite Crétacé-Tertiaire, de niveaux à forte concentration d'un élément rare, un platinoïde que l'on appelle l'Iridium, d'origine extra-terrestre. Cet Iridium a été trouvé dans des niveaux déposés au fond des mers à Gubbio en Italie, à Stevns Klint au Danemark et à Zumaya au pays basque espagnol. Pour ces chercheurs, l'Iridium traduit l'impact sur la terre il y a 65 millions d'années, d'un astéroïde de six à quatorze kilomètres de diamètre. La présence dans les mêmes niveaux de grains de quartz choqués (dont la maille cristalline a été déformée) confirmerait l'existence d'une telle collision qui aurait provoqué après un effet de souffle et un tsunami, des incendies généralisés et, à plus long terme, un obscurcissement de l'atmosphère, des pluies acides et un effet de serre; tous ces événements auraient eu un effet catastrophique sur les faunes et les flores. Les chercheurs pensent aujourd'hui avoir trouvé l'emplacement de l'impact au Mexique, sur la péninsule du Yucatan; un cratère de plus de 100 km de diamètre a été détecté, enfoui aujourd'hui sous plusieurs centaines de mètres de sédiments en un lieu appelé Chicxulub.

*Les éruptions volcaniques.* En 1983, une autre équipe américaine, composée de Charles Officer et de Charles Drake, relayée à partir de 1986 par une équipe française placée sous la responsabilité de Vincent Courtillot a pu constater qu'un volcanisme très abondant, particulièrement en Inde, s'était produit à la limite Crétacé-Tertiaire. Des émissions très intenses de laves, les traps du plateau du Deccan auraient lancé durant près de cinq cent mille ans dans l'atmosphère des quantités énormes de gaz ainsi que de l'acide sulfurique. L'Iridium proviendrait en fait d'éruptions volcaniques (il n'y a pas d'Iridium dans les laves du Deccan, mais on en a trouvé dans les laves du volcan Kilauea à Hawaï ou dans les laves du Piton de la Fournaise à la Réunion. L'iridium proviendrait des couches profondes de la terre, du manteau. Les quartz déformés seraient compatibles avec une éruption volcanique. Les conséquences de ces énormes coulées basaltiques auraient été assez semblables à celles de l'impact du météorite: obscurité, ralentissement ou arrêt de la photosynthèse, puis froid intense accompagné d'abondantes pluies acides et extinction des faunes et des flores.

*Le refroidissement de la planète.* Cette hypothèse émise dès 1964 par le Français Léonard Ginsburg a été reprise par l'Américain David Archibald et l'Anglais Anthony Hallam. Pour ces auteurs, la disparition des Dinosaures coïncide avec un retrait général des mers, à une régression à la fin du Crétacé et cette régression est corrélative d'un refroidissement de la planète. L'abaissement de la température, accentué par une plus grande extension des terres émergées (les hivers deviennent plus froids et les étés plus chauds), aurait entraîné la disparition des animaux plus sensibles au froid et une réduction importante des surfaces habitables par les organismes marins. La mesure des températures des océans de l'époque est possible grâce au dosage des isotopes ( $O^{16}$  et  $O^{18}$ ) de l'oxygène des cristaux du carbonate de calcium qui constitue la coquille des organismes marins qui se sont construits à la fin du Crétacé. Le rapport des deux isotopes est fonction de la température de l'eau de mer au moment où l'organisme construit son squelette. La mesure de ces paléotempératures par l'Australien Larry Frakes en 1979 a montré qu'il y avait une diminution progressive, graduelle, de la température de l'eau de la surface des océans au cours du Crétacé supérieur. Le refroidissement s'est accentué pendant plusieurs millions d'années. Le phénomène a été graduel et seuls les animaux les plus adaptés à lutter contre le froid ont su résister à ce changement climatique et à cette crise de l'environnement.

*La compétition entre espèces.* Un certain nombre de paléontologues, comme les Américains Robert Sloan ou William Clemens préfèrent privilégier des explications faisant appel à des modifications progressives et graduelles du milieu qui ajoutées à la compétition entre les espèces auraient été suffisantes pour expliquer la crise de la fin du Crétacé. On connaît bien un certain nombre de cas où un tel modèle s'applique parfaitement. Ainsi, l'isthme de Panama a permis le passage des faunes d'Amérique du Nord vers l'Amérique du Sud et les mammifères du Nord ont éliminé peu à peu les mammifères du Sud. La faune des grands Edentés avec notamment le célèbre *Megatherium* a disparu sous la pression des carnivores venus du Nord. Certains auteurs pensent que les petits mammifères, plus actifs, nocturnes, capables de se réfugier dans des terriers et d'hiberner ont été plus compétitifs que les grands Reptiles.

Aujourd'hui, les derniers travaux ont permis d'apporter quelques compléments aux hypothèses émises par les chercheurs. Des forages profonds dans les sédiments déposés au-dessus du cratère de Chicxulub ont montré que le fameux impact de l'énorme météorite s'était produit 300.000 ans avant la limite Crétacé-Tertiaire. La chute de la météorite ne peut donc être la cause unique de la disparition des Dinosaures. Les effets de cet impact ont probablement été beaucoup moins importants que ne l'avaient imaginé les auteurs américains.

Un certain consensus se dégage maintenant pour proposer une explication qui tienne compte en fait des quatre hypothèses avancées. Le scénario proposé serait le suivant: à la fin du Crétacé, 5 ou 6 millions d'années avant la limite Crétacé-Tertiaire, le climat se refroidit par suite d'une moindre activité solaire et par suite des changements intervenant dans les courants océaniques avec la nouvelle disposition des continents. Puis d'importantes éruptions volcaniques se déclenchent sur la péninsule du Deccan en Inde à la limite Crétacé-Tertiaire et ce pendant 500.000 ans; à ces éruptions s'ajoute la chute d'une grosse météorite; enfin la compétition opère un tri parmi les espèces animales et végétales et seuls vont survivre les plus adaptées. La crise de la fin du Crétacé n'est donc pas due à une cause unique mais à une série de causes dont la somme va provoquer une crise environnementale majeure.

## Conclusion

L'étude du passé nous permet donc de constater que l'histoire de la terre et l'histoire de la vie sur terre ne s'écoulent pas comme de longs fleuves tranquilles; cette histoire est pleine d'aléas; elle est marquée par des périodes d'expansion de la vie et par des crises plus ou moins fortes. Ce regard porté sur le passé peut-il nous aider à mieux comprendre notre environnement aujourd'hui? Oui, dans la mesure où nous savons que rien n'est immobile, que les continents se déplacent lentement mais sûrement, que les climats changent, que le niveau des mers change constamment, que les faunes et les flores évoluent sans cesse.

L'examen de la situation présente de notre planète nous permet de faire deux constatations: la première est qu'une sixième extinction est probablement en cours. Mais à la différence des cinq premières, celle-ci est due entièrement à la présence de l'homme et aux pressions qu'il exerce sur les milieux naturels. Dans la nature actuelle, l'homme a été responsable de la disparition de nombreuses espèces et d'autres, de par sa faute, sont en voie d'extinction. Parmi celles qui ont définitivement disparu, on peut citer le pigeon migrateur d'Amérique du Nord, qui peuplait ce continent par milliards d'individus au XIXe siècle et dont le dernier représentant à l'état sauvage a été tué dans l'Ohio en 1900. Le dernier pigeon en captivité est mort au Zoo de Cincinnati le 1er septembre 1914. Une chasse intensive a fini par éliminer une espèce qui était pourtant très abondante. Le fameux Dodo de l'Île Maurice, sorte de gros pigeon incapable de



voler, a également disparu. Il servait de garde-manger aux marins qui faisaient escale dans cette île au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle et qui emportaient sur leurs navires une nourriture excellente et alors abondante. La deuxième constatation est tirée des résultats publiés récemment par tous les spécialistes du climat, qui, rassemblés au sein d'un Groupement International pour l'Etude du Climat (GIEC), ont pu mesurer de façon précise le lent réchauffement de notre planète, réchauffement dû en partie au gaz carbonique que l'homme rejette dans l'atmosphère à cause de ses activités industrielles. Ce lent réchauffement peut avoir, s'il n'est pas maîtrisé, de graves conséquences, dont la plus évidente concerne l'élévation du niveau de la mer par suite de la fonte des glaces de l'Arctique et de l'Antarctique

A la différence des Dinosaures qui subissaient les changements de leur environnement sans pouvoir influencer sur ceux-ci à la fin du Crétacé, l'homme, conscient de ses responsabilités et soucieux de préserver la planète qui lui fournit les moyens de se chauffer, de s'habiller, de s'alimenter, de se soigner, a la capacité d'agir et de prendre des mesures efficaces. Réduire l'effet de serre, stocker le CO<sub>2</sub> dans le sous-sol, économiser les énergies, protéger la biodiversité sont autant de programmes qui, en cette Année Internationale de la Planète Terre, témoignent de l'attention qui est portée aujourd'hui à notre futur.

Faute de s'adapter les hommes seraient alors soumis au même sort que les Dinosaures; ils risqueraient de disparaître pour laisser la place à quelque espèce animale plus adaptée ou plus opportuniste. Fort heureusement nous n'en sommes pas là et il est du devoir des hommes de science et de membres des Académies des Sciences ou des sociétés savantes, d'informer les responsables et les décideurs de ce que nous savons de l'état de la planète Terre.

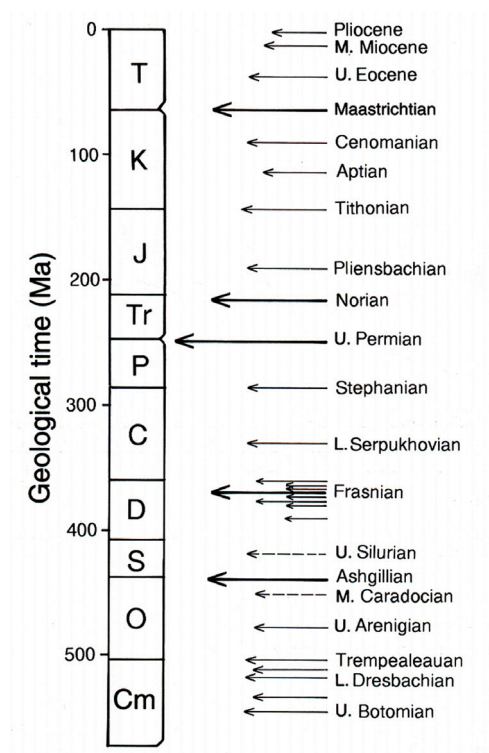


Fig 1. Les crises de l'histoire de la vie



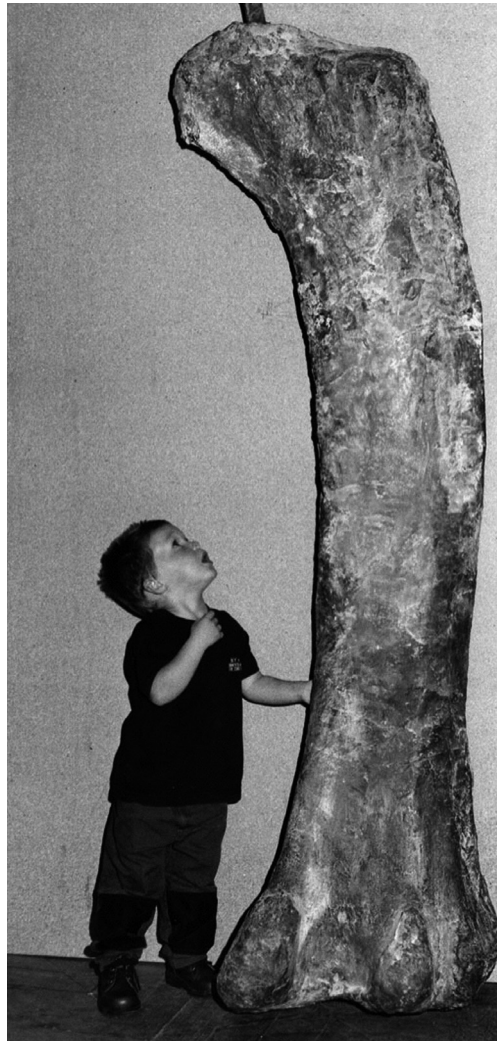


Fig 2. Le fémur du Dinosaur Sauropode marocain *Atlasaurus imelakei*

## Bibliographie

- Allain R., Aquesbi N., Dejans J., Meyer C., Monbaron M., Montenat C., Richir P., Rochdy M., Russell, Taquet D.A., 2004 A basal sauropod dinosaur from the Early Jurassic of Morocco. *Comptes rendus Palevol.* 3, 199-208.
- Archibald D. 1996. Dinosaur Extinction and the End of an Era. Columbia University Press.
- Courtillot V. 1995. La vie en Catastrophes. Fayard.
- Cuvier G. 1825 Discours sur les Révolutions de la Surface du Globe et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal; réimprimé en 1985. Ed. Christian Bourgeois.
- Hallam A. et Wignall P.B. 1997. Mass Extinctions and their Aftermath. Oxford University Press.
- Lapparent A.F. de, 1955. Etude paléontologique des vertébrés du Jurassique d'El Mers (Moyen Atlas). *Service Géologique du Maroc. Notes et Mémoires.* 124.

- Lavocat R. 1951. Découverte de restes d'un grand Dinosaurien sauropode dans le Crétacé du Sud marocain. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 232, 169-170.
- Lavocat R. 1954. Reconnaissance géologique dans les Hammadas des confins algéro-marocains du sud. *Notes et Mémoires du service géologique du Maroc*. 116, 1-147.
- Lyell C. 1830. Principles of Geology ; réimprimé en 1990. University of Chicago Press.
- Monbaron M. et Taquet P. 1981. Découverte du squelette complet d'un grand Cétiosaure (Dinosaure Sauropode) dans le bassin jurassique moyen de Tilougguit (Haut Atlas central, Maroc), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 292, 2, 243-246.
- Monbaron M., Russell D.A., Taquet P. 1999. *Atlasaurus imelakei*, n.g., n.sp., a brachiosaurid-like sauropod from the Middle Jurassic of Morocco. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 329, 519- 526.
- Officer C. et Page J. 1996. The Great Dinosaur Controversy. Addison-Wesley Publishing Company.
- Taquet P. 2000. L'Empreinte des Dinosaures. Ed. Odile Jacob.
- Termier H., Gubler J. et Lapparent F. de. 1940. Reptiles et Poissons du Bathonien d'El Mers (Moyen-Atlas marocain). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 210, 768-770.

## LES MÉTÉORITES DU MAROC : UNE RICHESSE SCIENTIFIQUE ET UN PATRIMOINE À PRÉSERVER

*Pr. Hasnaa CHENNAOUI AOUDJEHANE*

*Laboratoire de Géosciences, Faculté des Sciences  
Université Hassan II Aïn Chock, Casablanca*

*[h.chennaoui@fsac.ac.ma](mailto:h.chennaoui@fsac.ac.ma)*



### Résumé

Les collectes de météorites se font essentiellement dans les déserts chauds (Oman, Lybie...) ou froids (Antarctique), à ce titre, le sud du Maroc est un lieu privilégié de collecte. Les météorites du Maroc sont sujettes à une convoitise de la part des collectionneurs et des scientifiques. Toutes les sortes de météorites connues existent au Maroc, elles sont collectées par des nomades dans les parties désertiques du sud du Royaume. Plusieurs d'entre elles constituent une richesse scientifique de par leur origine et leur rareté : près de la moitié des météorites martiennes connues à ce jour, bon nombre de météorites lunaires, des angrites... sont d'origine marocaine.

Le 24 Novembre 2004 à 11h45, le Maroc a vécu la chute d'une météorite sur la région de Benguerir, cette chute a été décrite et classifiée scientifiquement en un temps record de 3 semaines par les scientifiques marocains avec l'étroite collaboration des autorités locales, ce qui a permis de conforter la position internationale des chercheurs marocains dans le domaine. Pour la première fois, une chute marocaine a eu le privilège d'accéder à un nom de lieu, puisque le nom de la «Météorite de Benguerir» lui a été attribué. La même démarche est suivie pour d'autres trouvailles sur le sol marocain qui portent également des noms de lieu telles que la météorite d'Al Haggounia, la météorite d'Anoual... Toutes les autres trouvailles dont l'origine n'est pas correctement définie sont classées dans l'ensemble des météorites NWA (North West Africa) qui peuvent venir du Maroc, d'Algérie, de Lybie, du Mali, du Niger, du Nigéria, de la Mauritanie...

Les météorites du Maroc représentent une richesse inestimable mais épuisable, une structure de type Musée devrait leur être dédiée pour permettre leur préservation et pour permettre au public marocain et étranger de les apprécier. Un laboratoire d'analyses de ces objets extraterrestres devrait également être monté pour maintenir le niveau de production scientifique internationale des chercheurs marocains dans le domaine de la planétologie.

## Introduction

Les météorites ont représenté durant les cinquante dernières années une source inestimable de connaissances sur la formation et l'origine du système solaire, des planètes en général et de la Terre en particulier, l'extinction de différentes espèces animales durant les temps géologiques... Leur étude permet d'avoir accès directement à des roches de planètes non encore explorées mais également à des roches qui seraient l'image des précurseurs des planètes figées à l'état initial de leur formation.

Le Maroc est l'un des pays les plus riches au monde sur le plan géologique, en témoignent les espèces minérales et fossiles uniques, exhibées dans les plus prestigieux musées internationaux et les stratotypes représentant quasiment toute l'échelle géologique depuis l'archéen à l'actuel. En plus de ces richesses connues, une nouvelle richesse est apparue depuis une dizaine d'années il s'agit des météorites.

Les travaux entrepris sur quelques unes de ces météorites (Chennaoui et al, 2002 à 2007), nous ont permis la publication de résultats originaux, notamment sur la transformation des phases de silice haute pression en tant qu'indicateur de l'intensité du choc dans les météorites martiennes, les phases de silice dans les météorites lunaires dans lesquelles pour la première fois il a été décrit des phases de très haute pression telles que la stishovite ou la seifertite qui permettent de conforter la théorie du bombardement tardif de la lune (Chennaoui et al, 2008, en préparation).

Malgré cette richesse, notre pays ne dispose d'aucune structure de recherche et de préservation de ce patrimoine qui s'épuise à vue d'œil. La communauté scientifique travaillant sur les météorites a été largement sensibilisée à cette déperdition de patrimoine et est disposée à contribuer à sa préservation, nous avons organisé en ce sens un «workshop» sur les météorites du désert, en Août 2006 qui a regroupé près de 80 chercheurs de 17 pays qui ont débattu de cette problématique (MAPS, août 2006).

## Historique

Dans la tradition arabo-musulmane, la croyance voulait que lorsqu'on voit une étoile filante, cela veut dire qu'un grand de ce monde est décédé (Chennaoui et al, 2007b). Une autre explication donnée est celle que les anges chassent les démons des portes de l'au-delà par des jets de pierres incandescentes. Cette dernière croyance tire son origine des versets coraniques décrivant cette lapidation. Plusieurs sourates en parlent, nous citerons (traductions D. Masson) :

- Sourate Al-Sâffât (des Rangées en rang) 37.6-10 mecquoise primitive : «Nous avons décoré le ciel le plus proche d'un ornement d'étoiles afin de le protéger contre tout démon rebelle. Les démons ne peuvent écouter les chefs suprêmes, car ils sont harcelés de tous côtés; ils sont repoussés; ils subiront un châtement éternel à moins que l'un d'eux ne saisisse au vol quelque chose; mais il serait atteint par un bolide flamboyant (shihab thâqib)».

- Sourate Al-Jinn (des Djins) 72.8-9 mecquoise tardive : «Oui, et nous avons touché au ciel, puis nous l'avons trouvé plein d'une forte garde et de bolides (shuhubân), et nous y prenions siège, aux places assises, à l'écoute. Mais quiconque prête l'oreille maintenant trouve contre lui un bolide (shihab), aux aguets».

- Sourate Al-Mulk (de la Royauté) 67-5 méccquoise intermédiaire : «Et très certainement Nous avons embelli de lampes (masâbih) le ciel le plus proche, et Nous les avons désignées comme moyen de lapider (rujûm) les diables pour qui cependant Nous avons préparé le châtiment de l'enfer-Sair».

- Sourate Al-Hajr 15. 16-18 méccquoise primitive : «Très certainement, Nous avons assigné au ciel des constellations et Nous l'avons embelli pour ceux qui regardent. Et Nous le gardons contre tout diable ennemi (Satan lapidé). A moins que l'un d'eux cherche à en voler l'écoute, un bolide fulgurant (shihâb) alors le poursuit».

- Sourate Al-Tariq (de l'Arrivant du soir) 86. 2-3 méccquoise primitive : «Et qui te dira ce qu'est l'arrivant du soir? C'est un astre flamboyant (al najm al thâqib)».

Ainsi, plusieurs concepts sont d'ores et déjà évoqués dans le saint Coran, les météorites sont citées à plusieurs reprises dans différentes sourates. Elles sont déjà présentées comme des roches extraterrestres, la notion de chute de plusieurs objets simultanée est avancée ainsi que la notion de chaleur ; bien avant que la science moderne n'en définisse définitivement l'origine. Une différence subtile est faite entre le «bolide fulgurant» ou «astre flamboyant» qui s'apparente plus aux comètes et les «rujûm» (cailloux de lapidation) qui évoquent plutôt les météorites.

L'astronomie Arabe ou Musulmane a eu ses heures de gloire au Moyen Age à partir du IXe siècle, pendant « l'âge d'or de la civilisation arabo-musulmane ». Nous citerons à titre d'exemple Al-Biruni (973-1039), Omar Khayyam (1048-1131), Al-Battani (855-923) ou encore Al-Kindi (801-873) qui a écrit 16 ouvrages d'astronomie. Ces grands noms des sciences Arabo-musulmanes ont largement contribué aux fondements des connaissances ultérieures de l'astronomie. Nous n'avons cependant pas été en mesure de retrouver des ouvrages ou écrits dédiés aux météorites.

Le lieu saint de l'islam : la «Quaaba», abrite la roche noire «Al Hajar al asoud» qui pourrait être d'origine extraterrestre.

Ce n'est qu'en 1794, que les fondements scientifiques actuels de la connaissance des météorites et leurs origines furent établis par un physicien Allemand : Chladni (Marvin, 1996), qui fut le premier à suggérer l'origine extraterrestre de ces roches. Les croyances voulaient que ces objets fussent des éjectas de volcans, transportés par le vent ou les nuages jusqu'à l'endroit de leur chute.

Le fer météoritique était cependant connu des hommes préhistoriques, les premiers objets en fer confectionnés par l'Homme l'ont été par du fer issu de sidérites (Météorites exclusivement composées de fer et de nickel).

En arabe, nayzak, nayazik : météorite, météorites; shuhub : étoiles filantes, météores; moudannab, moudannabat : comète, comètes.

## Définitions, présentation générale

Les météorites sont des roches arrachées à un corps parent suite à une collision avec un autre objet (Zanda et al 1996). Les corps parents sont soit des **astéroïdes** soit des **planètes** (Lune, Mars...). La plupart des astéroïdes appartiennent à la **ceinture d'astéroïdes** située entre **Mars et Jupiter**. Il a même été décrit un échantillon de météorite de fer découvert

sur le sol martien lors de la mission d'exploration de Mars par le Rover Opportunity de la NASA (Image en couverture de MAPS, January 2005, Vol 40, N°1).

On parle de **chute** (fall) lorsque l'objet a été observé lors de sa chute, et de **trouvaille** (find) lorsque la chute n'a pas été observée. Les chutes observées sont des phénomènes assez rares, il en est déclaré moins de dix par an au Comité de Nomenclature de la Meteoritical Society, seul organisme habilité à recevoir les déclarations officielles des météorites dans le monde. Tandis que pour les trouvailles, leur rythme s'est accentué de façon spectaculaire depuis une dizaine d'années suite aux trouvailles dans les déserts chauds du Maroc, Algérie, Lybie, Oman...

Les météorites ayant subi une altération importante, tant qu'on y reconnaît encore la structure originale ou qu'elles ont encore quelques minéraux originaux, sont appelées «**météorites fossiles**». Ces météorites sont classées dans une catégorie à part «**relict-meteorites**».

Il est actuellement admis que l'origine des météorites de la famille des **chondrites** (elles représentent plus de 95% des météorites), est probablement la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter. Elles peuvent également provenir de planètes appelées corps parents, auxquels des morceaux ont été arrachés, dans ce cas là, elles sont classées comme **achondrite**. Les **chondrites carbonées** quant à elles proviendraient de comètes. L'une des particularités des météorites est la présence dans leur métal de quantités importantes de **nickel**.

Elles ont survécu à la traversée de l'atmosphère et on peut les retrouver au sol après leur chute. Arrachées lors de collisions entre objets célestes, elles peuvent entrer en collision avec la Terre si leur trajectoire croise celle de notre planète. Elles sont alors freinées par l'atmosphère terrestre et les frottements qu'elles subissent provoquent des échauffements de surface susceptibles d'atteindre plusieurs milliers de degrés Celsius, entraînant une fusion de la partie la plus externe de la météorite. Cette traversée de l'atmosphère modifie l'aspect extérieur de la météorite, elle perd une partie de sa matière qui se volatilise en vapeurs et poussières, elle peut se fragmenter en plusieurs morceaux et se couvrir d'une pellicule noire d'épaisseur inframillimétrique appelée «**croûte de fusion**» et des ravinements caractéristiques, semblables à des traces de doigts, appelés «**regmaglyptes**» Fig 1

L'intérieur de la météorite n'est pas modifié, sa température reste proche de celle du froid interplanétaire. Lors de sa traversée de l'atmosphère, du fait de l'échauffement violent de sa surface, des phénomènes lumineux appelés «**météores**» sont visibles depuis le sol : lorsqu'il s'agit d'une météorite, on voit une boule de feu très brillante.

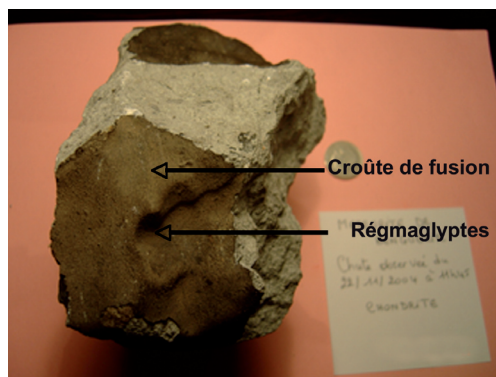


Fig. 1 : Chondrite ordinaire Benguerir LL6 (chute observée)

L'endroit de la chute est parfaitement aléatoire, cependant, lors de la chute de plusieurs morceaux, ils se répartissent selon une «**ellipse de chute**». Elle définit la zone sur laquelle se répartissent les fragments d'une même chute météoritique et a généralement la forme d'une ellipse. Les plus petits fragments sont freinés et voyagent moins loin que les gros: la répartition des fragments en fonction de leur masse permet d'estimer la direction du bolide (Chennaoui et al, 2007c).

Selon la taille de la météorite, les effets sur le sol encaissant sont plus ou moins importants (Carion, 1997). Lorsque la météorite est de taille importante, elle laisse sur le sol un trou appelé «**cratère d'impact**» exemple : le Meteor Crater en Arizona. Lorsqu'elles sont plus petites, leurs effets sont moindres, notons tout de même que pour la météorite de Benguerir (quelques kg), l'un des lieux répertoriés de la chute présentait une fracture du granite encaissant (cf paragraphe la Météorite de Benguerir) ; ceci témoigne de l'intensité de l'impact (Chennaoui et al, 2006a).

Les exemples de météorites ayant provoqué d'importants dégâts sont quasi-nuls de mémoire d'humains. On notera par exemple la chute de la météorite martienne «Nakhla» qui aurait tué un chien ou la météorite de «Peekskill» tombée sur une voiture en provoquant un trou dans celle-ci, ces exemples sont anecdotiques. Ce n'est pas le cas si on considère le temps à l'échelle géologique : plusieurs extinctions massives d'espèces sont actuellement liées avec certitude à des chutes de météorites géantes qui auraient bouleversées l'équilibre sur Terre.

L'exemple le plus connu est celui de l'extinction des dinosaures à la limite crétacé-tertiaire. Actuellement, il est admis par la communauté scientifique que cette extinction est liée à la chute d'une météorite géante qui aurait provoqué la formation du cratère du Chicxulub dans la province du Yucatan au Mexique (Alvarez et al, 1979, Pope et al, 1996, 1997...).

L'observation des corps solides du système solaire montre la présence quasi systématique de cratères à leur surface. Cependant, certains sont d'avantage cratérisés que d'autres. Sur Terre, jusqu'aux années 60, seuls une dizaine de cratères d'impact avaient été identifiés. Actuellement, leur nombre est d'environ 150. Ce nombre est restreint comparativement à la surface de la Lune, Mercure ou Mars qui en présentent des millions. L'explication de ce phénomène est venue suite à l'exploration de la surface de la Lune sur laquelle on a vu qu'il n'y avait pas d'érosion, ni de mouvements de sol. Ainsi, un cratère produit par l'impact d'une météorite est immuable, il n'est susceptible de disparaître que s'il est détruit par un cratère plus grand ou recouvert par une coulée de lave.

Bien que leur origine extraterrestre ait été avancée par Chladni (1794), ce n'est que lors des cinquante dernières années que l'étude des météorites a fait un bond spectaculaire. Elle a permis d'en définir l'origine exacte (astéroïdes ou planètes), d'en définir les âges exacts, les compositions exactes...

Elles sont encore source de bien des recherches et controverses scientifiques de fond. Les exemples sont nombreux : origine vénusienne du groupe des angrites (Jambon 2004, Palme 2000), âge ancien des météorites martiennes, intensité du choc dans les météorites martiennes, origine des HED (Howardites, Eucrites, Diogénites)



## Classification des météorites

On classe les météorites en deux grands groupes principalement : Les météorites primitives et les météorites différenciées (**Rubin 1997a, 1997b, Fig2**).

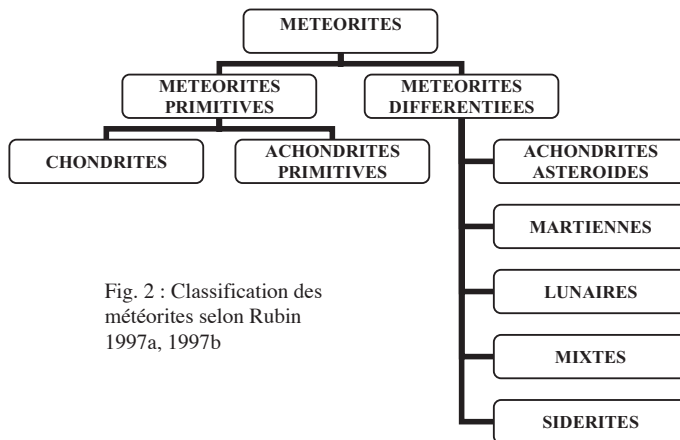


Fig. 2 : Classification des météorites selon Rubin 1997a, 1997b

## Les météorites primitives

Provenant de petits corps de la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter, elles sont appelées chondrites (Fig 3).

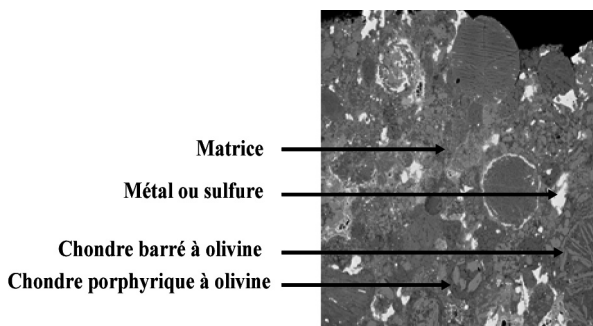


Fig. 3 : Chondrite ordinaire NWA 2166 L3.8(trouvaille)

Les chondrites tirent leur nom des structures sphériques ou chondres (Fig 3), qu'elles contiennent et que l'on ne retrouve dans aucune roche terrestre. Les chondres peuvent constituer jusqu'à 80% d'une chondrite. Les chondres sont réunis par une mésostase finement cristallisée, opaque en lumière polarisée, appelée «matrice». Certaines chondrites peuvent contenir des inclusions réfractaires (= agrégats de minéraux réfractaires; constitués à base d'éléments réfractaires : Ca, Ti, Al..., stables à haute température dans les conditions nébulaires de haute pression, ils sont les premiers à se condenser à partir d'un gaz se refroidissant ou les derniers à s'évaporer à partir un solide chauffé), il s'agit essentiellement des chondrites carbonées. Les trois composants des chondrites, à savoir, les chondres, la matrice et les inclusions réfractaires lorsqu'il y en a, sont tous issus de la nébuleuse protosolaire.

Les minéraux les plus courants dans les chondrites sont l'olivine, les pyroxènes, des sulfures et du métal. Les chondrites sont les météorites qui présentent le plus de similitudes

dans leurs compositions chimiques. Il a donc fallu trouver des critères de classement chimiques subtils pour les différencier. Les géochimistes dans les années 50 ont donc opté pour l'utilisation des éléments lithophiles Mg et Ca, qui ont une aptitude à se combiner à l'oxygène concentré dans les phases silicatées des chondrites. L'usage de ces éléments pour la classification des chondrites, permet de différencier 5 groupes (Norton, 2002):

- 1- les chondrites à enstatite (EC) avec des rapports Mg/Si et Ca/Si les plus faibles,
- 2- les chondrites carbonées (CC) avec les rapports les plus élevés, et
- 3-4-5- les chondrites ordinaires (OC) qui sont divisées en 3 groupes H, L et LL avec des rapports intermédiaires bien distincts les uns des autres.

Une autre distinction est bien visible lorsque l'on confronte les pourcentages pondéraux de fer métal et sulfures aux oxydes de fer (Mason, 1962), ici aussi, on distingue le groupe des chondrites à enstatite avec un très faible degré d'oxydation et les chondrites carbonées avec un degré d'oxydation maximal, et entre les deux, les trois groupes de chondrites ordinaires H, L et LL.

La classification des chondrites ordinaires se fait actuellement sur la base du rapport  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$  en pourcentage moléculaire dans les minéraux qui les contiennent le plus à savoir l'olivine et les pyroxènes.

Dans les météorites, les olivines sont identifiées par leur teneur en fayalite Fa (Freidriksson and Keil, 1964, Norton 2002), qui est généralement compris entre 15 et 30% (Tableau 1).

Dans les chondrites, les pyroxènes, sont surtout des orthopyroxènes, ne contenant pas de Ca, présentant une solution solide comprise entre les pôles enstatite  $\text{MgSiO}_3$  et ferrosilite  $\text{FeSiO}_3$ , ne dépassant pas le terme bronzite, ils sont exprimés comme dans l'olivine en pourcentage molaire de ferrosilite Fs (Tableau 1). Dans les achondrites on peut rencontrer principalement des clinopyroxènes avec un certain pourcentage de calcium.

Tableau 1 : Classification des chondrites à enstatite (EH et EL) et des chondrites (OC) (H, L, LL) selon leur composition en fer total (oxydé et non oxydé). Les pourcentages de fayalite (Fa) et de ferrosilite (Fs) sont des indicateurs de chaque groupe (Norton, 2002).

Clan	Groupe	Métal (wt%)	Fer total (wt%)	Fa (mole%)	Fs (mole%)
E	H & L	17-23	22-33	<1	0
OC	H	15-19	25-30	16-20	14-20
	L	1-10	20-23	21-25	20-30
	LL	1-3	19-22	26-32	32-40

## Les météorites différenciées

Provenant de corps différenciés tels que Mars ou la Lune ou d'astéroïdes d'une dimension suffisamment grande pour pouvoir disposer d'un noyau et d'un manteau, ce sont des achondrites. Par opposition aux chondrites, elles ne contiennent pas de chondres, le processus de différenciation a permis la séparation et la migration du métal vers le noyau, les silicates restent au niveau du manteau.

Il n'est pas encore officiellement admis que certaines météorites pourraient avoir comme corps parent Mercure ou Vénus, même si certaines études le supposent (Jambon, 2004 ; Palme, 2000). La composition et les assemblages minéralogiques des achondrites sont très ressemblants à ceux de roches ignées terrestres. On y retrouve essentiellement des olivines, des pyroxènes, des feldspaths et parfois de la silice, du métal et des sulfures.

## Critères de reconnaissance des météorites

La reconnaissance des chondrites passe par une observation macroscopique : on peut voir la présence de la croûte de fusion (Fig 1) lorsqu'elle est conservée, de chondres (Fig 3) et de la capacité à attirer un aimant du fait de la présence de métal essentiellement dans les chondrites ordinaires et les chondrites à enstatite.

En revanche, les achondrites, ressemblent aux roches ignées terrestres, d'autant que la croûte de fusion qui est un bon critère de reconnaissance est rarement préservée. Celle-ci disparaît souvent sous l'effet de l'altération, eu égard au long séjour passé sur Terre avant que l'échantillon ne soit récupéré. Il est indispensable dans ces cas là de procéder à une observation microscopique de la minéralogie des échantillons et des analyses géochimiques et isotopiques pour confirmer l'origine extraterrestre de ces objets.

Les sidérites représentent des débris de noyaux de protoplanètes disloquées lors de leur collision dans l'espace. Elles sont composées de fer et de nickel, elles sont donc plus denses que les autres météorites et plus denses que les roches terrestres. Sur une tranche polie de sidérite, une légère attaque chimique révèle un jeu de bandes plus ou moins larges et entrecroisées, ce sont les bandes de Widmanstätten. Ces bandes correspondent à la séparation de phases riches et pauvres en nickel lors du refroidissement du mélange initialement homogène.

L'un des arguments incontestables et le plus utilisé pour prouver l'origine extraterrestre des achondrites est la proportion des isotopes de l'oxygène (Clayton and Mayeda, 1996; Franchi et al, 1999). La représentation graphique du  $\delta^{17}\text{O}$  par rapport au  $\delta^{18}\text{O}$  montre que les lignes de fractionnement des différentes familles de météorites sont différentes de la ligne de fractionnement terrestre, exception faite des chondrites à enstatite et des météorites lunaires. Pour les chondrites à enstatite, la présence de chondres permet de les différencier sans ambiguïté des roches terrestres, quant aux météorites lunaires, le fait de disposer d'échantillons de roches lunaires ramenés sur Terre par les missions Apollo, a permis d'avoir des échantillons de référence pour la comparaison.

## L'âge des météorites

Il y a au moins trois âges différents qui peuvent être mesurés sur une météorite :

- l'âge de la formation de la roche originelle qui est le plus souvent de 4,55 Milliards d'années sauf pour les météorites martiennes dont les âges de formation sont beaucoup plus récents (entre 160 millions d'années et 1,34 Milliards d'années sauf pour ALH84001 qui fait exception avec un âge très ancien de 4,5 Ga). Ces âges sont estimés par les méthodes Rb/Sr, Ar/Ar, Pb/Pb ou Sm/Nd,
- l'âge d'exposition aux rayons cosmogéniques ou âge d'expulsion de son corps parent et le temps de transfert dans l'espace avant l'arrivée sur Terre,
- l'âge de sa chute c'est à dire le temps qu'elle a séjourné sur Terre avant d'avoir été récoltée.

## Lieux des trouvailles

Les plus fréquentes trouvailles de météorites se font dans les déserts chauds ou froids. Ces grandes étendues dépourvues de végétation, dont le substratum est généralement de couleur claire, permettent de repérer les météorites qui sont généralement plus sombres que le sable ou la glace. Les déserts chauds les plus riches en trouvailles sont ceux d'Oman, de Libye ainsi que la zone de désert qui s'étend du sud du Maroc en passant par le désert algérien jusqu'à la Libye, le Nigeria, le Niger, le Mali et la Mauritanie.

Dans les déserts froids, des missions de collectes de météorites sont menées en Antarctique par des équipes Américaines, Japonaises ou Italiennes entre autres. Des milliers d'échantillons ont ainsi pu être ramassés par des scientifiques, ce qui a beaucoup enrichi les collections. Ces missions sont délicates du fait des conditions climatiques et de la logistique nécessaire, ce qui rend leur coût très élevé mais elles permettent d'avoir des échantillons avec une origine précisément connue. Les météorites d'Antarctique n'ont été soumises qu'à un très faible taux de pollution terrestre, leur étude en est encore plus intéressante. La vente de ces échantillons est interdite, ils sont exclusivement destinés à la recherche.

Dans les déserts chauds, les missions sont essentiellement menées par des chasseurs de météorites comme c'est le cas en Oman où les échantillons portent en grande majorité le nom de Dhofar (Dho) suivi d'un nombre, du nom du plateau sur lequel elles sont récoltées. Ceci est également le cas de la Libye où deux grands champs de récoltes sont connus sous les noms de Sayh Al Uhaihir (SAU) et Dar Al Ghani (DAG). Dans la zone désertique du Maroc et des pays voisins (Chennaoui, 2005b, Chennaoui et Jambon, 2006d), où les échantillons récoltés plutôt par des nomades qui sillonnent le désert, portent le nom de NWA (North-West Africa) suivi d'un chiffre. Cette nomenclature est due au fait qu'il est impossible d'en déterminer l'origine exacte.

Les météorites du désert, font l'objet de ventes, elles appartiennent aux particuliers qui les trouvent et qui les revendent à des collectionneurs. Le fait que ces échantillons aient une valeur marchande, encourage à les récolter. Pour qu'un échantillon ait une reconnaissance et donc plus de valeur, il doit être déclaré au Comité de Nomenclature des météorites de la Meteoritical Society. Une partie de l'échantillon doit être déposée dans une collection reconnue et mise à la disposition des scientifiques pour être en mesure de mener leurs recherches. Ceci permet aux chercheurs d'avoir accès à des échantillons rares (20 des 43 météorites martiennes connues sont des NWA), mais pose le problème de l'éthique et de la conservation du patrimoine, puisqu'aucun des pays riches en météorites du désert ne bénéficie d'une partie de ces trouvailles (Chennaoui, 2005b, Chennaoui et Jambon, 2006d).

## **Intérêt de l'étude des météorites**

L'étude des météorites s'est beaucoup développée durant ces cinquante dernières années, en particulier à la suite du retour des échantillons lunaires. Les informations qu'elles nous ont révélées ont joué un rôle primordial dans la richesse des connaissances actuelles sur:

- l'origine des planètes et du système solaire en général et de la Terre en particulier,
- les origines de la vie sur Terre,
- la succession de disparitions massives d'espèces,
- la composition chimique des planètes,
- les phases minérales non connues sur Terre,
- la connaissance des astéroïdes, et bien d'autres aspects fondamentaux des connaissances actuelles en sciences de la Terre et de l'Univers.

Elles continuent à être beaucoup étudiées puisque nous sommes loin d'avoir percé tous leurs mystères et qu'elles ont encore bien des informations à nous révéler sur notre passé et notre avenir.

## Les météorites récoltées au Maroc

Depuis l'année 2000, les découvertes de météorites dans le désert chaud du Sud Marocain se sont considérablement développées (Grossman, 2000; Grossman and Zipfel, 2001; Russel et al, 2002, 2003, 2004, 2005, Connolly et al 2006, 2007), (Chennaoui, 2005b, Chennaoui et Jambon, 2006d). Ainsi leur nombre qui était d'une trentaine, est passé à plus de 5000 échantillons déclarés à la Meteoritical Society. Parmi ces échantillons, certains ont une grande valeur scientifique : on dénombre actuellement 20 météorites martiennes (Barrat et al, 2002a, 2002b, Jambon et al, 2002, 2003) sur les 43 décrites jusqu'à aujourd'hui dont un échantillon très rare (NWA 2737, «Diderot») puisqu'il s'agit de la deuxième chassignite connue; 10 météorites lunaires sur 40 et d'autres échantillons tel que les angrites, les chondrites carbonées, les rumurutites, les ureilites, les mésosidérites, les sidérites pour ne citer que ceux là.

Devant l'affluence de ces échantillons dont l'origine exacte n'est pas connue, le comité de nomenclature de la Meteoritical Society a adopté l'appellation de Northwest Africa NWA pour tous les échantillons provenant du Sud du Maroc.

Les bulletins du comité de nomenclature de la Meteoritical Society donnant toutes les météorites déclarées de par le monde chaque année, réservent une part importante aux NWA (Grossman, 2000 ; Grossman and Zipfel, 2001 ; Russel et al, 2002, 2003, 2004, 2005, Connolly 2006, 2007) (l'accès aux bulletins est libre et gratuit sur le site de la Meteoritical Society : voir database [www.meteoriticalsociety.org](http://www.meteoriticalsociety.org)).

## QUELQUES EXEMPLES DE MÉTÉORITES DU MAROC

### La météorite de BENGUERIR

Le lundi 22 Novembre 2004 vers 11h45 a.m GMT, la chute d'une météorite a été observée au Maroc dans la région de Benguerir (environ 50 km au Nord de Marrakech).

**Lieu de la chute :** village de Sebt Brikyine à 12,5 km à vol d'oiseau au Nord Ouest de la ville de Benguerir. Trois impacts ont été répertoriés (voir Fig 4, Fig 5, Fig 6).

Nous nous sommes rendus sur le lieu de la chute. Nous avons enregistré les coordonnées géographiques, rencontrés les témoins oculaires de la chute et réalisé les travaux de terrain nécessaires (Chennaoui et al, 2006a).

**Témoignages :** Chute Douar Lfokra : un jeune berger qui était là a commencé par entendre un bruit de tonnerre, suivi de bruits de tirs, il a ensuite vu un objet tomber à grande vitesse du ciel, la chute aurait été quasi verticale, suivie par un nuage de poussière. Il a ensuite été sur le lieu de la chute où il a trouvé deux morceaux de roche noire, avec un intérieur gris plomb. Il l'a prise à la main et mise sur sa joue elle était froide.

**Chute Tnaja :** un berger du nom de Abdelaâli a entendu un bruit comme le grondement du tonnerre suivi par un bruit comme des tirs, il a ensuite vu un projectile arriver d'Est en Ouest sortant d'un brouillard gris à très grande vitesse, il a percuté la terre avec un bruit sourd et un nuage de poussière s'est élevé, il a également entendu un bruit de choc et d'éclatement plus loin. Apeuré, il a attendu un petit moment avant d'aller sur place pour voir de quoi il s'agissait. Il a trouvé un caillou noir à l'extérieur, couleur gris clair à l'intérieur duquel il semblait manquer les angles qui ont dû se casser plus tôt. Il a pris

l'objet dans la main et a constaté qu'il était très froid, il l'a remis à sa place et a été informé les autorités locales.

**Témoignage des autorités locales à Benguerir :** Les autorités locales nous ont rapporté que le lundi 22 Novembre 2004 à 11h45, un bruit de tonnerre puissant a été entendu suivi de bruits similaires à des tirs de mines, les vitres des bureaux ont vibré attirant l'attention de toute la population.

**Classification :** Il s'agit d'une chondrite ordinaire de type LL6, avec un degré de choc moyen S3/S4 et une altération nulle W0. L'âge moyen des chondrites est de 4,55 Milliards d'années. Elle provient de la ceinture d'astéroïde située entre Mars et Jupiter. Les travaux de datation sont en cours de réalisation. L'une des particularités de cette météorite est la taille importante de ses sulfures (Fig 7). C'est une brèche avec des parties sombres (D) et des parties claires L) (Fig 8). Des travaux ont porté sur la présence de cuivre natif dans le métal de cette météorite (Chennaoui et al, 2007d, Fig 9). Elle présente différents types de chondres (Fig 10).

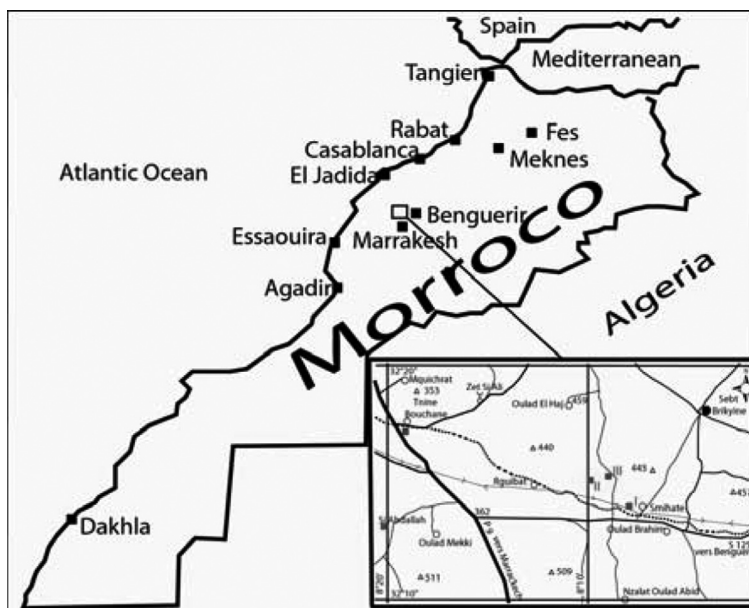


Fig. 4 : Carte de localisation des impacts de la chute de la météorite de Benguerir.

**Impact I :** Douar Lfokra, dans de la terre molle, labourée, le diamètre de l'impact est de 15 cm avec une profondeur de 10 cm, ses coordonnées sont  $32^{\circ}13'52.9''N$ ;  $08^{\circ}08'56.7''W$  altitude 398m. Il montre un renflement central et des bords surélevés

**Impact II** (Fig 5) : Ahl Fouim Sakhra lournia, sur un affleurement de granite (granite de Brikyine). Les coordonnées de l'impact sont  $32^{\circ}15'31.2''N$ ;  $08^{\circ}10'51.9''W$ , altitude 406m. Le choc provoqué par la chute a éclaté la météorite en une poussière fine restée sur le point d'impact

**Impact III :** Douar Tnaja, sur de la terre molle, labourée, le diamètre de l'impact est de quarante centimètre de diamètre avec une profondeur de 20 cm, ses coordonnées sont  $32^{\circ}15'43.1''N$ ;  $08^{\circ}09'01.3''W$ , altitude 416m. Il montre un renflement central et des bords surélevés





Fig. 5 : Image de l'impact II



Fig. 6 : Image d'un morceau de la météorite de Benguerir

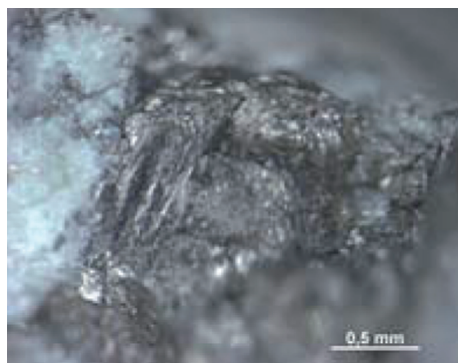


Fig. 7 : Image à la loupe d'un sulfure automorphe dans la météorite de Benguerir.

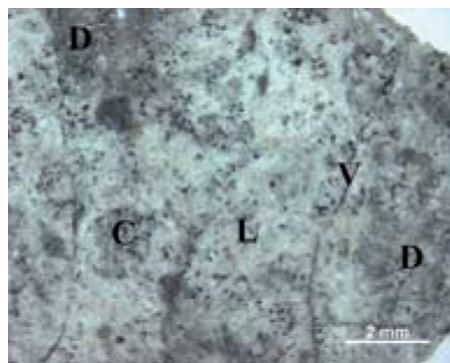


Fig. 8 : Image à la loupe d'une section polie de la météorite de Benguerir montrant les deux lithologies: claire (L) et sombre (D), ainsi qu'un chondre (C) et une veine de choc (V).

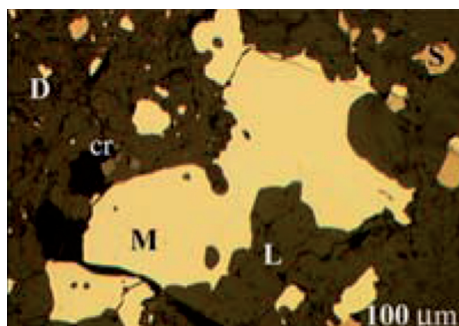
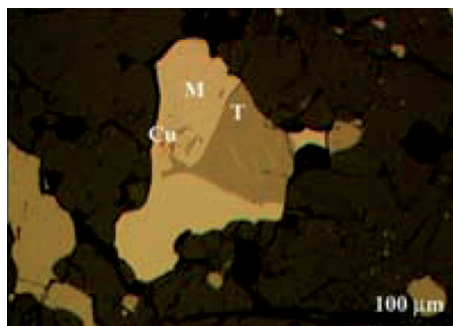


Fig. 9 : Images au microscope à réflexion d'une lame mince de la météorite de Benguerir montrant les lithologies sombre (D) et claire (L), de la chromite (cr), du métal (M), des sulfures (S), de la troïlite (T) et du cuivre natif (Cu).



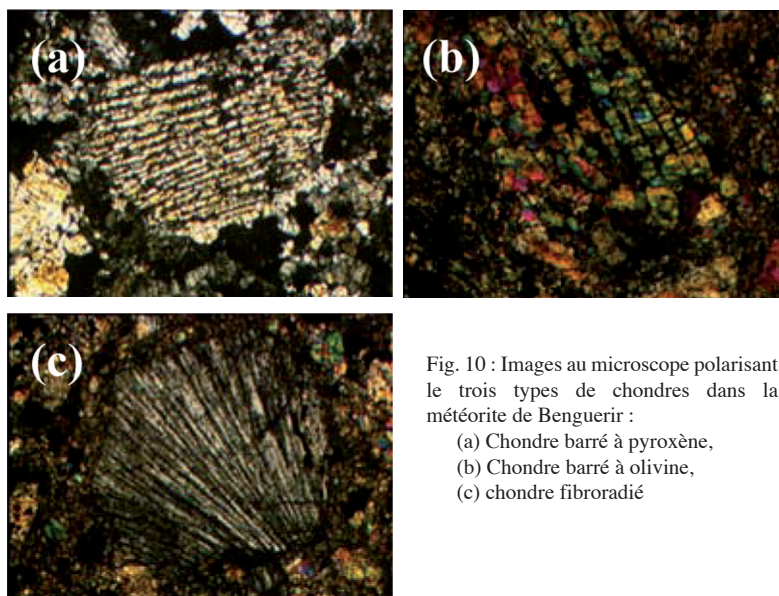


Fig. 10 : Images au microscope polarisant le trois types de chondres dans la météorite de Benguerir :

- (a) Chondre barré à pyroxène,
- (b) Chondre barré à olivine,
- (c) chondre fibroradié

## La météorite d'AL HAGGOUNIA

Depuis 2006, plusieurs trouvailles d'aubrites primitives et de chondrites à enstatite ont été reportées dans le « Meteoritical bulletin » en provenance du Maroc et des pays avoisinants avec une nomenclature NWA. Toutes ces trouvailles, de par leurs descriptions, la rareté de ce type de météorites, leur état d'altération similaire et les analyses de leurs minéraux semblaient faire partie de la même chute. Cependant, l'origine exacte de cette météorite n'était pas précisément connue, les descriptions parlaient du Maroc ou de l'Algérie. Nous avons pu retrouver cette origine exacte (Chennaoui et al, 2007c), dans le Sud du Maroc, près du village d'Al Haggounia (Province de Laâyoune). Nous avons programmé une mission de terrain pour nous documenter sur le lieu de la chute et la géologie de la région pour pouvoir trancher sur l'origine de la météorite et sa relation avec la roche encaissante, mais également s'il s'agit d'une météorite fossile ou pas, si elle a été transportée ou pas.

Relation avec la géologie de la région : La moyenne de la taille des échantillons varie du centimètre dans le Sud Ouest, où plusieurs d'entre eux sont encore visibles sur le sol pesant quelques grammes ; jusqu'à 50 cm dans le Nord Est, où les météorites sont recouvertes par le sol, dans lequel elles sont enfouies, nombre d'entre elles pèsent au-delà de 50 kg. Des échantillons de tailles et poids variables sont retrouvés dans le sol de différentes strates géologiques, depuis le calcaire lacustre quaternaire (Dalle à Hélix) dans le SW jusqu'au calcaire crétacé dans le NE.

Relation avec la topographie de la région : La région de la trouvaille est creusée par une topographie quaternaire, avec une dépression de plus de 15 m en dessous de la surface plate de la région. La rivière d'Al Haggounia (sèche au moment de notre mission de terrain), montre deux niveaux de terrasses et un large lit de rivière. Les météorites sont trouvées indépendamment de la hauteur et la chute est clairement postérieure à la topographie quaternaire.

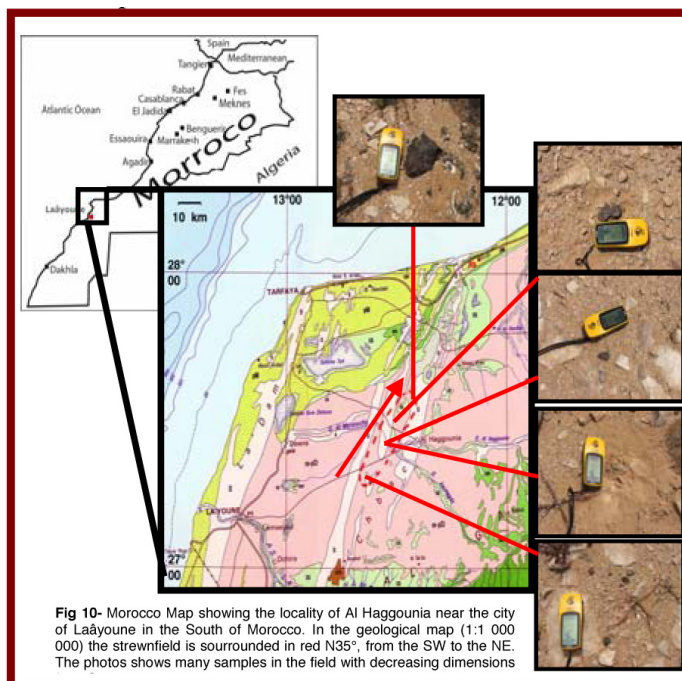
**Conclusions:** Le fait de retrouver les échantillons sur ou dans le sol, au-dessus de la strate quaternaire (Dalle à Hélix) et du calcaire crétacé, montre clairement qu'ils ne sont inclus dans aucune des strates géologiques, elles sont retrouvées à l'endroit de leur chute, elles ne sont pas déplacées. Leur position au dessus d'une topographie quaternaire, indique que la chute lui est postérieure. Il ne s'agit donc aucunement d'une météorite fossile, tels que l'ont décrit certains auteurs (Irving et al, 2006, Kuehner et al, 2006).

Les échantillons que nous avons retrouvés, s'étendent (dans l'état actuel de nos connaissances) sur une distance de près de 40 km, avec des échantillons de petite taille dans le SW et de taille de plus en plus importante vers le NE, ceci est indicateur d'une ellipse de chute typique, avec une très importante quantité de matériel extraterrestre estimée à plusieurs tonnes.

Les mesures de datation exacte de la chute sont en cours de réalisation, actuellement, nous pouvons juste affirmer que la chute a eu lieu tardivement dans le quaternaire. L'altération très poussée de cette météorite est à relier à une minéralogie instable des aubrites et des chondrites à enstatite. L'eau est nécessaire pour une telle altération, actuellement, cette région est désertique, avec des précipitations moyennes de 60 mm/an. Il est reconnu que durant les épisodes climatiques froids récents, les précipitations étaient plus importantes, ceci était le cas il y a 12 000 ans.

L'ellipse de chute d'Al Haggounia est la plus importante connue au monde pour ce type de météorite assez rare. Des travaux de terrain plus poussés doivent être entrepris.

Les résultats publiés sur cette météorite ont encore une fois permis de confirmer la position internationale des chercheurs marocains sur la thématique.



## Quelques météorites martiennes du Maroc

Sur trois météorites martiennes provenant du Maroc, NWA 480 (Barrat et al, 2002a), NWA 856 (Jambon et al, 2002) et NWA 1069 (Barrat et al, 2002b), nous avons entrepris des travaux de mesures de spectres de cathodoluminescence (CL) sur les phases de silice qu'elles contiennent, dans le but d'en reconstituer l'histoire du choc (Chennaoui et al, 2005a, 2007b).

La problématique de l'intensité du choc dans les météorites a été traitée par différents auteurs et reste un sujet à controverse (Sharp et al, 1999 ; El Goresy et al, 2000, 2004; Malavergne et al, 2001; Beck et al, 2005). Nous avons travaillé durant les sept dernières années sur l'utilisation de l'état de la silice dans les météorites pour en comprendre les conditions de choc (Chennaoui et al, 2002, 2005a, 2006b, 2006c, 2006e, 2007a, 2007b; Jambon et al, 2008).

L'identification des phases de silice amorphe ou cristallisée : quartz, tridymite, cristobalite, stishovite, post-stishovite, verre de silice haute pression, a été réalisée par usage du système de CL monté sur le Microscope Electronique à Balayage (MEB) de l'Université Pierre et Marie Curie ParisVI. Des images panchromatiques et des spectres de chaque phase de silice ont été enregistrés. La compilation de tous les spectres et la calibration de la méthode par spectroscopie Raman (ENS Lyon), a permis d'identifier des spectres de CL spécifiques à chaque phase.

Techniques utilisées : Les échantillons sous forme de lames minces (LM) ou sections polies (SP) sont dans un premier temps étudiés par une imagerie fine au MEB, l'échantillon est couvert systématiquement, ce qui nous permet de repérer les plages de silice. Une fois la silice repérée, des images et des spectres de CL sont collectés. Le dispositif de CL est décrit dans (Chennaoui et al, 2005a, 2007b). Les images sont des images panchromatiques, les spectres sont collectés entre 200 et 900 nm, les spectres sont corrigés de la fonction de transfert de l'appareil et sont transformés en longueur d'onde (cm<sup>-1</sup>). Plusieurs dizaines de spectres sont collectés pour chaque phase. Les zones étudiées par CL ont systématiquement été étudiées par spectroscopie Raman. La concordance spectres de CL, spectres Raman (Gillet et al, 1990) nous a permis de calibrer la méthode.

Résultats : Dans les météorites martiennes de type shergottites, les phases de silice trouvées sont : la stishovite, la seifertite (Chennaoui et al, 2006b) et le verre de silice haute pression. Ces phases sont souvent liées à des poches de fusion. La présence de ces phases permet de situer l'intensité du choc dans les shergottites à au moins 40GPa (Chennaoui et al, 2005a).

Le travail mené sur ces échantillons de météorites martiennes du Maroc, a permis de proposer la CL comme technique d'identification simple, rapide, efficace, sans préparation particulière et non destructrice des phases de silice dans les météorites et même dans les roches terrestres. Il a également permis de nous positionner sur le plan international par une solution proposée au problème de l'intensité du choc auquel ont été soumises les météorites martiennes.



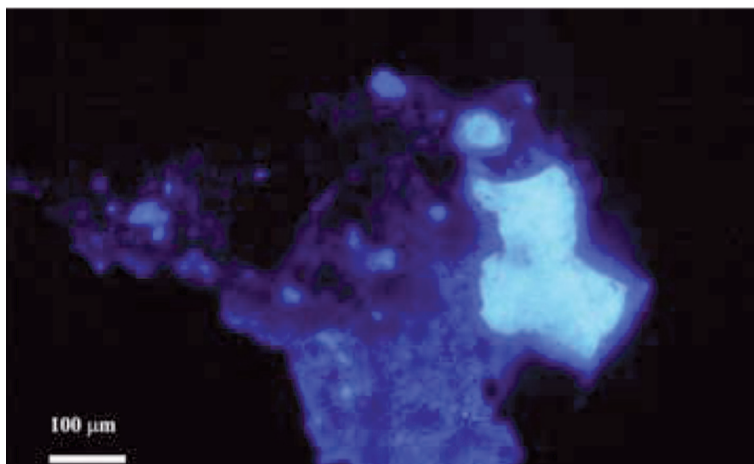


Fig. 11 : Image de CL à chaud (Technosyn) d'une poche fondue dans la météorite martienne NWA 480, montrant le plus gros grain de stishovite (500 µm) jamais décrit dans une météorite (Chennaoui Aoudjehane et al, 2005).

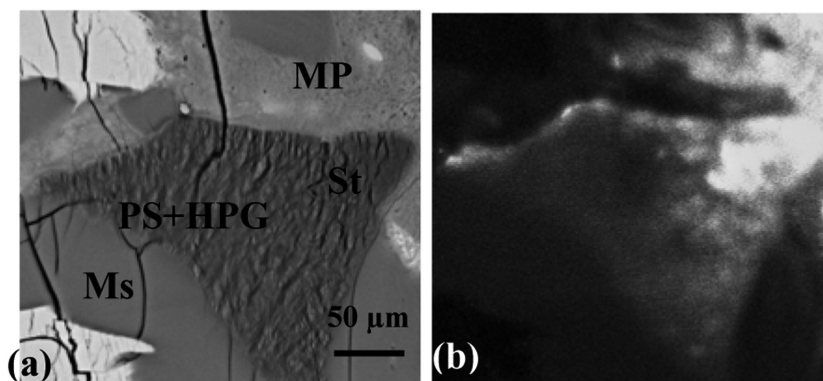


Fig. 12 : Image au MEB en électrons rétrodiffusés (a) et en CL (b) d'un grain de silice avec la structure caractéristique de la seifertite (PS) dans la météorite martienne NWA 856, entouré par de la maskelynite (Ms) et une poche fondue (MP). L'image de CL montre une luminescence très forte de la stishovite (St) au niveau du bout du grain et dans la poche fondue. La partie du grain à faible luminescence correspond au mélange seifertite verre de silice haute pression (HPG).

## Quelques météorites lunaires du Maroc

La météorite d'Anoual (Connolly et al, 2007): Il s'agit d'une trouvaille du 3 Mai 2006 : Des nomades de la région d'Anoual (village dans l'Est Marocain, situé entre Bouarfa et Talsint, à environ 40 km à l'ENE de ce dernier Coordonnées géographiques : 32°44'4.5"N, 2°57'28.7"W), ont appris que des morceaux de roches récoltés près de leur campement en Juin et Juillet 2005, étaient en fait des météorites lunaires (NWA 2727). Ils ont cherché à trouver d'autres morceaux de la même chute. D'autres morceaux ont été retrouvés dans une zone circulaire de 5 m de diamètre. La petite taille des échantillons peut être expliquée par leur caractère bréchi. La masse totale est de 5.92g, répartie en 12 morceaux. Elle est classée comme Basalte de mer lunaire. C'est une

brèche polygénétique, composée principalement de deux lithologies : basalte avec des phénocristaux d'olivine subautomorphes (<1mm; 20 %), légèrement résorbés dans une matrice finement cristallisée; gabbro très fracturé.

NWA 5000 : Il s'agit de la plus importante météorite lunaire retrouvée sur le sol marocain et de la deuxième plus importante météorite lunaire retrouvée dans le monde, avec une masse de 11,53 kg. Elle vient d'être déclarée au Comité de nomenclature de la Meteoritical Society en Février 2008. L'origine de cet échantillon n'étant pas connue précisément, il nous sera impossible de lui donner un nom de lieu Marocain, ce qui représente une perte scientifique importante pour notre pays.

## **Les problèmes des météorites du Maroc**

Malgré sa grande richesse en météorites, le Maroc ne dispose ni d'un laboratoire d'études des météorites, ni d'un musée pour les préserver, il en résulte une déperdition totale de la primauté scientifique et du patrimoine géologique que constituent les météorites d'origine marocaine.

Le fait de ne pas disposer de laboratoire et de musée ne permet pas de proposer aux découvreurs (nomades du Sud) une rétribution pour leurs trouvailles ce qui les encouragerait à mettre à la disposition des scientifiques leurs découvertes.

Le problème de l'origine exacte inconnue des échantillons ne nous permet pas de donner des noms de lieux aux météorites marocaines, elles sont placées dans un ensemble diffus d'échantillons appelés NWA (North West Africa) suivi d'un numéro. Ceci a également pour résultat une multiplicité des analyses : différents laboratoires peuvent avoir accès au même échantillon sans le savoir, il s'ensuit une perte de temps et d'argent pour les laboratoires qui travaillent sur ces échantillons, ceci crée également des problèmes importants de publications dédoublées.

Le manque de législation en matière de préservation du patrimoine géologique marocain constitue un sérieux handicap pour aller de l'avant dans ce domaine. Ceci n'encourage pas les marchands bien intentionnés à suivre une procédure réglementaire claire. Ceci ne permet pas non plus de dire clairement aux découvreurs et aux marchands ce à quoi ils ont droit, ce qui leur est permis et ce qui leur est interdit en terme de collecte, de vente ou d'échange de météorites. Le manque de législation empêche également les musées internationaux d'avoir des relations d'échange ou d'achat de météorites marocaines.

## **Les solutions urgentes**

La création d'un musée marocain dédié aux météorites est une nécessité et une urgence pour la préservation de ce patrimoine national et son exhibition au public marocain et étranger. Ceci éveillerait les jeunes marocains à la science qui étudie les échantillons extraterrestres et les planètes dont ils proviennent qui est la planétologie. La création de ce musée pourrait régler les problèmes des découvreurs puisque leurs échantillons pourraient être acquis par le musée, totalement ou partiellement.

Le musée n'a de sens que s'il est accompagné par la mise en place d'un laboratoire d'étude des météorites. Les travaux de recherche qui seraient entrepris par ce laboratoire le seraient dans un cadre national et international, plusieurs conventions de coopération peuvent être mises en place. Le partenariat international est indispensable dans ce domaine il garantirait l'excellence des travaux des chercheurs marocains.



Il est également urgent de procéder à la mise en place d'une réglementation concernant la gestion et la préservation du patrimoine géologique marocain en général et celui des météorites en particulier. La législation doit être concertée avec les scientifiques, elle doit être intelligente et doit tenir compte de l'expérience des pays ayant simplement interdit toute sorte d'export de météorites, dans ces pays en effet, le trafic de météorites est très répandu. Par contre, la législation devrait encourager les découvreurs à mettre leurs trouvailles à la disposition du musée et du laboratoire d'études des météorites moyennant une compensation matérielle. Selon le type de météorite, qui devrait être classé par le laboratoire marocain, il serait permis ou pas d'en exporter une partie. Les échantillons rares et d'intérêt scientifique seraient interdits à l'export, par contre, les échantillons dont on disposerait en grandes quantités ou dont l'intérêt scientifique serait limité, pourraient être partiellement exportés, à hauteur par exemple de 50% de la masse totale.

Une solution que nous avons déjà entreprise et qui était la première à mettre en place est la communication. En effet, nous avons entrepris depuis quelques années la démarche de communication par le biais de conférences dans les universités marocaines, auprès de chercheurs et d'étudiants marocains, par le biais de la diffusion d'articles dans la presse écrite ou d'interview dans différentes radio ou télévisions marocaines. Nous avons également organisé des sessions dédiées aux météorites dans des congrès géologiques au Maroc et organisé un workshop international sur les « Météorites du désert » en Août 2006 auquel ont pris part des chercheurs de dix sept pays différents et qui a permis de mettre en contact des chercheurs marocains et arabes, avec des scientifiques de renommée internationale. Ainsi, actuellement, la majeure partie des géologues marocains sont au fait de la richesse du Maroc en météorites et des problèmes qui s'y rapportent. Nous avons également entrepris la mise en place de modules d'enseignement dans les filières des sciences de la Terre consacrés à l'étude des météorites.

La mise en place du musée des météorites et du laboratoire d'étude des météorites sera, nous l'espérons, la prochaine étape réalisée de notre stratégie de préservation des météorites du Maroc.

## Bibliographie

- Alvarez W., Alvarez L.W., Asaro F., and Michel H.V. (1979). Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction: Experiment and theory: Lawrence Berkeley Laboratory Report, LBL-9666, 86 pp.
- Barrat J.A., Gillet Ph., Sautter V., Jambon A., Javoy M., Göpel C., Lesourd M., Keller F. and Petit E. (2002a) Petrology and geochemistry of the basaltic shergottite North West Africa 480. *Meteoritics & Planet. Sci.* 37, 487-499.
- Barrat J.A., Jambon A., Bohn M., Gillet Ph., Sautter V., Göpel C., Lesourd M. and Keller F. (2002b) Petrology and chemistry of the picritic shergottite North West Africa 1068 (NWA 1068). *Geochim. Cosmochim. Acta* 66, 3505-3518.
- Beck P., Gillet P., El Goresy A. and Mostefaroui S. (2005) Timescales of shock processes in chondritic and Martian meteorites. *Nature* 435, 1071-1074.
- Carion A., 1997, Les météorites et leurs impacts, Editions Masson
- Chennaoui H., Jambon A., Reynard B. and Blanc P. (2002) High pressure silica phases in shergottites: A cathodoluminescence spectroscopic study. (abs) *Meteoritics & Planet. Sci.* 37, A32.

- Chennaoui Aoudjehane H., Jambon A., Reynard B. and Blanc P. (2005a) Silica as a shock index in shergottites: A catholuminescence study. *Meteoritics & Planet. Sci.* 40, 1-14.
- Chennaoui Aoudjehane H., (2005b). Les météorites du Maroc. 4ème Colloque International Magmatisme, Métamorphisme et Minéralisations Associées : 3MA, Agadir, Maroc.
- Chennaoui Aoudjehane H., Jambon A., Bourot Denise M. and Rochette P. (2006a) The BENGUERIR meteorite: Report and description of new Moroccan fall. *Meteoritics & Planet. Sci.* 41, Nr 8, 231-238.
- Chennaoui Aoudjehane H. and Jambon A. (2006b) Occurrence of post stishovite in shergottites NWA856 and Zagami: A catholuminescence study. (abs#1036) *Lunar Planet. Sci.* XXXVII
- Chennaoui Aoudjehane H., Jambon A. and Boudouma O. (2006c) Cristobalite and K-feldspar in the nakhlite MIL03346: A cathodoluminescence study. (abs#1037) *Lunar Planet. Sci.* XXXVII
- Chennaoui Aoudjehane H., (2006d). Les météorites du Maroc. Réunion des Sciences de la Terre, RST Dijon France
- Chennaoui Aoudjehane H., Jambon A., Boudouma O., Reynard B. and El Goresy A. (2006e), Caractérisation par cathodoluminescence des formes de silice, indicateur de l'intensité du choc dans les météorites, Réunion du Programme National de Planétologie (PNP), Nancy, France, Septembre 2006.
- Chennaoui Aoudjehane H. and Jambon A. (2007a), Determination of silica polymorphs in eucrites by cathodoluminescence. 38th Lunar and Planetary Science Conference LPSC, Lunar and Planetary Institut, Houston, USA, pdf 1714, March 2007.
- Chennaoui Aoudjehane H. (2007b), Etude par Cathodoluminescence des phases de silice : témoins de l'intensité du choc dans les météorites. Thèse de Doctorat d'Etat Es-Sciences en Sciences de la Terre et de l'Univers, Géochimie, Planétologie, Mai 2007, 231 pages.
- Chennaoui Aoudjehane H., Jambon A. and E. Rjmati (2007c), Al Haggounia (Morocco) strewnfield. 70th annual meeting of the Meteoritical Society, University of Arizona, Tucson, USA, abstract 5329, August 2007.
- Chennaoui Aoudjehane H., El Goresy A. and Jambon A. (2007d), The assemblage native copper, cobaltian kamacite and troilite in ordinary chondrites; dissociation products not related to a shock event. 70th annual meeting of the Meteoritical Society, University of Arizona, Tucson, USA, abstract 5031, August 2007
- Chladni E.F.F. (1794) Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen, und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen. Riga and Leipzig: J.F.Hartknoch, 63 pp. (Reprint edition, 1974, UCLA)
- Clayton R.N. and Mayeda T.K. (1996) Oxygen isotopic studies of achondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, 1999-2017.
- Connolly H.C. Jr, Zipfel J., Grossman J.N., Folco L., Smith C., Jones R. H., Righter K., Zolensky M., Russel S.S., Benedix G.K., Yamaguchi A. and Cohen B.A (2006), The Meteoritical Bulletin, N°90, 2006 September, *Meteoritic and Planetary Science MAPS* 41, Nr 9, 1383-1418 (2006).
- Connolly H.C. Jr, Zipfel J., Folco L., Smith C., Jones R. H., Benedix G.K., Righter K., Yamaguchi A., Chennaoui Aoudjehane H. and Grossman J.N. (2007), The Meteoritical Bulletin, N°91, 2007 March, *Meteoritic and Planetary Science MAPS* 42, Nr 3, 413-466 (2007).
- Connolly H.C. Jr, Smith C., Benedix G.K., Folco L., Righter K., Zipfel J., Yamaguchi A. and Chennaoui Aoudjehane H (2007), The Meteoritical Bulletin, N°92, 2007 September, *Meteoritic and Planetary Science MAPS* 42, Nr 9, 1647-1694 (2007).

- El Goresy A., Dubrovinsky L., Sharp T.G., Saxena S.K. and Chen M. (2000) A monoclinic post-stishovite polymorph of silica in the Shergotty meteorite. *Science* 288, 632-634.
- El Goresy A., Dubrovinsky L.S., Sharp T.G., and Chen M. (2004) Stishovite and post-stishovite polymorphs of silica in the Shergotty meteorite: their nature, petrographic settings versus theoretical predictions and relevance to Earth's mantle. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65, 1597-1608.
- Franchi I.A., Wright I.P., Sexton A.S. and Pillinger C.T. (1999) The oxygen-isotopic composition of Earth and Mars. *Meteoritics & Planet. Sci.* 34, 657-661.
- Fredriksson, K. and Keil, K. (1964) The iron, magnesium and calcium distribution in coexisting olivine and rhombic pyroxenes in chondrites. *Journal of Geophysical Research* 69, 3487-3515.
- Gillet Ph., Le Cléac'h A. and Madon M. (1990) High-temperature Raman spectroscopy of SiO<sub>2</sub> and GeO<sub>2</sub> polymorphs: anharmonicity and thermodynamic properties at high-temperatures. *Journal of Geophysical Research* 95, 21 635-21 655.
- Grossman J.N. (2000) The Meteoritical Bulletin, No. 84, 2000 August. *Meteoritics & Planet. Sci.* 35, A199-225.
- Grossman J.N. and Zipfel J. (2001) The Meteoritical Bulletin, No. 85, 2001 September. *Meteoritics & Planet. Sci.* 36, A293-322.
- Irving, A. J., Kuehner, S. M., Bunch, T. E., Wittke, J. H., Rumble D. and Hupé, G. M. (2006) More african enstatite-rich meteorites: Aubrite NWA 2828, Zaklodzie-like NWA 4301, NWA 1840 and EL6 chondrites. (abs) *Meteoritic and Planetary Science MAPS* 41, Nr 9, Abs 5264, (2006).
- Jambon A., Barrat J.A., Sautter V., Gillet Ph., Göpel C., Javoy M., Joron J-L. and Lesourd M. (2002) The basaltic shergottite North West Africa 856: Petrology and chemistry. *Meteoritics & Planet. Sci.* 37, 1147-1164.
- Jambon A., Bohm M., Boudouma O., Chennaoui-Aoudjehane H. and Franchi I. (2003) Al Mala'ika (NWA 1669): A new shergottite from Morocco /mineralogy and petrology. (abs) *Meteoritics & Planet. Sci.* 38, A43.
- Jambon A. (2004) Isotopic zoning in the inner solar system. (abs) *Oxygen in the terrestrial planets*, Santa Fe, USA.
- Jambon A., Chennaoui-Aoudjehane H. and El Goresy A. (2008), Peak Shock Pressure in Shergottite NWA 856. 39th Lunar and Planetary Science Conference LPSC, Lunar and Planetary Institut, Houston, USA, March 2008.
- Kuehner S. M., Irving A. J., Bunch T. E., Wittke J. H. (2006) EL3 chondrite (not aubrite) Northwest Africa 2828: An unusual paleo-meteorite occurring as cobbles in a terrestrial conglomerate. *Eos, Trans. Amer. Geophys. Union*, 87, Fall Meet. Suppl., Abstract P51E-1247.
- Malavergne V., Guyot F., Benzerara K. and Martinez I. (2002) Descriptions of new shock-induced phases in the Shergotty, Zagami, Nakhla and Chassigny meteorites. *Meteoritics & Planet. Sci.* 36, 1297-1305.
- Marvin U. B., (1996), Ernest Florens Friedrich Chladni (1756-1827) and the origins of modern meteorite research. *Meteoritics & Planet. Sci.* 31, 545-588.
- Mason B., (1962), *Meteorites*. J. Wiley, New York, 274pp.
- Norton O.R. (2002) *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. 354 pages, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Palme H. (2000) Are there chemical gradients in the inner solar system? *Space science reviews*. 92, 237-262.

- Pope KO, Ocampo AC, Kinsland GL, Smith R (1996). "Surface expression of the Chicxulub crater". *Geology* 24 (6): 527-30.
- Pope KO, Baines KH, Ocampo AC, Ivanov BA (1997). «Energy, volatile production, and climatic effects of the Chicxulub Cretaceous/Tertiary impact». *Journal of Geophysical Research* 102 (E9): 21645-64.
- Rubin A.E. (1997a) Mineralogy of meteorite groups. *Meteoritics & Planet. Sci.* 32, 231-247.
- Rubin A.E. (1997b) Mineralogy of meteorite groups: an update. *Meteoritics & Planet. Sci.* 32, 733-734.
- Russell S.S., Zipfel J., Grossman J.N. and Grady M.M. (2002) The meteoritical bulletin, No. 86, 2002 July. *Meteoritics & Planet. Sci.* 37, A157-A184.
- Russell Sara., Zipfel J., Folco Luigi, Jones R., Grady M.M., McCoy T. and Grossman J.N. (2003) The meteoritical bulletin, No. 87, 2003 July. *Meteoritics & Planet. Sci.* 38, A189-A248.
- Russell S.S., Folco L., Jones R., Grady M.M., Zolensky M.E., Jones R., Righter K., Zipfel J. and Grossman J.N. (2004) The meteoritical bulletin, No. 88, 2004 July. *Meteoritics & Planet. Sci.* 39, A215-272.
- Russell S.S., Zolensky M.E., Righter Kevin., Folco L., Jones R., Connolly H.C., Grady M.M. and Grossman J.N. (2005) The meteoritical bulletin, No. 89, 2005 September. *Meteoritics & Planet. Sci.* 40, A201-A263.
- Sharp T.G., El Goresy A., Wopenka B. and Chen M. (1999) A post-stishovite SiO<sub>2</sub> polymorph in the meteorite Shergotty: implications for impact events. *Science* 284, 1511-1514.
- Zanda B., Rotaru M., De la Cotadière P., 1996, Les météorites, Carnets d'Histoire Naturelle, Muséum d'Histoire Naturelle Paris, Editions Bordas.



## **DISCUSSION**



**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

Le temps de notre agenda initial nous a rattrapés avec quelques minutes de retard. Donc, nous allons réserver une vingtaine de minutes à la discussion autour de ces 3 exposés et la parole à qui la demande.

**- Pr. Badia Bouab** (CSTETM)

Je voudrais simplement faire une petite intervention par rapport à l'exposé du Pr. Philippe Taquet que je remercie vivement pour son exposé court qui suscite de nombreuses réflexions et un débat passionnant. J'aimerais ajouter à ce propos que, concernant les crises biologiques ou extinctions de masse, ce sont là des phénomènes qui pendant longtemps étaient considérés comme des événements. L'extinction de masse ou la crise biologique était considérée comme un événement pouvant être considéré comme un repère stratigraphique c'est-à-dire un repère pour la datation, et tout ce qui intéressait la communauté scientifique tant géologique que biologique c'était le quand, quand est ce que ça s'est passé, et le comment n'a été abordé que récemment. L'une des premières publications qui fait le point de la question, celle de Vladimir Rope, date seulement des années 90.

Alors, ce que j'aimerais dire c'est qu'en fait très souvent dans les phénomènes géologiques, on se base, on s'est basé pendant très longtemps sur le principe de l'actualisme; ce principe qui permet d'expliquer les phénomènes géologiques par ce qu'on observe actuellement. En fait, dans le cas des crises biologiques et dans le cas des extinctions de masse, on a plutôt une démarche totalement inverse et on essaie, de par l'observation que nous avons la chance de faire en géologie, de mieux comprendre ce qui passe actuellement. Ces phénomènes géologiques, non seulement nous permettent de comprendre mais ils deviennent finalement un outil de prévention pour le futur.

La répartition stratigraphique de ces crises biologiques a été montrée par le Pr. Taquet sur un tableau récapitulatif montrant les grandes crises biologiques à travers les temps géologiques; on en avait compté 5 et entre lesquelles d'autres extinctions de moindre importance. La question qui se pose actuellement est la suivante : l'Homme n'est-il pas en train de provoquer actuellement la 6ème grande crise biologique et cette question constitue un lien évident avec notre session plénière précédente et qui a porté sur les changements climatiques. Ce qui amène finalement à penser à l'action de notre Académie face à ces problématiques (changements climatiques, crises biologiques), par rapport à la sensibilisation et par rapport aux recommandations, etc...

**- Pr. Rajae El Aouad** (CSTV)

Je tiens tout d'abord à féliciter les orateurs de cette session et les remercier pour toutes les choses intéressantes qu'elles nous ont apprises. Je voudrais tout particulièrement revenir sur les présentations du Pr. El Hassani et du Pr. Chennaoui qui nous interpellent. D'abord féliciter le Pr. El Hassani et le Collège qu'il représente d'avoir saisi l'occasion de cette session et d'avoir dressé la problématique au sein du Collège, d'ailleurs il a terminé sa présentation avec les recommandations de son Collège. Il importe que l'Académie porte les messages de ce Collège et aille de l'avant.

Madame Chennaoui a également abordé une problématique très importante et enrichissante; elle a relevé aussi la faille en matière de déperdition d'un patrimoine énorme. Si aujourd'hui ça a été soulevé en matière de météorites, on peut citer des

exemples concernant le patrimoine biologique. Donc, je voudrais juste dire que ces deux orateurs marocains ont soulevé des problématiques importantes majeures qu'il importe que l'Académie porte, soutienne et accompagne. Ça pourrait très bien faire l'objet d'un des axes de travail du Collège dont Pr. El Hassani fait partie.

**- Pr. Sellama Nadifi (CSTV)**

Je voudrais d'abord remercier les organisateurs pour le choix des thèmes. Nous avons passé à travers trois interventions un moment très agréable et très enrichissant, d'une part parce que ça nous a permis de voir un peu l'histoire de notre planète, le présent et l'inquiétude sur un autre avenir. J'ai eu l'occasion de discuter tout à l'heure avec Madame Chennaoui concernant les laboratoires au Maroc, est-ce qu'on s'arrête uniquement à la collecte ou est-ce qu'il y a des choses qui se font. Malheureusement, elle m'a expliqué que pour l'instant on est au stade de collecte et ça se généralise à pratiquement différentes thématiques et différentes spécialités au Maroc.

La question que je voudrais poser à Madame Chennaoui : étant donné qu'il y a des études et des analyses qui se font sur le plan minéralogique et sur le plan géochimique, est-ce qu'il n'y a pas d'analyses biochimiques qui pourraient nous prouver ou non l'existence de vie dans une autre planète. Je crois avoir lu qu'il y a eu des tentatives d'analyses et qu'effectivement il y a eu des traces d'acides aminés ou de protéines qui pourraient expliquer éventuellement qu'il a existé une vie ailleurs.

**- Pr. Abdelkarim Filali-Maltouf (Faculté des Sciences, Rabat)**

Je voudrais m'adresser au Pr. El Hassani et lui demander est-ce que les innombrables compétences marocaines en matière de géologie disposent des moyens nécessaires pour leur mobilisation et leur engagement, c'est un point de diagnostic qui n'a pas été fait. Pr. El Hassani a dit qu'il y a un grand nombre de géologues nationaux qui se sont investis, je voudrais savoir qu'est ce qu'il en est, et c'est un point très important.

Deuxième chose, il faut peut être rendre hommage à cette occasion aux deux pionniers de la cartographie géologique marocaine, qui ont édité d'ailleurs plusieurs cartes géologiques du Maroc et consacré une bonne partie de leur vie pour cette cause et pour la formation des marocains dans ce domaine. Il s'agit de :

- Georges CHOUBERT, qui a commencé son travail au Maroc vers 1950 et décédé en 1985. Il a occupé le poste de Chef de la Division de la Géologie au Ministère de l'Energie et des Mines,

- Anne FAURE-MURET, qui a démarré son travail au Maroc en 1953 et a occupé le poste de Chef du Service de Géologie au même ministère. Elle est décédée en 2003 en voyage vers la France avec les échantillons qu'elle ramenait du Maroc pour leur analyse en France.

Les deux chercheurs connaissaient le Maroc pierre par pierre et représentaient la Maroc à l'UNESCO au niveau de laquelle ils ont inscrit le Maroc comme site unique et recommandé pour la «coupure précombrienne» qui n'existe nul part ailleurs. Elle nous a quittés il y a un an et demi à peu près et qui a beaucoup travaillé en matière de cartographie en collaboration avec les nationaux.

Madame Chennaoui a évoqué le problème de manque de réglementation et donc de trafic. Moi ce que j'ai compris c'est qu'il y a aussi un problème de nomenclature de ces météorites qui peut être résolu si vous disposez des coordonnées par GPS et de les fournir à la commission internationale. Par contre j'aimerais savoir quelle est l'importance de l'étude des météorites et qu'est ce que ça peut apporter en matière de valorisation. Merci beaucoup.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

Je voudrais d'abord remercier tous ceux qui sont intervenus dans cette discussion. Nous avons des questions qui ont été adressées directement à Madame Chennaoui et au Pr. El Hassani, puis on invitera Pr. Taquet pour nous dire sa réflexion sur cette 6<sup>ème</sup> grande crise biologique dont a parlé Pr. Badia Bouab.

**- Pr. Ahmed El Hassani** (CSTETM)

Merci monsieur le Directeur. Alors pour répondre à la question de M. Filali sur la capacité des géologues marocains, est-ce qu'ils disposent de moyens pour remplir la tâche que je viens d'exposer ce matin, je dirai oui. Sur le plan compétences scientifiques, heureusement nous avons de grandes compétences sur le plan de la géologie au Maroc. Ce que j'estime à 1.200 géologues, peut-être il y'en a plus, je n'ai pas les chiffres exacts. Au niveau des Universités, il y a à peu près 600 géologues et si on ajoute les ingénieurs ça fait le double.

La géologie est une discipline qui ne nécessite pas beaucoup de moyens. Elle nécessite une voiture, pas toujours tout terrain, parce qu'avec les routes qui existent maintenant au Maroc on peut aller un peu partout. Elle nécessite un marteau, une boussole et puis des crayons etc... Comme je l'ai dit dans les recommandations, on aimerait que l'administration qui prendrait en charge la cartographie fasse appel aussi aux géologues marocains pour prendre part dans le travail de cartographie. Nous avons même suggéré au sein du Collège d'associer des doctorants, dans le cadre de marchés octroyés à des professeurs d'Universités, pour les intéresser à faire de la cartographie. Pour résumer, nous avons des compétences qui sont assez sérieuses au Maroc sur le plan de la géologie, moi je crois que c'est une question de gestion tout simplement.

**- Pr. Hasnaa Chennaoui** (Faculté des Sciences, Ain Chock, Casablanca)

Je commence par répondre au sujet de la vie sur les planètes. J'ai présenté tout à l'heure une image qui a été beaucoup médiatisée et qui a été publiée par une équipe de la NASA sur une météorite martienne. Il semble que même le Président des Etats-Unis de l'époque en avait parlé, qu'on avait trouvé la preuve d'une vie extra terrestre. Actuellement, on est assez sceptique, ce n'est plus du tout admis comme étant une bactérie, mais il n'empêche que des travaux très sérieux ont été menés notamment sur des phases minéralogiques par exemple la présence de certaines amphiboles qui sont des minéraux hydratés qui ne peuvent se former que sous une atmosphère hydratée. Donc, qui dit présence d'eau dit possibilité de vie. Certains travaux sur des météorites martiennes ont démontré qu'il y a eu la présence d'eau et pourquoi pas la présence de vie. Autrement, de nombreux travaux ont été menés sur les chondrites carbonées qui sont un type de chondrites les plus anciennes dans le système solaire et qui contiennent du carbone et donc avec le carbone il y a tous les éléments chimiques qui rentrent dans la constitution de tous les êtres vivants en fait.

Pour le manque de réglementation, c'est un problème et tout le monde en conviendra. Ceux

qui travaillent au Ministère de l'Energie et des Mines vous le diront, les géologues de par le Maroc vous le diront également. Par contre qu'on résolve le problème de nomenclature par GPS c'est possible mais difficilement réalisable sur le terrain en raison des intérêts associés à la découverte des météorites notamment l'intérêt économique.

L'intérêt de l'étude des météorites, il y'en a tellement et c'est très diversifié et très enrichissant. L'analyse des météorites et des roches lunaires a permis de démontrer que la lune a été arrachée à la terre; celle des météorites martiennes a permis de faire avancer les travaux d'exploration de la planète Mars. Personnellement, je travaille sur des phases de chocs de très haute pression et ça nous a permis de décrire des phases qui n'ont jamais été décrites sur terre et qui permettent de comprendre des phénomènes qui nous intéressent tous. Voilà, je vous remercie.

**- Pr. Philippe Taquet (CSTETM)**

Je voulais reprendre ce qu'a dit Madame Bouab et qui est très juste. En effet, l'inquiétude est d'observer dans les années à venir au fond ce que certains appellent la 6ème extinction. Là encore l'Homme a un rôle déterminant et il lui appartient, de gérer autant que faire se peut comme un bon jardinier, de garder la planète le plus possible en bon état dans le domaine de la biodiversité parce que cette biodiversité si on souhaite la garder ce n'est pas pour le plaisir de regarder des éléphants et des girafes. La biodiversité nous nourrit, nous habille, nous chauffe et nous guérit. La pervenche de Madagascar et le taxol tiré de l'If sont actuellement les deux meilleures substances anti-cancéreuses qui nous permettent de nous soigner. On pourrait multiplier les exemples.

La biodiversité au Maroc est illustrée par le fait d'avoir réussi à conserver l'arganier et d'avoir des noix, l'huile d'argan est économiquement très utile. L'autre exemple marocain réside dans la mise en place d'un réseau d'aires protégées à travers les différents écosystèmes sur le territoire national. Il y a aussi des exemples négatifs comme l'utilisation abusive des pesticides, dans certaines régions de Chine, pour lutter contre les insectes ravageurs des récoltes, a supprimé toutes les abeilles dans certaines vallées où on cultive le pommier de sorte que les pommiers ne sont plus pollinisés. Donc il faut être attentif à cela. Il y a des exemples très passionnants au Muséum d'Histoire Naturelle à Paris des liens entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée.

Je ne suis pas très pessimiste au sujet de la 6ème extinction puisqu'il y a une prise de conscience mondiale de garder cette biodiversité mais évidemment la démographie est un facteur aggravant qui complique singulièrement les choses en morcelant les écosystèmes. Il est de l'intérêt de tous les peuples de la Terre de se mettre ensemble pour participer aux opérations internationales de sauvegarde de la biodiversité.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi (Directeur des Séances)**

Nous arrivons donc au terme de cette première session. Je voudrais remercier vivement les orateurs ainsi que les collègues qui sont intervenus dans la discussion. Nous retenons que le Maroc est mémoire de la Terre, il doit s'investir davantage pour mieux connaître cette mémoire et la valoriser dans l'intérêt de l'Humanité. C'est ce patrimoine de l'Humanité qui a été le leitmotiv de cette Académie.



**Thématique :**  
**LES EAUX SOUTERRAINES**

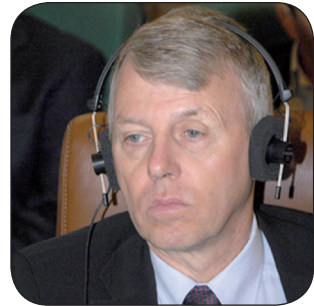




## THE ROLE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN THE WATER SECTOR - ILLUSTRATED BY DANISH APPROACH -

***Dr. Torkil JONCH-CLAUSEN***

***Managing Director, DHI Water Policy  
Chair, Danish Water Forum***



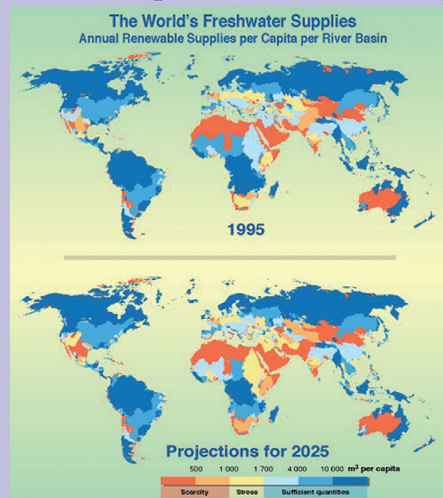
The recent reports from the International Panel of Climate Change (IPCC) have made it clear that climate change, caused by global warming, will have serious effects on our water resources: changes in precipitation, evaporation and water temperature; increase in the frequency and severity of extreme events (floods and droughts); rising sea water level levels etc.. Addressing these effects is at the heart of adaptation to climate change, both in the North and in the South. The struggle by many countries of the South to achieve the Millennium Development Goals is still the main challenge; however, climate change adds to that challenge and stress the urgency. All countries, in the North and the South, need to collaborate and exchange know-how and experiences of how best to face these challenges.

Adaptation to climate change calls for Integrated Water Resources Management (IWRM) as the overall approach. However, it also raises new challenges to science and technology in the water sector. Countries need to develop appropriate institutional frameworks and instruments for both.

The presentation will address these overall challenges facing the water sector, including the role and framework for IWRM and science and technology. Denmark will be taken as an example of what such a framework for science and technology may look like, building the bridge between the research and practitioner communities. Denmark has over many years developed a “technological infrastructure system”, building on a group of independent, research- and customer-oriented technological service institutes, currently employing some 3000 people with a an annual turn-over of over 300 million Euro. The “water institute” in this family is DHI Water-Environment-Health, created by the Danish Academy for Technical Sciences more than 40 years ago, and currently employing some 750 people in more than 20 countries with a mission to develop and disseminate know-how and technology for the water sector. In so doing DHI attempts to link water policy and management approaches with scientifically based technologies. The latter include advanced mathematical models and decision support systems for the freshwater, urban and marine environment. In facing the current challenge of adaptation to climate change these approaches and technologies are playing a key role.

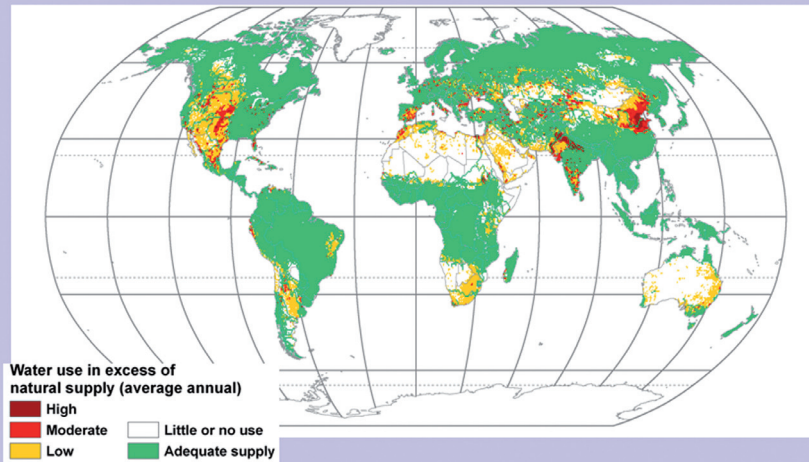
# 1. The water challenge

## Growing water scarcity ...



.. and degrading water quality

## Non-sustainable water use

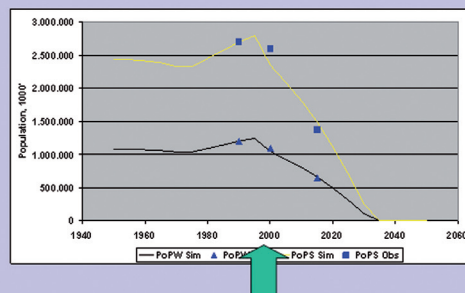


.. including non-sustainable food production through over-pumping groundwater aquifers

## A World of shortage of safe drinking and basic sanitation

**>1 billion without safe drinking water**

**>2.5 billions without basic sanitation**



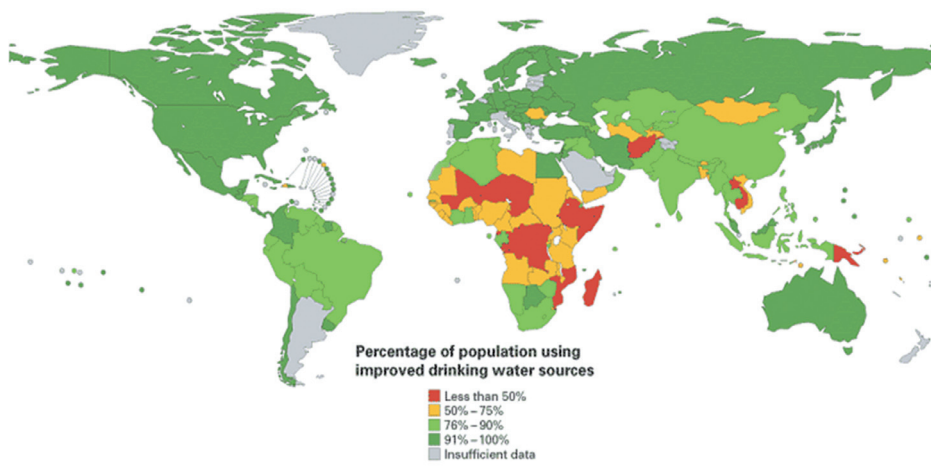
Millennium Development Goal:

“Halving proportion of people without access to safe drinking water supply and basic sanitation by 2015”:

## The drinking water target Difficult for Africa – possible in Asia

Good water coverage attained in most regions

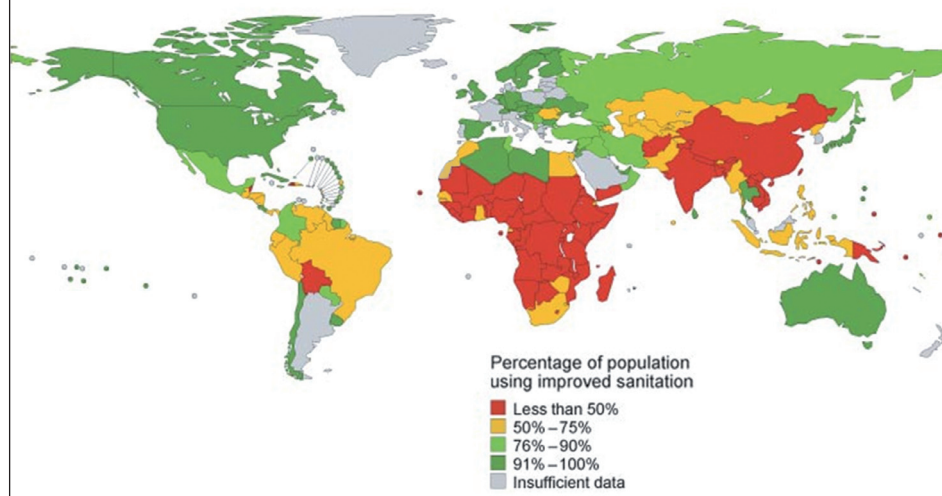
Figure 1 Coverage with improved drinking water sources in 2002



## The sanitation target Major challenge for both Africa and Asia

Half the developing world are still without improved sanitation

Figure 7 Sanitation coverage in 2002



## The water implications...

*Wet getting wetter – dry getting drier*

- plus 10-40% in wet regions (mostly North)
- minus 10-30% in dry regions (mostly South)

*Changes in snow cover*

- > 1/6 of World population affected

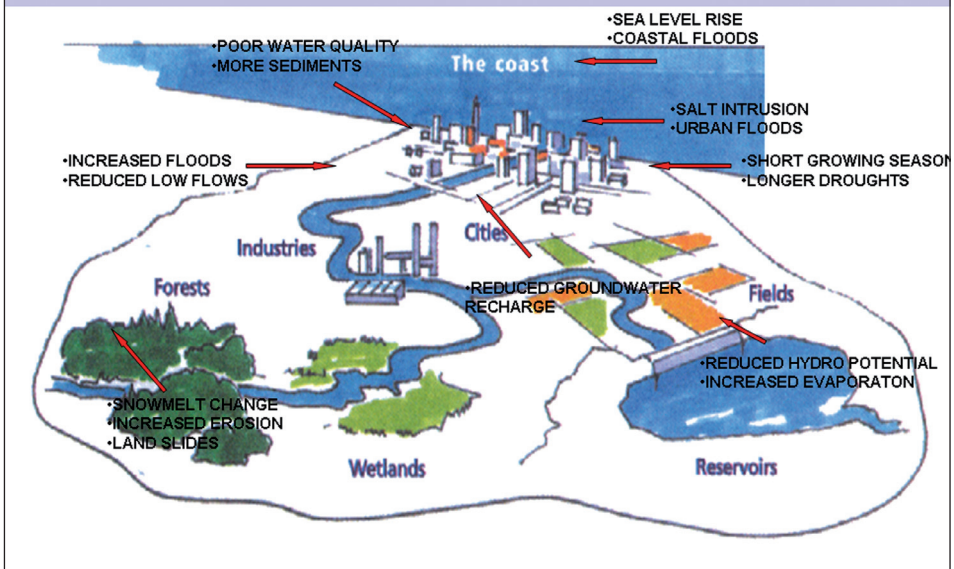
*Temperature changes affecting water quality*

- all combined with sea level rise in the coastal zone

- and hurting the poor the most



## Water and Climate Change: Affecting the entire cycle

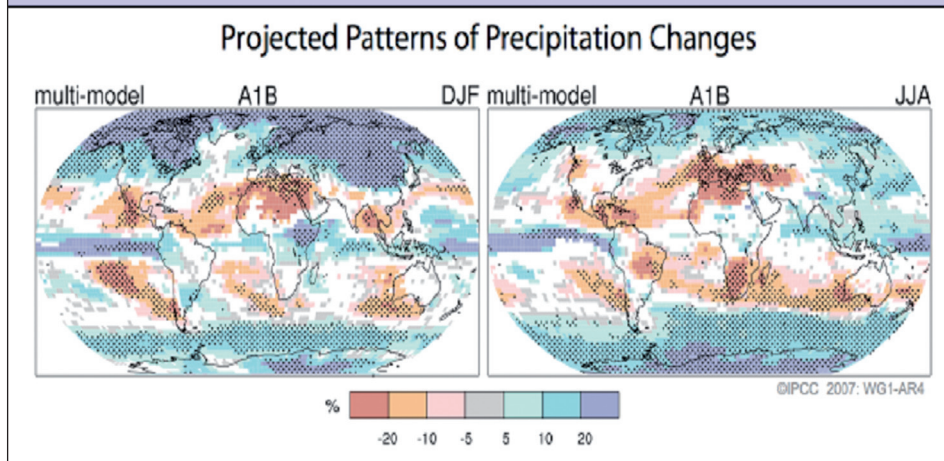




## IPCC Precipitation projections

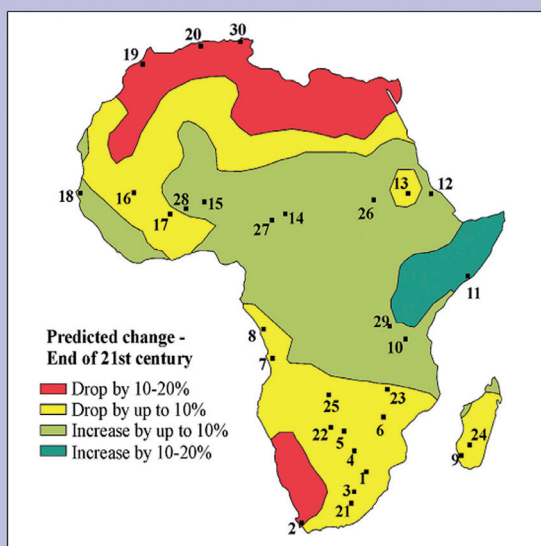
### 1990 -> 2090

### Northern Winter left; Summer right



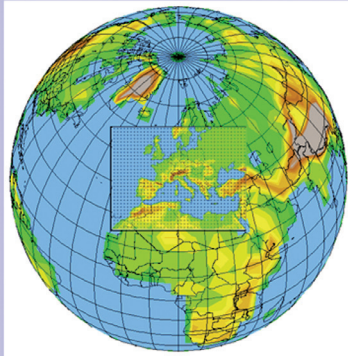
## IPCC hydrologic projections for Africa

### Changes in surface water supply by 2100

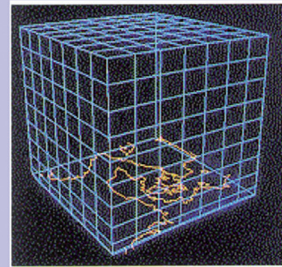


## From IPCC models to on-the-ground reality

The challenges: Reducing uncertainties  
Down-scaling the models



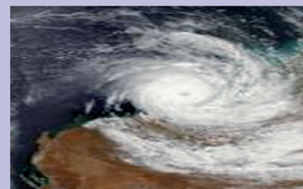
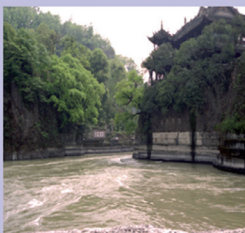
$\Delta x = 12 \text{ km}$



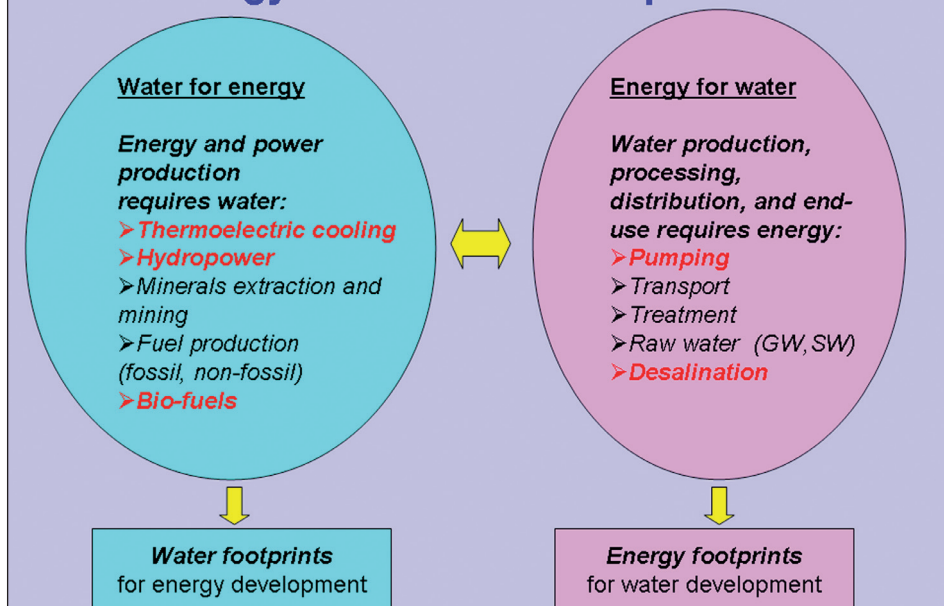
## A message to take from the IPCC report

Energy is the focus for mitigation

**Water** must become focus of **adaptation**



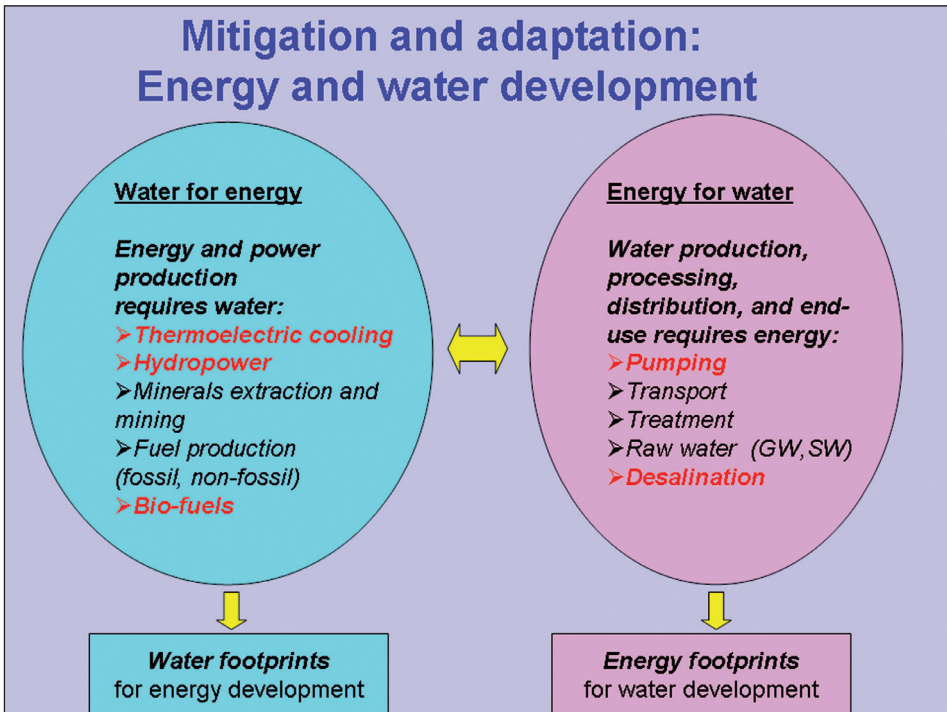
## Mitigation and adaptation: Energy and water development



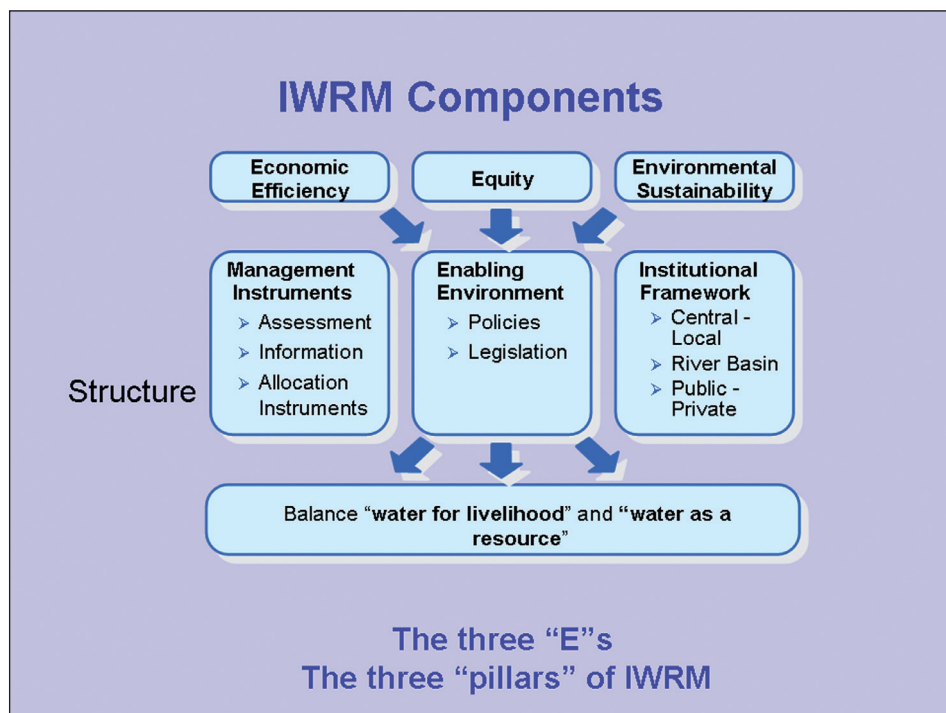
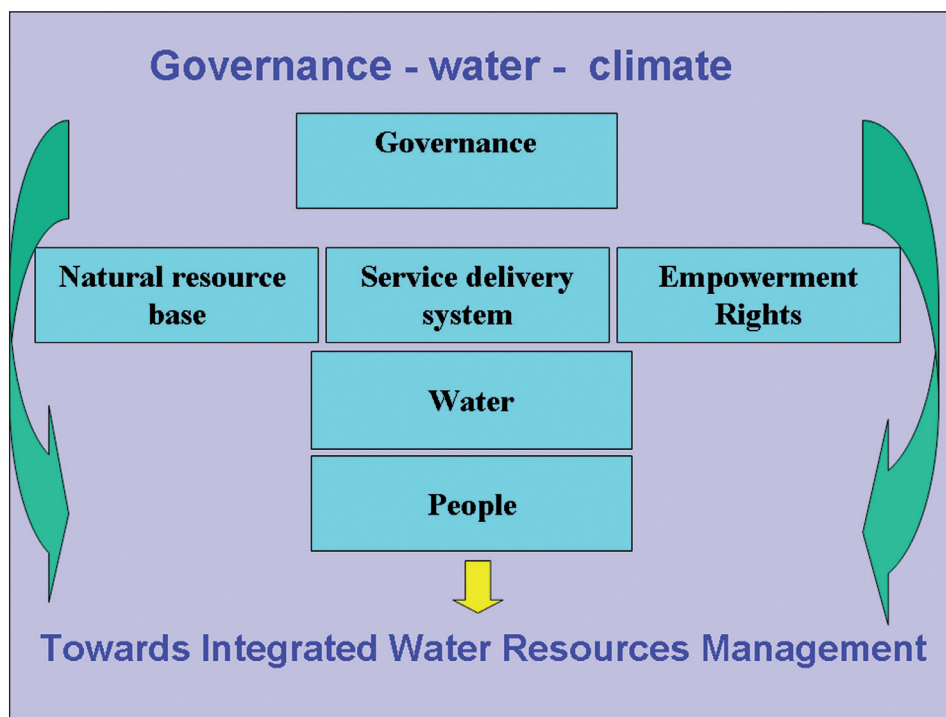
## Water footprints for energy

*(US examples – available for very few countries)*

<u>Energy type</u>	<u>Water pr energy unit</u> (cum/Mwh)
Solar	0.001
Wind	0.001
Gas	1
Coal	2
Nuclear	2.5
Oil/Petrol	4
Hydropower	70
Bio-fuel (1st gen)	240

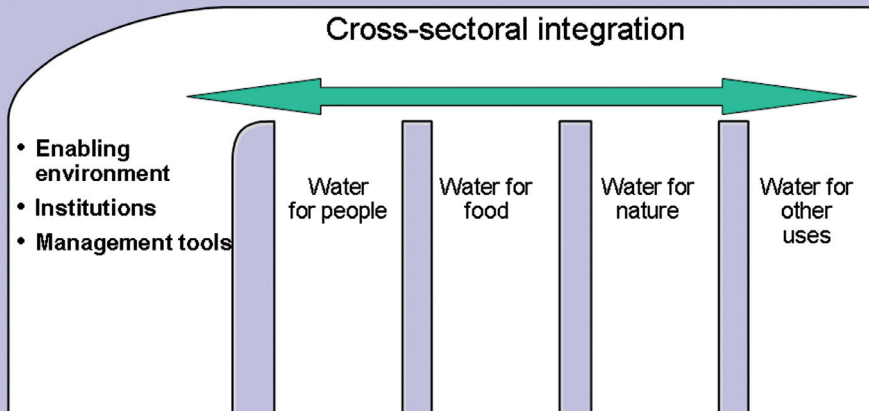


## 2. Addressing these challenges





## Managing competing uses: A cross sectoral challenge



## The challenges..

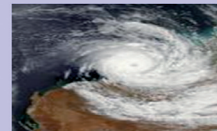
Creating awareness and political will to act

Mobilizing finance

Improving water governance

Building infrastructure

Developing technologies





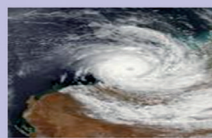
## **The governance challenge**

**Moving from sectoral to holistic management – bridging the divides**

**Ensuring environmentally sustainable development**

**Building the capacity at all levels**

**Sharing information – and data**

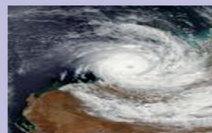


## **The science and technology challenges**

**Developing water and energy efficient technologies**

**Getting the data and future scenarios right – dealing with uncertainties**

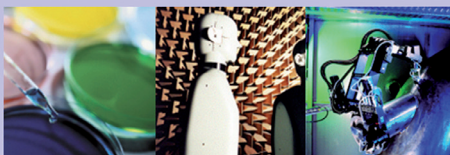
**Developing science based decision support systems**



### 3. The Danish S&T system

#### GTS – Advanced Technology Group

- **Public goods on commercial terms!**
- **Assisting approx. 20,000 private businesses and public authorities**
- **Serving customers in approx. 100 countries**



**Total turnover: 312 million euro**

**Employees: 2.800**

**R&D activities: 67.4 million euro**

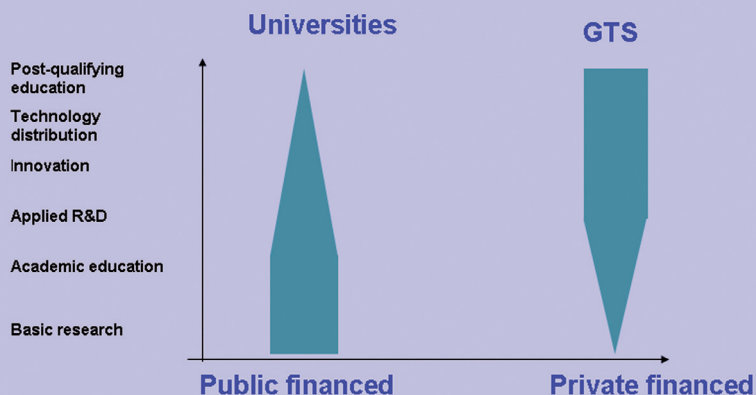
## The characteristics of the GTS institutes

### FIVE CORE VALUES

- Customer-oriented
- Independent
- Future-oriented
- Research-oriented
- Beneficial to society



## Complementary to the university system



## **4. The water institute: DHI**

### **Overall characteristics of DHI**



**Created by Danish Academy of Technical Sciences in 1964:  
Bridging university and industry**

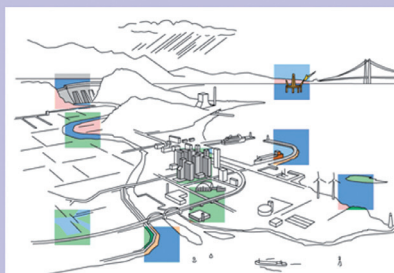
## Headquarters in Denmark



### OFFICES IN 23 COUNTRIES

Denmark - Australia, Bulgaria, Canada, China, Czech Republic, France, Germany, India, Italy, Malaysia, New Zealand, Norway, Poland, Singapore, Slovak Republic, Spain, Portugal, Sweden, UAE, USA - Brazil, Japan, Thailand, UK, Vietnam

## Addressing the World of Water



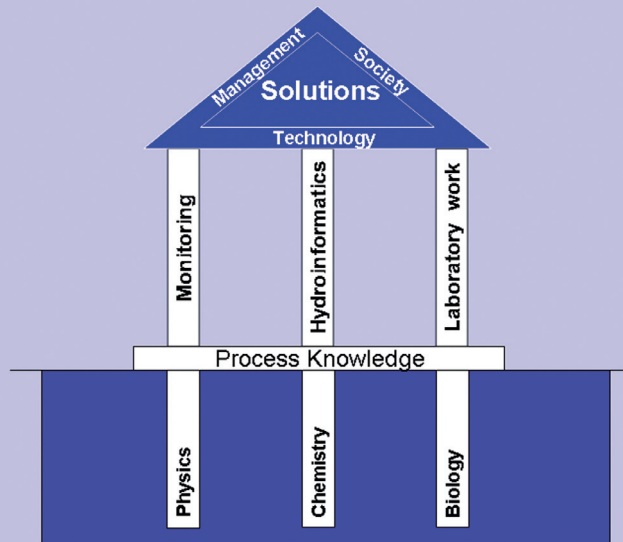
**Freshwater – urban and industrial water - marine waters:**

- **Physics and technology**
- **Environment**
- **Health**

**Addressing the World of Water**



## Scientifically based solutions



## Basic characteristics

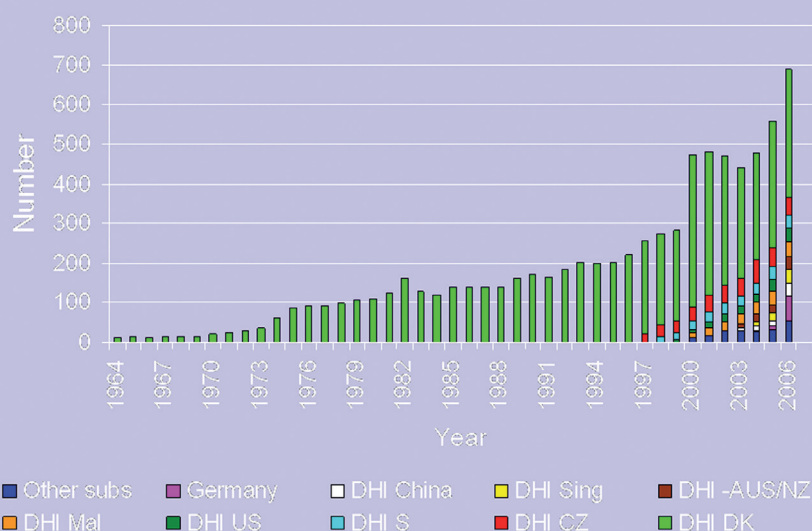


- Research based (90 man years own R&D)
- 700 staff (550 MSc/PhD, 60 tech., 90 support)
- Turnover 60 mio. € (75% international)
- Offices in 23 countries (half of staff)
- Representation in further 40 countries
- Private, independent, no owners, not-for-profit
- Centre for UNEP, WHO, Global Water Partnership
- Secretariat for Danish Water Forum





## DHI history : Developing with globalization



## Three main areas

- combining governance, science and technology -

IWRM, CZM,  
EIA etc.



Policy

R&D&I and  
consultancy



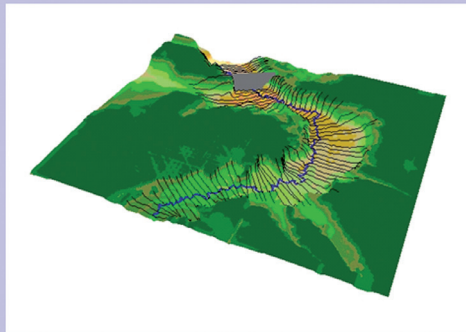
Projects

Models and  
DSS



Products

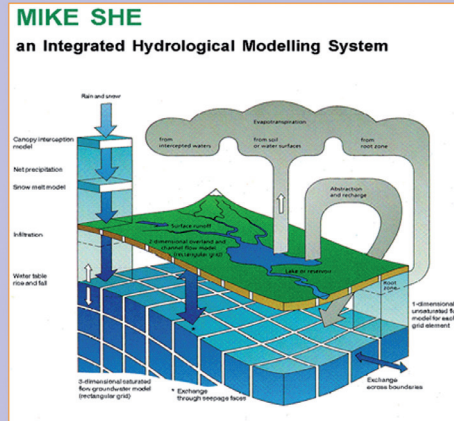
## DHI modelling technologies: some examples



### DHI Products: Knowledge packaged in software



## MIKE SHE - integrated hydrological modelling



- more than 30 years of development and use

## MIKE 11 – river hydraulic modelling

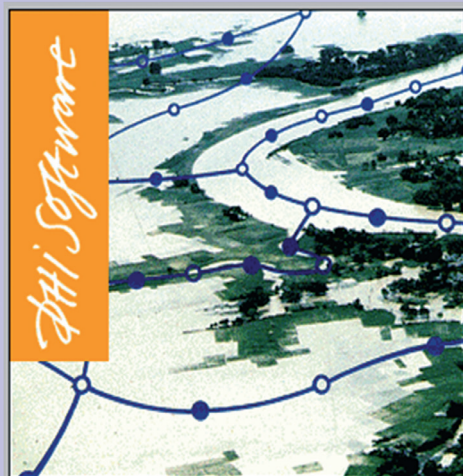
*Rainfall – runoff  
modelling*

*Hydraulic modelling*

*Water quality  
modelling*

*Ecological modelling*

*Sediment transport  
modelling*



## THE GROUNDWATER DEVELOPMENT SILENT REVOLUTION : PROS AND CONS

*Dr. Manuel Ramón LLAMAS*

*Royal Academy of Science, Spain  
Complutense University, Madrid, Spain*



During the last half-century, agriculture in most arid and semi-arid countries has experienced a true “silent revolution” of intensive groundwater use. Millions of independent farmers worldwide have chosen to become increasingly dependent on the reliability of groundwater resources, and as a result their countries have reaped abundant social and economic benefits. Except in very poor regions this spectacular increase in groundwater use is driven by economic reasons: usually the cost of abstracting groundwater is only a small fraction of the guaranteed crop. On the other hand in the less developed regions, groundwater probably constitutes the only viable alternative to meet the goals of the United Nations Millennium Declaration.

Data from several countries shows that groundwater irrigation presents significantly greater efficiency than surface water irrigation systems, thus contributing to fulfill the motto of “more crops and jobs per drop”. If this situation is confirmed globally, the usual world water visions have to be significantly reviewed. As a matter of fact in the semiarid and arid industrialized regions the motto is changing to “more cash and nature per drop”.

However, the “silent revolution” has been carried out with scarce control on the part of government water agencies, and thus a series of unwanted effects have developed in certain places. While these by no means justify the pervasive “hydromyths” and obsolete paradigms that voice the frailty of groundwater, appropriate management of groundwater resources remains a worldwide challenge. In most countries, a reliable inventory or registry of groundwater wells and rights does not exist. This paper provides an overview of these issues, and concludes with the need there is to educate all levels of society on the importance of groundwater and to create bottom-up user associations to manage aquifers as a common pool resource.

The Spanish situation seems especially interesting because Spain is the driest country in the European Union and over the last decades its economy has changed from predominantly agricultural to industrial.

## **“The groundwater development silent revolution pros and cons”**

---

### **Table of contents:**

- 1- Introduction**
- 2- Relevant facts**
- 3- The benefits**
- 4- The problems**
- 5- The conflicts. Spanish experience**
- 6- The solutions**
- 7- Conclusions**

2

## **1- INTRODUCTION**

- **Groundwater intensive use is a recent phenomenon (about half a century).**
- **Water decision makers often suffer from “Hydroschizophrenia”.**
- **Millions of modest farmers have drilled millions of water wells to abstract groundwater.**
- **This situation has produced:**
  - a) **Benefits (everywhere).**
  - b) **Technical problems (in some places).**
  - c) **Social and political conflicts (in Spain).**
- **Solutions are possible.**

3

## **2- RELEVANT FACTS (I)**

- **A spectacular increase of groundwater development for irrigation has occurred in most arid and semiarid countries. It is a “silent revolution”.**
- **Probably, about 50 % of the economic value of irrigated agriculture is obtained with groundwater but the volume of groundwater used is only a small fraction of the corresponding volume of surface water used for irrigation.**

4

## **2- RELEVANT FACTS (II)**

- **Scientific and technological advances have played a relevant role in this development.**
- **Most of this development has been made by private farmers with scarce governmental planning, funding and control.**
- **The fragility of groundwater resources is a pervasive “Hydromyth” (the pillar of sand).**

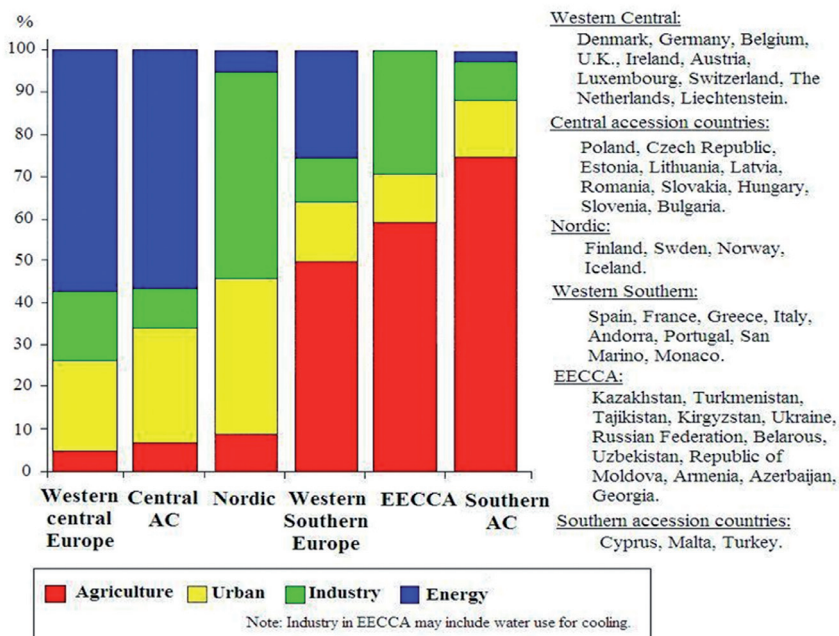
5



## 2- RELEVANT FACTS (III)

- There is no blue print (a universal model). Situations are rather different in industrialized and in developing countries, and in urban and rural areas.
- Nevertheless, “water crises” occur mainly in arid and semiarid regions, where water for irrigation represents 90 % of the total water use.
- The market is usually the driving force of this silent revolution. Groundwater abstraction is usually cheap in comparison to the obtained benefits.

6



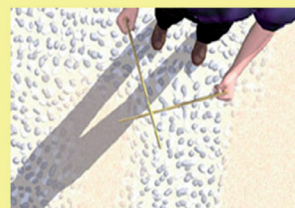
Sources: Eurostat new Cronos, EEA questionnaire (2002); Aquastat (FAO), 2002 for EECCA countries.



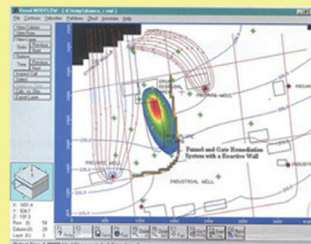
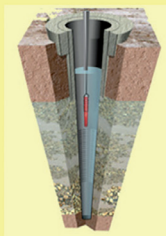
From the dug-well  
to the deep borehole.



From the water wheel  
to the pump.



From the water-witches  
to Hydrogeology.



8

## 2- RELEVANT FACTS (IV)

Comparison of surface/groundwater irrigation in Andalusia, Spain.

INDICATOR	SURFACE WATER	GROUNDWATER	TOTAL
Irrigated surface ( $10^3$ ha)	600	210	810
Total production ( $10^6$ €)	1,950	1,800	3,750
Average consumption at origin ( $m^3/ha/year$ )	7,400	4,000	6,500
Water productivity (€/ $m^3$ )	0.42	2.16	0.72
Employment generated (EAJ/ $10^6 m^3$ )	17	58	25

EAJ: Equivalent annual job

Source: Llamas et al. (2001). Data from Corominas (1999) and MIMAM (2000).

9

## **2- RELEVANT FACTS (V)**

### **Groundwater is already contributing significantly to achieve two of the UN Millennium Goals**

To halve by the year 2015 the number of people worldwide who do not have access to drinking water.

To halve by the year 2015 the number of malnourished people worldwide

10

## **3- THE BENEFITS (I)**

- **Especially in developing countries: ready access to drinking water, irrigation to mitigate or abolish malnourishment.**
- **Security against drought: guarantee urban public supply, encourage agricultural investment.**
- **Positive social transition in poor rural areas (this is a crucial input to global change).**

11

### **3- THE BENEFITS (II)**

- Groundwater irrigation is more efficient from the economic and social point of view than surface water irrigation: significantly more crops and jobs per drop
- Groundwater projects demand:
  - 1) A shorter timeframe implementation
  - 2) Smaller investments
  - 3) Are less prone to bribery and corruption

12

### **4- THE PROBLEMS (I)**

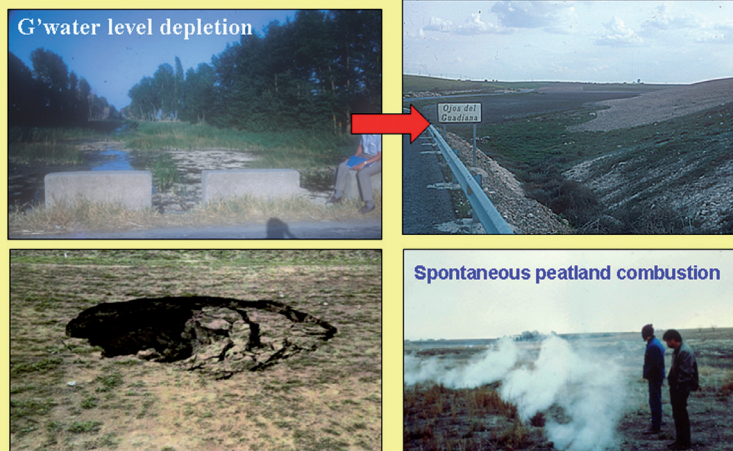
- The problems are:
  - Sometimes real
  - Sometimes exaggerated
  - Sometimes not caused by groundwater development
- Frequent lack of adequate regulations on water rights or their enforcement

13

## 4- THE PROBLEMS (II)

- **Groundwater level variation:**
  - Excessive depletion (more energy needed or adverse side effects)
  - Excessive raising up by different causes (flooding of urban structures or soil water logging)
- **Degradation of groundwater quality** (The most important)
- **Land subsidence or collapse**
- **Reduction of springs and streams base-flow**
- **Ecological impacts on aquatic ecosystems** (developed countries)

14



Land subsidence: sinkholes and collapse

15

## 4- THE PROBLEMS (III)

- Existence of “perverse subsidies” in some countries.
- Pervasive hydromyths about groundwater.
- Unethical attitudes: Ignorance, arrogance, neglect and corruption.

16

## 4- THE PROBLEMS (IV)

- Groundwater is not a panacea that will solve all the world's water problems.
- If anarchy persists, serious problems might arise within two-three generations.
- This is unlikely in the short term, given the large storage capacity of most aquifers.

17



## 5- THE CONFLICTS: SPANISH EXPERIENCE (I)

- Frequent exaggeration of real problems due to unethical attitudes.
- Legal and administrative chaos in groundwater rights and management

18

## 5.- THE CONFLICTS: SPANISH EXPERIENCE (II)

### CREVILLENTE AQUIFER: AN EXTREME CASE (1)

Aquifer settings	90 Km <sup>2</sup> (limestones)
Estimated recharge/abstraction	2/16 Mm <sup>3</sup> /year
Initial pumping elevation (1970s)	20-30 m
Current pumping elevation	500 m
Groundwater cost	0.30 €/m <sup>3</sup>
Irrigation cost (grapes)	1000€/hectare/year (3,300 m <sup>3</sup> /hectare/year)
Crop Value	25,000 → 15,000 €/hectare

19

## 5- THE CONFLICTS: SPANISH EXPERIENCE (III)

### CREVILLENTE AQUIFER: AN EXTREME CASE (2)

**Initial solution obtained by farmers (and other lobbies):**

Júcar-Vinalopó Water Transfer

**Cost: 230 million €**

Funded by:

2/3 EU and Spanish Government.

1/3 farmers and water supply companies.

20

### EBRO TRANSFER CASE



**SARAGOSSA, Oct 2002**

Clamorous example of social conflict arising from poor groundwater management.



**BRUSSELS, Sep 2001**



**VALENCIA, May 2003**

## 6- THE SOLUTIONS

- **The water decision-makers should allocate adequate man-power and economic means to water agencies to help and control groundwater users.**
- **Relevant educational campaigns on hydrogeology for farmers and the general public are necessary.**
- **More transparency on allocated (perverse) subsidies is needed.**
- **Promotion of (bottom-up) collective institutions for groundwater management.**

22

## 7- CONCLUSIONS (I)

- In the last decades, a **Silent Revolution** of intensive groundwater development for irrigation has taken place in many arid and semi-arid countries.
- This has been carried out by millions of small farmers, with little or no planning on the part of governmental agencies.

23

## 7- CONCLUSIONS (II)

- The silent revolution is mainly market driven, and has already contributed to achieve the UN Millennium Goals.
- Groundwater irrigation can achieve the “more crops and jobs per drop” motto, even if perverse subsidies for energy blur this reality in some countries.
- A thorough worldwide assessment on the relative surface/groundwater socio-economic efficiency is required.

24

## 7- CONCLUSIONS (III)

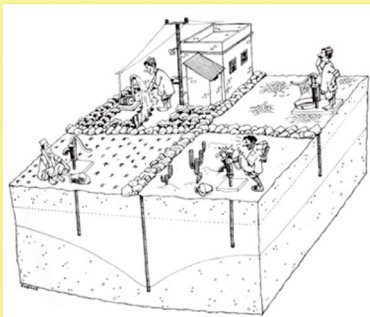
- Groundwater development is less prone to corruption than surface water projects.
- Most governments can afford the investment of putting their groundwater resources to good use, as this would only cost a small fraction of the money spent yearly on hydraulic infrastructures.

25

## 7- CONCLUSIONS (IV)

- Groundwater is not the panacea. If anarchy persists, serious problems may appear in the mid-term (two or three generations).
- Groundwater governance requires a participatory bottom-up approach of all stakeholders. Groundwater user associations should be developed (proactive government action).

26



Source: Moench,  
Caspari & Dixit (1999).

**Current situation: anarchy**

vs.

Tribunal de las Aguas de Valencia.

Example of participatory management  
of water resources.



27

## EXAMPLES OF ADVANCES IN GROUND-WATER MODELING: FLOW, TRANSPORT, AND GROUND-WATER/SURFACE-WATER INTERACTIONS

*Dr. Randall T. HANSON*  
*Research Hydrologist,*  
*U.S. Geological Survey,*  
*San Diego, California - USA*

*[rthanson@usgs.gov](mailto:rthanson@usgs.gov)*



### 1. Introduction - Resource Development and Management of Water Resources

The sustainability of water resources is subject to changing demands and supply. Demand for water resources represents human development and the indirect effects from that development, but can also include ecological requirements. Supply of water resources represents replenishment and storage above and below the land surface. Conservation and greater efficiency of water use can also greatly affect the supply and demand components along with water reuse.

The sustainability of water resources requires more than preventing storage depletion of aquifers. This is because pumpage in excess of recharge that results in storage depletion can also include the capture of inflows and outflows. Captured inflows can include streamflow in rivers and infiltration of precipitation as recharge and captured outflows can include reduced evapotranspiration or spring flows, base flow, and diminished ground-water underflow.

The amount of recoverable water from ground-water storage is also substantially less because of the coupled adverse effects from limiting factors such as land subsidence and seawater intrusion, as well as reduced availability of surface water for use by humans or riparian and aquatic ecosystems (Alley, 2006). Thus the application of coupled regional hydrologic models allow for a more complete assessment of the inflows and outflows and cause and effect relations that can result from the development of water resources. This, in turn, allows for a more complete hydrologic budget and a more complete assessment of the cause and effect relations that are evaluated by managers for developing water resources and sustaining the quantity and quality of the water resources.



Water-resource management is not just constrained by the physical supply and demand components, but is also subject to other constraints and couplings such as:

- Social Constraints - Water Rights, Conservation, Efficiency, Land-Use Planning
- Economic Constraints - Water Markets, industrial, urban, agriculture, and tourism
- Conjunctive Use - Combined use of surface-water and ground-water resources
- Water Quality - Natural & Anthropogenic Contamination
- Conversion of agriculture to urban land use or habitat restoration
- Ecological requirements
- Climate Change and variability

Because the hierarchy of supply and demand is typically complex for regional hydrologic systems, regional hydrologic models are needed to fully understand the complex relations between climate, land and water use, surface and subsurface flows (fig. 1). These regional hydrologic models simulate the supply and demand components as they operate in concert at regional and local scales. And as such, they facilitate the ability to evaluate and simulate the hydrologic budget components that result from the implementation of the supply and demand (inflows and outflows) on the regional hydrologic system.

The following summary shows some examples of how new modeling tools incorporated into the U.S. Geological Survey's (USGS) three dimensional flow model, MODFLOW (Harbaugh et al., 2000), can provide integrated tools within a hydrologic model to assess flow, transport, and ground-water/surface-water interactions. Many of these new features allow the simulation of critical processes that in many hydrologic settings dominate the flow and the quality of water as well as the cause and effect relations of that must be considered within water resource management.

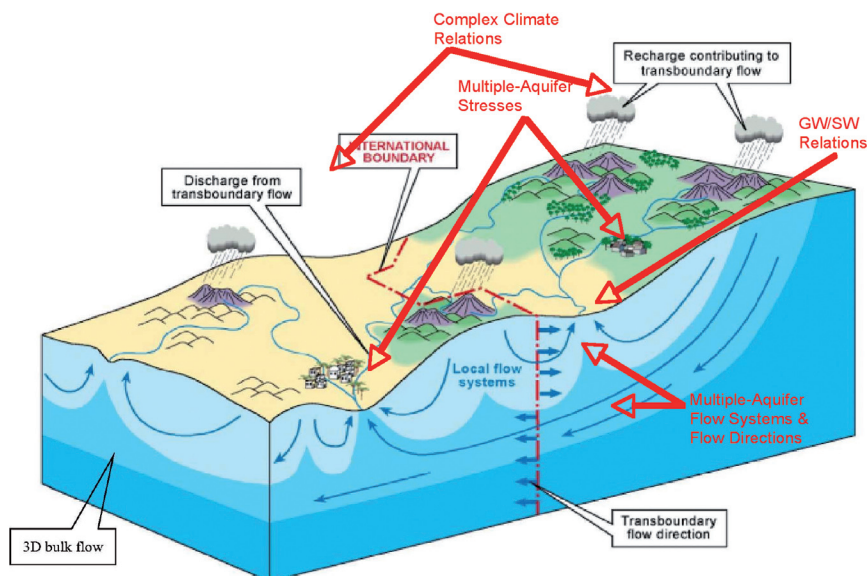


Fig 1. Example of complex relations between inflows and outflows of a three dimensional regional hydrologic flow system (modified from Puri and Arnold, 2002)

## 2. What Do Hydrologic Models Provide?

Modern hydrologic models are a holistic combination of the inflows and outflows that simulate movement of water throughout the entire watershed or even multiple watersheds that combine to form regional flow systems. The models help water-resource managers with the assessment and management of regional flow systems by giving a basis for the following:

- Understanding of Regional Flow Systems;
- Complete Assembly of Hydrologic-Budget Components;
- Systematic Analysis of All Hydrologic Components;
- Linkage between Databases, Monitoring Networks, and Model Input Requirements;
- Flexibility for testing Policies, Projects, & Remediation;
- Vehicle for mediation between regional neighbors;
- Systematic estimate of Uncertainty and Sensitivity;
- Vehicle for Communication & Understanding.

## 3. New Paradigms in Process Modeling

Modeling now encompasses a broader scope of processes that encompass geologic, hydrologic, biological, and geochemical components that can include any one or all of the following:

- Ground-water Flow;
- Estimating Ground shaking related to earthquake hazards;
- Seismic-wave propagation and earthquake relocation;
- Fault interaction and tectonic strain accumulation;
- Natural- or Anthropogenic-source Contamination movement.

As part of this broader scope of simulation, modeling is part of a continuous loop of data collection, synthesis, and simulation (fig.2). In addition the U.S. Geological Survey's three-dimensional modular ground-water flow model (MODFLOW) has been transformed from a model used predominantly for ground-water flow modeling into a full hydrologic flow model. This is facilitated through the modular program structure in MODFLOW that facilitates the addition of new and optionally coupled flow features (fig. 3).

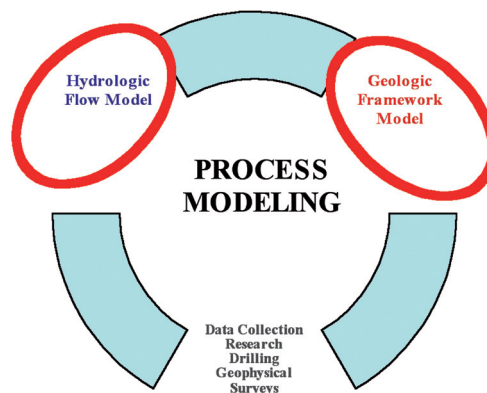


Fig 2. The new paradigm of process modeling includes a continuous loop between hydrologic and geologic process models and related data collection.

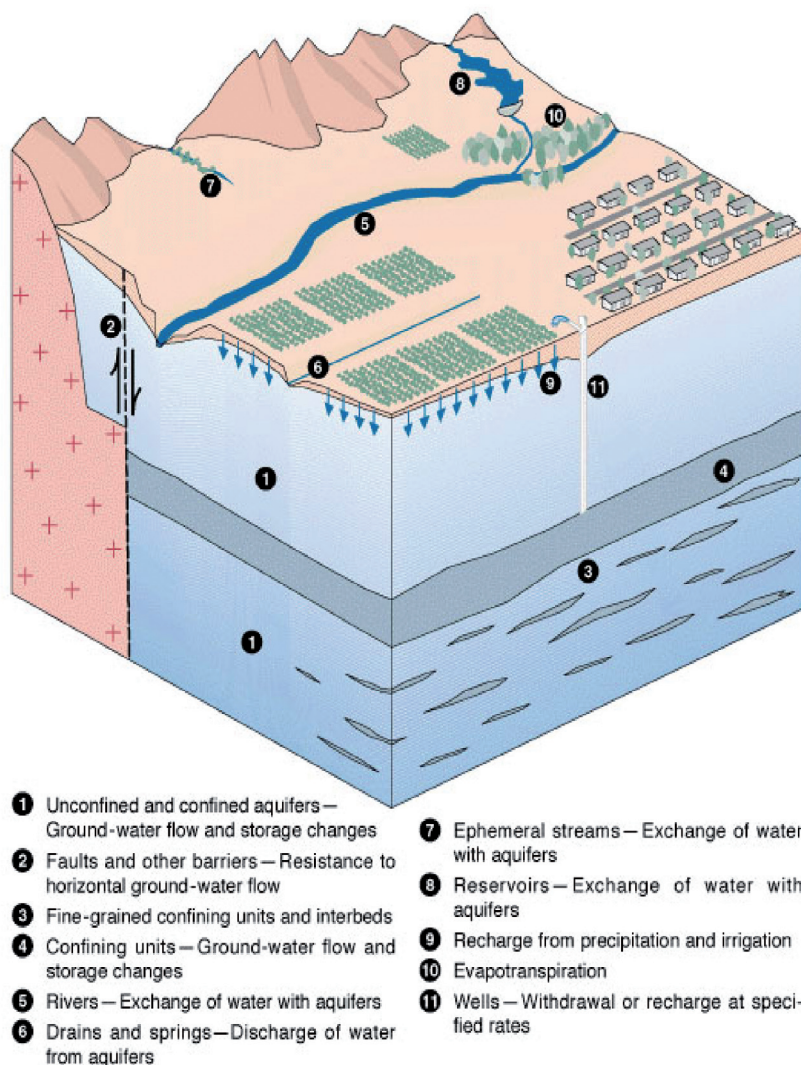


Fig 3. Example of selected features within the USGS three dimensional flow model, MODFLOW that has been transformed from a predominantly ground-water flow model to a full hydrologic model. (modified from Leake, 1997)

#### 4. Recent Developments in Simulation with MODFLOW

Recent MODFLOW developments has facilitated more complete hydrologic models that, in turn are more realistic conceptual and quantitative models of regional flow systems (Barlow and Harbaugh, 2006). These more complete simulation models allow water managers to construct better posed questions and answers about the marginal changes in supply and demand components and related cause and effect relations within the entire hydrologic cycle. Some of the recent developments by the MODFLOW development team include:

- Development of MODFLOW-2005 (MF2K5) → Facilitates embedded child models
- Local Grid Refinement (LGR) → Simultaneous parent and embedded child models
- Hydrologic Optimization (GWM) → More state variables/constraints
- Conduit Flow Process (CFP) → Secondary Porosity/Pipe Flow
- Subsidence and Aquifer-System Compaction Packages (SUB & SUB-WT) → Simulation of land subsidence with delay, geostatic loads and changing water tables)
- Unsaturated-Zone Flow (UZF) and GSFLOW-PRMS (Ground water/Surface-water Flow Model) (Precipitation-Runoff Modeling System) Linkage
- Linkage between MF2K5-LGR and MODPATH → Particle tracking and parameter estimation for combined parent and child models
- Enhanced Farm Process MF2K5-FMP2 → Linkage to UZF for delayed recharge through unsaturated zone, saturated uptake for vegetation like riparian plants and crops like rice, simulation of plant staged growth with crop coefficients and reference evapotranspiration ( $ET_0$ )
- Enhanced Multi-aquifer Wellbore Flow (MNW2) → Linkage to GWT & Partial Penetration
- Enhancements also facilitate interfacing with other models & processes → Ground-Water management Process (GWM), Ground-water Transport (GWT), Seawater Intrusion Model (SEAWAT), and Ground-water/Surface-water Flow Model (GSFLOW)

These features join a list of features that make MODFLOW one of the most complete simulation and widely tested platforms specifically designed for the analysis of entire hydrologic systems. The list of MODFLOW features now includes (MODFLOW Package/Process Name):

- 1) Parameter Estimation with Observations (PES + OBS)
- 2) Sensitivity Analysis with Observations (SEN + OBS)
- 3) Instantaneous Aquifer-system Compaction/Subsidence (IBS1)
- 4) Delayed or Water-Table Aquifer-system Compaction/Subsidence (SUB/SUB-WT)
- 5) New Solvers (PCG2, LMG, GMG)
- 6) Different Interblock Transmissivity Formulations & Rewetting of any layer
- 7) Horizontal Flow Barriers such as Faults (HFB)
- 8) Transient Leakage of Confining Beds (TLK)
- 9) Reservoir Leakage (RES) and lake water accounting and leakage (LAK)
- 10) Time-varying flow & head boundaries (FHB, CHD)
- 11) Time-series Data Output ground-water levels, streamflow & subsidence (HYD)
- 12) Ground-water Flow in layers as Hydrogeologic Units (HUF)
- 13) Multi-aquifer Wells with interlayer (wellbore) flow (MNW1, MNW2)
- 14) Streamflow Routing -- Saturated Infiltration (STR, SFR1)
- 15) Streamflow Routing +/- Unsaturated Infiltration (SFR2)
- 16) Internal Optimization / Ground-water/surface-water Management (GWM)
- 17) Land-Use Simulation / Water Consumption/Infiltration & routing on Land Surface from Farming, natural processes & ASR's (FMP1, FMP2)
- 18) Infiltration/exfiltration of water through an Unsaturated Zone with rainfall-runoff linkage (UFZ1)
- 19) Embedded Mesh for Simultaneous Parent/Child or Neighbor Models (LGR)
- 20) Linkage to Precipitation-Runoff (PRMS) Models (GSFLOW)

The ability to have such a broad spectrum of features and sustained development, testing, and maintenance of these features stems from the philosophy of a collaborative open-source development with roots at the USGS. The development team includes members of the USGS staff:

- Arlen Harbaugh (MODFLOW, Reston, Virginia, USA)
- Ned Banta (MODFLOW-2000, Lakewood, Colorado, USA)
- Mary Hill (SA/PE/UA, MODFLOW-2000, UCODE, MMA, Boulder, Colorado, USA)
- Steffen Mehl (local grid refinement (LGR), SA/PE/UA, CSU-Chico, USA)
- Stan Leake (compaction and subsidence, TMR, Tucson, Arizona, USA)
- John Hoffman (compaction and subsidence, TMR, Tucson, Arizona, USA)
- Dave Prudic (gw/sw interaction, STR, SFR, GSFLOW, Carson City, Nevada, USA)
- Rick Niswonger (gw/sw interactions, SFR, GSFLOW, Carson City, Nevada, USA)
- Paul Barlow (ground-water management, MODMAN, Reston, VA, USA)
- Randall Hanson (FARM Process, MNW, HYDMOD, San Diego, USA)
- Dave Pollock (particle tracking, MODPATH, Reston, Virginia, USA)
- Chris Langevin (transport, saltwater intrusion, SEAWAT, Miami, Florida, USA)
- Alden Provost (HUF, Reston, VA)
- Leonard Konikow (transport extended from MOC3D, GWT, MNW2, Reston, Virginia, USA)
- George Hornberger (transport extended from MOC3D, GWT, MNW2, Reston, Virginia, USA)
- Chris Langevin (SEAWAT, Ft. Lauderdale, Florida, USA)

Significant contributions also are completed from non-USGS developers that include:

- Chunmiao Zheng (transport, MT3DMS, University of Alabama, USA)
- Eileen Poeter (SA/PE/UA, UCODE, MMA, Colorado School of Mines, IGWMC, Golden, Colorado, USA)
- Evan Anderman (ADV, HUF, EvanAnderman.com, photography)
- Henning Prommer (MODFLOW+PHREEQC, CSIRO, Perth, Australia)
- Wolfgang Schmid (FARM Process, U. of Arizona, USA)
- David Ahlfeld (GWM ground-water management, MODMAN, U. of Massachusetts, USA)
- Gher DeLang (Peat Subsidence, TNO, Netherlands)

## 5. Selected New Simulation Features

Three notable transformations within MODFLOW that facilitate complete simulation of the movement and usage of water in the hydrologic cycle include:

1. Farm Process (FMP)  $\Rightarrow$  Linkage to water use and movement on the landscape
2. Multi-Node Wells (MNW)  $\Rightarrow$  Linkage to flow and transport (GWT) and Farm Process
3. Streamflow Routing (SFR)  $\Rightarrow$  Linkage to runoff (UZP, FMP) and Farm Process deliveries and return flows

**Farm Process** - The current features of the Farm Process include the simulation of Farm Demand, non-routed deliveries (ex. water transfers), routed surface-water deliveries, ground-water pumpage, as well as streamflow conveyance and drain networks for return flows (fig. 4). These features also facilitate the estimation of complete water accounting for surface-water, ground-water and landscape processes.



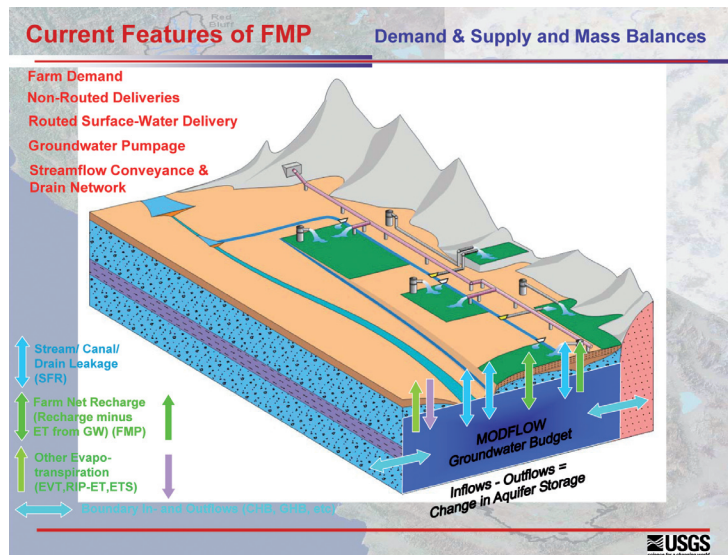


Fig 4. Block Diagram showing the potential connections between water use and movement from the landscape, surface-water, and ground-water components of MODFLOW.

The Farm Process facilitates the simulation of a variety of hydrologic problems and settings. It facilitates the simulation of the water accounting of supply and demand components of historical and future conditions, legal and operational issues, and drought and non-drought conditions (fig. 5). This includes the ability to impose a hierarchy of surface-water rights to the priority of irrigation deliveries (Schmid and Hanson, 2007).



Fig 5. Summary of applications of the Farm Process within MODFLOW (modified from Schmid et al., 2006).

The Farm Process has considerable flexibility and has already been applied to a variety of hydrologic settings that represent agriculture irrigated by surface-water and ground-water supplies or just ground-water supplies. These applications demonstrate the flexibility



to simulate now casts or forecasts of landscape processes coupled to ground-water and surface-water flow at large scales (macro-agriculture) or at small scales (micro-agriculture) (fig. 6). The form of the input and output from the water accounting of the Farm Process also lends itself to connection with other types of models such as optimization, climate, and economic, chemical, biological models for additional analysis of project, policy, resource, and market analysis.

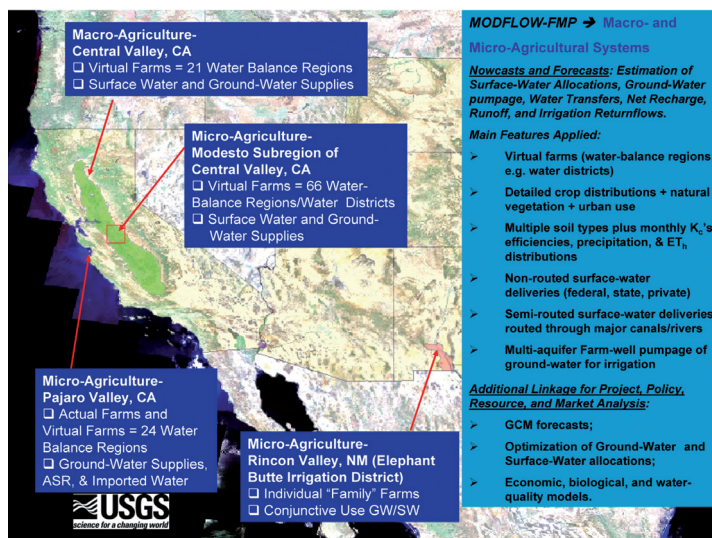


Fig 6. Summary of ongoing applications of the Farm Process at various scales and hydrologic settings throughout the western United States that represent macro- and micro-agricultural settings.

An example of the application to large regional watersheds is the Central Valley Hydrologic Model (CVHM) where the Farm Process is used to simulate macro-agriculture over 50,000 km<sup>2</sup> and 20 percent of all ground water pumped in the United States. The macro-agriculture also includes native and riparian vegetation and a host of crop types from rice to field, orchard and row crops as well as post-development conditions that are significantly different with the loss of wetlands and marshes and the loss of artesian ground-water pressure conditions.

The regional model demonstrates how the Farm Process and other MODFLOW packages are used to simulate complex landscape processes, pumpage from multi-aquifer wells, regional storage changes, and land subsidence for several decades of development (1962 - 2003) (fig. 7).

The simulated average water use for the historical period allows the assessment of both landscape surface-water and ground-water components that include an estimated ground-water storage depletion of 1.8 million acre-feet, 5.4 million acre-feet of ground-water recharge from irrigation and precipitation, and estimated unmetered pumpage of 7.7 million acre-feet (fig. 8). The regional model also allows the assessment of the flow in 42 rivers and the gains and losses along these rivers between streamflow and ground water (fig.8). The application of the Farm Process gives water managers a complete historical view of the spatial and temporal distribution of water use that includes an estimate of unmetered pumpage.

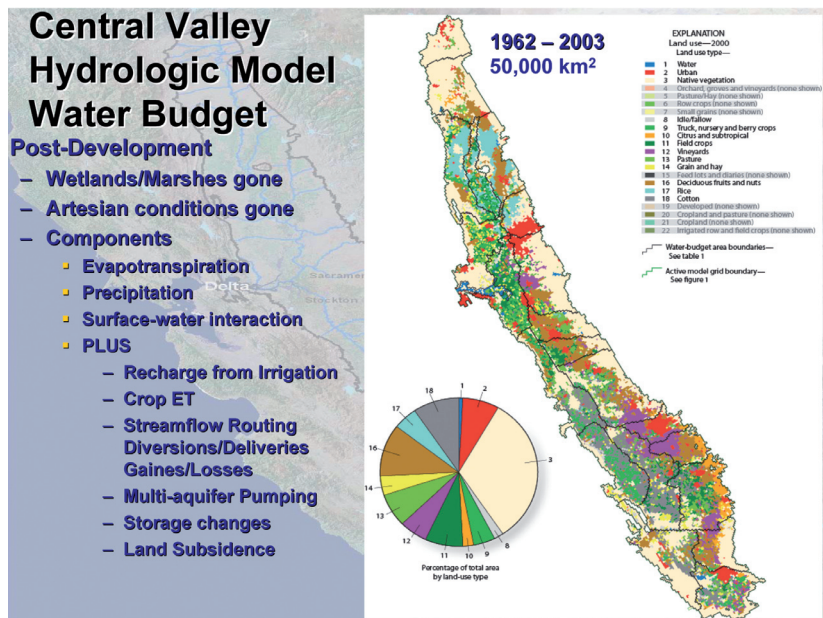


Figure 7. Summary of some of the features simulated in the Central Valley Hydrologic Model with the Farm Process and MODFLOW.

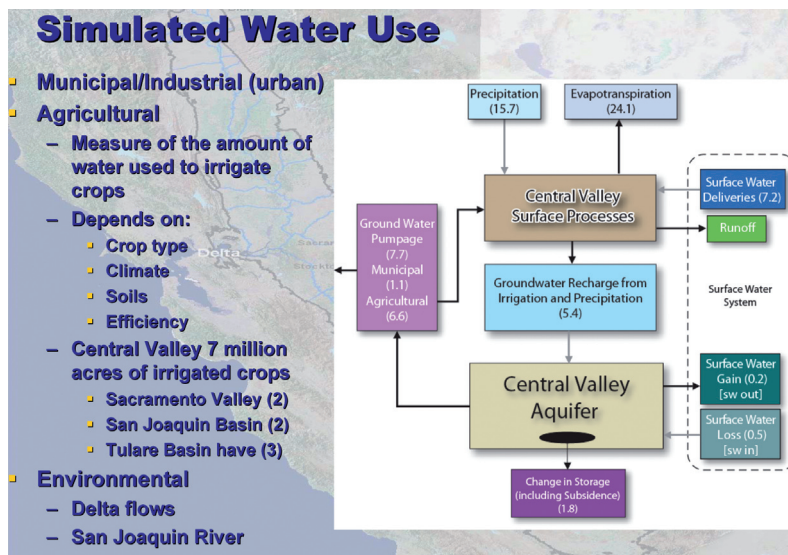


Figure 8. Summary of simulated water accounting with average historical water use estimated with the Central Valley Hydrologic Model using the Farm Process and MODFLOW (units in millions of acre feet).

In summary the Farm Process allows for a variety of assessments that include many inflows and outflows that are easily estimated such as:

- Estimates Irrigation Demand
- Estimates Surface-Water Deliveries
- Estimates Ground-water Pumpage

- Estimates Net Recharge
- Estimates all Components for ET, Runoff, and Deep Percolation
- Complete Linkage to Ground-water and Surface-water Flow

The use of MODFLOW with the Farm Process also gives several advantages to the modelers that need to easily use and update the applied model that include:

- No need for indirect estimates of Pumpage, Recharge, ET, Runoff, or Surface-water deliveries
- Uses Natural Data → Easy to Update Model
- Saves time and money for constructing, operating, and updating models
- Facilitates Operational and Forecasting Simulations

**Multinode Well Package** – Multi-aquifer wells and related wellbore flow in hundreds to thousands of wells in many watersheds can significantly affect the vertical pumpage distribution between multiple aquifers, the vertical flow and related recharge to multiple aquifers, and the transport of natural or anthropogenic contaminants between aquifers. The Multinode Well (MNW) Package (Halford and Hanson, 2002) simulates this important feature of developed regional flow systems as wellbore flow from wells open to multiple aquifers that can include:

- Wells screened across multiple aquifers pumping and non-pumping,
- Wells in a heterogeneous aquifer,
- Partially penetrating wells, and
- Horizontal or non-vertical wells,
- Pumped and unpumped wellbore flow.

The MNW package of MODFLOW also can simulate the feature of drawdown limited discharge as well as tracking simple mixtures of water quality from water pumped from multi-aquifer wells. Most wells in regional aquifer systems are screened over multiple aquifers and as such flow from these wells is not necessarily just proportional to Transmissivity for small pumping rates or highly transmissive aquifers (fig. 9). In addition non-pumping wells can alter the flow system within and between aquifer systems and should be accounted for in many basins (fig.9).

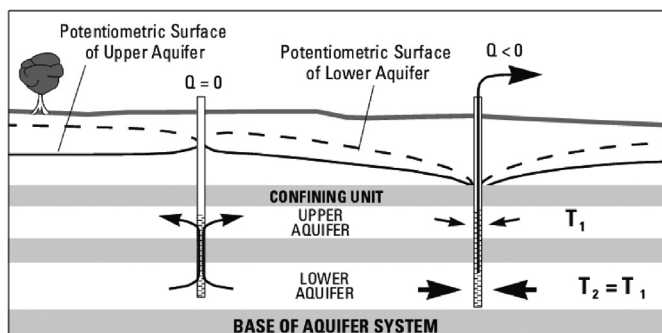


Figure 9. Diagram showing the relation between wellbore flow and ground-water flow within multiple aquifers for pumped and unpumped wells that can be simulated with MNW package in MODFLOW.

The largest problem from not simulating multi-aquifer wells is determining whether the water from water quality samples is from unknown mixtures in wells or really represents the

water from the aquifers (fig. 10). This issue is being resolved throughout regional hydrologic flow systems in California by applying wellbore velocity and depth-dependent samples from multi-aquifer wells (fig. 11). These data can be used in combination with the simulation of multi-aquifer wellbore flow and transport simulation to assess the complex relations of water quantity and quality that are affected by the presence of these wells. These data can also be used to provide additional information used in the calibration of regional flow models. An example of these complexities related to wellbore flow is shown in cross section for the hydrologic model of the Santa Clara Valley, California (fig. 12) (Hanson et al., 2004).

Multi-aquifer wellbore flow accounts for up to 20 percent of ground-water flow with hundreds of multi-aquifer wells present in the Santa Clara Valley (fig. 12). On the local scale within individual well fields these multi-aquifer wells can create complex flow and circulation patterns that short circuit flow across confining units that would normally retard most vertical flow between aquifers in the Santa Clara Valley (fig. 13). This mixing can easily result in incorrect model simulations or interpretation of water-quality and chemistry data such as nitrate concentrations or ground-water ages (fig. 13).

Multi-aquifer wells can also result in complex wellbore flow and water quality issues in coastal regions, such as Ventura, California (fig. 14). In this example less than 10 percent of the flow is derived from the screens in the lowest aquifers but over 80 percent of the chloride, that is a water-quality problem for irrigation, is derived from the lowest aquifers. Thus, both the interpretation and the simulation of pumpage and related contamination can be affected by the wellbore flow and the distribution of flow that occurs in many multi-aquifer wells. Both field data and the ability to simulate these multi-aquifer features are needed in many water resource settings.

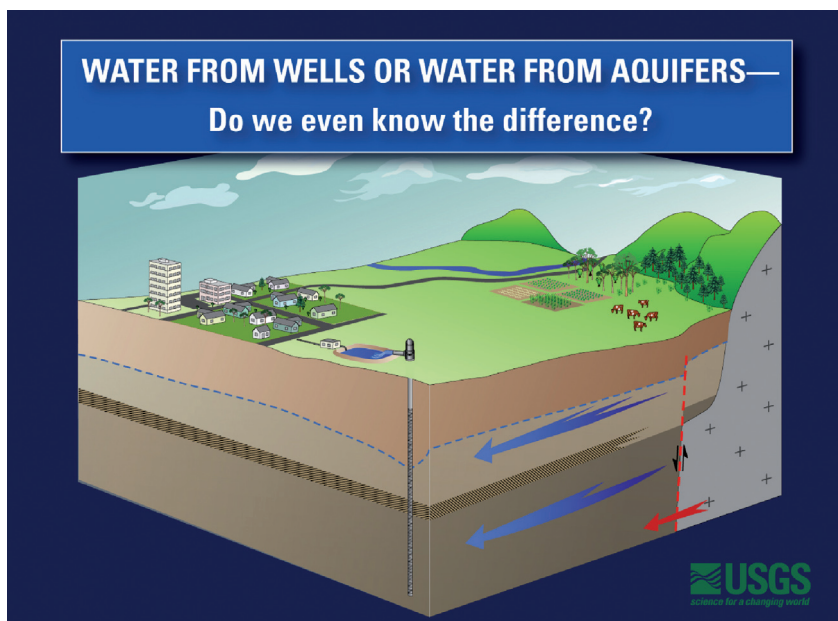


Figure 10. Block diagram showing the difficulty of determining if water-quality samples from multi-aquifer wells is some unknown mixture of water or water from a particular aquifer.



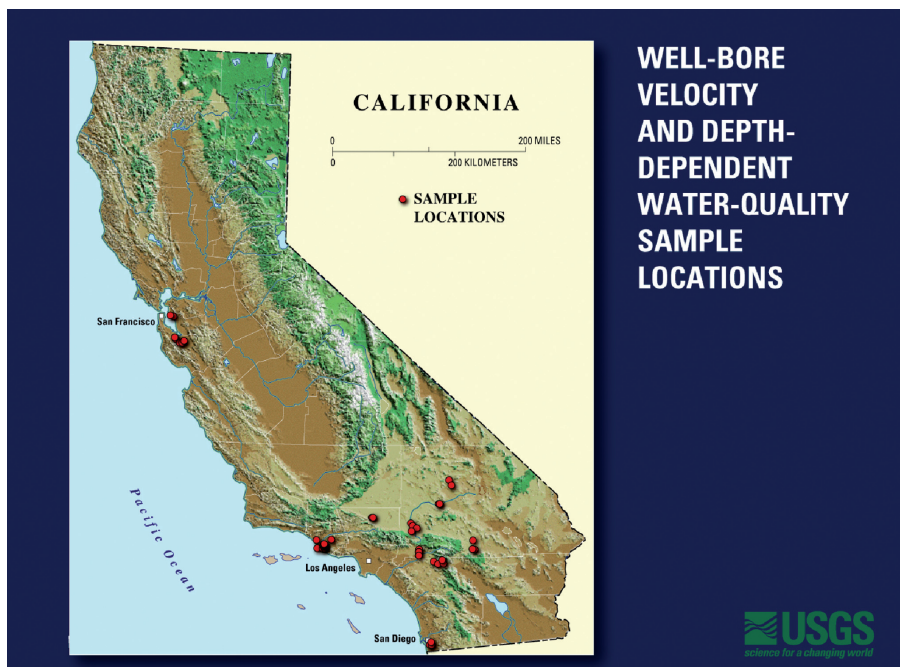


Figure 11. Map showing the wide variety of hydrologic settings from coastal and desert regions of California where data from multi-aquifer wells has been collected for regional hydrologic analysis.

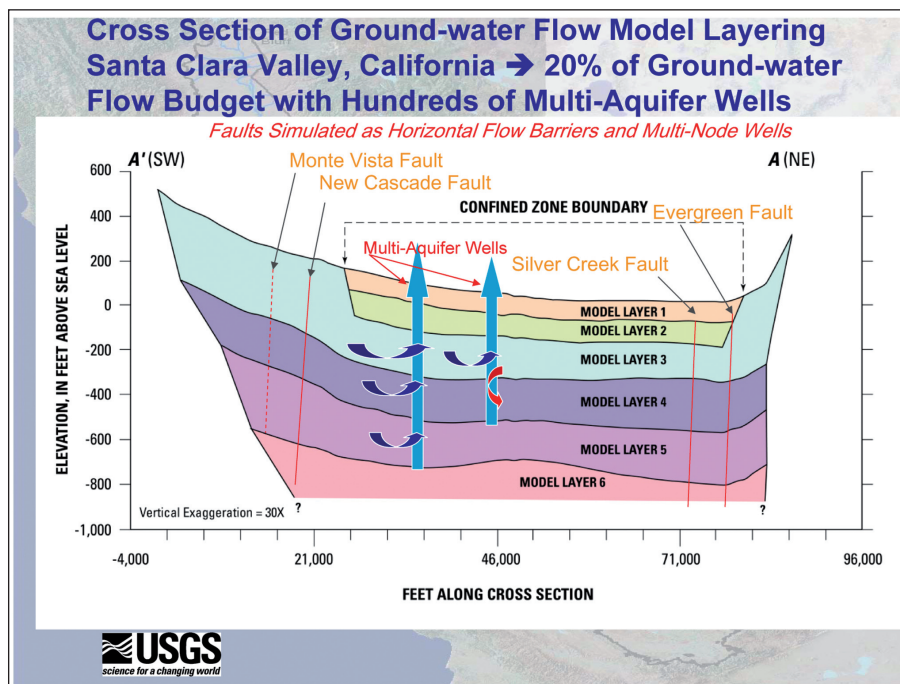


Figure 12. Cross section showing the relation between multi-aquifer wells and aquifer model layers in the Santa Clara Valley Hydrologic Model, Santa Clara Valley, California (modified from Hanson et al., 2004).

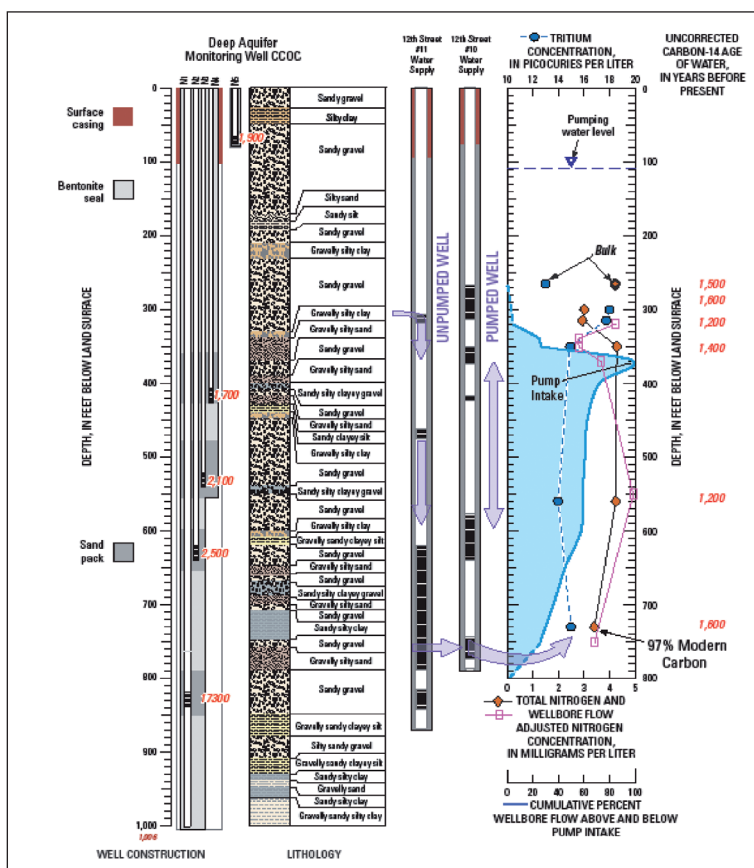


Figure 13. Wellbore flow diagram showing the relation between multi-aquifer wells, multiple-well monitoring sites, and related depth-dependent water chemistry data in the Santa Clara Valley, California.

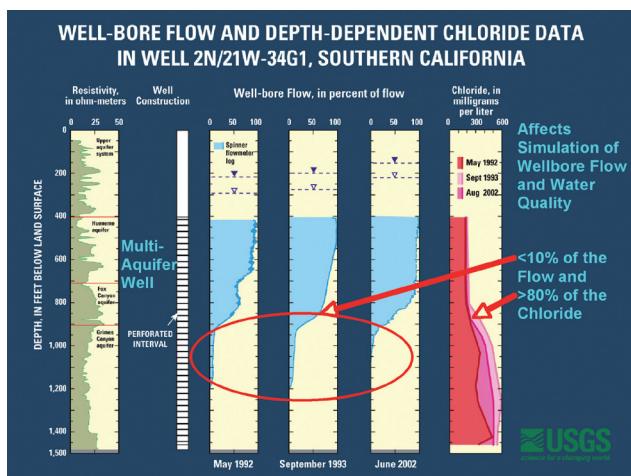


Figure 14. Wellbore flow, well construction, and geophysical logs showing the relation between wellbore flow from a multi-aquifer well, geologic/hydrologic layers, and chloride concentrations in the Santa Clara-Calleguas Basin, near Ventura, California.



**Streamflow Routing Package** : The ability to couple streamflow to ground-water flow has been a critical component to developing a complete hydrologic model. The Streamflow Routing (SFR) Package (Niswonger and Prudic, 2005) in MODFLOW accomplishes this linkage along with the Lake Package and simulates (fig. 15):

- a. Streamflow routing from multiple streams
- b. Streamflow infiltration across saturated and unsaturated aquifers
- c. Multiple types of streamflow diversions
- d. Inflow/Outflow to Lakes

In combination with the new Unsaturated Zone Flow (UZF) Package (Niswonger et al., 2006), MODFLOW can simulate flow and storage in the unsaturated zone that is based on 1-dimensional, kinematic-wave approximation to Richards' equation. The SFR package simulates the time delay of water to move through the unsaturated zone and recharge the water table and ground-water recharge from streambed seepage (fig. 16). Similarly, the UZF package facilitates the simulation of delayed infiltration and ground-water recharge through thick unsaturated zones as well as rejected runoff from saturated conditions, ET, and connection with the Farm Process deep percolation from irrigation and precipitation (fig. 17).

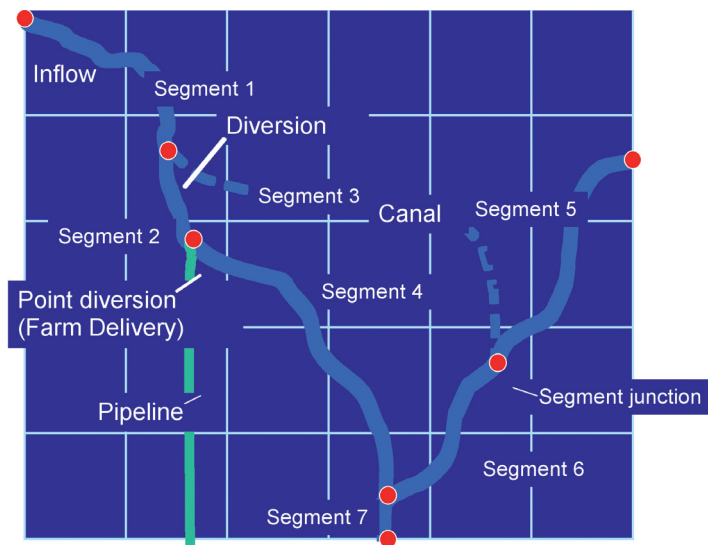


Figure 15. Example of a streamflow routing network with main streams, tributaries, diversions, and connections to surface-water deliveries to the Farm Process in MODFLOW.

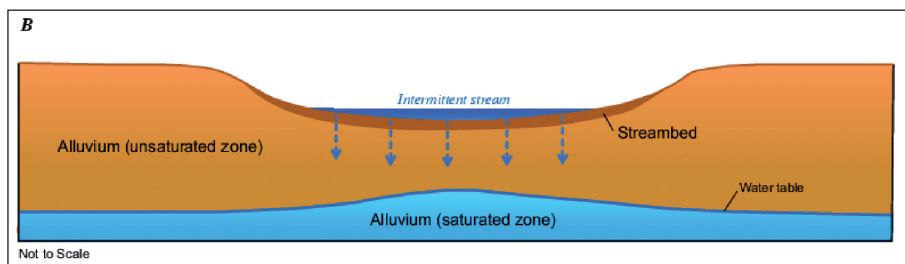


Figure 16. Example of a streamflow cross section illustrating infiltration of streamflow from an intermittent stream through an unsaturated zone to a water-table aquifer.

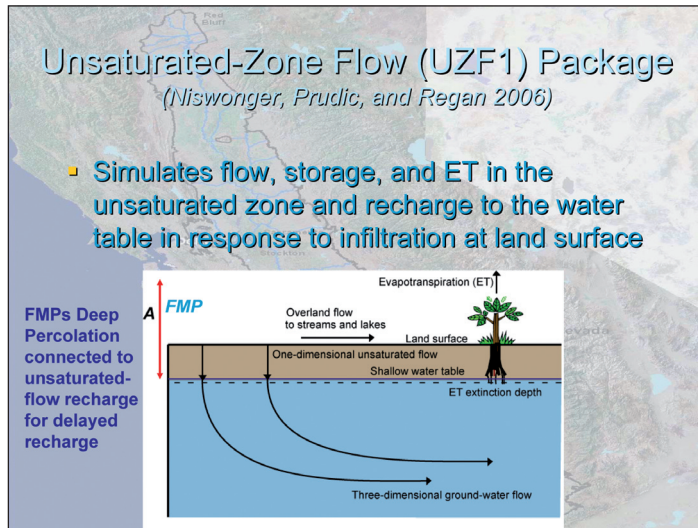


Figure 17. Example of features in Unsaturated Zone Flow (UZF) Package illustrating infiltration through an unsaturated zone to a water-table aquifer.

## 6. Selected New Types of Coupled Simulation

New types of linked models also facilitate the coupled simulation of complex movement of water from multiple sources or at different scales. Several examples of this are:

- a. Farm Process (discussed previously),
- b. GSFLOW  $\Rightarrow$  the coupling of streamflow and unsaturated infiltration in MODFLOW, with the Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS) (Markstrom et al., 2008)
- c. Locally Refined Grids (LGR)  $\Rightarrow$  Embedding detailed models within regional models (Mehl and Hill, 2005)

The Farm process couples with other MODFLOW packages such as the streamflow routing, and multi-node well package to facilitate the movement of water that is driven by supply and demands related to natural vegetation and agriculture. The Farm process is linked to the Streamflow Routing, Unsaturated Zone Flow, and multi-node well packages to facilitate the movement of water to and from surface-water and ground-water sources and destinations. In addition the Farm Process has the internal capability to perform optimization analysis normalized by costs when all of the supply components do not meet the water demands from irrigation. Optimization options within the Farm Process include acreage optimization to yield the highest profit from the given crops, deficit irrigation to minimize irrigation from multiple crop types, and water stacking to irrigate priority crops such as orchards over row or field crops (Schmid et al., 2006).

The linkage of MODFLOW and PRMS provides a coupled model called GSFLOW (fig. 18). Water can be routed from the hydrologic response units of the watersheds modeled with PRMS to the rivers and ground-water flow simulated in MODFLOW. This coupled modeling system allows the simulation of runoff peripheral from the surrounding watershed as well as infiltration directly on the ground-water basin. This coupling is built on the components of MODFLOW simulated by the Streamflow Routing Package (SFR), the Unsaturated Zone Flow Package (UZF), and the Lake Package (LAK).

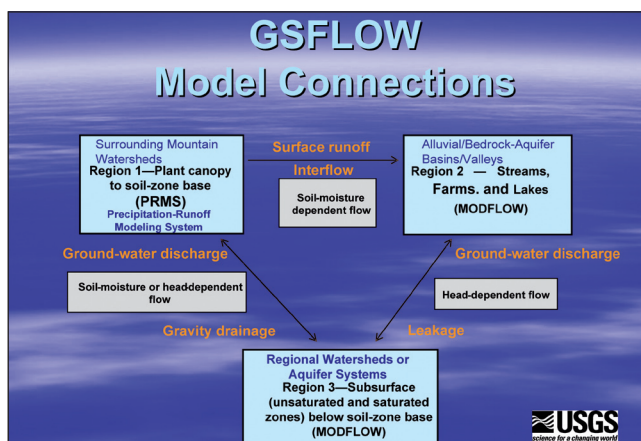


Figure 18. Example of features in GSFLOW Modeling system illustrating the flow connections between PRMS and MODFLOW components.

The coupling of regional and local models is another important feature for assessing the quantity and quality of water resources at multiple scales within regional flow systems. Multiple coupled models of ground-water and surface-water flow is now facilitated by using the Local Grid Refinement (LGR) within MODFLOW. This addresses some problems of needing to simulate some features regionally and still maintaining some detail for specific regions or features (fig. 19). Use of regional-aquifer models connected to local-scale models can be used to investigate :

- Contaminant transport
- Large changes in gradients (Well fields or Aquifer Tests)
- Heterogeneity
- Stream-aquifer interactions
- Saltwater intrusion
- Hyporheic zone
- Detailed Water Budgets of sub-regional models (ex. Water District/Countries) within a Regional Model (ex Valley-Wide or Multi-Basin Aquifer System)

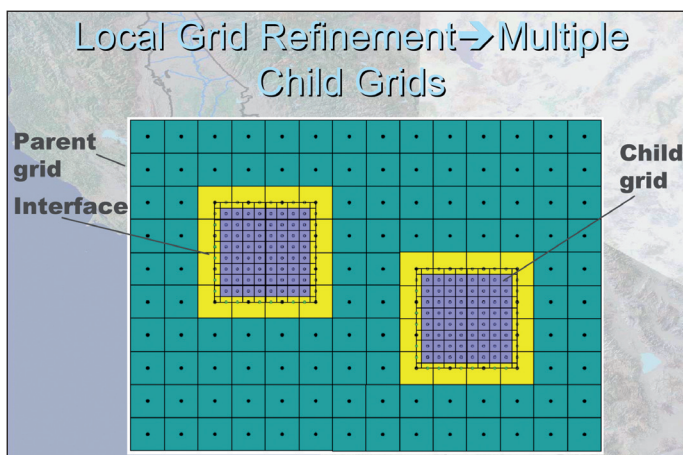


Figure 19. Example of Relation between regional (parent) and more detailed, embedded (child) model grids using LGR in MODFLOW.

A major need for employing embedded grids is the need to simulate an explicit representation of heterogeneity of structures at different scales. The details of these localized features may affect estimation of model parameters or transport processes (fig. 20). Multiple localized model grids may also be required to simulate fine-scaled hydraulic processes such as aquifer tests or complex streamflow networks. In many regional flow systems local water purveyors have developed localized models that still require boundary flows into or out of nested local models that are consistent with the regional flows and ground-water levels of the regional model.

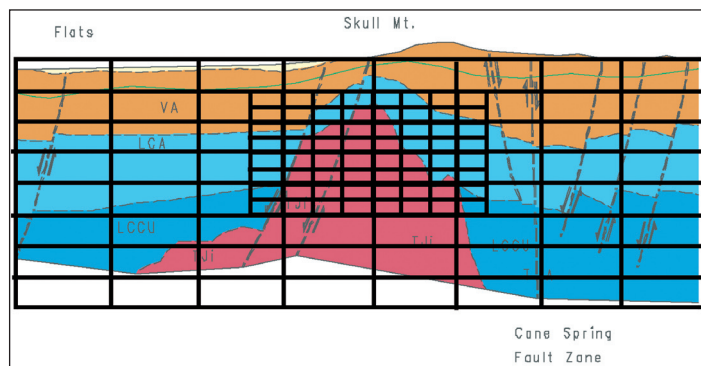


Figure 20. Example of Relation between regional (parent) and more detailed, embedded (child) model grids using LGR in MODFLOW to preserve detailed geologic and hydrologic heterogeneity.

## 7. Coupling to Transport Processes

New processes that have coupled to other aspects of the hydrologic system include embedding simulations of transport within MODFLOW with:

- a. SEAWAT                      b. GWT                      c. LGR-MODPATH

SEAWAT (Langevin et al., 2003) provides multi-species, density-dependent coupled transport and flow that can be required for the simulation of a variety of flow and transport issues. SEAWAT couples MODFLOW with MT3DMS to provide the ability to have transport of different species in different or the same subregions of a regional flow system, and as such, can be used for a variety of applications (fig. 21).

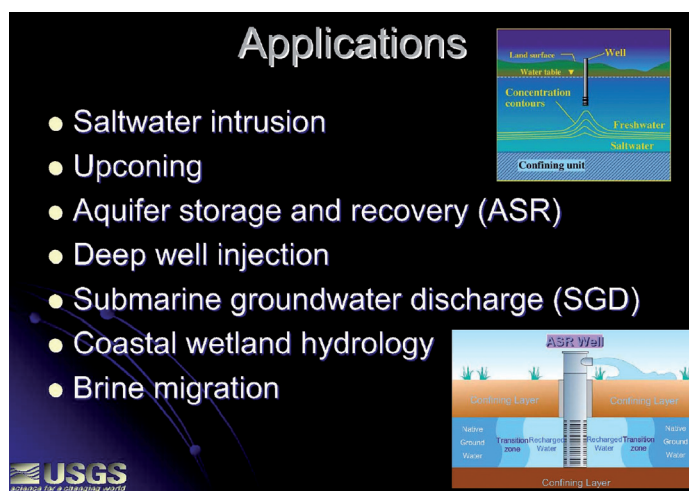


Figure 21. Example of applications of the coupled flow and transport model using SEAWAT.

Another form of coupled flow and transport is provided by the Ground-water Transport code which couples flow and transport MODFLOW-GWT (Konikow et al., 1996; Konikow and Hornberger, 2006). The GWT is useful for applications where simulation of flow and transport are not density dependent and represent more dilute natural or anthropogenic constituents. The GWT is also coupled with many of the other packages in MODFLOW such as SFR and MNW to provide more complete transport of constituents throughout the hydrologic cycle. The importance of using these coupled features was demonstrated by Konikow and Hornberger (2006) with the short-circuit transport of contaminant through a wellbore in a multiple aquifer flow system (figs. 22 & 23) that can affect the analysis of anthropogenic and natural contaminants, as well as the analysis of stable isotopes and ground-water age dating (Konikow and Hornberger, 2006).

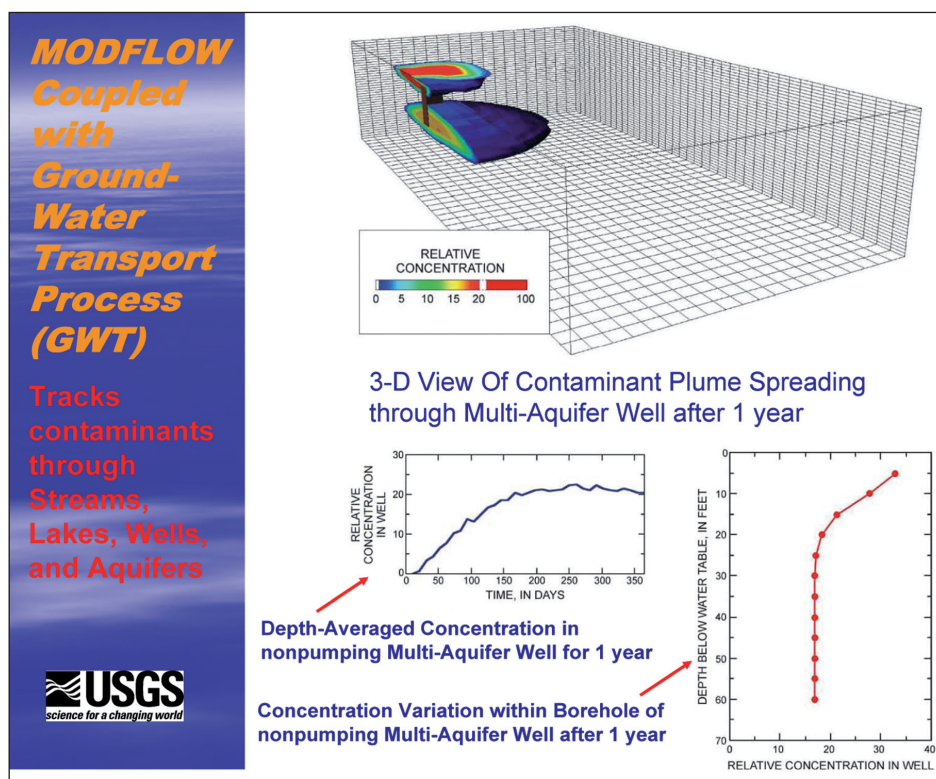


Figure 22. Example of application of coupling wellbore flow and transport modeling showing the effects on transport of a multi-node well coupled with GWT (modified from Konikow and Hornberger, 2006).



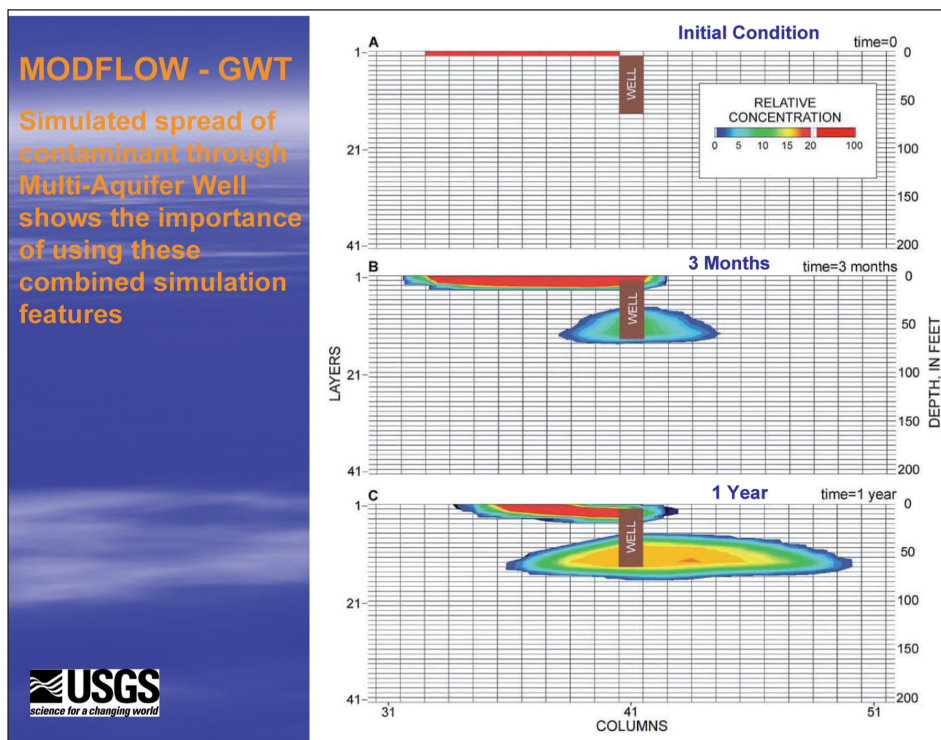


Figure 23. Example of applications of the coupled flow and transport model, MODFLOW-GWT showing the effects on transport through time from wellbore flow (modified from Konikow and Hornberger, 2006).

## 8. Conclusions

New modeling features and linkage through coupled models and processes has transformed the U.S Geological Survey's MODFLOW from a predominantly ground-water flow model to a full hydrologic flow and transport model. Combined with parameter estimation through UCODE and PEST, optimization through GWM, landscape processes through FMP, nested models with LGR, and runoff-recharge processes through GSFLOW, MODFLOW and the related programs now provide a full spectrum of simulation capabilities they allow the user to construct more realistic simulations of the entire hydrologic cycle. In particular, this allows the inclusion in the simulation models of the features that are most critical to the control of the flow and transport of water throughout the hydrologic cycle. This, in turn, facilitates better analysis of resources by scientists and managers within the entire hydrologic cycle of regional hydrologic systems. Water resource managers are able to ask the more difficult questions about the effects of projects, policies or mitigation in the stewardship of the resource and sustainability of the quality and quantity of water (fig. 24).



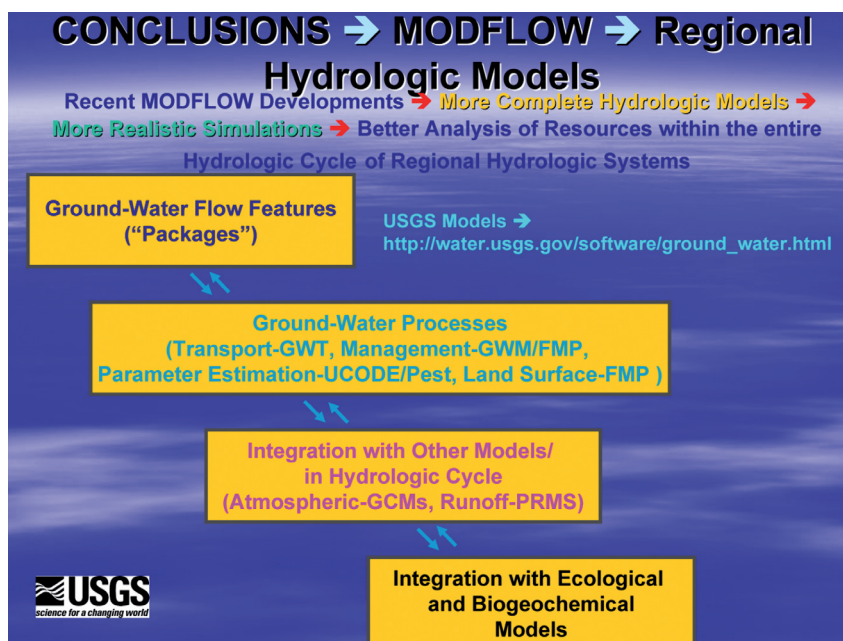


Figure 24. Hierarchy of MODFLOW features and capabilities.

#### 4. Selected References

- Alley, W.M., 2006, Another water budget myth: The significance of recoverable ground water in storage: GROUND WATER, doi: 10.1111/j.1745-6584.2006.00274.x
- Barlow, P.M., and Harbaugh, A.W., 2006, USGS Directions in MODFLOW Development. GROUND WATER, Vol. 44, No. 6, pp. 771 - 774
- Halford, K. J., and Hanson, R.T., 2002, User's Guide User Guide for the Drawdown-Limited, Multi-Node Well (MNW) Package for the U.S. Geological Survey's Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model, Versions MODFLOW-96 and MODFLOW-2000: U.S. Geological Survey Open-File Report OFR02-293, 33 p. (<http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr02293/text.html>)
- Hanson, R.T., Li, Z., and Faunt C., 2004, Documentation of the Santa Clara Valley regional ground-water/surface-water flow model, Santa Clara County, California: Scientific Investigations Report SIR2004-5231, 75 p. (ONLINE ONLY -- <http://pubs.usgs.gov/sir/2004/5231/>)
- Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., and McDonald, M.G., 2000, MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model—User guide to modularization concepts and the ground-water flow process: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, 121 p.
- Konikow, L.F., and Hornberger, G.Z., 2006, Use of the multi-node well (MNW) package when simulating solute transport with the MODFLOW Ground-Water Transport Process: U.S. Geological Survey Techniques and Scientific Methods 6-A15, 34p.
- Konikow, L.F., Goode, D.J., and Hornberger, G.Z., 1996, A Three-Dimensional Method-of Characteristics Solute-Transport Model (MOC3D): U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4267, 87 p.
- Langevin, C.D., Shoemaker, W.B., and Gui, W., 2003, MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model: Documentation of the SEAWAT-2000 version with the variable-density flow processes (VDF) and the integrated MT3DMS Transport Processes (IMT). U.S. Geological Survey Open-File Report 03-426.

- Leavesley, G.H., Markstrom, S.L., Viger, R.J., and Hay, L.E., 2005, USGS Modular Modeling System (MMS) – Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS) MMS-PRMS, in Singh V., and Frevert, D. eds., *Watershed Models*: Boca Raton, Fla, CRC Press, p. 159-177
- Leake, S.A., 1997, Modeling ground-water flow with MODFLOW and related programs: U.S. Geological Survey Fact Sheet FS-121-97
- Mehl, S.W., and Hill, M.C., 2005, MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model – documentation of shared node local grid refinement (LGR) and the boundary flow and head (BFH) package: U.S. Geological Survey Techniques and Scientific Methods 6-A12, 68p.
- Markstrom, S. L., Niswonger, R.G., Regan, R.S., Prudic, D.E., and Barlow, P.M., 2008, GSFLOW – Coupled ground-water and surface-water flow model based on the integration of the Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS) and the modular ground-water flow model (MODFLOW): U.S. Geological Survey Techniques and Scientific Methods 6-D1, 240p.
- Niswonger, R.G., Prudic, D.E., and Regan, R.S., 2006, Documentation of the Unsaturated Flow (UZFI) Package for Modeling Percolation between the Land Surface and the Water Table with MODFLOW-2000: U.S. Geological Survey Techniques and Scientific Methods 6-A19, 62p.
- Niswonger, R.G., and Prudic, D.E., 2005, Documentation of the Streamflow-Routing (SFR2) Package to Include Unsaturated Flow Beneath Streams—A Modification to SFR1: U.S. Geological Survey Techniques and Scientific Methods 6-A13, 48p.
- Puri, Shammy and Arnold, Geo, 2002, Challenges to management of transboundary aquifers: The ISARM Programme: Proceedings of the 2nd International Conference, Sustainable Management of transboundary waters in Europe, Miedzyzdroje, April, 2002, 31 p.
- Schmid, W., and Hanson, R.T., 2007, Simulation of Intra- or Trans-Boundary Water-Rights Hierarchies using the Farm Process for MODFLOW-2000, ASCE Journal of Water Resources Planning and Management , Vol. 133, No. 2, pp. 166-178 (DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2007)133:2(166))
- Schmid, W., Hanson, R.T., Maddock III, T.M., and Leake, S.A., 2006, User's guide for the Farm Package (FMP1) for the U.S. Geological Survey's modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model, MODFLOW-2000: U.S. Geological Survey Techniques and Scientific Methods 6-A17, 127p. (<http://pubs.usgs.gov/tm/2006/tm6A17/>)



## **DISCUSSION**

**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Dr. Hanson pour cet exposé qui a illustré toute la panoplie de modèles qui sont développés par l'USGS par rapport à des problèmes concrets que vit en particulier la Californie mais beaucoup de régions aux Etats-Unis et dans le monde. Nous en sommes maintenant à la discussion.

**- Pr. Mohamed Besri** (CSTV)

I would like to ask two questions to Dr. Llamas. My first question is what do you mean by perverse subsidies? And I would like to know if you have some particular examples of these.

The second question: you talked about the silent revolution, how can we define it? Thank you.

**- Pr. Khalid Sekkat** (CESDE)

Merci monsieur le Président. Je voudrais réagir par rapport à la question de notre collègue. Il y a un exemple de perverse subsidies qu'on peut trouver dans les subsides de l'agriculture au Maroc.

J'ai une question pour le Pr. Llamas: you said that ground waters are less prone to corruption than surface water. I was just wondering if you have in mind corruption in the common sense of bribery and if so, how do you justify this?

**- Pr. Ali Boukhari** (CITIT)

Ma question s'adresse au Dr. Hanson. Nous remarquons qu'il y a beaucoup de pompage qui s'opère à côté des mers et des océans et aussi nous observons cela au niveau de notre pays. Ma question est la suivante : quand on pompe trop près des côtes, il y a de l'eau salée qui s'infiltré et remplace l'eau qui s'est accumulée là depuis des milliers d'années. Est-ce qu'il y a un modèle de calcul qui peut aider à éviter ce genre de catastrophe qui rend la zone plutôt aride à cause du déficit d'irrigation?

**- M. Mohammed Jellali** (CSTETM)

Je n'ai pas de question particulière, mais je voudrais faire quelques commentaires à la lumière de l'exposé du Pr. Llamas pour contextualiser ce qui se passe chez nous. Comme il l'a si bien dit, chaque pays a son contexte, et au Maroc nous avons un contexte particulier en ce sens nous avons des ressources en eau souterraines pas assez importantes, elles sont faibles. Mais par leur valeur, en particulier la valeur économique qu'elles produisent revêt une importance extrême. Dans notre démarche en tout cas, nous ne voyons pas l'eau de surface toute seule et l'eau souterraine toute seule; l'eau est unique, elle a une part qui s'écoule en surface et une part qui s'écoule de manière souterraine et on ne peut pas occulter les interactions et les interdépendances qu'il peut y avoir entre les deux et qui sont très visibles sur le terrain. Très souvent les rivières sont alimentées par des sources qui sont des résurgences des écoulements souterrains et aussi certaines rivières alimentent des aquifères qui sont riverains des rivières.

La particularité de l'eau souterraine c'est que c'est un réservoir sur lequel tout le monde a accès. Par rapport à l'eau de surface sur laquelle nous dressons des infrastructures que l'Homme contrôle. Alors que l'eau souterraine, tout le monde est en quelque sorte dessus et peut faire un forage ou creuser un puit. Cette facilité d'accès c'est elle qui crée la

complexité de gestion de l'eau souterraine en ce sens que si on ne maîtrise pas bien l'accès à l'eau souterraine, on ne peut pas en faire une exploitation qui est raisonnable. Et c'est parce que justement parce que c'est une ressource précieuse et qu'on en a besoin, en période de sécheresse par exemple, elle peut constituer un recours important et stratégique qu'il faut la gérer avec la prudence nécessaire. De ce point de vue je rappellerai que lors des sécheresses des années 80-84 deux régions ont vu leurs ressources en eau disparaître complètement; il s'agissait du Tensift et de la zone du Tafilalet.

Il faudrait rappeler aussi une chose, M. Llamas a parlé de l'équité dans l'accès à l'eau souterraine, et c'est un concept qui est tout à fait juste; lorsque vous observez comment cela se passe en milieu rural vous constatez que les populations rurales ont accès dans leur immense majorité à l'eau souterraine pour leur alimentation en eau potable d'abord avant de pouvoir l'exploiter pour d'autres fins. Il faut dans ce sens créer des mécanismes pour que l'accès à l'eau soit fait dans l'équité nécessaire surtout pour subvenir à un besoin aussi fondamental que celui de l'eau potable.

En ce qui concerne les nappes d'eau souterraine, elles sont menacées et on ne peut occulter une vérité aussi évidente. Tous les indicateurs de surveillance des nappes d'eau souterraine montrent qu'il y a une tendance à la baisse qui est bien entendu témoin de la surexploitation qui est pratiquée et témoin qu'un certain nombre d'effets de changements climatiques qui sont peut être aujourd'hui perceptibles ont un effet sur les ressources.

La position que personnellement j'ai eu à défendre et que je continue à défendre se situe entre une rigidité dans la gestion - une rigidité qui peut créer effectivement un tort parce que très souvent les réglementations qui sont rigides ne sont pas appliquées - et entre le laisser faire que l'on peut des fois observer dans certaines régions. Il faut trouver un moyen terme qui est celui d'une gestion des ressources en eau souterraine d'une manière durable. C'est un processus qui peut être parfaitement atteint et l'expérience qui est aujourd'hui acquise, combien même elle a des aspects négatifs, peut conduire justement à monter un système de gestion durable qui permette de montrer en fait que les faibles ressources en eau souterraines dont nous disposons puissent être valorisées pour le bien de ce pays. Merci.

#### **- M. Rachid Benmokhtar Benabdellah (CESDE)**

Je remercie les trois intervenants et je voudrais rapprocher ici les efforts qui sont faits au Maroc depuis déjà un certain temps concernant justement la gestion de l'eau et notamment en matière de modélisation, pour voir le modèle qui nous a été présenté par M. Hanson comme étant un élément peut être nouveau par rapport aux approches précédentes. Dès les années 70, la Direction de l'Hydraulique avait lancé de nombreux travaux dont un certain nombre de travaux de modélisation qui touchaient en effet la partie hydrologique, la partie eaux souterraines, la partie bassins, plus toute la constitution des bases des données. Et je pense que c'était un travail extrêmement important et riche qui avait été apporté et qui succédait d'ailleurs à une tradition au niveau de notre pays concernant la problématique de l'eau qui était très importante. Il me semble qu'aujourd'hui ce qui est en fait nouveau c'est cette approche qui est une approche globale qui en fait modélise l'ensemble par rapport à l'ancienne qui était une approche, je dirais, par catégories ou par nature sauf, peut être, pour les bassins où on essayait quant même d'apporter une certaine forme d'intégration.

La question que je me pose est aujourd'hui plus cruciale qu'avant parce qu'à la limite on avait des objectifs extrêmement précis à l'époque : la construction des barrages d'un



côté, les annonces de crues de l'autre côté, plus la connaissance de l'évolution des nappes d'un autre côté. Est-ce qu'aujourd'hui il y a eu un changement au niveau des modèles utilisés au Maroc avec cette approche, comme on l'a vu, qui demande certainement plus de complexité, des ordinateurs et des logiciels beaucoup plus complexes que ce qu'il y avait à l'époque ou bien est ce qu'on en est toujours sur les mêmes modèles? Mais je me permets de poser cette question parce que c'est un véritable outil je dirais de gestion de l'eau mais de décision à long terme des politiques publiques et notamment des problématiques d'accès à l'eau que ça soit pour l'eau potable, pour l'eau agricole ou industrielle.

**- Pr. Malik Ghallab (CSMI)**

I have a short comment. As M. Rachid Benmokhtar just said, I think these models are not only integrative but can furthermore be made interactive, that means that users may interact with these models. I have been very much interested in the argument presented by Dr. Randal Hanson about models as being vehicle for discussion and understanding. I think this is very important and if we do take into account the criteria that Dr. Torkil Jonch-Clausen just mentioned of efficiency, equity and sustainability, I think that mainly equity is important in terms of being convincing to the users of water, decision makers and so on, that this is not just a top-down decision and they have to apply it. These are models that people may query and they may ask what may happen if we do this or that and be convinced about eventually very difficult decisions because the situation can be very constraint. So, there is really a need of developing this kind of water models here in Morocco and making them widely available to users.

**- Pr. Driss Ouazar (CSTETM)**

Les problèmes de l'eau impliquent ce qu'on peut appeler des multi-modèles et impliquent ce qu'on appelle de la modélisation hybride qui implique à la fois la modélisation mathématique et l'expérimentation que ce soit *in situ*, parfois au laboratoire, et de préférence *in situ*. Dans les modèles présentés par Dr. Hanson, il parle des aspects eaux souterraines et des eaux de surface et des couplages entre les deux. Evidemment, chaque type de modèle est représenté par un certain type d'équation et implique des paramètres et des coefficients, et la grande problématique, comme c'est hybride, les coefficients ne sont pas connus. Il y a toujours quelque chose d'inconnu et puis on a des milieux naturels : c'est un aquifère, c'est un bassin versant, il faut définir les conditions et limites initiales, il faut préciser les paramètres et c'est ça la complication dans l'étude de ces systèmes complexes. Ma question au Dr. Hanson c'est comment réaliser le calibrage et la validation de l'intégration de ces modèles puisque ça implique énormément de données et énormément de paramètres surtout quand on passe à des modèles de transport qui impliquent de la densité variable?

**- Pr. Ramón Llamas (Royal Academy of Sciences, Spain)**

I have written down here four questions: Perverse subsidies, Silent revolution, Participation and Sustainability.

- Perverse subsidies is not my invention: there is a book published about 5 years ago by two Canadians who studied different situations in the world and showed that subsidies are not good for the economy. According to these authors, most subsidies in agriculture and water are perverse.

- Silent revolution: used for the first time during the World Water Forum in Kyoto 4 years ago. This revolution has been done, without knowledge, by millions of farmers throughout the world. There is a gap between the water planning authorities in most countries and the real situation. There is an interesting report by the World Bank (available on the Internet) who refers to silent revolution as white revolution. Last year a book has been published by the International Water Institute in Sri Lanka under the title: "Ground water irrigation revolution". This is something that has happened almost independently from the conventional water authorities.

- Participation is crucial for the management of ground water. For surface water, there is a "lord of the gate", the chief engineer who says there is too much water in this canal, but for ground water, there are thousands of "lords of the wells" and they sit on them and off they see it appropriate. In general, no country except perhaps Israel, to the best of my knowledge, that seems to control that. The only solution, in my opinion, is to promote users associations to convince the users, mainly farmers, which they have to obtain sustainable development of this common resource because everybody can deal about that, whether legal or illegal. But the question is to control water loss unless you are able to enforce that.

- Sustainable development: is a concept that is in my opinion an empty word practically. Sustainability has at least 10 dimensions: ecological factors, regional factors, economic factors, political factors, etc... Most people consider that non-renewing water sources are unsustainable. The World Commission for the Ethics of Science and Technology, 5 years ago, published a paper on this subject. For instance, next October, there will be in Portland (Oregon, USA) a symposium on the topic of non-renewable use of ground water. Somebody from Libya or Saudi Arabia will speak better than me on using non-renewable ground water resources.

Harvard University Press published, two years ago, a book of 400 pages titled "Introduction to sustainable development", so the concept is not so simple but rather very complex. I am not very fond of using the word "sustainability" because it means so many things that it means nothing.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

Thank you Pr. Llamas. May I just add to your answer about perverse subsidies the most famous example directly linked to the over-exploitation of ground water is the electricity subsidy in India (electricity is free for use in agriculture) and India depends for 50% of its agricultural output on ground water. This is a tremendous problem for the future of agriculture in India and the food world market of course.

**- M. Mohammed Jellali** (CSTETM)

Je voudrais effectivement préciser qu'il est de tradition au Maroc depuis très longtemps d'utiliser les modèles. Nous en avons utilisé dans les années 70' et nous continuons à en utiliser pas mal de modèles qui ont été cités par le Pr. Hanson notamment le modèle MODFLOW depuis pratiquement qu'il existe dans les années 80'. Sur ces modèles là et sur les modèles d'eaux de surface, nous avons de l'expérience. La difficulté qui a été citée dans l'exposé c'est celle de faire des modèles conjoints qui puissent à la fois prendre

en compte et les eaux de surface et les eaux souterraines et toutes les considérations socio-économiques qui sont liées à l'usage de l'eau, et là effectivement il est très difficile d'obtenir des modèles de ce type. Il y a eu des tentatives au Maroc qui n'ont pas toujours bien marché, et souvent ce sont des modèles propres à un bassin donné. On ne peut pas avoir un modèle qu'on peut transposer d'une région à une autre.

Pour répondre à la remarque du Pr. Ghallab concernant l'approche «de bas en haut», je crois que c'est vraiment la tendance dans laquelle le Maroc s'est inscrit puisque toute la gestion de l'eau est depuis 1995 décentralisée. Aujourd'hui, tout l'effort est porté sur le fait que dans les régions il y ait des partenaires compétents à la fois sur le plan technique, à la fois sur le plan institutionnel et à la fois sur le plan économique pour être des interlocuteurs des usagers de l'eau et leur expliquer leur contexte. Et la preuve actuelle que l'on peut donner en exemple de ce type de démarche est le contrat de nappe, liant l'administration locale et les usagers de l'eau, qui a été mis au point dans la région du Souss, et il y a une autre démarche qui est en train d'être préparée dans la région du Tadla. Ce sont des modèles qui sont aujourd'hui à peine introduits en Europe par la nouvelle directive européenne et la «directive fille» relative aux eaux souterraines qui a été également adoptée par l'Union Européenne. C'est vous dire que tous ces concepts de gestion sont aujourd'hui très suivis à la fois du côté des administrations qui gèrent les ressources en eau mais aussi du côté des administrations qui supervisent les usages de l'eau, et bien entendu nous sommes ouverts à l'échange d'expérience et d'expertise avec les autres et je crois que c'est un échange qui est fructueux.

**- Dr. Randal Hanson** (USGS, California, USA)

I think I was asked 3 questions and I will try to integrate them. The questions and comments about the integrated modelling are really problem dependent on the particular settings and the degree of integration features. We have some of our problems that we looked at that have no surface waters what so ever and we are now developing surface storage and recovery systems embedded so that just depend on the level of integration.

Once you get into this larger systems or multi-basins systems, that then brings in all the other components you may have decision rules for reservoirs that can control hydro-power and irrigation requirements like that, so it really becomes a water allocation problem that can embed this physical process such as rainfall runoff, surface runoff, surface water flow or transport, so it just depends on the settings of many of these situations.

To answer the question about the sea water intrusion prevention, what we typically say in our part of the world the expression "there is no free lunch". Really, ground water at the coast is a place holder. When you take that place holder out, you are going to have bad effects and the bad effects are typical of many of the coastal aquifers throughout the whole Pacific Rim in all the countries that line the Pacific Ocean. For example, the sea water intrusion and land subsides and some of them have both as well as corrosion of wells that has been drilled across these multiple aquifers. And what we typically see in many of our situations is that they simply have to stop pumping and replace surface supply by some sort of pipelines or some kind of surface distribution system. This is the only way they can stop sea water intrusion that has been going on for decades. They can't engineer any kind of injection systems or any other facilities like that. The geometry of the aquifer

is just isn't amenable to that. It just depends on the geometry of the connectivity of the aquifers are. In most of these situations what you have to do is just stop the pumping of the ground water, you are just buying time.

Finally, the question of calibration, with these new models we have been doing monitoring systems. Whether you are monitoring all the stream flow and the power levels, these monitoring systems are models that keep the data stream. When you develop these models, you want to keep using them and that's what the big transition using them because resource assessment of the people needs or for projection of policies or projects of a much broader spectrum of applications generally assessing the resources and seeing how much ground water and surface water are available at a particular setting. Being able to maintain these monitoring networks and the data stream on day to day basis is critical. We use all of that so some of these models we are looking at we have tens of thousands of observations that include stream flow losses as well as water levels and the differences between aquifers, global flow profiles. We can use a wide variety of those and get down to sea water intrusion. You can also use ratios to see where you are at in the context of observations. Because of the way we set up a lot of those models, we really don't end up with that many parameters, but we have tens of thousands of observations and we are able to constrain them very well.

**- Dr. Torkil Jonch-Clausen (DHI, Denmark)**

Firstly, I think this issue of perverse subsidies is for whole of South Asia a clear example of how decisions that have been taken in the energy sector have been the most important decision for water.

Now, there is more focus on how we are spending energy and how we are spending water. These subsidies are coming much more in focus than they have been, and this is sort of basis to what we call water resources management that the whole issue of water in South East Asia can not be solved without addressing the issue of energy question. And I think we will see lot more of that. We have had models of all components of the system running for 30 years and what we see now is that the demands and requirements are more and more holistic. There is a European Directive applying for the 27 countries and what we have seen now is a Denmark model. It is not Modflow but it does the same things, and what we found is Denmark is using ground water for 95% of our use. Is such model for the whole country and inside the model there is a linkage between ground water and the streams and so far a holistic model for the country? We have been asked questions that we have not been asked before the Framework Directive to be answered by these models. All our models have been combined into fewer holistic systems we see now with the integrated water resources management. Morocco may not be using the very latest technologies but it is very advanced thinking about using water and what are the economic implications and that has also implications for the modelling. We are now seeing demands to our modelling system to couple in the economics, the environmental flows and all of that. Those are the questions that have been asked but they were not 10 years ago, so the scenery is changing and new questions are been asked all the time. A lot of our effort goes to the users interface. We have the engines for the models, all the equations and numbers, but more and more effort goes into the user interface to make it easy for use by the people. We talk now about the virtual city, the virtual farm, the virtual basin, like if we have computer games, where you can easily ask what if questions and

where you put a lot of efforts so that these tools can be used by people who do know about hydrology or water quality but know about their own basin or their own city and then ask their questions, and you design those models to answer those questions. I think this the way we see it going and I think it's in fact a good way.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

On arrive donc au terme de cette première partie de notre après-midi, une partie qui a été réservée à la problématique de l'eau, notamment les aspects eaux souterraines et qui a encore une fois sous cette coupole montré que les enjeux de l'eau nécessitent véritablement une mobilisation de tous les progrès et toutes les ressources de ces progrès en matière scientifique et technologique. Et on a bien vu que, aujourd'hui, l'approche de la complexité des problèmes de l'eau nécessite des modélisations de plus en plus intégrées, de plus en plus sophistiquées qui se fondent sur des connaissances fondamentales extrêmement pointues, et par conséquent, je pense que nous devons continuer à prêcher cette parole de la science et de la technologie pour une ressource aussi vitale que celle l'eau, non pas uniquement pour la science mais pour la décision, pour la société globalement et tous les commentaires sont allés dans ce sens.

**Thématique :  
OCÉANOGRAPHIE**





## OCÉAN ET ZONES CÔTIÈRES LE DÉFI D'UNE POLITIQUE INTÉGRÉE

*Marcelo DE SOUSA VASCONCELOS*

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



### INTRODUCTION

Au cours des cinquante dernières années, l'environnement a souffert d'un processus de dégradation et d'appauvrissement extrêmement rapide, conséquence des excès cumulés. Ce qui se passe au sein des océans (cet élément déterminant d'une certaine «stabilité» du climat) et dans les zones côtières est particulièrement grave, non seulement parce que le littoral est précisément une des régions où la présence humaine, déjà massive, et les situations conflictuelles ont une tendance à augmenter mais aussi parce qu'une partie significative du capital naturel des océans (les biens et services pourvus par les écosystèmes marins) présente des niveaux de dégradation préoccupants.

C'est vrai que tous les êtres vivants, sans exception, perturbent, changent le milieu, et l'homme, naturellement, ne déroge pas à cette règle universelle, sauf que la particularité de son action se répercute à l'échelle planétaire, se prolongeant dans le temps et dans l'espace. Ceci dit, on comprendra mieux comment les présupposés<sup>1</sup> de Theodore Huxley dans son discours d'inauguration de l'Exposition<sup>2</sup>, dédiée au monde des pêcheries, finirent pour se révéler vraiment désastreux :

Theodore Huxley, Piscequestrian



Source: Punch, 1883

<sup>1</sup> C'était un temps où d'après Huxley dans ce même discours : « ... five vessels belonging to the same source in a single night's fishing brought in 17 tons weight of fish – an amount of wholesome food equal in weight to that of 50 cattle or 500 sheep. The ground which these vessels covered could not have exceeded an area of 50 acres”

<sup>2</sup> Prononcé à Londres en 1883.

“... I believe that it may be affirmed with confidence that, in relation to our present modes of fishing, a number of the most important fisheries, such as the cod fishery, the herring fishery and the mackerel fishery are inexhaustible. And I have this conviction on two grounds, the first, that the multitude of these fishes is so inconceivably great that the number we catch is relatively insignificant; and, secondly, that the magnitude of the destructive agencies at work upon them is so prodigious, that the destruction effected by the fishermen cannot sensibly increase the death-rate. I believe, then, that (...) probably all the great sea fisheries are inexhaustible; that is to say, that nothing we do seriously affects the number of fish. And any attempt to regulate these fisheries seems consequently, from the nature of the case, to be useless...”

À nos oreilles, ces mots n'expriment rien de vraiment étrange, ni pour le simplisme de l'argument ni pour l'arrogance de l'attitude mentale. A de rares exceptions, on voit pêcheurs et politiciens faire appel à ce type de lieux communs pour justifier la persistance de stratégies d'exploitation répétitivement réaffirmées comme destructives et, ajourner de cette façon, le besoin de prendre des mesures nécessairement restrictives. En réalité, la Nature a des limites mais pour l'homme il fut toujours plus facile de les dépasser que de respecter les seuils de tolérance d'un système naturel en essayant de maintenir les «équilibres» toujours délicats.

## BIENS ET SERVICES DES ÉCOSYSTÈMES MARINS

La contribution de l'histoire est essentielle à une meilleure compréhension de la variabilité et des fluctuations du processus de littoralisation, c'est-à-dire de la typologie de l'usage et la densité de l'occupation d'un territoire. Cette occupation n'est pas seulement terrestre mais aussi maritime, phénomène assez fréquemment nuisible, avec des conséquences très très grave, voire irréversibles, pour l'environnement et les ressources marines des mers côtières. Les avancées technologiques, sous-jacentes à la révolution des transports et le subséquent renforcement de la «maritimisation» des échanges commerciaux<sup>3</sup>, la modification de certains paradigmes sociaux<sup>4</sup> et comportementaux qu'on observe depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et surtout la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, ont contribué à la création de nouveaux facteurs d'attraction<sup>5</sup>. Ces deux circonstances se sont révélées décisives dans la délocalisation périodique de certaines strates des populations vers le littoral, cet espace vulnérable où se confrontent deux logiques fréquemment contradictoires: la dynamique de l'avancée de la mer et la progression inverse de l'implantation humaine.

Pendant les dernières décennies, nous avons observé une nette intensification de la présence humaine (indépendamment des flux saisonniers) dans les zones côtières à cause du phénomène du haliotropisme<sup>6</sup>, aggravant ainsi les conflits d'usages et d'intérêts qui sont non seulement différents mais, plus que cela, obéissent à des logiques fonctionnelles antagonistes (PETIT-BERGHEM, 2003); ces conflits tendent, assez fréquemment, à affecter de vastes espaces d'une région ou d'un ensemble de régions, dépassant même les frontières nationales.

<sup>3</sup> On estime que 98% du commerce mondial en volume (environ 5.500 milliards de tonnes) est assuré par le transport maritime, vrai épine dorsale de l'économie mondiale.

<sup>4</sup> Par exemple dans le domaine des concepts de salut publique et du bien-être.

<sup>5</sup> Comme le tourisme de récréation ou les sports liés à la mer.

<sup>6</sup> Processus qui, à son tour, finira par induire d'autres modifications profondes comme, par exemple, la perte progressive de l'identité des communautés locales.

Une partie significative des problèmes que nous affrontons déjà, découle précisément du déphasage existant entre les limitations naturelles des écosystèmes et l'ambition d'assurer un expansionnisme permanent de l'économie autour d'une fonction ou d'un usage. À cette vision partielle, nécessairement fragmentaire, du concept de «développement», il faut qu'on ajoute une tendance (plus fréquente qu'elle serait désirable) à sous-estimer l'importance cruciale de l'ensemble des biens et des services que constitue le capital naturel des littoraux (Tableau 1).

TABLEAU 1 – Exemples de fonctions et services des écosystèmes marins dans les zones côtières

SERVICES	FONCTIONS	EXEMPLES	CONDITIONS
Régulation	Conditions climatiques adéquates à la vie. Protection/mitigation des désastres et risques naturels	Perturbations des saisons, augmentation de la fréquence et l'intensité des situations extrêmes. La protection naturelle pourvue pour les zones humides, récifs de corail et les mangroves dégradée.	Fortement menacée
Contrôle biologique	Régulation trophodynamique des populations (flux d'énergie)	Contrôle des prédateurs sur les proies, limitation du nombre d'herbivores.	Menacés.
Cycle de sels et substances nutritifs	Transport, concentration, transformation de sels nutritifs	Cycles biogéochimiques tels que ceux relatifs aux éléments essentiels comme l'azote, le carbone et le phosphore	Menacés.
Réduction de la contamination et traitement des déchets	Epuration des eaux contaminées. Récupération des sels nutritifs diffusés dans le milieu; élimination ou dégradation des composés en excès	Traitement des déchets, régulations de la pollution.	Augmentation de zones anoxiques et hypoxiques. Comportement similaire pour l'eutrophisation. Excès d'engrais, pesticides et d'autres contaminants, comme les métaux lourds
Refuges	Disponibilité de différents types d'habitat logeant des populations résidentes ou de passage.	Protection directe de groupes ou communautés humaines. Zones d'élevage des animaux; habitat pour les espèces migratoires et pour les espèces localement exploitées; zones d'hivernage.	Menacés. Typiquement : les récifs de corail, zones humides, mangroves, monoculture et déboisement accéléré des forêts tropicales, en incluant le Sahel
Production alimentaire	La partie de la production primaire qui intègre les réseaux trophiques	Production animale et végétale pour l'alimentation directe ou indirecte de l'homme. Agriculture, pêche, chasse et activités de collecte.	Effondrement de la pêche industrielle et déclin de certaines pêcheries côtières. Le futur de la production traditionnelle est menacé. Augmentation substantielle de l'aquaculture mais on observe une tendance à un ralentissement

Ressources génétiques et biochimiques	Biodiversité. Survie des populations, y compris l'homme.	Meilleures conditions d'adaptation aux transformations du milieu. Médecine et thérapie traditionnelles. Source de nouveaux produits médicaux, pharmaceutiques, cosmétiques et industriels. Exemples : les récifs de corail (considérés comme des réservoirs exceptionnels en molécules bioactives), les algues, les mollusques, les éponges, etc.	Fortement menacés (voire destruction de la flore naturelle, le déboisement des forêts et la pression des biocombustibles et des OGM. Introduction et perte d'espèces. Augmentation de la culture d'algues (alimentation) et de microalgues (épuration biologique de l'eau)
Culturel	Possibilités de jouir des usages non commerciaux surtout du patrimoine naturel	Valeurs esthétiques, artistiques, spirituelles, éducatives et scientifiques.	Encore limités mais avec de bonnes possibilités d'augmentation
Récréation, loisirs et santé publique	Opportunités pour la pratique d'activités de loisir liées aux rivages marins.	Ecotourisme, pêche touristique, ludique et sportive, parmi d'autres activités récréatives. Tourisme des personnes âgées.	En augmentation

Sources: Rapport de Synthèse du Millenium (2007) et Costanza et al. (1997), modifié

Une connaissance plus approfondie du fonctionnement de ces écosystèmes et du cycle complexe des successions écologiques (d'origine naturelle ou induite par l'homme) est indispensable si on veut réussir la compatibilité d'utilisation avec la capacité de régénération naturelle de l'écosystème et, ce faisant, assurer une effective mitigation des impacts nuisibles.

Cette approche systémique permettrait sûrement de mieux élucider la nature et les risques des différentes options et procurer aux décideurs d'autres perspectives sur ce que peut représenter un bon usage du capital naturel dans la balance des intérêts de court et long terme.

Le calcul de la valeur des services est beaucoup plus difficile que le calcul de celle correspondant aux biens pourvus par l'écosystème surtout en terme d'impacts, par exemple, les composantes esthétique, culturelle ou spirituelle sur le bien-être d'un individu ou d'une communauté.

Pendant les années 90' on a essayé de calculer la valeur relative du patrimoine et de l'ensemble des services pourvus par différents écosystèmes; dans notre cas on va concentrer l'attention sur les océans et zones côtières (Tableau 2).

TABLEAU 2 - Valeur relative de l'ensemble des biens et services pourvus par les écosystèmes

ÉCOSYSTÈMES	SURFACE (millions d'hectares)	VALEUR/UNITÉ (US \$/ha/an)	FLUX GLOBAL (milliards US \$/an)	VALEUR GLOBALE (en pourcentage)
Marin	36.302	577	20.946.254	63
Océan ouvert	33.200	252	8.366.400	25
Zones côtières	3.267	4.052	13.237.884	43
Estuaires	180	22.832	4.109.760	
Algues et plantes aquatiques	200	19.004	3.800.800	
Récifs de corail	62	6.075	376.650	
Plateforme continentale	2.660	1.610	4.282.600	
Zones humides (mangroves et marécages)	165	9.990	1.648.350	
Terrestre	15.323	804	12.319.692	37
Global	51.625	-	33.265.946	100

Sources: Costanza et al. (1997) et Commission Mondiale Indépendante pour les Océans (1998), modifié.



Tout en reconnaissant les incertitudes de ce type d'évaluation, l'essentiel peut être résumé comme suit:

- plus de 60% du total des biens et services écosystémiques sont pourvus par le milieu marin (océans et zones côtières),
- la valeur annuelle par unité de surface des zones côtières et des zones humides est, grosso modo, 5 et 10 fois (respectivement) plus élevée que celle de l'ensemble des écosystèmes terrestres.

Les zones côtières, en tant que régions de transition entre les milieux terrestres et marins avec des caractéristiques uniques, sont essentielles à une stratégie de «développement» soutenable dans la mesure où elles:

- sont responsables pour plus de 40% du capital naturel pourvu par la globalité des écosystèmes même si les littoraux ne couvrent qu'environ 8% de la surface planétaire;
- sont le siège de transferts de matière et d'énergie et d'une richesse écologique qui contribue pour 25% de la productivité biologique globale.

Si on considère l'ensemble des espaces littoraux et océaniques on voit que la diversité des logiques fonctionnelles de l'homme (individu ou collectivité) a permis jusqu'à nos jours une évolution dans le sens d'élargir l'occupation de ces espaces, ce qui renforce leur importance stratégique pour le maintien de ces secteurs d'activité humaine qui sont à la base d'une économie maritime traditionnelle fortement investie mais où les enjeux qui s'y concentrent représentent une menace plutôt qu'une assurance pour le patrimoine océanique et côtier. Ainsi, d'après Pauly et Alder (2005):

Pêche (capture) <sup>7</sup>	81	milliers de millions de US \$	(2000)
Aquaculture	57	« « «	(2000)
Pétrole/gaz offshore	132	« « «	(1995)
Tourisme maritime (la majorité dans les zones côtières)	161	« « «	(1995)
Transport maritime et commerce	155	« « «	(1995)

Mais en matière d'innovation, de nouveaux champs d'exploration/exploitation s'ouvrent devant l'homme, les tendances actuelles projetant les attentes bien plus loin.

<sup>7</sup> Selon la FAO (2007), en 2004, la capture globale (incluant la pêche en eau douce), en valeurs approximatives, était de 95 millions de tonnes (MT) équivalent à 85 milliers de millions de dollars US (mM\$). Dans le domaine de l'aquaculture, on a produit, globalement, 60 MT (21 MT, aquaculture marine sans la culture des plantes), correspondant à 70 mM\$ (38 mM\$, aquaculture marine). Malgré les progrès concernant la fiabilité des statistiques, certains défauts persistent; par exemple on estime qu'au moins 37% des captures, ne sont pas rapportées.

TABLEAU 3 - Résumé de la condition et des tendances dans les plus grandes industries de bio-prospection

INDUSTRIE	ENGAGEMENT	TENDANCE (Expectatives)	BÉNÉFICES SOCIAUX	BÉNÉFICES COMMER- CIAUX	RESSOURCES (Biodiversité)
Pharmaceutique *	Plutôt cyclique	Cyclique. Possibilité d'augmentation	Santé humaine et emploi	+++	P, A, M
Cosmétique	Élevé	Augmentation	Santé humaine et bien-être	+++	P, A, M
Biomimétique	Variable	Variable en augmentation ?	Diversifiés	++	P, A, M
Biomonitoring	Variable	Augmentation	Qualité environ- nementale	+	P, A, M
Récupération écologique	Moyen	Augmentation	Qualité environ- nementale	++	P, A, M
Protection alimen- taire Contrôle biolo- gique	Elevé	Augmentation	Aliments et qualité environnemen- tale	+++	P, A, M

P – Plantes A – Animaux M – Micro-organismes + - Profits variables ++ - Million € +++ - Million de millions €  
 Source : Millenium Ecosystem Assessment (Ecosystems and Human Well-being – Opportunities and Challenges for Business and Industry)

En reconnaissant l'importance de ces services et biens (naturels et anthropiques), il faut, toutefois, être conscient que tout au long des dernières décennies on a observé la dégradation de l'environnement et des ressources marines et côtières, dont une bonne partie est simplement perdue à cause du gaspillage ou déjà menacée. Au-delà des menaces existantes, d'autres, non moins sérieuses pour la biodiversité et les équilibres systémiques, peuvent se poser dans un avenir relativement court.

## MESURE D'UN SIÈCLE DEMESURÉ ET ÉTAT DES LIEUX

Les résultats sont aujourd'hui bien palpables, avec l'extinction de certaines espèces (qui, pendant des siècles, ont été la garantie de survie et de bien-être de plusieurs générations), la disparition des grandes flottes industrielles et la ruine des ports et de régions autrefois si dépendantes des activités de pêche. Néanmoins, il faut reconnaître que les excès commis par une pêche fréquemment permissive et illégale ne furent, ni sont, la seule explication de ces désastres socioéconomiques: les changements du milieu, de la circulation océanique et du climat, d'origine naturelle ou anthropique, ont aussi contribué non seulement à l'aggravation de ces situations mais aussi à rendre plus difficile la récupération des ressources plus fragilisées.

En effet, de multiples exemples dans l'histoire de l'Humanité qui devançant l'appauvrissement des grandes pêcheries, ont donné l'opportunité de témoigner de la destruction non seulement de ressources mais aussi des habitats. Ces destructions sont provoquées par une remarquable variété d'activités humaines: les grandes œuvres d'ingénierie côtière, l'exploitation pétrolière et minière, la concentration (et dimension) des zones urbaines, les monocultures intensives (élevage et agriculture), l'emploi excessif de produits chimiques et la subséquente contamination atmosphérique aussi bien que celle des aquifères et des nappes d'eau phréatiques, etc...

\* Au moins 3000 produits ont été isolés à partir d'espèces sauvages de flore et de faune.

L'évolution de ce processus, historiquement bien daté, est soutenue par une conception du monde et une philosophie de «développement» qui se consolident avec l'industrialisation des systèmes de production. Cette évolution, basée sur une logique de consommation massive des richesses naturelles a entraîné le système productif à des situations où les excès (d'exploitation) et le gaspillage (des richesses naturelles) ont négligé la vulnérabilité (des équilibres) et l'insuffisance relative (des ressources) à chaque instant (Vasconcelos, 2002).

La vérité c'est qu'il fut toujours plus facile et avantageux d'emprunter la facilité (obtention de profits et dépassement de limitations) que de respecter la complexité et la nature systémique des relations Homme - Nature.

McNeill (2001) a essayé de mettre en évidence de manière simple mais suffisamment éclairante ce qui, au long d'un siècle (1890 - 1990) furent les domaines préférentiels pour le soutien d'un modèle de «développement» basé sur l'exploitation irréfléchie, même débridée, des ressources naturelles (Tableau 4).

Dans la majeure partie des cas (pêche, forêts, occupation des sols, industrie) ces modèles ont permis de révéler, dans un espace de temps relativement court, les limitations évidentes des écosystèmes et des systèmes productifs naturels, avec des pertes parfois irréparables (biodiversité, qualité environnementale) et une accentuation des disparités sociales, en aggravant les conditions des couches sociales les plus faibles et déjà appauvries.

TABLEAU 4 - Une mesure du XXe siècle (1890 – 1990)

Facteur	Bénéfices et pertes pendant 100 ans (coefficient multiplicateur)
<b>ECONOMIE</b>	
Économie mondiale	14
Consommation de l'eau	9
Production industrielle	40
Consommation d'énergie	13
Production de charbon	7
<b>POLLUTION</b>	
Pollution atmosphérique	~5
Émissions de CO <sub>2</sub>	17
<b>PRODUCTION ANIMALE</b>	
Capture de poisson et d'autres ressources aquatiques vivantes	35
Effectif total de bétail	4
<b>EXTINCTION/PERTE D'ESPÈCES</b>	
Effectif de baleines bleues (mers du Sud)	0,0025 (perte de 99,8%)
Effectif de baleines communes	0,03 (perte de 97%)
Nombre d'espèces d'oiseaux et de mammifères	0,99 (perte de 1 %)
<b>USAGE DES SOLS</b>	
Surface irriguée	5
Terres agricoles	2
Surface forestière	0,8 (perte de 20%)

Source: McNeill, 2000, modifié

En ce que concerne, plus particulièrement, le statut-quo des écosystèmes, une appréciation même relativement superficielle montre comment la situation globale s'est aggravée d'une façon très rapide ces dernières décennies.

En effet, les études les plus récentes, développées dans le cadre de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire, révèlent que 60%<sup>8</sup> des services d'origine écosystémique sont déjà considérés en cours de dégradation ou sujets à des régimes d'exploitation non rationnels<sup>9</sup>.

Les conclusions de ces études sont claires: en conséquence d'une pression excessive (fruit de la croissance de la demande des biens essentiels comme l'eau, les aliments et les sources d'énergie), la structure et le fonctionnement des écosystèmes ont changé très rapidement pendant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, avec des répercussions en cascade (pertes significatives de biodiversité, effondrement des systèmes productifs, accentuation des risques et aggravation des disparités sociales et économiques).

**Les chalutiers de la mer Aral**  
**Une flotte de pêche «navigant» dans les dunes d'un désert<sup>10</sup>**



Le fait c'est que selon le PNUE (2007), à propos de la population humaine:

« ... la quantité de ressources nécessaires pour la faire vivre dépasse les ressources disponibles ... l'empreinte de l'humanité est de 21,9 ha/personne, alors que la capacité biologique de la Terre est, en moyenne, seulement de 15,7 ha/personne... ».

<sup>8</sup> cad: 15 services sur un total de 24 services considérés. En contrepartie, seulement 4 services écosystémiques ont connus une amélioration en terme de performance dans la dernière cinquantaine d'années (3 directement liés à la production alimentaire: céréales, cheptel et aquaculture).

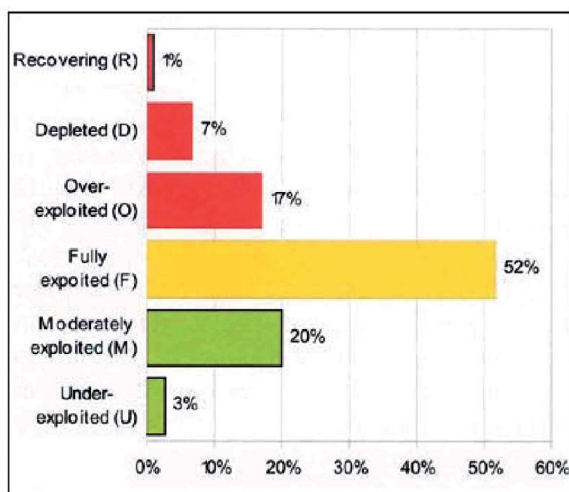
<sup>9</sup> On estime que 20% des espèces aquatiques ont disparu au cours des dernières décennies ou sont menacées d'extinction.

<sup>10</sup> Désertification accélérée pendant 35 années (1960-1995) provoquée par une réduction des apports du Syr-Daria et du Amou-daria, déviés pour soutenir les besoins en irrigation d'une production industrialisée de coton. Pendant cette période, la Mer Aral a reçu moins 1000 km<sup>3</sup> d'eau douce.

Puisque les activités humaines ont contribué sérieusement à la dégradation, voire à la destruction, de certains tampons «buffers» naturels dont l'action permettrait de réduire les conséquences néfastes (exemple, les récifs de corail), pendant ces dernières décennies, on constate une tendance, pour l'augmentation de la fréquence et l'intensité des désastres naturels. A titre d'exemple, ces dernières années, on observe que le nombre de personnes affectées par ces désastres est passé de 177 millions/an (en moyenne) en 1980 à 270 millions/an après 2001 (une augmentation de plus de 50%). En 2002, les pertes économiques ont atteint près de 110 milliards de \$US, soit plus 36% par rapport à celles observées en 2001.

Concernant les océans et les zones côtières, l'état actuel peut être globalement résumé comme suit:

- dans 80% des espèces ou groupes d'espèces exploitées dont les données sur leur condition d'exploitation sont disponibles, on constate que sur un total de 77% : 52% sont complètement exploitées, 17% sont surexploitées, 7% sont épuisées et seulement 1% sont en voie de récupération,



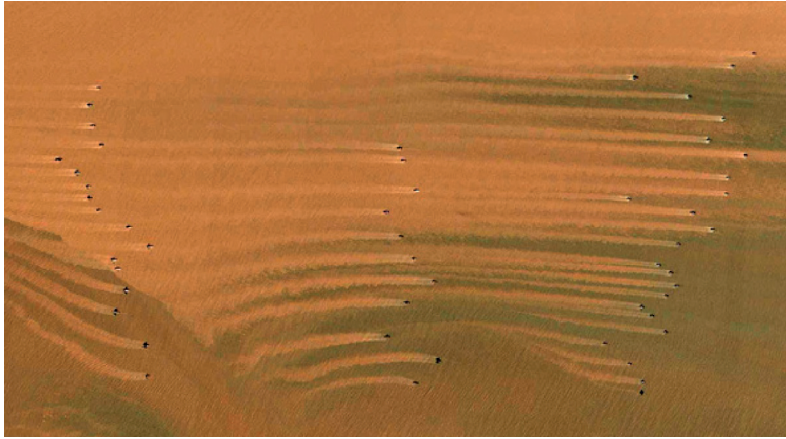
Source : FAO, 2007a

- les niveaux de productivité de 4 des 15 régions de pêche les plus importantes se sont réduits, à cause de la conjugaison des effets de surpêche<sup>11</sup>, de la destruction des fonds marins et de la dégradation environnementale<sup>12</sup>,
- les conditions de pénurie ou même de crise aggravée dans la pêche, avec une dégradation des lieux de pêche traditionnelle et l'effondrement d'un nombre significatif des principales ressources d'intérêt commercial, sont largement dues à des excès et de mauvaises pratiques de pêche. La surexploitation et les réductions de la qualité environnementale sont à l'origine de la disparition ou des menaces d'extinction qui pèsent sur 20% des espèces aquatiques,

<sup>11</sup> Pendant les années 90, on estime que les subventions destinées à la pêche ont atteint 20 à 50 milliards de dollars/an et même plus, le dernier montant est pratiquement équivalent à la valeur des débarquements (Pauly et Alder, 2005). D'après d'autres auteurs (PNUE, 2007), les régimes de subvention ont créé des capacités de pêche supérieures de 250% à la capacité nécessaire pour assurer une production plus «soutenable».

<sup>12</sup> On exploite commercialement plus de 50.000 composés chimiques.

Les traînées de limon laissées par les chalutiers-crevettiers dans l'estuaire du Yangtse



Source : Digitalglobe et MAPS Geosystems

- les pertes globales résultantes de la surpêche représentent une valeur assez élevée, se plaçant entre 8 et 16 milliards de \$US, d'après les estimations de Grainger, 1999 (in Froese et Keiner-Reyes, 2002),
- modifications sensibles dans les aires de distribution et dans l'abondance de certaines espèces, en raison des changements du milieu,
- dégradation de la qualité environnementale dans les zones côtières et les océans, avec des effets négatifs sur la biodiversité et la santé publique<sup>13</sup>. Dans le cas des zones côtières, les coûts dus à la pollution représentent environ 15 milliards de \$US, au-delà des conséquences négatives sur la biodiversité et la socio-économie du littoral,
- intensification des conditions d'eutrophisation et d'hypoxie ou même d'anoxie<sup>14</sup> (les "dead zones"<sup>15</sup>) aussi bien que la création de conditions favorables à la prolifération des efflorescences phytoplanctoniques toxiques dans le littoral,
- introduction d'espèces exotiques et menaces pour le patrimoine génétique,
- l'érosion du littoral montre une tendance à s'intensifier, due aux modifications de la dynamique côtière, dont l'origine peut être naturelle ou anthropique<sup>16</sup>,
- les zones humides sont menacées ou déjà en régression au niveau mondial. Par exemple: depuis 1980, environ 20% (3,6 millions de hectares) de mangroves dans tout le monde (un habitat qui assure des possibilités de survie à plus de 2000 espèces animales et végétales) fut détruite et transformée en terrains urbains et industriels ou en zones de

<sup>13</sup> L'impact du transport maritime est significatif soit en termes de bruit (avec des conséquences sur la distribution et le comportement des espèces marines) soit pour les déversements de pétrole. Ceux-ci sont responsables pour la pollution d'au moins 70 millions de km<sup>2</sup> chaque année. On estime que chaque tonne de pétrole versée peut affecter une aire de 12 km<sup>2</sup>.

<sup>14</sup> L'hypoxie est définie par une concentration d'oxygène dissout inférieure à 2 ppm.

<sup>15</sup> Le nombre de "dead zones" a augmenté depuis les années 1970 (on estime aujourd'hui qu'il est de 150). Certaines de ces zones mortes peuvent affecter environ 70.000 km<sup>2</sup>, ce qui donne une idée de l'importance de ses impacts.

<sup>16</sup> Au niveau mondiale, environ 70% des plages sont déjà affectées à un rythme beaucoup plus élevé que les autres zones côtières, suite à une forte anthropisation du milieu et à la combinaison de facteurs très diversifiés (densité d'occupation, expansion urbaine, réseaux de transports, rejets d'eaux usées et d'ordures, dragage de sables, etc.)



culture<sup>17</sup>, en incluant l'aquaculture. Selon FAO (2007b), on estime que la destruction des mangroves représente des pertes de production moyenne de poissons, mollusques et crustacés d'environ 90 kg/ha (jusqu'à un maximum de 225 kg/ha). Chaque hectare de mangrove détruit peut représenter une perte d'environ 480 kg/an pour la petite pêche locale qui exploite les zones de voisinage,

- pendant les dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle, on a observé une détérioration assez rapide des récifs de corail (20% étaient déjà détruits en 2004). Dans les décennies à venir (Wilkinson, 2004), il y a un très sérieux risque de perte d'environ 50% (24% des 600.000 km<sup>2</sup> des récifs inventoriés dans les régions tropicales et semi tropicales du monde. Ces récifs assurent la protection et la survie à milliers d'espèces). Cela est dû à des causes très variées comme l'acidification des eaux, le tourisme anarchique, l'usage d'explosifs etc.,
- intensification de la fréquence et de l'intensité des grandes tempêtes, des désastres naturels et des impacts des changements climatiques. À ce propos, et à titre d'exemple, Nicholls (1995) a estimé qu'une remontée du niveau de la mer d'un mètre à la fin du siècle (sans modification de la population et de l'activité actuelles) aura des conséquences déjà significatives: 180 millions de personnes affectées, environ 1200 milliards de \$US en pertes et quelques 150.000 Km<sup>2</sup> de terrains perdus (en incluant plus de 60.000 Km<sup>2</sup> de zones humides côtières).

Ces différents exemples témoignent de la continuité d'un processus de «développement» qui a fini par se révéler assez destructif, de telle façon que dans un nombre déjà considérable de cas, la situation engendrée est clairement insoutenable, exigeant aujourd'hui et dans les années à venir une modification radicale non seulement en terme de vision des problèmes mais surtout en terme de paradigmes. Sans ces modifications, les processus de destruction se poursuivront, en traînant inexorablement une augmentation des risques d'épuisement pour l'essentiel d'un capital naturel qui a été le soutien de la vie, telle que nous l'ayons connus jusqu'à maintenant.

## CHANGER LES PARADIGMES

Il y a 10 ans on a célébré l'Année Internationale des Océans et le moment était particulièrement intéressant parce que, depuis 1992 et le Sommet de Rio de Janeiro, une intense activité politique au sein de l'Assemblée Générale et des Organisations des Nations Unies avait permis de conclure des accords sur un ensemble de questions stratégiques complémentaires de la Convention sur le Droit de la Mer qui, entre-temps, était entrée en vigueur (1994). Si on considère aussi quelques autres instruments de droit international, on peut dire que ces années représentèrent une période qui a justifié l'espoir d'une halte dans le processus de dégradation des océans et des zones côtières.

Cependant, il faut avancer plus rapidement et de façon décisive si nous voulons mettre fin à ces actes de vraie piraterie qui déciment de précieuses ressources côtières et océaniques pour l'économie des pays les plus dépendants de leur exploitation, notamment en Afrique. D'ailleurs, on considère 2008 une année-charnière, non seulement parce que c'est l'Année Internationale de la Terre et le moment est adéquat pour lancer de grands projets de recherches multidisciplinaires aux niveaux national, régional-international et

<sup>17</sup> Dans la dernière vingtaine d'années, la destruction du mangrove était destinée à favoriser le développement de l'aquaculture et l'obtention de bois

mondial mais aussi en tant que point de départ de Bali, après Kyoto, et de projection de nouvelles étapes dans le dossier Océan.

Nous avons esquissé aux paragraphes précédents, bien que de façon rapide, les situations d'affaiblissement où se trouve la majorité des écosystèmes et les menaces qui pèsent sur un grand nombre d'espèces animales et végétales, supports irremplaçables de la vie humaine se dégradant à grande vitesse. Dans les zones côtières, en particulier, ces dernières décennies ont témoigné d'une accentuation de la présence humaine et d'une variété d'activités maritimes intensives. En résumé, les usages du littoral tendent à s'amplifier et à se diversifier rapidement entraînant dans ce mouvement une augmentation de la probabilité d'éclosion de sérieux conflits en même temps qu'aggravant les risques inhérents et les incertitudes à plus long terme.

Devant un scénario de «business-as-usual» on ne voit pas le besoin de changer... mais dans ce cas serions-nous bien conscients de ses coûts socioéconomiques dans le futur et serions-nous disposés à les accepter? Une situation bien différente sera celle où l'on voudra construire le futur dans un scénario de «durabilité», même si le mot «développement» couplé aux termes «durable» ou «soutenable» se révèle un vrai oxymore face à l'inconsistance de l'association. En effet, et plutôt qu'un qualificatif trop fréquemment trompeur pour les attentes des gens, la notion de «durabilité» couplée à celle du «développement» implique un profond changement de modèles où les domaines écologique et socioéconomique doivent être considérés comme éléments indissociables du même système complexe et non séparés comme auparavant.

## UNE POLITIQUE INTÉGRÉE POUR LES OCÉANS ET LES ZONES CÔTIÈRES

Les océans sont un élément déterminant d'une certaine «stabilité» du climat et de la vie mais le fait c'est que cette vaste portion de l'hydrosphère, aussi bien que les zones côtières, font l'objet d'un processus de dégradation rapide en raison des activités anthropiques, qui en s'aggravant, peut induire des changements climatiques plus intenses. Or, dans ces conditions où ce capital naturel irremplaçable est en danger et dont la responsabilité de l'homme est indéniable, on ne voit d'autre solution que la définition d'une politique intégratrice des politiques sectorielles, conçue et développée en harmonie avec une vision globale responsable et la cohérence d'une approche systémique adaptative vis-à-vis des différentes situations et problèmes.

Si on ajoute les prévisions de l'IPCC, on arrive à la conclusion que la réponse devant ce qui semble clairement inévitable réside aussi dans l'adoption de politiques de mitigation et d'adaptation, en essayant de réduire les risques à long terme mais prenant aussi des mesures qui permettent d'assurer un ajustement progressif des populations à des nouvelles conditions de vie<sup>18</sup>, et non seulement à orienter les options stratégiques vers la «durabilité».

Dans la pratique, ce type d'approche diffère des approches plus traditionnelles dans la mesure où elle exige au moins la vérification des conditions suivantes (Vasconcelos, 2002):

---

<sup>18</sup> A titre d'exemple et selon les projections de l'IPCC pour 2080, une augmentation d'environ 40 cm du niveau marin pourrait entraîner la perte d'environ 22% du total de zones humides (surtout dans les régions où la différence entre les marées est très faible comme dans la Méditerranée et la Baltique) affectant de ce fait au moins 90 millions de personnes/an (9 fois plus qu'en 1990).

- équilibre entre les besoins de protection de l'environnement et des ressources, les valeurs de nature sociale et le développement économique (articulation des visions sectorielles),
- décisions politiques fondées sur une vision élargie, la meilleure connaissance scientifique, et orientations politiques claires aussi bien pour le cadre juridique que pour les instruments de coordination et de suivi et la répartition des responsabilités,
- information ouverte basée sur la multidisciplinarité et la meilleure connaissance scientifique,
- participation élargie (conjugaison des différentes perspectives en incluant des structures représentatives de la société civile) et procédures de prise de décision transparentes,
- coopération intense en réseaux et partenariats (synergies et complémentarité)

Pour le **Royaume du Maroc**, comme pour d'autres nations côtières avec une vaste zone maritime de souveraineté et juridiction, ces questions sont essentielles.

En effet, avec une géographie bien particulière insérée dans une zone climatique aride – semi-aride, sa double façade maritime (méditerranéenne et atlantique), longue de plus de 3.000 Km et une vaste plaine côtière entourée par des régions montagneuses, les scénarios de changement climatique représentent une menace pour les populations (dont 2/3 à peu près et une bonne partie des activités industrielles<sup>19</sup> sont concentrés dans le littoral), pour l'agriculture et pour la richesse halieutique de ses eaux sous souveraineté nationale.

La Zone Économique Exclusive (ZEE) sous juridiction marocaine s'étend sur plus d'un million de Km<sup>2</sup>, ce qui dépasse largement l'étendue de son territoire (710.000 Km<sup>2</sup>).

La ZEE constitue un axe structurant sur tout le long de la façade maritime, puisque du côté océan, grâce aux vents dominants, la stabilité relative du mécanisme de remontée d'eaux froides profondes riches en sels nutritifs («upwelling») assure la richesse de ses eaux, tandis que, du côté terre, le terrain est limité par les montagnes et le caractère plutôt désertique du sol et du climat.

Quelques exemples de vulnérabilité:

- près de 40% de la richesse nationale est concentrée sur 1% du territoire (en terme de valeur ajoutée, 77% du territoire contribue pour seulement 10%),
- la côte marocaine est insérée dans l'une des 5 principales régions littorales où l'influence de l'upwelling est déterminante. En terme de biodiversité, le littoral marocain est très riche, avec plus de 550 espèces de poissons, 850 espèces de mollusques, 20 espèces d'éponges, plus de 350 espèces d'annélides, etc. Au-delà de la plus importante colonie de *Monachus monachus* (phoque-moine). Du fait qu'on considère le sud de la côte atlantique comme un centre important de spéciation pour la faune marine, on doit aussi tenir compte des nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs,
- au-delà de la vulnérabilité du secteur agricole au régime climatique, une autre origine de fragilité résulte des pertes de surface arable en raison de causes naturelles telles que la désertification et l'érosion mais aussi anthropogéniques telles que le surpâturage et le prélèvement excessif de bois,

<sup>19</sup> La population urbaine était de 45% en 1985, plus de 50% en 2000 et devra atteindre 75% en 2025 (ce qui implique, en terme de consommation d'espace littoral par l'urbanisation, le passage de 0,22 en 1985 à 1,25 en 2025). L'axe Kénitra – Grand Casablanca connaît une densité élevée de population (162 habitants/Km<sup>2</sup>). Près de 80% de l'industrie marocaine est concentrée sur la côte atlantique.

- dégradation de la qualité de l'eau des barrages et des nappes phréatiques ces derniers vingt ans et prévision d'une augmentation de la pénurie à l'horizon de 1 à 2 décennies,
- taux d'urbanisation en croissance (29% en 1960 et 55% en 2004), avec une littoralisation accentuée associée à une tendance pour la concentration en grandes villes,
- contamination du littoral et des eaux côtières, avec prolifération des habitats insalubres (Anonyme, 2006b). En effet, 60% de la population est concentrée sur le littoral (plus de 90% de l'industrie et plus de 50% de la capacité touristique nationale),
- exploitation excessive de certaines ressources de pêche, secteur économique essentiel pour la sécurité alimentaire nationale<sup>20</sup>, soit à travers la consommation (25% de la consommation en protéines animales, ce qui correspond à environ 9 kg/an per capita, comparables aux 14 kg de viande et 5 kg de volaille), soit par la possibilité d'importer environ 4 kg d'aliments de base («staple food») pour chaque kg de produits de pêche exportés (FAO, 2003)<sup>21</sup>.

Les scénarios qu'on peut esquisser sur la base de la meilleure connaissance disponible ne permettent pas de soutenir des perspectives optimistes, puisque tout porte à croire que les changements climatiques (même si le réchauffement prévu reste relativement modéré) auront des conséquences sérieuses sur l'environnement, sur les systèmes productifs et sur la santé et le bien-être humains.

En effet, l'érosion des terres arables (qui représentent environ 20% du territoire)<sup>22</sup>, l'augmentation des risques inhérents à une intensification des désastres naturelles, la sécheresse<sup>23</sup>, la réduction de l'activité agricole dans les zones côtières due à la salinisation des nappes prévue, les changements de la dynamique côtière (où l'érosion des plages est aussi associée à l'extraction de sable), la vulnérabilité de l'activité touristique liée au phénomène de littoralisation (sans oublier la bétonisation progressive de la façade maritime) et les impacts qu'une modification appréciable des «upwelling» et de la circulation océanique peut avoir sur la distribution et l'abondance des ressources halieutiques (soumis depuis des années à une pêche excessive), toutes ces questions justifient le besoin d'adopter une stratégie d'action intégrée, condition essentielle à la définition d'une politique de prévention et de mitigation des risques et à une gestion plus cohérente et efficace des capacités existantes.

Comme il a été souligné par Stern (2006), les avantages que présentent une action ferme et précoce l'emportent de loin sur les coûts économiques de l'inaction:

«... si l'on ne réagit pas, les coûts et les risques globaux du changement climatique seront équivalents à une perte d'au moins 5% du PIB mondial chaque année (...).

<sup>20</sup> Dont plus de 40% est destinée à la production de sous-produits comme les huiles et farines de poisson et seulement 5% est utilisé par l'industrie de congélation (données de 2004).

<sup>21</sup> D'autres arguments pour souligner l'importance des activités de pêches pour l'économie marocaine sont: l'emploi (environ 200.000 personnes) et la contribution pour 2% environ du PNB.

<sup>22</sup> D'après Menioui (2007), les pertes de sol dans la région nord-ouest du Maroc sont considérables, étant comprises entre 5,3 millions de tonnes et 16,7 millions de tonnes. Les réductions de productivité entraînées par ces pertes sont estimées à 7 et 22 kg/ha, soit une moyenne de 15 quintaux pour hectare (environ 15 kg/ha).

<sup>23</sup> Selon les études réalisées en 2001, le réchauffement entre 2000 et 2020 doit se situer entre 0,6° et 1,1° C. Inversement, il y a aura une tendance pour une réduction de 4% dans le régime de précipitations. L'intensité des orages augmentera (dans le nord) aussi bien que la fréquence et l'intensité des sécheresses (au sud et à l'est) – Assobhei, 2007, Agoumi et Debbah, 2006, Senhaji, 2001.

Si l'on prend en compte un éventail plus vaste de risques et de conséquences, les estimations des dommages pourraient s'élever à 20% du PIB ou plus. Par contre, les coûts de l'action<sup>24</sup> (...) peuvent se limiter à environ 1% du PIB mondial/année...».

La conception du modèle de politique est fondée sur deux conditions qu'on considère essentielles en tant que points de départ pour une action intégrée:

- 1) les grands espaces océaniques libres et les zones côtières doivent être considérés comme un continuum, en évitant la persistance d'une ségrégation artificielle forcément négative dans ses résultats;
- 2) l'approfondissement et le perfectionnement de la capacité de bien gérer les zones côtières d'une façon intégrée constituent une étape essentielle de l'approche adaptative.

### **Quatre idées-clés:**

#### **Base 1 - Un patrimoine commun unique au service des générations actuelles et futures**

Les océans et leurs ressources constituent un prodigieux patrimoine commun dont les générations futures et actuelles doivent avoir les mêmes opportunités d'accès et d'usufruit. Les différents États côtiers ayant le devoir de coopérer entre eux et avec les autres États de façon à garantir, à chaque moment, que les impacts d'usage, de production et de consommation soient biologiquement et écologiquement tolérables n'affectant pas significativement la disponibilité du capital naturel à long terme. En résumé, l'économie doit s'ajuster aux conditions et limitations des écosystèmes marins et côtiers et bien tenir en compte la complexité des liens d'interdépendance et la nature co-évolutionnaire du couple environnement-économie.

#### **Base 2 - Vision globale et une politique nécessairement intégrée et adaptative**

En raison de la nature et de la fragilité relative du patrimoine commun et la variété d'usages, les orientations de la politique à mettre en place pour les différents systèmes régulateurs au niveau sectoriel doivent être le produit d'une vision globale claire et d'une politique responsable. Cette politique, nécessairement intégrée, doit assurer la régulation de chaque composante tenant compte de la vulnérabilité du milieu et des ressources ainsi que de la nature et des répercussions des impacts. Bref, les usages du capital naturel disponible et les systèmes de production qui lui sont associés (pêche, aquaculture, transport maritime, exploration/exploitation offshore, tourisme, sport, parcs et réserves, zones urbaines, transport terrestre, etc.) doivent être compatibles entre eux et ajustés aux limitations du milieu.

#### **Base 3 - Perspective systémique, prise de décisions sur des bases scientifiques et approche de précaution**

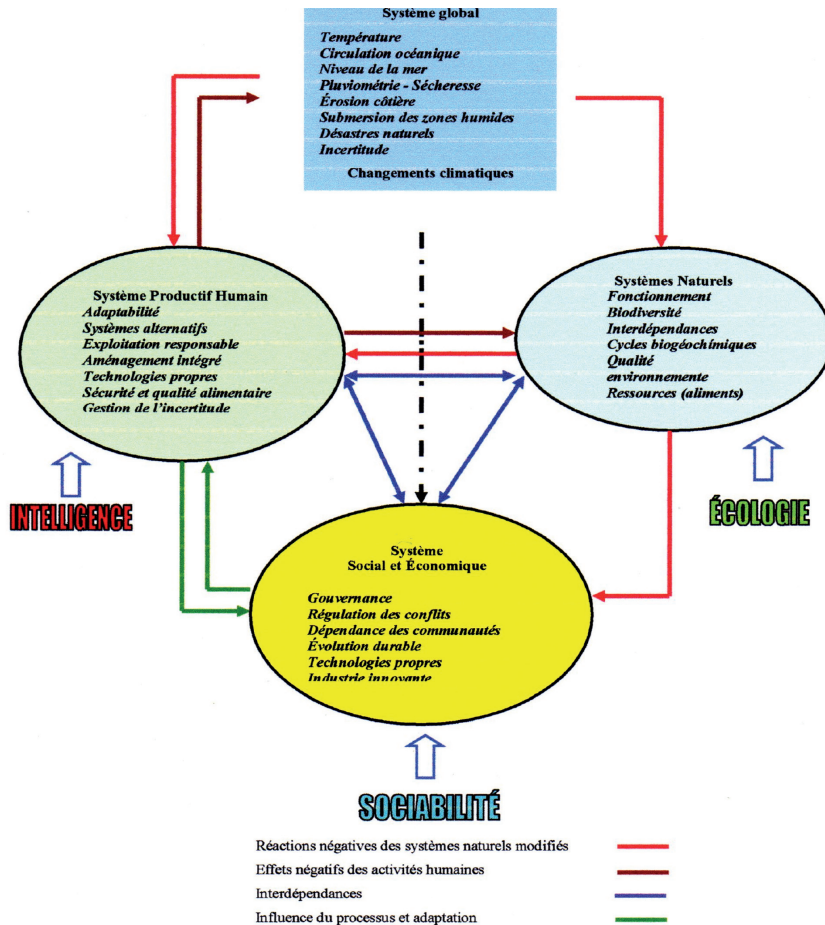
Aussi importante qu'une vision holistique, il faut développer une perspective systémique, les options prises à chaque moment doivent être fondées sur la meilleure connaissance scientifique pluridisciplinaire et sur un ensemble de principes d'orientation stratégique,

<sup>24</sup> D'après le State of the World, 2007, et à titre d'exemple concernant les coûts économiques enregistrés pendant les années 1990s, un investissement de 40 milliards de \$US, en temps utile, aurait permis une épargne de 280 milliards de \$US.

notamment les principes de précaution, de l'équité, de la gestion responsable et de l'usage biologique et écologiquement soutenable. La vulnérabilité des écosystèmes marins et côtiers, aussi bien que leur capacité de régénération, sont des éléments clés dans la définition des stratégies à adopter.

#### Base 4 - Information fiable, gouvernance et transparence des décisions

L'affirmation politique d'un objectif de «durabilité» présuppose une vision largement partagée par la majorité mais c'est précisément là que réside une des plus grandes difficultés à vaincre.



**Observation :** Les quatre systèmes ici considérés représentent, en réalité, un artifice. En effet, le système global est un complexe systémique où sont intégrés les différents écosystèmes et la diversité de leurs ressources, en incluant naturellement l'homme. Le système productif n'est autre chose qu'une composante de l'ensemble désigné par système social et économique.

Source: Vasconcelos, 2002

*Dans ce sens, on considère comme conditions clé pour un objectif de durabilité que la pondération des meilleures solutions soit basée sur des approches précautionneuses, l'accès aux meilleures sources fiables d'information et la mise en place d'un*



*large système de consultation plurisectoriel<sup>25</sup> et de partage de responsabilités (la gouvernance<sup>26</sup>). Plus que cela, ce modèle permettrait d'explorer, dans un contexte d'incertitude relative (comme le seront les prochaines années), la multiplicité de perspectives et de distinguer celle qui pourrait contribuer au perfectionnement d'une stratégie de planification optimisée, en identifiant les complémentarités génératrices des synergies les plus favorables à la «durabilité» à long terme.*

## VISION ET AXES D'ORIENTATION STRATÉGIQUE

En partant de ces bases et n'oubliant pas ce que disait Einstein (on ne peut pas faire face aux problèmes d'aujourd'hui en raisonnant de la même façon qu'au moment où nous les avons créés), on peut esquisser ce qui, dans le cadre d'une politique intégrée pour les océans et les zones côtières, on présuppose comme des éléments clés pour une certaine perspective, une vision:

### • Bien-être et santé des populations

Les océans et les espaces littoraux contribuent de façon décisive pour l'amélioration des conditions sociales et économiques des populations sur des bases plus solides et moins vulnérables,

### • Préservation d'un patrimoine commun

Le bon usage et la protection des océans et des zones côtières exigent un effort sérieux dans les domaines de la recherche, de la coopération sectorielle, de l'innovation et de l'efficacité des mesures de limitation des impacts anthropogéniques négatifs,

### • Coopération élargie

La diversité et la complexité des questions que les écosystèmes marins suscitent, la nature liquide des océans, la mobilité des ressources marines et la continuité des zones côtières posent des problèmes qui se projettent au-delà des frontières maritimes artificielles et recommandent une approche intégrée sur la base du renforcement de la capacité scientifique nationale et d'une coopération internationale plus forte et étroite (au niveau régional et global) reposant sur une compréhension partagée des objectifs et d'un cadre d'action<sup>27</sup>,

### • Anticipation, capacité d'agir et de mitigation

La probabilité accrue de risques résultants des changements climatiques émergents recommand le développement d'une stratégie évolutive capable de répondre en temps utile à la diversité de situations avec des mesures de mitigation appropriées (fruit d'une bonne capacité d'anticipation et de préparation des populations en termes d'ajustement aux nouvelles conditions) et aussi de réagir face aux situations non anticipées<sup>28</sup>, grâce

<sup>25</sup> Premier pas pour une application future des solutions co-gestionnaires qui peuvent évoluer de façon progressive.

<sup>26</sup> Toutefois et à ce propos, il convient de réfléchir sur l'observation de Costanza (2000): «... yet most effort in 'future modelling' has focused on extrapolating past trends rather than envisioning alternative futures ... likewise governance has gotten bogged in mediating short term conflicts between special interests rather than its most basic role of creating broadly shared visions that can guide dispute resolution...»

<sup>27</sup> Coopération dans les différents domaines de recherche et d'innovation. On considère également important la possibilité que cette coopération couvre les besoins en matière de renforcement des capacités aux différents niveaux.

<sup>28</sup> Il faut noter que les comportements chaotiques sont la règle dans un écosystème et que, dans certaines conditions, les modifications qui y sont provoquées augmentent la probabilité de déclencher des changements non linéaires pouvant être brutaux et potentiellement irréversibles. Les impacts de ce type d'altérations drastiques, les «changements de régime», peuvent avoir des conséquences sociales et économiques extrêmement sérieuses dans la mesure où elles se traduisent par une réorganisation de l'écosystème.

précisément à la flexibilité de l'action, à l'application du principe de la subsidiarité et à l'incitation des approches novatrices.

Cette vision présuppose qu'on veut changer les tendances désastreuses de ces dernières décennies et orienter le progrès des sociétés humaines vers des conditions de vie et de bien-être soutenables. Il est donc impératif de procéder à une révision sérieuse des concepts, des méthodes et des comportements, de changer radicalement les paradigmes et de prendre en considération aussi bien les seuils de tolérance biologique et écologique que la capacité de régénération des écosystèmes.

Dans ce contexte, le développement de plateformes élargies de compromis autour d'objectifs communs, la fédération des actions prioritaires et le renforcement de la capacité d'innovation augmentent la probabilité d'une fructueuse combinaison de savoirs diversifiés et d'un renforcement effectif des capacités (stimulant les synergies et les complémentarités), sur le plan aussi bien national, régional qu'international.

Dans ce sens, un certain nombre d'options et d'axes d'orientation stratégique ont été identifiés, en particulier ceux qui, dans l'abstrait et à ce stade, pourraient être considérés comme ajustés aux circonstances.

## OPTIONS STRATÉGIQUES

Hormis les questions relatives au niveau de dépendance (nécessairement élevé, puisque concernant les orientations politiques et leurs transversalités) et à l'organisation (Agence ou système comparable appuyé sur un Conseil National pour les Océans et Zones Côtières et un organe de consultation élargie), il faut clarifier les choix autour de certaines questions essentielles pour une progression<sup>29</sup> durable de long terme, telles que:

### Un consensus politique

Consensus élargi autour d'une politique intégrée impliquant la définition d'une politique commune de responsabilités partagées, conciliant les usages de l'eau et des ressources aquatiques. Ce consensus élargi devrait permettre, au moins:

- une clarification des grandes lignes d'orientation pour encadrer l'aménagement du territoire et l'occupation du littoral,
- la définition d'une politique responsable et cohérente de régulation de l'accès et de l'exploitation des eaux océaniques de juridiction, des eaux côtières et des eaux continentales,
- la création d'un Système Intégré de Gestion des Aires Côtières et de l'Espace Maritime de Juridiction (aussi bien qu'un Mécanisme Régulateur des Usages de l'Eau, en incluant l'arrière-pays),
- l'identification des systèmes d'indicateurs (en incluant les critères et les méthodologies) pour l'évaluation des différents programmes et les résultats obtenus,
- une perception claire des implications juridiques du concept «héritage et biens communs» (dans le sens du «global commons»), en tenant compte des tendances internationales sur ces questions,
- la conception et le développement des instruments de concertation, de résolution de conflits et d'audit technico-scientifique.

<sup>29</sup> On évite le mot "développement" qui, trop fréquemment, est considéré synonyme de «croissance». Or on peut progresser, améliorer les conditions et le niveau de vie sans qu'il y est nécessairement une «permanente» croissance; dans ce sens les références à «développement» seront faites en utilisant des guillemets.

## **L'exécution des stratégies**

Il est nécessaire d'établir une clarification méthodologique concernant l'exécution des plans pluriannuels (stratégie à long terme) en tenant compte des questions telles que l'organisation et la planification des projets intégrés, les instruments de coordination, l'accompagnement et l'évaluation ("accounting") et les mécanismes de correction ("feedback"). La définition des bonnes pratiques et de Codes de Conduite sont, naturellement, deux autres éléments à considérer.

## **AXES D'ORIENTATION STRATÉGIQUE**

Ayant toujours comme référentiel l'objectif «durabilité», les concepts d'intégration (qui présume compatibilité et cohérence) et de réseaux sont des éléments essentiels à l'élaboration d'une stratégie de long terme qu'on veut soutenable. Dans ce sens, les grands axes d'orientation stratégique sont définis à partir de quatre mots-clé: protéger, innover, progresser et coopérer. Dans chaque cas on explicite, à titre d'exemple, un ensemble de thèmes ou d'initiatives à considérer dans le futur.

### **Axe d'orientation 1 - Mieux protéger**

- planification spatiale de l'espace maritime sous juridiction marocaine, délimitant les zones en fonction de leur vulnérabilité, du niveau ou du risque de pollution, du type d'exploitation autorisé, des couloirs de navigation pour le transport maritime de pétrole et de substances dangereuses et du besoin de protéger les habitats et les ressources,
- définition d'un Système Intégré d'Aires Maritimes Protégées (l'ensemble de l'espace maritime constituant un réseau d'unités de gestion des usages soumises à différents régimes d'accès et/ou protection) en tenant compte des caractéristiques écologiques et le besoin d'harmoniser la dimension de chaque aire au type d'espèces ou d'habitats à protéger,
- définition d'un Système Intégré d'Aménagement des Zones Côtières, clarifiant les règles pour l'occupation du littoral et des marges des fleuves ou de lacs (urbanisation, tourisme, activités de loisir, réseaux de communication, pêche, aquaculture, etc.).  
Élaboration des cartes de risques,
- contrôle de l'activité et de la circulation maritime en utilisant les caisses bleues ou équivalent,
- contrôle et répression des activités IUU <sup>30</sup> (activités de pêche illégales, non déclarées et non réglementées),
- prévention/contrôle de l'érosion côtière et de désastres naturels émergent, en développant des analyses de prospective et de modélisation et sur cette base des programmes de prévention et de mitigation.
- Système Intégré de Contrôle et de Vigilance des conditions océaniques et côtières (en coopération avec les pays voisins et au sein des institutions internationales telles que Nations Unies, UNESCO, FAO, etc.).

### **Axe d'orientation 2 - Innover pour mieux consolider le futur**

- valorisation de la biodiversité et réorientation de l'activité pour des nouvelles sources exploitables non traditionnelles et même non conventionnelles (biotechnologie et nouveaux produits: médical, pharmaceutique, cosmétique, industrie),

<sup>30</sup> IUU est l'acronyme anglo-saxon pour "Illegal, un-reported and un- regulated fishing activities".

- développement de la nanotechnologie, de la robotique et de l'ICT («information and communication technologies»), aussi bien de l'informatique, visant différents domaines d'application comme, par exemple, des réseaux de senseurs et de navettes «remote controlled» pour la prospection, la collecte de données et le recueil d'informations in situ,
- énergies alternatives (au niveau des villages, de l'industrie et du transport, en incluant le maritime), en réduisant les dépendances et les coûts avec des avantages sociaux (au profit des populations les plus pauvres en milieu rural ou en zones urbaines) et économiques,
- «technologies propres».

### **Axe d'orientation 3 - Progresser de façon soutenable**

- aménagement et exploitation responsable des ressources disponibles et réorientation de l'activité pour des sources conventionnelles non exploitées ou sous-exploitées,
- protection des habitats et des ressources côtières,
- partenariats pour l'aménagement et l'exploitation écologiquement responsable des ressources (co-gestion et gouvernance)
- amélioration des techniques (avec réduction des pertes) et ouverture sur de nouveaux produits ou méthodes dans l'industrie de transformation et de commercialisation de la pêche,
- environnement nettoyé et écosystèmes salubres, favorisant des conditions plus propices pour la santé et le bien-être des populations,
- tourisme soutenable respectueux de l'environnement et du patrimoine écologique et géologique côtier,
- accompagnement et évaluation prospective des implications des changements globaux pour les écosystèmes et les projets de «développement».

### **Axe d'orientation 4 - Coopérer pour mieux connaître**

- réseaux d'excellence et renforcement des capacités en matière de recherche. Associations de Laboratoires, de Centres de Recherches ou d'Instituts Universitaires pour la constitution de structures de pointe avec une plus grande capacité de recherche dans les domaines stratégiques,
- sensibilisation des populations et, en particulier, des jeunes étudiants,
- consolidation des bases pour la dissémination des connaissances, la valorisation du talent et la promotion du mérite,
- projets intégrés, stimulant les approches pluridisciplinaires,
- renforcement des liens entre l'industrie, la recherche et l'enseignement, en incluant la définition de plateformes de coordination/coopération,
- mise en place de partenariats visant l'innovation (dans ses différents aspects: organisation, méthodologies, techniques et produits), appuyés par l'État,
- développement d'un Système Intégré d'Information sur les programmes de recherche et d'innovation et leurs résultats, visant le renforcement de la coopération institutionnelle et pluridisciplinaire et par conséquent le meilleur appui aux décideurs,
- intensification de la coopération internationale, en particulier au niveau régional..

La combinaison de ces différents aspects permettra d'identifier toute une série de grands thèmes de recherche avec des impacts positifs pour une politique effectivement intégrée et le développement d'une stratégie cohérente et responsable.

À titre d'exemple:

- Fonctionnement des écosystèmes marins et côtiers

(Réseaux d'interdépendance; limites de tolérance biologique et écologique; déclencheurs des situations de «changement brusque de régime» («shift regimes»); seuils pour la capacité de régénération des écosystèmes; impacts des contaminants; cycles biogéochimiques, etc.)

- Valeur des biens et des services des écosystèmes

(Référentiels mesurant les impacts sur la santé humaine ou le concept de bien-être; mesure ou traduction des valeurs esthétiques, scientifiques et culturels sur les populations; nouvelles ressources ou services, etc.)

- Effets des changements globaux sur les écosystèmes marins et leurs conséquences pour un objectif de «développement» durable

(Nature et extension des impacts sur le milieu et sur la distribution et l'abondance des espèces; conséquences au niveau des réseaux trophiques; altération du système d'«upwelling» et ses conséquences sur la pêche; interférence dans les cycles biogéochimiques; effets à long terme; situations anticipées et non anticipées; indicateurs biologiques, écologiques et économiques, etc.)

- Vulnérabilité des systèmes côtiers aux situations de désastre

(Causes de vulnérabilité; scénarios et incertitudes; cartes de risque; conséquences pour les communautés humaines; mesures de mitigation, etc.)

Planification des espaces océaniques et côtiers pour encadrer l'aménagement de leur accès et leur usage

(Vulnérabilité zonale; carte de risques; réseau des aires marines et côtières protégées, etc.)

## UNE RÉFLEXION FINALE

La complexité des problèmes qu'affrontent déjà nos sociétés et les perspectives plutôt sérieuses qui se posent pour notre proche avenir ne laissent aucun niveau de liberté suffisamment élargi pour permettre la persistance d'attitudes ou de comportements qui sont aussi fermés sous le poids des logiques corporatives de court terme qu'ouvertes à la confrontation de perspectives ou d'idées. Au contraire, la nature de ces problèmes de même que la difficulté des mesures à prendre demandent un changement de paradigmes et dans ce sens: des liens de coopération institutionnelle et sociale plus étroits, l'approfondissement des approches pluridisciplinaires, la mise en place de systèmes de consultation élargie et de partage de responsabilités.

En effet, on ne peut pas mésestimer le fait que le contexte de notre temps et des temps à venir est plutôt celui des risques accrus. Un des plus grands défis de notre génération est celui d'être capable de gérer l'incertitude, situation qui recommande la diversification des perspectives, le recours à des nouveaux modèles de gestion et l'ajustement des habitudes. Récemment, le groupe de Lauréats Nobel qui ont participé au Symposium de Potsdam (en octobre 2007) ont souligné l'importance de l'échauffement global d'origine anthropique dans le déclenchement d'une série de crises de développement, d'environnement et de sécurité et ainsi ils ont constaté le fait que:

**«... climate protection ambitions appear to be on a collision course with the predominant growth paradigm that disconnects human welfare from the capacity of the planet to sustain growth forever...».**

Il y a donc un profond travail à faire non seulement de discussion mais aussi de communication et d'information.

**Les problèmes posés par la définition d'une politique intégrée pour les océans et les zones côtières suggèrent que le type de réponse des institutions telles que l'Académie pourrait être exactement le même que ce que les Lauréats de Potsdam ont souligné, dans la partie finale de leur Mémoire, en l'appelant «A global contract between science and society»:**

“This new contract between science and society would embrace many elements, yet three of them are critically important:

- a multi-national <sup>31</sup> innovation program addressing the basic needs of human beings (energy, air, water, food, health, etc.),
- removal of the persisting cognitive divides and barriers through a global communication system ... Part of this would be the emerging Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) ...
- a global initiative for the advancement of sustainability science, education and training ... (needs) to be motivated to engage in interdisciplinary problem-solving, based on ever-enhanced disciplinary excellence...”

En résumé : ayons le courage de donner au futur une opportunité, parce que sans modifications profondes, on risque sérieusement de confirmer dans un futur proche cet ancien adage des indiens Cree:

«Only when the last river has been poisoned, the last tree cut down, the last fish has been caught; only then will you realise that money cannot be eaten”

## **BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE**

AGARDY, Tundi et ALDER, Jacqueline, 2005 - Coastal systems. Chapter 19, p. 513-549 in HASSAN, Rashid, SCHOLLES, Robert et ASH, Neville (Edit.) Ecosystems and human well-being. Volume 1. Current state and trends. Millenium Ecosystem Assessment

AGOUMI, Ali, 2003 - Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques - Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre. Perspectives des changements du climat. Questions et analyses de Pays en Voie de Développement et de Pays à Économie de Transition. 11 p.  
[http://www.cckn.net/pdf/north\\_africa\\_fr.pdf](http://www.cckn.net/pdf/north_africa_fr.pdf)

AGOUMI, Ali et DEBBAGH, Abdelhafid, 2006 - Ressources en eau et bassins versants du Maroc. 50 ans de développement, 1955-2005. 62 p.  
<http://www.rdh50.ma/ar/pdf/contributions/GT8-1.pdf>

ANONYME, 2006a - Rapport sur les perspectives du Maroc à l'horizon de 2025. Pour un développement humain élevé. 50 ans de Développement Humain. Perspectives 2025. Cinquantenaire de l'Indépendance du Royaume du Maroc. 152 p.

<sup>31</sup> Aussi bien que nationale (MSV).



- ANONYME, 2006b - Document de Synthèse du Rapport Général. 50 ans de développement humain. Perspectives 2025. Cinquantenaire de l'Indépendance du Royaume Maroc. 50 p.
- ANONYME, 2007 - Potsdam Memorandum. Main conclusions from the Symposium "Global sustainability - A Nobel cause". Potsdam, Germany. 8-10 October 2007.  
[http://www.nobel-cause.de/Potsdam\\_Memorandum.pdf](http://www.nobel-cause.de/Potsdam_Memorandum.pdf)
- ASSOBHEI, Omar, 2007 - Les changements climatiques, vulnérabilité et adaptation du littoral marocain. Actes de la Session Plénière, Année 2007. Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Rabat, Royaume du Maroc. p. 321-334
- BUCK, Susan J., 1998 - The global commons. An introduction. Island Press, Washington DC. Covelo, California. 225 p.
- CADORET, Anne, 2006 - Conflits d'usage liés à l'environnement et réseaux sociaux : Enjeux d'une gestion intégrée ? - Le cas du littoral du Languedoc-Roussillon. Thèse de Doctorat de Géographie. Université Montpellier III - Paul Valéry. UMR 6012 ESPACE, CNRS. 591 p.
- DAVID, Gilbert, MIRAULT, Emilie, QUOD, Jean Pascal et THOMASSIN, Aurélie, 2006 - Les concordances territoriales au cœur de la gestion intégrée des zones côtières : l'exemple de la Réunion. Interactions Nature-Société, analyse et modèles. UMR6554 LETG, La Baule. 6 p.
- FAO, 2003 - Expert consultation on international fish trade and food security. Casablanca, 27-30 January. FAO Fisheries Report, N° 708. FAO, Rome. 213 p.
- FAO, 2005 - Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries Technical Paper, N° 457. FAO, Rome. 244 p.
- FAO, 2007a - The state of the world's fisheries and aquaculture, 2006. FAO. Rome. 162 p.  
<http://www.fao.org/docrep/009/A0699e/A0699e00.htm>
- FAO, 2007b - The world's mangroves, 1980-2005 - A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 153. Rome. i-ix, 1-77 p.
- FIKSEL, Joseph, 2006 - Sustainability and resilience: toward a systems approach. Sustainability: Science, Practice, & Policy. Fall 2006, Volume 2, Issue 2. p. 14-21.  
<http://ejournal.nbii.org>
- FROESE, Rainer et KEINER-REYES, Kathleen, 2002 - Impact of fishing on the abundance of marine species. ICES cm 2002 / L:12. 15 p.
- GRAINGER, R. J. R., 1999 - Global trends in fisheries and aquaculture. p. 21-25 in National Ocean Service, NOAA, Centre for the Study of Marine Policy at the University of Delaware, The Ocean Governance Group. 1999. Trends and future challenges for US National Ocean and Coastal Policy: Workshop materials. Washington DC.
- McNEILL, J., 2001 - Something new under the sun. An environmental history of the twentieth century. Penguin Books, UK. 421 p.

- MENIOUI, Mohamed, 2007 - Pollution côtière et développement durable - Projet SMAP III «Sensibilisation et création d'un cadre politique favorisant l'intégration de l'environnement et du développement avec l'accent sur la gestion intégrée des zones côtières. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. 21 p.  
<http://www.pap-theoastcentre.org>
- MEUR-FEREC, Catherine et MOREL, Valérie, 2004 - L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques. *Natures Sciences Sociétés*, N° 12, p. 263-273
- MEUR-FEREC, Catherine, 2006 - De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : Un itinéraire de géographe. Université de Nantes. Doc présenté en vue de l'Habilitation à Diriger des Recherches. 241 p.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005 – Ecosystems and human well-being - Wetlands and water. Synthesis. World Resources Institute, WRI. Washington, DC. P. i-vi, p:1-68
- NICHOLLS, Robert J., 1995 - Synthesis of vulnerability analysis studies. *Proceedings of World Coast 93*. Coastal Zone Management Centre. Rijkswaterstaat, The Netherlands. 41 p.
- PAULY, Daniel et ALDER, Jacqueline, 2005 - Marine fisheries systems. Chapter 18, p. 477-511 in HASSAN, Rashid, SCHOLLES, Robert et ASH, Neville (Edit.) *Ecosystems and human well-being*. Volume 1. Current state and trends. Millenium Ecosystem Assessment.
- PELLETREAU, Aurélie, 1996 - Quels enjeux autour de l'évaluation économique de la biodiversité? Mémoire. Université de Versailles - Saint-Quentin - Yvelines, Développement Économique, Social et Territorial Intégré, Année 1995-1996. 93 p.
- PETIT-BERGHEN, Yves, 2003 - Le déterminisme des landes atlantiques : quelle réalité? *Cybergeo : Revue Européenne de Géographie*, N° 240, 27.05.2003. 24p.
- PNUE, 2007 - GEO 4, L'environnement pour le développement. Programme des Nations Unies pour le Développement, PNUE. i-xxxi, 1-540 p.
- SENHAJI, Faouzi, 2001 - Communication Nationale Initiale à la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. 100 p.
- STERN, Nicholas, 2006 - The Stern Review: On the economics of climate change. Executive summary. [http://www.hm-treasury.gov.uk/media/4/3/Executive\\_Summary.pdf](http://www.hm-treasury.gov.uk/media/4/3/Executive_Summary.pdf)  
Full Report in: [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/stern\\_review\\_report.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm)
- VASCONCELOS, Marcelo de Sousa, 2002 - A condição humana e os oceanos. Breviário de meditação. Instituto de Investigação das Pescas e do Mar, IPIMAR. Lisboa. 370 p.
- WILKINSON, Clive (ed.), 2004 - Status of coral reefs of the world. Australian Institute of Marine Science. Volume 1, 301 p. Volume 2, 557 p.



# RESSOURCES HALIEUTIQUES MAROCAINES SPÉCIFICITÉS ET STRATÉGIE EN MATIÈRE DE PRÉSERVATION ET D'EXPLOITATION DURABLE

***Dr. Abdellatif BERRAHO***

***Directeur Général de l'Institut  
National de Recherche Halieutique  
Casablanca, Maroc***

***Email : berraho@inrh.org.ma***



## Introduction

Le Royaume du Maroc est un pays largement ouvert sur la mer avec ses deux façades maritimes sur l'Atlantique et la Méditerranée. On compte plus de 3.000 km de côtes et une zone économique exclusive d'environ un million km<sup>2</sup>. Le territoire est découpé en 16 régions dont 13 possèdent une façade maritime. La fenêtre qui donne sur le détroit de Gibraltar est un atout très important pour les échanges entre l'Europe et l'Afrique du Nord.

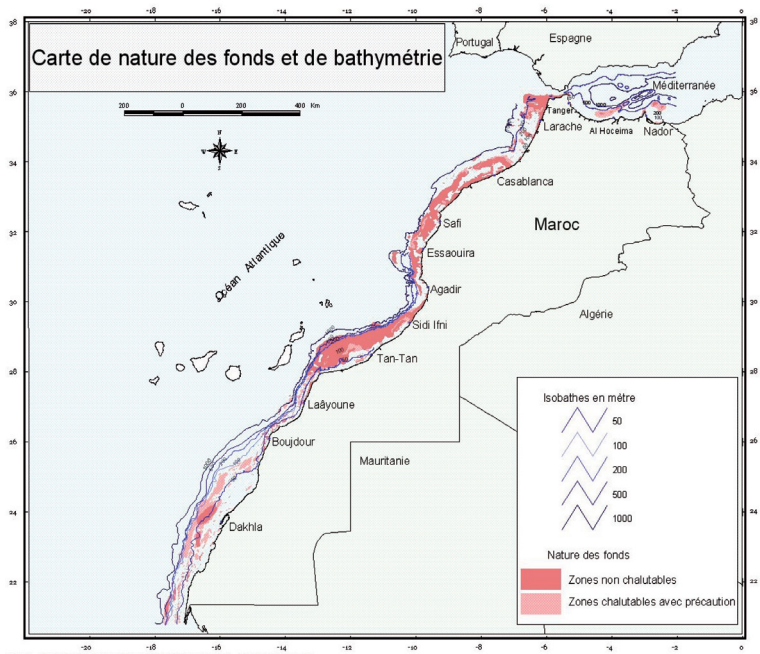
La façade méditerranéenne fait partie de la mer d'Alboran qui bénéficie du courant atlantique superficiel mobilisant des masses d'eaux fraîches et riches en communautés planctoniques. La façade atlantique se caractérise par la présence des courants ascendants (upwellings) liés au système des Canaries. Le plateau continental s'élargit du nord vers le sud où il atteint sa plus grande largeur en face de Tan Tan et de Dakhla (carte 1).

Les ressources halieutiques dans les eaux marocaines sont riches et diversifiées, dominées par les petits poissons pélagiques (sardine, anchois, sardinelles, maquereaux et chinchards).

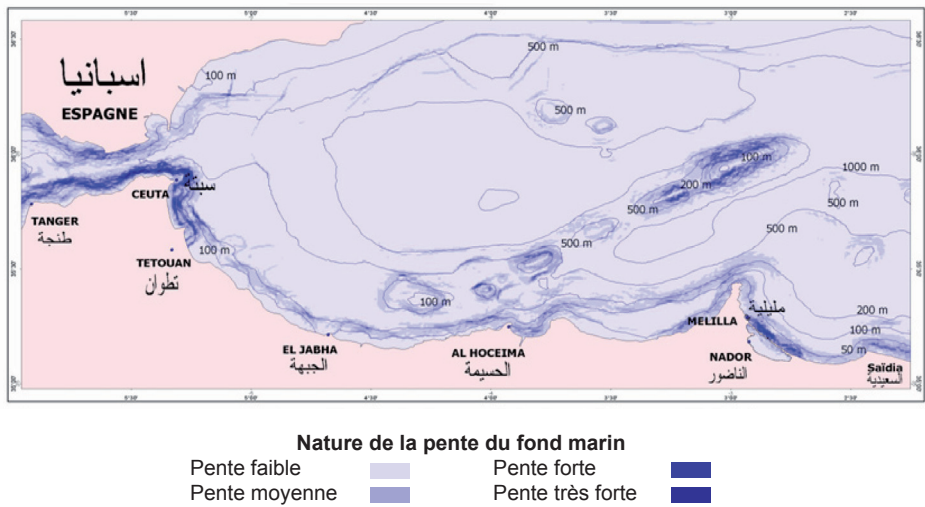
Cette importante richesse en ressources halieutiques, liées aux conditions très favorables pour la production primaire, place le Maroc dans les premiers rangs de la production en produits de la mer. En effet, notre pays est :

- Le premier producteur en poissons à l'échelle de l'Afrique et du Monde Arabe, avec environ un million de tonnes/an.
- Le premier producteur de la sardine (*Sardina pilchardus*) au niveau mondial;
- Le 1er producteur du poulpe (*Octopus vulgaris*);
- Le deuxième producteur de l'espadon au niveau de la Méditerranée;
- Le troisième producteur mondial de l'Agar Agar (extrait d'algues rouges *Gelidium sesquipedale*).

La carte 1 bis montre la nature des fonds et de la bathymétrie des côtes marocaines, ainsi que les zones chalutables et les zones non chalutables.



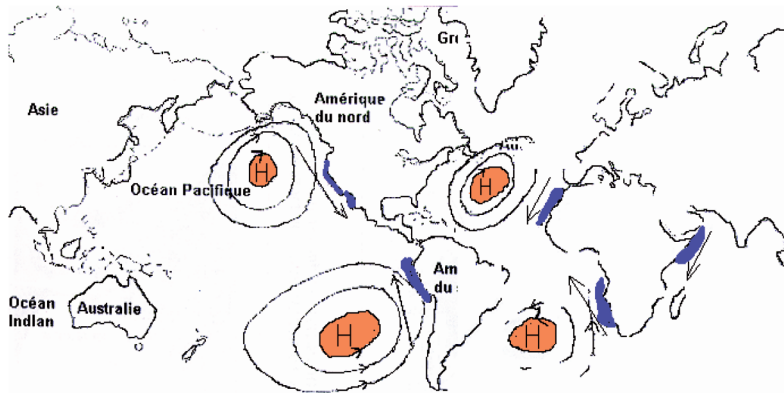
Carte 1 : Nature des fonds et de la bathymétrie des côtes marocaines et les zones chalutables et non chalutables.



Carte 1 bis : Nature des fonds et de la bathymétrie des côtes marocaines et les zones chalutables et non chalutables.

## 1- Caractéristiques hydrologiques et océanographiques des côtes marocaines

Le Maroc est privilégié par sa position géographique dans une zone dotée de courants marins ascendants, enrichissant les masses superficielles en sels nutritifs nécessaires à la production primaire (Cartes 2 et 3, figures 1, 2 et 3).



Carte 2 : Zones d'upwelling côtier à travers le monde et système de Canaries

On note à travers le monde que les zones d'upwelling représentent :

- 0,1 % des océans mondiaux.
- Zones à très fortes productivités biologiques.
- 5% de la production primaire globale.
- 17 % des captures mondiales

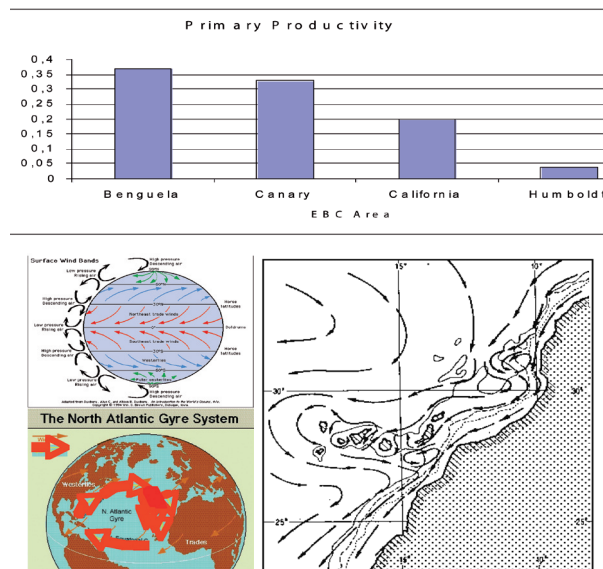


Figure 1 : Processus physique de l'upwelling : La côte atlantique marocaine:un environnement favorable pour l'upwelling



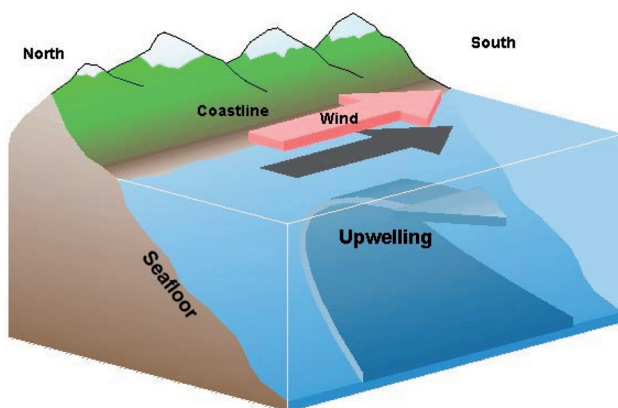
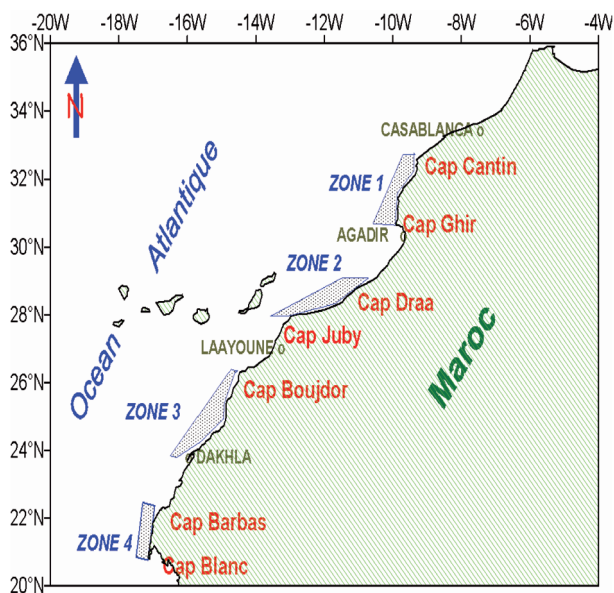


Figure 2 : Schéma de fonctionnement de l'upwelling



Carte 3 : Localisation des zones d'upwelling le long de la côte atlantique marocaine

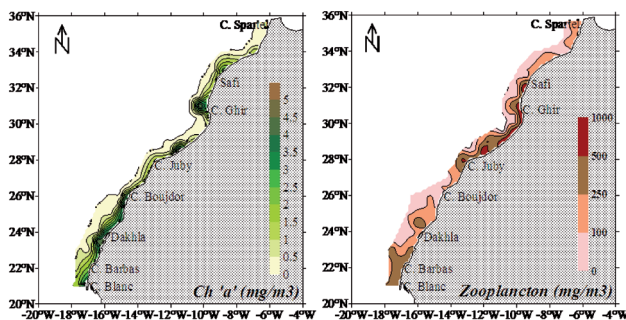


Figure 3 : Distribution de la chlorophylle 'a' et de la biomasse zooplanctonique en été le long des côtes atlantiques marocaines

## 2- Principales ressources halieutiques au Maroc:

Elles se composent des :

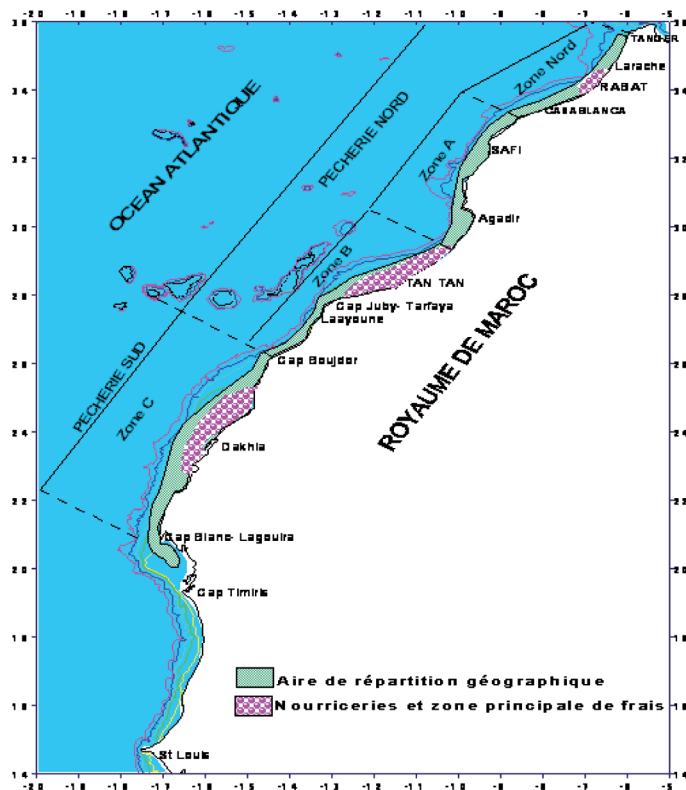
- Pêcheries pélagiques (petits et grands pélagiques);
- Pêcheries merlu-crevettes;
- Pêcheries céphalopodières;
- Ressources en merlu noir;
- Pêcheries démersales de la Méditerranée;
- Ressources des grands fonds;
- Pêcheries des petits pélagiques.

Les petits poissons pélagiques constituent plus de 70 % des ressources halieutiques d'intérêt commercial. Parmi les espèces on cite :

- La sardine est l'espèce la plus importante en terme d'abondance et de débarquements;
- Les autres espèces pélagiques sont : l'anchois; le chinchard; le maquereau et les deux espèces de la sardinelle.

On distingue 3 pêcheries le long des côtes marocaines (carte 4) :

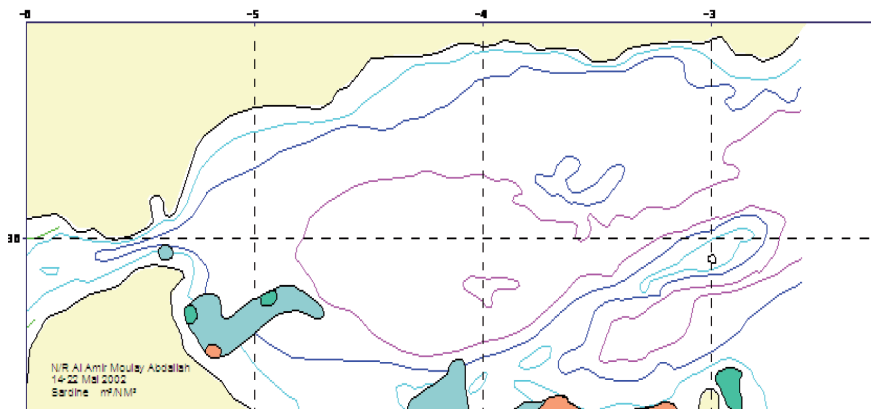
- a) Pêcheries nord: Tanger-El Jadida: 150-200 senneurs ciblant la sardine et l'anchois,
- b) Pêcherie centrale (A+B): Safi- Boujdor: 300 -350 senneurs ciblant la sardine et autres pélagiques selon disponibilité;
- c) Pêcherie sud (zone C): Boujdor Cap Blanc : Flottille mixte composée de senneurs et chalutiers avec effectifs et cibles variables.



Pêcherie Carte 4 : Répartition de la sardine le long des côtes marocaines

## 2.1. Pêcherie pélagique de la Méditerranée

Le nombre de senneurs actifs s'élève à 150 unités ciblant principalement la sardine et l'anchois. La production est variable et dominée par la sardine (15.000 tonnes). La pêche en Méditerranée est pleinement surexploitée.



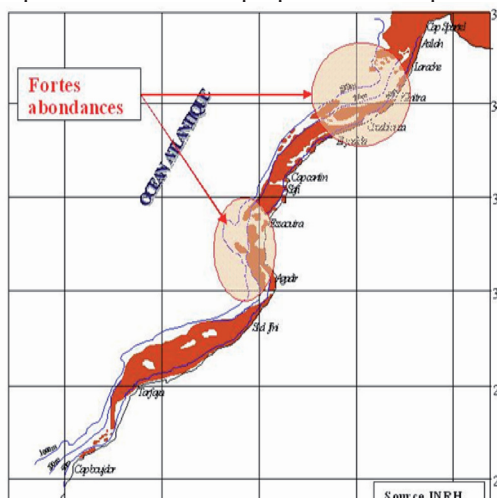
Carte 5 : Répartition de la pêche de petits pélagiques en Méditerranée

## 2.2. Pêcherie des grands pélagiques

Les thonidés sont des espèces hautement migratrices. Leurs migrations sont dictées par deux principaux facteurs: la reproduction et l'alimentation. Le thon rouge et l'espadon sont les espèces les plus importantes en terme d'abondance et de débarquements.

## 2.3. Ressources démersales (benthiques)

La pêche merlu blanc/crevette rose constitue la pêche démersale la plus importante en atlantique nord marocain. Les principales espèces cibles sont le merlu blanc (*Merluccius merluccius*) et la crevette rose (*Parapenaeus longirostris*). Des quantités plus ou moins importantes de poisson blanc (Sparidés, poissons plats, Rajidés...), de crustacés et de céphalopodes sont capturées en même temps que ces deux espèces.



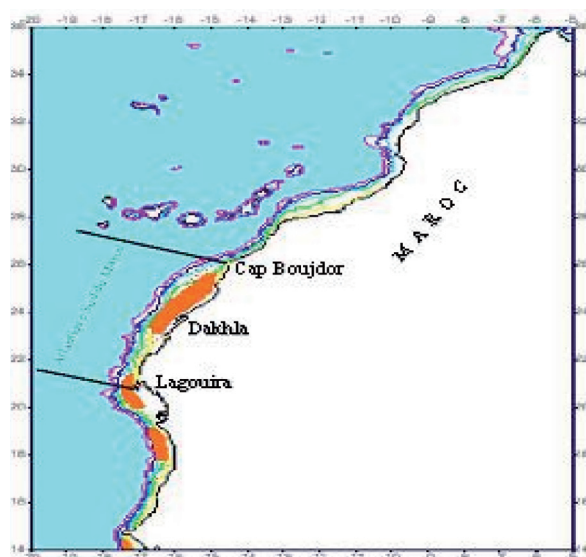
Carte 6 : Zones de concentrations du merlu blanc et de la crevette rose (entre Larache et El Jadida et entre Essaouira et Agadir)

## 2.4. Ressources Céphalopodières: Poulpes, Calmars et Seiches

Les principales espèces ciblées sont :

- Le poulpe : *Octopus vulgaris*
- Les calmars : *Loligo vulgaris* et *Loligo forbesi*
- Les seiches : *Sepia officinalis*, *Sepia bertheloti* et *Sepia orbignyana*.

Des quantités plus ou moins importantes de poisson blanc (Sparidés, Scianidés, poissons plats, Rajidés...) sont capturées en même temps que ces espèces.



Carte 7 : Carte de distribution du poulpe En rouge : Zones d'abondance importante

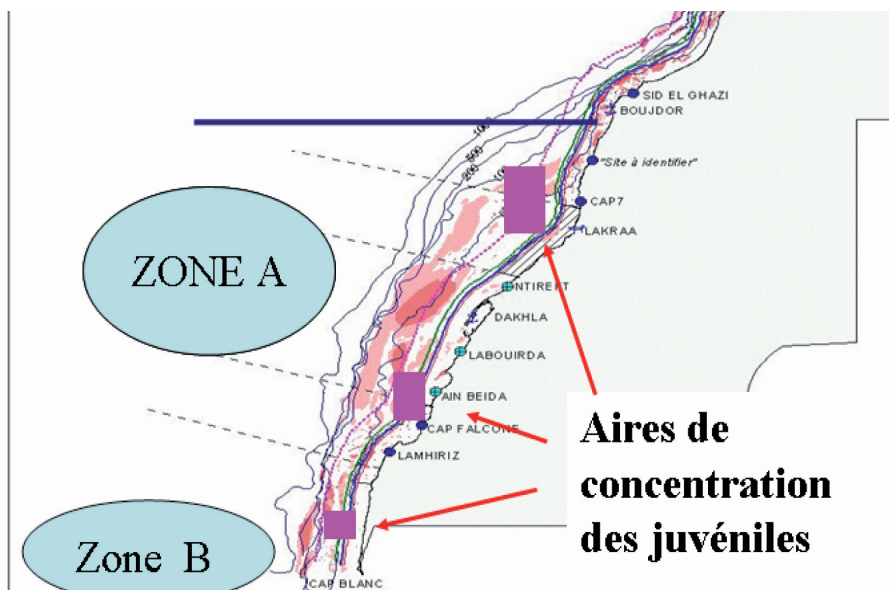


Figure 4 : Unités de gestion pêcherie céphalopodière (poulpe)

## 2.5. Ressources des grands Fonds

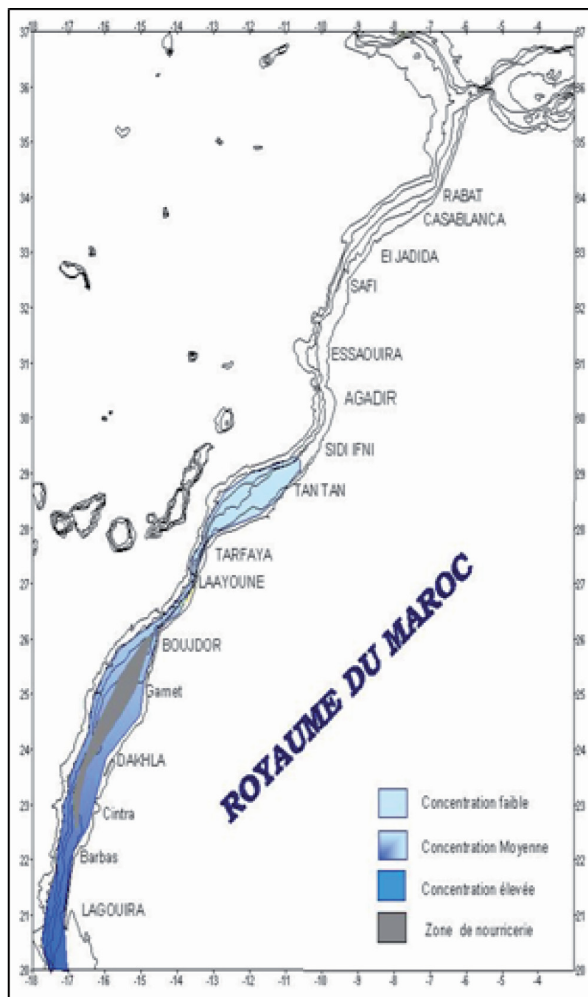
Les résultats de campagnes de prospection par chalutage effectuées par :

- le programme Nansen en 2000;
- le navire espagnol «Visconde de Eza » en 2004;
- et par le navire russe AtlantNiro en 2005 sur les fonds compris entre 400 et 1500 m,

ont révélé :

- une diversité biologique élevée;
- la présence de plusieurs espèces exploitables (rascasse des grands fonds, sabre noir, merlu noir...).

Cependant leur niveau de biomasse reste à établir. Pour ces espèces de grands fonds, des recherches complémentaires sont nécessaires pour déterminer les possibilités de captures.



Carte 8 : Ressources en merlu noir

### 3 - Stratégie en matière de recherche

+ Elle porte dans le domaine halieutique sur :

- L'évaluation des stocks et le suivi de l'état des pêcheries par l'approche directe, grâce aux campagnes de navires de recherche qu'il convient de renforcer.
- L'évaluation des ressources par l'approche indirecte basée sur :
  - Les statistiques de captures et d'effort de pêche;
  - L'échantillonnage biologique des débarquements;
  - L'optimisation de l'échantillonnage et la diversification des espèces ciblées.
  - Le développement de modèles écologiques en vue d'adopter progressivement une approche écosystémique.

+ En matière d'océanographie:

- l'étude et le suivi spatio-temporel des upwellings le long de la côte atlantique, par le biais de :
  - Campagnes océanographiques;
  - Utilisation des images satellites (Température et chlorophylle) en vue de la détermination des zones de la haute productivité.
- L'étude et la délimitation des zones de ponte et des zones de recrutement par le suivi de la production primaire et secondaire ainsi que le suivi des œufs et de larves;
- Le développement de la modélisation hydro-dynamique océanique et littorale.

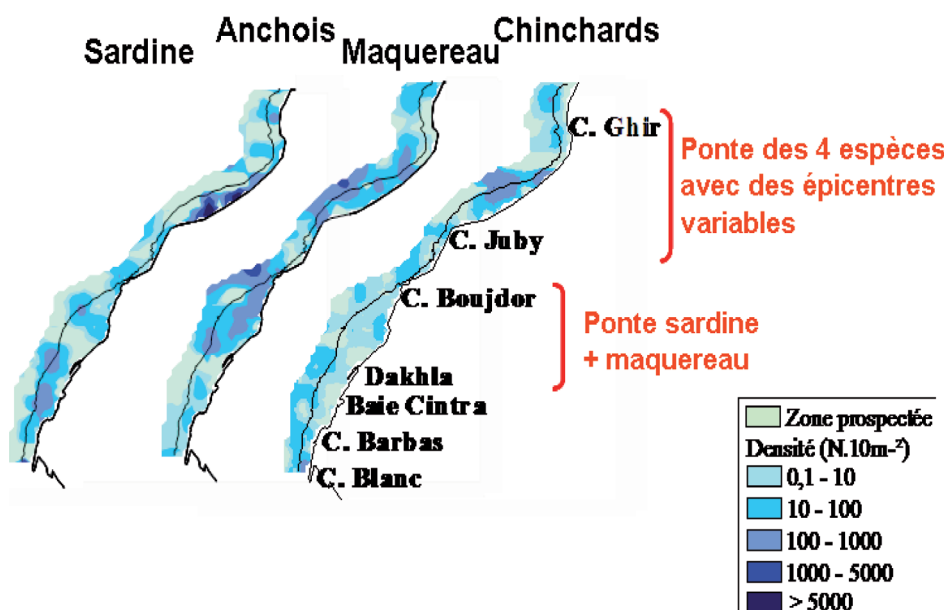


Figure 5 : Zones potentielles de ponte des petits pélagiques durant la saison hivernale



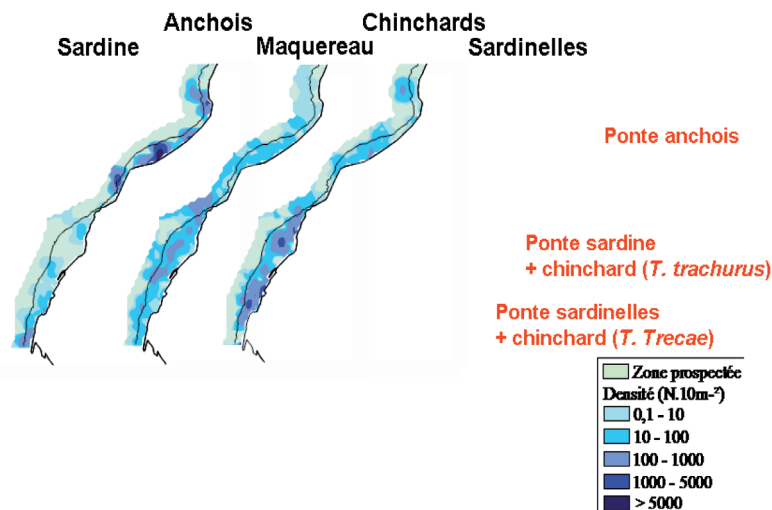


Figure 6 : Zones potentielles de ponte des petits pélagiques durant la saison estivale

+ Concernant la qualité et la salubrité du milieu marin:

- La surveillance permanente par le biais d'un réseau de 8 stations couvrant les deux façades maritimes permettant:
  - L'évaluation de la contamination chimique;
  - L'évaluation de la contamination bactériologique;
  - Le suivi des efflorescences phytoplanctoniques nuisibles;
  - L'évaluation de la contamination en Biotoxines.
- La réalisation des tests écotoxicologiques et de bio-essais en vue d'atteindre le stade de prévision en matière de surveillance;
- L'instauration du système qualité permettant :
  - L'agrément de l'ensemble des unités du Réseau (RSSL)
  - L'accréditation des laboratoires de Microbiologie, Chimie et Biotoxines.

+ Concernant l'ensemble des départements scientifiques:

- La construction d'un système d'information intégré: halieutique, océanographique et environnemental;
- L'acquisition d'un navire de recherche hauturier multidisciplinaire;
- Le développement des outils : Modélisation, SIG et Télédétection.
- Le renforcement des ressources humaines en cadres hautement spécialisés dans certaines disciplines (Informatique, Modélisation, Pathologie des poissons, Biotechnologie et Valorisation des produits de la mer...);
- La déconcentration et la régionalisation de la recherche halieutique à travers les Centres régionaux (5) et les Centres spécialisés (2) pour une recherche de proximité.

## 4 - Stratégie en matière de gestion des pêcheries

Elle s'articule sur la mise en place progressive des plans de gestion des principales pêcheries nationales:

- Pêcheries des petits pélagiques;
- Pêcheries céphalopodières de l'Atlantique sud;
- Pêcheries des merlu/crevettes de l'Atlantique nord;
- Pêcheries palangrières;
- Pêcheries des grands thonidés;
- Pêcheries pélagiques de la Méditerranée;
- Pêcheries démersales de la Méditerranée.

En se basant sur les données scientifiques et techniques de l'INRH, ces plans viseront à:

- Délimiter les unités de gestion sur le plan géographique;
- Fixer les périodes de repos biologique;
- Évaluer les quotas de pêche saisonniers ou annuels;
- Fixer les tailles minimales de capture;
- Délimiter les zones de ponte et les zones de concentration des juvéniles (nurseries), en vue de leur protection;
- Améliorer la sélectivité de pêche par la fixation du maillage minimum et la réglementation des divers engins de pêche.

## 5 - Coopération dans le domaine halieutique et océanographique

Les axes de coopération entrepris par l'INRH se présentent comme suit :

- Consolidation de la présence institutionnelle de l'INRH au sein des organisations internationales et diversification des axes de coopération;
- Ouverture de l'INRH sur son environnement par la conclusion de partenariats avec les secteurs publics et privés (une vingtaine d'accords conclus);
- Participation aux projets internationaux de recherche notamment européens, (une quinzaine de projets en cours : GERMA, NAT FISH, EURO-OCEANS, SEA-SEARCH, CARBO-OCEAN, ISTAM, CHALOUPE, MYTILOS, MYTIMED, ECO-UP, SESAME, ENCORA).

### a) Coopération nationale :

- Signature de conventions avec les Facultés des Sciences implantées sur la façade maritime du Royaume (Oujda, Tétouan, Tanger, Kenitra, Rabat, Casablanca, El Jadida, Marrakech, Agadir);
- Organisation conjointe INRH/UNIVERSITES de séminaires, conférences et symposia;
- Participation active au Réseau des Sciences et Techniques de la Mer (REMER);

### b) Coopération bilatérale:

- Japon: infrastructures de recherche et navires de recherche;
- Espagne: Expertise et construction du laboratoire de pathologie;

- France: Formation et conduite de projets de recherche;
- Norvège: Appui acoustique et technologique;
- Fédération de Russie : Etude de l'écosystème pélagique;
- Mauritanie et Sénégal : Programme de coopération tripartite sur les ressources transfrontalières;
- Tunisie : Coopération en matière d'évaluation acoustique...

**c) Coopération multilatérale et régionale:**

- Participation active de l'INRH au sein des organismes régionaux et multilatéraux notamment en matière de pêche (ICCAT, CGPM, COPACE, CDB, CITES, UICN, CONVENTION CHANGEMENTS CLIMATIQUES ...

**d) Partenariat avec le secteur public et privé :**

- Mise en place d'une stratégie de développement d'une politique de participation et de partenariat cohérente avec les objectifs scientifiques et les attentes des professionnels;
- Signature d'une quinzaine de conventions touchant les domaines de l'aquaculture, des études de développement du secteur et de l'environnement marin.

## **Conclusions**

La connaissance des écosystèmes marins, leur fonctionnement, leurs ressources et leurs biodiversités sont nécessaires pour :

- La préservation de la qualité du milieu marin;
- La gestion intégrée du littoral et des zones côtières;

Ceci nécessite la mise en place d'une stratégie basée sur:

- Le renforcement sur le plan quantitatif et qualitatif des ressources humaines consacrées aux sciences de la mer;
- Le renforcement des moyens d'investigations en mer, notamment l'acquisition d'un navire hauturier multidisciplinaire (pouvant être utilisé par plusieurs départements), et des moyens d'observations de la mer (bouées océanographiques, images satellitaires...);
- La nécessité de renforcer les réseaux scientifiques nationaux existants tels que :
  - Le Réseau des Sciences et Techniques de la Mer (REMER) relevant de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique;
  - Le Réseau Africain des Instituts de Recherche Halieutique et des Sciences de la Mer (RAFISMER), groupant les instituts des 22 pays africains bordant l'Océan Atlantique, dont le secrétariat permanent est confié à l'INRH;
- La nécessité de s'insérer dans les réseaux régionaux et internationaux d'excellence permettant de bénéficier du transfert de technologie, de la mise en commun des moyens et de l'échange d'informations et d'expériences.

## Références bibliographiques

- Berraho, A. (2007). Ressources halieutiques du Maroc : état actuel et stratégies de recherche et d'exploitation durable. Colloque international. «Construire ensemble les réponses scientifiques aux défis posés par la mer Méditerranée». Novembre 2007, Toulon, France.
- INRH (2002). Ressources halieutiques. Situation et niveau d'exploitation. Rapport INRH; 167 pages.
- INRH (2008). Plan d'orientation stratégique 2008-2010 pour la pêche maritime au Maroc. Rapport INRH; 25 pages.
- Minas, H. J., Minas, M., and Packard, T. T.: Productivity in upwelling areas deduced from hydrographic and chemical fields, *Limnol. Oceanogr.*, 31, 1182-1206, 1986.
- Mittelstaedt, E., (1986). Upwelling regions, pp. 135-163. In: J. Sündermann (Ed.) *Oceanography*, Landolt-Börnstein New Ser., group V, vol. 3c. Springer-Verlag, New York.
- Mittelstaedt, E., (1991). The ocean boundary along the northwest African coast: Circulation and oceanographic properties at the sea surface. *Prog. Oceanogr.*, 26, 307-357 .
- Moita, T., (1993). Spatial variability of phytoplankton communities in the upwelling region of Portugal. *ICES CM 1993/L:64*.
- Pollard, R.T., Pu, S. (1985) Structure and circulation of the upper Atlantic Ocean northeast of the Azores. *Prog. Oceanog.* 14; 443-462.



## DISCUSSION



**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

Nous allons passer à la discussion de la présentation du Pr. Vasconcelos qui d'abord a tracé un tableau global, mais il a eu des prolongements sur les problématiques nationales qu'il connaît très bien. Ce qui a été présenté, on pourrait le considérer une feuille de route pour faire face à ce défi majeur d'un développement durable quoique le Pr. Vasconcelos nous a invité à revisiter ce paradigme. La discussion est ouverte.

**- Pr. Moustapha Kasse** (CESDE)

Merci bien Monsieur le Directeur des Séances,  
Monsieur le Secrétaire Perpétuel,  
Chers Collègues,

Moi j'attendais la fin de cette journée pour m'interroger sur un certain nombre de problèmes qui, effectivement, font l'objet en tous cas de mes préoccupations personnelles. J'ai eu la chance d'avoir participé à la conférence de Johannesburg sur le développement durable en plus de beaucoup de réunions de l'Union Africaine sur ces questions là. J'ai écouté ce matin et cette après-midi nos collègues qui ont fait des travaux excellents et je les en remercie pour nous avoir appris énormément de choses.

J'ai deux préoccupations : la première c'est que les problèmes dont nous parlons, qui sont de trois ordres, que ça soit l'environnement, les problèmes de l'eau ou les problèmes de la mer; ce sont tous des problèmes qui relèvent des biens publics. C'est évident que les problèmes de l'environnement nous ne pourrons pas les gérer à l'échelle des Etats. Que le désert avance, le Maroc le subira, le Sénégal également, la Mauritanie de la même manière. En fait, rien dans nos dispositifs de lutte contre le risque ne nous donne les instruments adéquats pour le faire. La mer, c'est exactement la même chose, et si nous regardons les fonds marins, ils sont détruits. Nous sommes dans des conditions économiques de signer des contrats de pêche par ci et par là sans contrôler ce qui s'y fait ni même les techniques qui nous permettent de faire régénérer les espèces. La même chose pour l'eau, quand je regarde l'Afrique tel qu'il est avec les problèmes qu'il connaît avec les Etats-Nations quels qu'ils soient du Maroc au Sénégal jusqu'en Afrique du Sud, est-ce qu'en fait nous avons la possibilité ou les moyens d'une gestion nationale de biens de nature publique? Ca c'est mon premier problème.

Evidemment, le Sénégal a des difficultés. On distribue comme des petits pains des contrats de pêche, soit pour des raisons budgétaires, soit pour des raisons liées à des investissements, soit même pour des raisons de simple pression qui peut s'exercer au regard de la fragilité du pays. De toute manière, les bancs de poissons ne sont pas circonscrits quelque part dans un espace délimité, ce n'est pas une marchandise que vous prenez de votre étagère et que vous vendez. Evidemment, les surexploitations peuvent avoir des effets sur l'ensemble des océans. Je pense qu'il y a là un problème.

La même chose pour l'eau, c'est encore plus criant. J'ai eu la chance d'avoir appartenu au Club de Rome et je disais toujours que nous ne nous sommes pas dans des futurs finis, les possibilités de la science ne sont pas encore connues, les productivités ne le sont pas non plus, les capacités d'innovation également pas; donc on ne doit pas dire que le monde est fini et qu'en fait il faudrait que nous gérons comme s'il y a un risque de pénurie globale. Je n'ai jamais partagé ce point de vue. Mais pour l'eau, il faut qu'on ait une réflexion de cette nature. Alors, les Etats ne peuvent pas. Est-ce que les marchés peuvent? Avons-

nous le droit de soumettre précisément la logique d'exploitation de ces biens publics à la logique du marché. Le marché est aveugle, il y a énormément de problèmes que le marché ne peut pas régler. Peut-être que demain quand on verra les risques que nous font courir les marchés financiers aujourd'hui, que nous sommes dans des turbulences de marchés, que, effectivement, personne ne peut plus gérer du tout. Est-ce que le marché est capable de nous gérer ces questions là? Certainement pas, et j'en viens maintenant à la question que je me pose, notre collègue Marcello l'a posé tout à l'heure : est-ce que le moment n'est pas venu d'arriver à peu près à une véritable réflexion multidisciplinaire pour qu'on sache exactement comment arriver à une gestion de ces biens publics d'autant plus d'ailleurs que leur gouvernance tombe toujours sous la coupe des conflits. On connaît le droit de la mer, mais personne ne sait si c'est le droit des puissants, le droit des faibles qui subissent l'exploitation des puissants. Vous pouvez prendre tous les droits de caractère international qui ont été mis en place pour une gouvernance de ces problèmes, vous verrez qu'ils sont restés dans un vague extrêmement artistique et dans un énorme flou total. Ces droits là fonctionnent pour les partenaires les plus puissants et au détriment des plus faibles.

Discuter de ces aspects dans cadre aussi auguste permettrait peut-être aux africains de mieux s'insérer dans cadre plus global de gouvernance de ces biens publics.

Je vous remercie.

**- Dr. Torkil Jonch-Clausen** (DHI, Danemark)

I congratulate the speaker for highlighting a very important issue. You can not manage the environmental problems in the coastal zones in isolation from the rivers and the water system that feeds in the coastal zone. That sounds very simple, but it is not. In Agenda 21 from Rio, there was chapter 18 on fresh water and there was another chapter, chapter 17 on the sea and the coasts that has set these two separate communities. One community talking about fresh water, integrated water resources management and so forth, and another community talking about the sea and integrated coastal water management and not talking to each other. It started to happen in the world summit in Johannesburg in 2002 with concepts like ICARM (Integrated Coastal Areas and River Management). I think UNEP (United Nations Environmental Programme) has his corner stone on water policy. But I think little has happened to really make it happen except in few countries like Morocco where this does happen. Probably the world and all of us still have a long way to go before we get that right, which is along the line that the previous speaker from Senegal just said, so I fully support that and I am happy to hear that this was raised.

Thank you.

**- Pr. Omar Assobhei** (CSTETM)

Merci Monsieur le Directeur. Tout d'abord je tiens à féliciter notre collègue Vasconcellos pour son excellent exposé. C'est un exposé qui est très intéressant. J'ai juste une question à poser à notre ami qui a une grande expérience de la gestion des pêches surtout au niveau de l'Union Européenne. Je voudrais savoir dans quelles mesures on peut installer une politique intégrée d'exploitation de l'océan dans la mesure où cette politique systémique est en grande partie conditionnée par les réglementations internationales et surtout pour la délimitation des espaces qui relèvent des pays et des espaces internationaux. Nous connaissons que les pêcheries sont connues pour une grande mobilité et souvent nous gérons des espaces où ce qui circule dedans n'est pas maîtrisable. Souvent il y a des stocks

partagés et puis surtout un deuxième élément important dans cette gestion qui a trait aux niveaux de développement entre les différents pays surtout lorsqu'ils sont proches les uns des autres et que ces différences de développement entre les pays impliquent automatiquement des techniques d'exploitation différentes et des besoins en ressources marines qui sont pour des objectifs tout à fait différents. Je crois que, souvent dans les rapports de coopération Nord-Sud, ce sont toujours des biens d'équipement et des services qui sont troqués ou échangés contre des ressources naturelles et les ressources marines sont dans ce cadre là un élément très important et souvent ces coopérations ne tiennent pas compte des exigences de développement durable pour les pays surtout du sud.

**- Pr. Albert Sasson (CSTV)**

Merci Monsieur le Directeur. Je ne voulais pas prendre la parole, mais ce que je viens d'entendre m'incite à le faire, parce que, d'une part comme a essayé de le démontrer notre collègue le Pr. Kasse, moi je ne mettrais pas en contradiction pour ce qui est des biens publics le national et l'international. D'abord ce sont des biens publics certes mais nationaux. Rappelez-vous tout le débat qu'on a eu sur la biodiversité, on s'est précipité pour dire patrimoine de l'humanité et aussitôt on a dit souveraineté nationale sur les ressources. Et aucun pays au monde n'est prêt à abandonner sa souveraineté nationale sur ses ressources qu'elles soient halieutiques, qu'elles aquatiques, végétales ou animales, etc... Mais ceci ne veut pas dire, et c'est pour ça qu'on a créé le système des Nations Unies, on ne négocie pas assez au niveau international pour comprendre, en effet, que la contamination de l'air nous affecte tous que le désert avance etc... Là aussi, je serais un peu moins pessimiste parce que si on se laisse aller avec tout le discours de cet après-midi, avec je le sais bien sûr avec toute la sincérité de notre collègue monsieur Vasconcellos, il n'y a plus qu'à pleurer pour l'avenir de nos petits enfants parce que vraiment c'est désastreux qu'il n'y a plus d'espoir pour nos petits enfants. Et je crois aussi que, avec la difficulté avec la peine, et j'ai participé à des négociations internationales, on finit quant même par faire un certain nombre de choses. Certes, par exemple si vous prenez 1972, la conférence de Stockholm; 1992, le sommet de Rio; le sommet de Johannesburg, on peut dire effectivement nous sommes toujours au même point, on tâtonne etc... Ce n'est pas tout à fait vrai. Même le protocole de Kyoto, tant critiqué, les Etats-Unis ont fini toujours par l'accepter et accepter le post-Kyoto. Il y a quant même la force de conviction, la négociation, la discussion âpre parce qu'évidemment il y a des intérêts nationaux et chaque pays essaie de défendre ses intérêts.

Quand nous avons avec l'Union Européenne signé l'accord de pêche, c'était dans notre intérêt de le signer et on l'a signé, et puis après on l'a remis en cause. Pendant des années, nous ne l'avons pas signé parce que c'était contre notre intérêt national. Les européens étaient en train de taper dans nos stocks et pendant des années on a fait la grève et on n'a pas signé l'accord de pêche parce que c'était contre notre intérêt national. Voilà qu'on le résigne, parce qu'il y a des rapports de force, mais on a dit aussi : une des conditions de le résigner c'est qu'on étudie les stocks, qu'on sache où on en est. La politique des quotas de pêche des pays de l'Union Européenne, voyez par exemple le Président français qui a dit récemment «je vais revoir toute la question des quotas», ça veut dire qu'il n'est pas content de la part. Regardez ce qui se passe avec la baleine, le Japon qui ne veut pas s'arrêter de pêcher de la baleine, la Norvège également. Tout cela pour dire que nous sommes évidemment dans un pays modeste, un pays pauvre, qui négocie âprement ses intérêts. Mais je voudrais donner un petit temps d'optimisme, ça sert à quelques chose

ces négociations internationales, on ne peut pas dans une négociation tout gagner et tout perdre, on avance, c'est vrai que la problématique est très compliquée, mais moi je fais espoir que ce soit au niveau national, au niveau régional, au niveau sous-régional, au niveau planétaire, il y a effectivement un certain nombre de lumières qui, en tout cas moi personnellement, me font penser raisonnablement qu'il y a de l'espoir pour nos petits enfants.

**- M. Rachid Benmokhtar Benabdellah (CESDE)**

Je voudrais tout d'abord féliciter Monsieur Vasconcellos pour son exposé qui est clair. Je voudrais pour ma part m'éloigner du contexte international pour voir les choses beaucoup plus sur le plan national. Comme l'a dit le Pr. Albert Sasson, il y a une notion de souveraineté, mais il y a aussi une notion de gouvernance et de responsabilité. Tout d'abord, je dirai que j'ai retrouvé dans l'exposé de Monsieur Vasconcellos des éléments qui étaient dans le rapport du cinquantenaire, et notamment regardant cette problématique de l'environnement, la problématique de toute cette destruction dont il a parlé; et je pense que le rapport a utilisé des termes peut-être encore plus violents.

Ma question alors se pose de la manière suivante : ce rapport a été remis en 2006, il y a deux ans. Ce rapport tirait la sonnette d'alarme mais il cherchait à mettre sur la table et au niveau du débat public ces grandes questions qui sont déterminantes pour l'avenir de notre pays, et je me dois de dire que depuis deux ans ce débat n'a pas eu lieu. Est-ce que par manque de lecture peut-être ou d'information, est-ce que c'est par manque de conscience politique ou civique, est-ce que parce qu'il y a une incapacité au niveau de la gouvernance ou bien est-ce que tout simplement cette problématique est liée à une autre problématique du développement économique et social et qu'une partie des grands problèmes de l'écologie au Maroc est liée à la problématique de la pauvreté?

Un certain nombre de destructions qui ont eu lieu sont faites par des personnes qui finalement n'ont pas d'autre source de revenu que celles là, par exemple l'exploitation sauvage des forêts, le surpâturage superintensif au niveau de ces mêmes forêts où les gens finalement n'ont que cette ressource. Il est vrai que ces mêmes gens sont exploités par d'autres qui ont les moyens et qui les poussent encore plus à faire ce qu'ils font, et on retrouvera la même chose encore au niveau de la pêche. Alors la grande question qui se pose à ce moment là : comment est-ce qu'un Etat, qui se retrouve sur la même problématique que celle des pays développés, c'est-à-dire les lobbies et qui d'un autre côté doit affronter une grande problématique qui est celle de la pauvreté, peut gérer tout ce qui est finalement la source de vie et les besoins de base de ses populations, qu'il s'agisse de l'eau, qu'il s'agisse de l'air ou d'un certain nombre de choses.

La deuxième chose, et le rapport le dit, les lois existent pour protéger tout ça y compris les lois qui sont censés nous protéger contre la pollution de l'air, mais la grande question que nous avons c'est leur application. Aucune de ces lois n'est appliquée dans les faits ou bien parce que le décret d'application n'est jamais sorti ou bien personne ne se sent mandaté pour l'appliquer. Toutes les recommandations que vous avez faites sont tout à fait à leur place. Comment devons-nous faire pour avoir un gouvernement responsable, un Etat de droit qui respecte ses citoyens et fait respecter ses lois. Comment, en tant qu'académie, nous pouvons influencer à la fois les citoyens et les politiques qui nous gouvernent? Qu'est-ce que l'Académie peut faire? Voilà ma grande question.

- **Pr. Omar Fassi-Fehri** (Secrétaire Perpétuel)

Merci Monsieur le Directeur. Moi non plus je ne comptais pas intervenir, mais je pense que ce débat est intéressant, et je voudrais d'abord féliciter Monsieur Vasconcellos pour son exposé. Je voudrais rappeler que, en 2002, nous avons fait procéder au niveau du Ministère de la Recherche à l'élaboration d'un rapport d'évaluation du potentiel scientifique marocain par la Commission Recherche Scientifique de l'Union Européenne (DG XII) qui avait choisi Monsieur Vasconcellos pour évaluer le secteur des sciences marines et des ressources halieutiques. Les recommandations que nous avons écoutées aujourd'hui me semblent très pertinentes, mais déjà à l'époque ces conclusions avaient été redégagées dans le rapport d'évaluation que nous avons remis aux autorités compétentes. La question posée par notre ami Monsieur Rachid Benmokhtar incite à réfléchir comment faire parvenir nos recommandations à la fois aux décideurs et à l'opinion publique concernant ces questions, d'autant que je suis sûr qu'il y a de la bonne volonté chez tout le monde. C'est une question qui se pose et à laquelle peut être il faudra y réfléchir. Demain, nous aurons à discuter de certains aspects de la recherche scientifique dans notre pays et là aussi nous devons réfléchir comment faire parvenir cette réflexion aux décideurs d'autant qu'on nous l'a demandé. Je voudrais ici rappeler tous les mots très forts prononcés dans le discours de Sa Majesté lors de l'installation de notre Académie en mai 2006. Il s'agit maintenant de trouver les bonnes formules pour faire passer nos messages.

- **Pr. Malik Ghallab** (CSMI)

Effectivement, le débat est très intéressant; simplement en quelques mots, je souhaite exprimer mon optimisme par rapport à cette question que Monsieur Vasconcellos a mise en avant ayant le courage de donner au futur une opportunité. Pour moi, l'élément clé, qu'avait mentionné Monsieur Benmokhtar, quel est notre en tant que scientifiques et je pense que des éléments de réponse ont été fournis dans la présentation de Monsieur Vasconcellos autour du memorandum sur le contrat global «**global contract between science and society**» où l'on retrouve un programme d'innovation. Nous devons nous mobiliser pour encourager la recherche, c'est notre rôle.

**Removal of cognitive barrier** : nous devons former, passer le message auprès de nos étudiants, auprès du grand public et ensuite bien sûr auprès des décideurs. Il faut que le message passe auprès d'un public très large à travers les media. C'est en supprimant cette barrière cognitive que nous arriverons à faire bouger les choses. Merci.

- **Pr. Khalid Sekkat** (CESDE)

Merci beaucoup Monsieur le Directeur des Séances. J'ai suivi l'exposé de Monsieur Vasconcellos avec beaucoup d'intérêt. Ce qui m'a frappé et que je salue ici ce sont les derniers points qui ont été soulevés et que je trouve très importants. Je constate qu'on est passé du pessimisme au désespoir. On nous dit qu'il y a beaucoup de choses à faire, c'est urgent, mais on n'arrive pas à les faire. Le dernier point qui a été soulevé concernant le rôle de l'Académie n'a pas encore été abordé.

- **Pr. Marcelo de Sousa Vasconcelos** (CSTETM)

Les questions que vous avez posées méritent une discussion encore plus prolongée en raison de leur importance. Les réponses que je vais donner seront très brèves et je vais essayer de toucher les points essentiels.

Je commence par l'une des dernières questions : qu'est ce que l'Académie peut faire? Je peux dire que l'Académie a déjà commencé à travailler depuis deux ans, notamment son action auprès des écoliers et des jeunes. En ce qui me concerne, j'ai travaillé depuis une quarantaine d'années et j'ai participé aux grandes négociations à New York, à Rio de Janeiro et à Rome à un moment qui était crucial pour la pêche et jamais je n'ai été pessimiste. Il y avait toujours une fenêtre d'opportunités comme on dit. Mais attention, mon objectif ici était justement de susciter votre indignation. Dans la majorité des cas il n'y a pas de gouvernance, il y a plutôt des organes consultatifs qui favorisent des intérêts corporatifs.

Deuxième question : il n'y a pas un ministère de pêche qui ne soit pas tous les jours des pressions de problèmes divers que vous pouvez imaginer. Et cela est aussi vrai pour les ministères des autres secteurs. Il y a très peu de pays de par le monde où la culture de la responsabilité est assez généralisée. Dans le nord de l'Atlantique les intérêts politiques d'un côté et les intérêts économiques de l'autre ont forcé un effort de pêche sur la morue.

Les Etats côtiers exercent leur souveraineté dans les limites des zones économiques exclusives mais entre 12 et 200 miles, en cas de surabondance ils ont l'obligation de permettre l'exploitation à d'autres Etats. Aujourd'hui l'Australie, l'Afrique du Sud, des pays sud américains et africains travaillent ensemble pour lutter contre le problème des pêches non rapportées et non régulées. Il y a là, depuis 3-4 ans, des exemples de poursuite de bateaux en situation de contravention dans les eaux internationales.

Le risque de pénurie générale n'existe pas sauf en termes de marché. Le marché ne régule pas, il a stimulé l'excès de pêche.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

Je remercie le Professeur Vasconcellos. Au terme de cette longue journée, je voudrais tout simplement dire que ces trois séances convergent toutes vers la question qui a été posée lors de cette dernière discussion «comment d'abord contribuer à développer la base des connaissances nécessaires à un bon dialogue sociétal et en second lieu comment elle peut effectivement impacter le changement nécessaire à tous les niveaux». Je pense que le discours de Monsieur le Secrétaire Perpétuel a beaucoup insisté sur cet aspect et notamment sur la dimension de la communication entre les scientifiques et la société. C'est un élément pour notre collègue Khalid Sekkat qui est permanent dans l'agenda. Il nous appartient tous de faire émerger une doctrine commune pour pouvoir apporter les réponses qu'il faut aux problèmes aussi compliqués que ceux que nous avons abordés aujourd'hui. Je ne manquerai pas de remercier l'équipe de la traduction pour l'effort qui est fourni toujours pendant un horaire aussi tendu.





**CÉRÉMONIE DE SIGNATURE  
DE LA CONVENTION DE COOPÉRATION  
ENTRE  
L'ACADÉMIE HASSAN II  
DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
ET  
LE CONSEIL SUPÉRIEUR DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ESPAGNOL**

**- Pr. Omar Fassi-Fehri** (Secrétaire Perpétuel)

Monsieur le Président, je voudrais dire à cette occasion combien je suis heureux de signer cette convention entre le Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique Espagnol et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Je voudrais également exprimer mes remerciements au Président le Pr. Carlos Martinez-Alonso pour les efforts qu'il a déployés pour faire aboutir cette convention ainsi que l'aide qui nous a été apportée par notre collègue le Pr. Albert Sasson dans l'élaboration de cet accord.

Nous nous félicitons tous de la conclusion de cet accord qui est en fait signé avec l'ensemble des membres de notre Académie. Comme il y a autant de membres marocains que de membres étrangers, il y a également tous nos amis membres de notre institution sont partenaires dans cet accord et ils peuvent bien entendu proposer des actions dans ce cadre là.

Je voudrais encore dire combien nous sommes contents de renforcer par cet accord la coopération exemplaire qui existe entre l'Espagne et le Maroc. Cet accord vient s'ajouter aux nombreux autres accords qui existent entre nos deux pays, bien sûr sur le plan scientifique et culturel mais aussi sur tous les autres plans et surtout économique étant donné les relations séculaires traditionnelles historiques d'amitié et de bon voisinage.

Encore une fois toutes nos félicitations pour un tel accord.

**- Pr. Carlos Martínez-Alonso** (CSTV, Président du CSIC d'Espagne)

Merci beaucoup Monsieur le Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II. Je crois que je vais parler en espagnol puisqu'une c'est une langue officielle de l'Académie.

En primer lugar, por la firma de este acuerdo entre la Academia Hassan Segundo e El Consejo Superior de Investigaciones Científicas Español (The Spanish Research Council). Para las personas que no conocen El Consejo Superior de Investigaciones Científicas, es la mayor institución pública de investigación en España, es la única institución pública presente en todas de las siete comunidades del territorio español, es la única institución pública que ha marca todos los invictos de la investigación, constituye el 6% de los recursos humanos en España, produce 20% de la ciencia y 50% de la ciencia de excelencia. Una de cada 2 publicaciones de alto impacto esta realizada para científicos que trabajan y desarrollan sus actividades en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

La actividad del Consejo se realiza en 136 institutos distribuidos por toda España. Esta excelencia a la cuál camina esta institución esta garantizada porque la otra palabra que determine su actividad es la cooperación. Una buena parte de 136 institutos están compartidos o acabos en colaboración con la Universidad Española. Excelencia en la investigación y cooperación con las otras instituciones son los dos objetivos de nuestra actividad científica. 6% de los recursos españoles en ciencia son primeros en la producción de patentes.

El Consejo Superior junto con la Universidad de Cambridge era la segunda Institución europea (después CNRS en Francia) mas exitosa en el global programa competitivo para jóvenes investigadores y que se pone un éxito por la financiación de estos programas competitivos del 2%. Tenemos un recurso de jóvenes extra-ordinalmente competitivos en

España para dar cuenta de la competitividad científica global al menos en Europa. Nuestra base de futuro es la cooperación, estoy seguro que este acuerdo de colaboración que hoy firmamos con la Academia Hassan Secundo das un acuerdo fundamental importante para fortalecer estas buenas relaciones que ambos países Maruecos y España tienen o han tenido. Estoy seguro que la ciencia es un pilar fundamental del fortalecimiento de las relaciones entre los dos países. El acuerdo que hoy acabamos de firmar contribuye a fomentar la colaboración científica entre los dos países para formar los futuros investigadores. Espero que este acuerdo entre El Consejo Superior y la Academia Hassan Secundo constituí el principio de una muy larga amistad. Muchísimas gracias por su atención.

**- Pr. Omar Fassi-Fehri** (Secrétaire Perpétuel)

Merci, merci. Je m'excuse de reprendre la parole. Je voudrais dire que ce jour est un jour historique parce que ça constitue un début de relation entre nos deux institutions, mais pour l'Académie c'est le premier accord qu'elle signe avec une institution étrangère.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi** (Directeur des Séances)

Merci beaucoup Monsieur le Secrétaire Perpétuel et Monsieur le Pr. Martinez-Alonso. Cette signature participe de notre ambition commune de créer cet environnement favorable au service de l'Humanité et participe de cette invitation à agir pour exploiter de merveilleuses opportunités que cet accord nous offre.



Pr. Carlos Martinez-Alonso et Pr. Omar Fassi-Fehri



**Thématique :  
RÉFLEXION SUR  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**





## ANALYSIS OF BIBLIOMETRIC INDICATORS FOR MOROCCO

*Pr. Hamid BOUABID*

*Directorate of Technology, Ministry of Higher  
Education and Scientific Research, Morocco*



This paper is based on some findings included in an article published in *Scientometrics* (in press) by Pr. Hamid Bouabid and Pr. Ben Martin from SPRU, Sussex University, Brighton, UK. The latter presents the results of an evaluation of the national research system in Morocco. The exercise focuses on the period 1997-2006 and includes a comparison with South Africa, Egypt, Nigeria, Tunisia, Algeria, Portugal and Greece. Ratings of highly ranked researchers are developed on the basis of their number of publications, number of citations and also their 'h-index' (or Hirsch index). Finally, we examine the empirical model set by Glänzel that related the h-index to the number of publications and the mean citation rate per paper for these 'upper-class' researchers. The use of this model confirms that the h-index is likely to reflect the importance and the quality of the scientific output of a given researcher.

### Introduction

In Morocco, there had been very few evaluations of the research system, unlike in the USA or European countries, where evaluation is a specified task and is undertaken on a fairly regular basis. The only previous research evaluation in Morocco was carried out in 2003, and focused on the fields of natural sciences and engineering sciences (MRSMS, 2003). The work reported here attempts to provide an accurate assessment of the scientific research system using a number of bibliometric indicators which are essential to an evaluation such as this (Hicks et al., 2004). The evaluation measures the scientific outputs in relation to the inputs, in particular, the number of researchers, the number of students engaged in research studies, and the number of administrative and support staff. It aims at answering one of the question set by Arnold (2004): what are the results of our actions? (e.g. impacts) in order to operate continuous improvement through observation and analysis.

A size-related indicator is used. This is constructed by first counting the number of publications produced by a given entity. We use the database of the Science Citation Index (SCI), now known as the Thomson Web of Knowledge. This indicator has been shown to provide a reasonably accurate picture of scientific production. However, the use of this indicator on its own may have certain weaknesses (Martin and Irvine, 1983; Katz and Hicks, 1998; Katz, 2000). These include the following: each publication does not make an equal contribution to scientific knowledge; and publication practices vary widely with speciality and institutional context. In addition, the SCI database, even though it has a wide international coverage, probably contains a larger number of relatively minor US journals than minor journals from other parts of the world; and non-English-language publications are not as comprehensively indexed. In a study conducted by Quoniam and al (1995) to analyze the output of their own laboratory using three different databases (Pascal, Lisa and SciSearch), the authors concluded that the choice of the database may be more important than the choice of the indicator itself. An accurate assessment of the validity of the database must be obtained before building any bibliometric indicators from it.

Addressing the same issue, Louise and Goodman (2004) carried out a review of the Web of Knowledge (WoK) and Scopus from a librarian's point of view. The review did not conclude that one database was more relevant or better for an accurate search, but it clearly pointed out the comparative advantages of each and recommended acquiring Scopus if possible while keeping WoK. We believe that the use of the SCI is best for our purposes. Even if Pascal is assumed to be wider and to cover more non-English journals (especially French ones) than the SCI, the output for Morocco in Pascal (958 items in 2000) appears to be somewhat underestimated compared with SCI (1097 items) (MRSM, 2003, and this study). This evaluation noted that both Pascal and ISI showed the same trends in scientific production.

The second indicator used is an impact indicator. This is based on citations – i.e. the number of references made to a publication within a given time period (the 'time window') by subsequent publications. This impact indicator is seen as reflecting the impact of a publication, rather than the quality or the importance of the research work involved (Martin and Irvine, 1983). Some problems are inherent in the use of this indicator. Among these are the variation of the citation rate during the lifetime of the publication, self citations, critical and controversial publications that may attract more attention without necessarily being of significant quality, misleading comparisons of researchers' outputs without taking into account their different ages, and incomplete coverage of all the journals referring to a publication. Also, this indicator does not necessarily take into account other valuable work by a researcher such as discoveries or research earning honours, prizes or medals. However, this partial indicator is likely to be reasonably accurate if handled with care and combined with other indicators. Indeed, Narin (1987) reported that *"positive correlations between bibliometric measures and other measures of scientific advancements were found between:*

- *citation rates to papers, and a formal peer evaluation of the papers,*
- *scientists' publication or citation rates, and independent measures of scientific eminence such as awards, and*
- *university department publications and citation rates, with peer rankings of the departments."*

The third indicator used here is the recent one developed by Hirsch called the **h-index** (Hirsch, 2005). This index is intended to quantify an individual's overall scientific research contribution. It represents the number of papers, **h**, with a citation total for each paper that is higher than or equal to **h**. Hirsch claimed that the h-index is a reliable indicator of high accomplishment, although not necessarily for lower levels of achievement. After using his index to carry out an analysis of physicists, he argued that the h-index would be useful for other scientific disciplines.

The present evaluation is based on a ten-year time period from 1997 to 2006. A time window of five years is used (OECD, 1987) for the impact indicator – that is, the cumulative number of citations earned by a paper during its first five years (including the year of publication).

## RESULTS

### Inputs

Scientific research activities in Morocco are conducted in different types of institutions: (i) those belonging to universities covering various scientific disciplines; (ii) specialized institutions that are teaching and research bodies of ministerial departments (e.g. agriculture, marine sciences, and civil engineering); and (iii) research centers that could be either multidisciplinary or specialized centers. Other new forms of institutions are emerging in Morocco called 'polydisciplinary faculties'. These are involved in a broad range of scientific activities. These institutions are not covered by our analysis (they are very few in number, as are the number of students and researchers involved).

The evaluation reported here covers those institutions engaged in basic and applied sciences, engineering and technological sciences, but it excludes social sciences, humanities and arts.

### 1. Researchers

The total number of researchers analyzed here is 7957, of whom more than 75% are in university institutions. The following Table 1 presents the breakdown according to the type of institution in which they are employed.

Table 1: Breakdown of numbers of researchers according to the type of institution

Type	Number of researchers	Percentage
University institutions	5998	75.4
Specialized institutions	1002	12.6
Research centers	957	12.0
Total	7957	100.0

The total number of researchers in this analysis represents less than half of the total number of researchers in Morocco across all research fields.

## 2. Students

The number of students is given only for the first two types of institutions. However, research centers offer largely training and research projects for students from other institutions. Table 2 shows that more than 88% of students are affiliated to university institutions.

Table 2: Breakdown of student numbers according to the type of institution

Type	Number of students	Percentage
University institutions	70 364	88.2
Specialized institutions	9 422	11.8
Total	79 786	100.0

Table 2 shows that, as for researchers, there is a dominance of students at university institutions. However, the total number of students in the fields of our evaluation is small (20.6%) compared with the total number of students (386 800).

## 3. Administrative and support staff

It is obvious that administrative staff play a key role in performing research within their respective institutions. They are mostly involved in financial, administrative, and student affairs, along with a number of social personnel. The proportion of administrative staff to researchers differs from one institution to another, but generally this proportion is higher in universities than research centers. The following table summarizes the respective data according to the type of institution.

Table 3: Breakdown of administrative and support staff according to the type of institution

Type	Administrative staff	Percentage
University institutions	3 542	43.5
Specialized institutions	1 779	21.8
Research centers	2 823	34.7
Total	8 144	100.0

We find from the previous tables that the total number of personnel involved in scientific research activities is 16 100, with almost one researcher for each member of administrative staff.

## Size indicator

Table 4 shows the evolution in the number of publications for different countries during the period from 1997 to 2006. One can see that South Africa's and Egypt's outputs have been increasing steadily, with an average annual growth of 183 additional publications per year for South Africa (4,8%) and 148 for Egypt (6,6%). Despite its relatively small contribution to knowledge production in Africa (with an average of 865 publications per year only), Tunisia exhibited the highest annual rate of increase over the decade – 30% (with an average growth of 134 additional publications per year). Among this sample of African countries, Algeria also emerges as a significant and fast growing producer of science (with an average growth rate of 25,7% per year).

Morocco showed a slow but steady increase until 2001, but this was followed by a slight decline between 2001 and 2004. The average number of publications for Morocco is 1041 per year. With regards to Table 1, this means that each researcher published an average of one article every seven years in the journals scanned by the Science Citation Index. The annual rate of increase for Morocco is only 5,3% – that is, an average of 40 additional publications each year.

Table 4: Size indicator (total number of publications)

Country	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Average variation/ year
Morocco	753	934	999	1097	1157	1121	1122	955	1157	1114	5.3 %
Tunisia	447	497	567	612	696	786	987	984	1424	1655	30.0 %
South Africa	3799	4130	4207	3970	4083	4479	4431	4404	5277	5443	4.8 %
Nigeria	783	777	806	872	690	761	821	810	981	1308	7.4 %
Egypt	2225	2359	2465	2439	2735	2757	3233	2897	3402	3554	6.6 %
Algeria	306	355	407	422	456	525	612	678	860	1014	25.7 %
Portugal	2348	2816	3409	3470	4020	4153	5344	5449	6421	7365	23.7 %
Greece	4385	5121	5186	5516	6440	6193	8044	7955	9735	10340	15.1 %

There could be various explanations for this comparative lagging behind of the Moroccan scientific research system. The first, of course, is language. Moroccan researchers tend to publish in French, which may adversely affect their knowledge production as reflected in SCI publications. For the sample of countries considered here, it is worth recalling that the SCI does not contain any Moroccan journals, nor any Algerian, Tunisian, Nigerian or Portuguese journals. It includes one journal from Egypt, 17 from South Africa and four from Greece, compared to 137 from France.

The second reason may be a declining interest of Moroccan researchers in publishing as they become older. The average age of researchers in the scientific disciplines analyzed here is more than 55 years. This weakness was emphasized in the evaluation undertaken in 2003.

The third factor could be linked to the fact that fewer and fewer students seem to be interested in research studies leading to a higher diploma. The DESA diploma (involving five years of university studies) has been recently considered as an equivalent recognition to the previous Doctorate (or PhD equivalent) for the purposes of recruitment, particularly in the public sector. While this new rule may have provided equal opportunities for university graduates from one side and engineers from the other when it comes to offers of employment, it has, however, dramatically reduced the interest of students in research studies. Currently, only 8 300 students are registered for research studies at universities against more than 10000 five years ago.

In addition, since February 1997, with a regard to a researcher's (or a professor's) career, not only are his or her research activities and publications included but also other activities such as union, cultural or social activities. The latter are given the same weight as, or perhaps even more than, research activities (Moroccan Government Decree n° 2.96.793, 19 February 1997). This situation has gradually resulted in a clear disadvantage for those



researchers who are more involved in research requiring greater intellectual efforts, equipment and large amounts of uninterrupted time.

Another event occurring during 2006 that will certainly have a negative impact on scientific research output and outcomes in the near future was the government initiative to encourage earlier retirement in the public sector by giving substantial subsidies and granting the full retirement allocation. As a result, almost 36% of researchers (including those in medicine and pharmacy) have benefited from this initiative. This operation also affects the ten top-ranked authors, in particular two out of the ten most highly publishing researchers (see the section on author rankings and h-index analysis later in this article). In the case of the Mahgreb countries considered here, namely Morocco, Tunisia and Algeria, we have analyzed their cross-cooperation as reflected in co-authored publications. We intend to assess research collaboration between these countries (which have strong similarities) compared with the total scientific output for each country. The analysis is carried out using joint publications for the whole of the period studied from 1997 to 2006. The matrix below shows the number of collaborative publications and the total number of publications for each country. The table below shows a very small cross-collaboration between these countries.

	Algeria (5635)	Tunisia (8655)
Morocco (10409)	84	103

However, strong collaboration exists between each of these countries and France for example. The number of co-authored publications between Morocco and France is 4141, which represents almost 40% of total publications of Morocco. It is likely the same situation for Tunisia and Algeria. The number of Algerian and French co-authored publications is 2602, that is 46% of Algerian publications and the number of Tunisian and French co-authored publications is 3025 which represents 35% of Tunisian total publications.

As illustrated in the table 5, Morocco seems to have intensive and diverse international research collaborations which remain, however, dominated to a large extent by collaborations with northern countries than southern ones.

Table 5: Mean co-publications according to respective countries

Country	Number of co-authored publications	% of total publications produced by Morocco
France	4141	39,78%
Spain	575	5,52%
USA	507	4,87%
Italy	359	3,45%
Germany	313	3,01%
Canada	258	2,48%
Belgium	242	2,33%
UK	161	1,55%
Switzerland	103	0,99%

Tunisia	103	0,99%
Algeria	84	0,81%
Portugal	76	0,73%
Scandinavian countries	68	0,65%
South Africa	27	0,26%
Greece	23	0,22%
Egypt	22	0,21%
China	19	0,18%

### Impact indicator

The analysis undertaken here is based on counting the number of citations to all the publications from a given year within a time window of the first five years (including the year of publication). Hence, the analysis comprises the time series for papers published from 1997 to 2002. We also consider the average impact, which is simply the total number of citations divided by the number of publications receiving those citations.

Table 6 shows that the impact of South African publications on worldwide knowledge production is comparatively large for the African countries considered here. However, South Africa has one of the lowest impact growth rates of 9,7 %. The average citation per article for South Africa is 5,1 (see Table 7).

Table 6: Impact indicator (total number of citations)

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Average	Variation /year
Morocco	2244	2825	2734	3430	3507	3753	3082.2	13.4%
Tunisia	1707	1408	1413	1820	2232	2739	1886.5	12.1%
South Africa	16415	19412	20368	20827	24078	24375	20912.5	9.7%
Nigeria	1445	1657	1698	2025	1830	3176	1971.8	24.0%
Egypt	6471	5975	6543	7871	8456	9379	7449.2	9.0%
Algeria	885	963	1360	1394	1802	1803	1367.8	20.7%

Over the six-year period, the average number of citations received by Moroccan publications has grown from 2244 to 3753 – that is to say, by an additional 251 citations per year. Each article produced by Moroccan researchers has received an average of 3,0 citations (see Table 7 below). Despite its relatively low score, Morocco has shown a significant annual increase in its impact rate per year of 13,4%, which is better than that for South Africa and Tunisia.

Somewhat surprisingly, Tunisia obtained an average of 3,1 citations per paper, slightly higher than the Moroccan rate; nonetheless, the total number of publications produced by Tunisia over the last decade is just 83% of the total number of publications produced by Moroccan researchers. Once more, among the African countries considered in this analysis, Algeria had one of the highest growth rates of almost 21% annually, despite its lower number

of citations. Even though Nigeria has the lowest impact with an average of 2,5 citations per paper, it has the fastest annual increase in terms of numbers of citations.

Since the average rate of citations per paper for Morocco has approximately stagnated over the six years with a value of approximately 3, it would seem that not only is its growth rate low, but also the impact of Moroccan scientific output shows little sign of improving. The scores of neighboring countries like Tunisia and Algeria (both of which use the French language widely in their research) are significantly better than the Moroccan ones.

Table 7: Impact indicator (average citation per paper)

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Average
Morocco	3.0	3.0	2.7	3.1	3.0	3.3	3.0
Tunisia	3.8	2.8	2.5	3.0	3.2	3.5	3.1
South Africa	4.3	4.7	4.8	5.2	5.9	5.4	5.1
Nigeria	1.8	2.1	2.1	2.3	2.7	4.2	2.5
Egypt	2.9	2.5	2.7	3.2	3.1	3.4	3.0
Algeria	2.9	2.7	3.3	3.3	3.9	3.4	3.2

### Author ranking and h-index analysis

The ranking of researchers is carried out first on the basis of the cumulative number of publications produced during the period from 1997 to 2006; this should be long enough to give an accurate idea of the broad and sustained impact of individual researchers. Citations earned by each individual's publications are counted. Finally the h-index for each of the top ten-ranked researchers is given. The robustness of the h-index has since been confirmed by others (e.g. Bornmann & Daniel, 2005; Vancley, 2006), although some have cautioned about applying it to small groups or individuals (Van Raan, 2006). However, the h-index cannot be used to directly compare researchers from different disciplines. Iglesias and al. suggest that in many cases the h-index should perhaps be corrected for the number of published papers (Iglesias et al., in press). In addition, Egghe has argued that the h-index fails to take account of how highly cited are the most cited of an author's papers, and that instead his proposed 'g-index' is a better indicator (Egghe, 2006a & b; see also Rousseau, 2006).

The objective here is merely to determine some of the leading research contributors to science in Morocco, but without intending to make an explicit comparison between researchers. Such a comparison would require a disaggregation by specific field in order to eliminate any disadvantage that could come from comparing researchers from different fields with different publication and referencing practices. Each discipline has its own context and is assumed to follow broadly the same rules for publishing (Hirsch, 2005). In the process of obtaining these indicators for the top ten researchers, we have carried out manual checking and cleaning up of the respective data in order to avoid any inherent errors related to the following: name, address, field of publications, co-authors, and self citations. For example, M Hachimi from the CHU of Rabat apparently produced 74

publications (placing him 7th on the initial list), but after checking and refining the data, his number of publications falls to just 60. As a consequence, his name was taken off the list in favor of M Joual, who produced 61 publications. Another example is M. Pierrot Marcel, who is not Moroccan. For two years, he collaborated in joint research projects with partners from the faculty of sciences in Rabat, the institution to which he always referred in his articles. M Pierrot worked in the field of chemistry and his name was 8th on the initial list (with 73 publications, 161 citations and an h-index of 7), but he was not considered further in the analysis reported here of Moroccan authors.

On the other hand, there is much debate about how to deal with self-citations, which involve citations made by an individual's publication to his or her own earlier publications. Self-citations in one's own or in co-authored publications could, to some extent, bias the citation impact or the h-index, since these do not reflect the external impact of the publications on the wider knowledge base. Many of these limitations were discussed, for example in the OECD discussion of prevailing practices for the evaluation of research (OECD, 1987).

Although, in a study carried out by Narin (1987), which considered the effect of self-citations on citation performance (in a study involving hundreds of investigators, more than a thousand papers, and many thousands of citations over the course of more than five years), the author found out that the rankings of the scientists being evaluated on the basis of their publications and citations records were largely unaffected by self-citation, even when self-citation was broadened to include not only citations from the investigator himself, but also citations from any co-authors.

Our analysis is carried out under the following assumptions:

- period of analysis: from 1997 to 2006, which allows for a coherent analysis and minimizes to some extent the effect of age upon the results for the various researchers being considered. This threshold is chosen to obtain a normalized set of results and also to be in full accordance with the previous analysis considered here.
- shared criteria of either the author or the country. This means that only publications for an author affiliated to a Moroccan institution are counted. It sometimes happens that certain researchers published when they were earlier affiliated to foreign institutions (e.g. for a PhD study) or when working on research projects during a short time abroad.
- the citation counts include self-citations.

The results are reported in Table 8. This shows for each researcher the number of publications, their percentage of the total number of publications, the number of citations, the average citations per publication, the h-index, the affiliated institution, and the field of publications. The point that emerges from Table 8 is the prevalence of chemistry and medical sciences (in particular, urology and nephrology) among the top Moroccan researchers in terms of publications. We also note that these scientists have each published an average of 6 to 9 publications per year over the last decade.

The highest average rate of citations per paper published for the authors being considered is 5, compared with the national average of 3. The highest score is earned by M. Hammouti in the field of chemistry. Table 8 also shows higher average scores for citations per paper in the field of chemistry. We also see from Table 8 that the higher the number of citations per paper, the higher the h-index.

Table 8: Number of publications, citations counts and h-index for the most highly publishing scientists in Morocco during 1997-2006

Author	Publications count	% of total publications	Citations counts	Average citation/pub.	h-index	Institution	Discipline
BENCHEKROUN, Abdellatif	91	0.87%	106	1.16	5	CHU Avicenne, Rabat	Urology & Nephrology
HAMMOUTI, Belkhir	87	0.84%	432	4.97	12	Faculty of Sciences, Oujda	Chemistry & Materials Science
BENYOUSSEF, Abdellah	79	0.76%	240	3.04	8	Faculty of Sciences, Rabat	Physics
HAJJAJ-HASSOUNI, Najia	79	0.76%	70	0.89	5	CHU Avicenne, Ayyachi, Sale	Rheumatology
FAIK, Mohammed	78	0.75%	97	1.24	5	CHU Avicenne, Rabat	Urology & Nephrology
BENJELLOUN, Saad	76	0.73%	76	1.00	3	CHU Ibn Rochd, Casablanca	Urology & Nephrology
ESSASSI, El Mokhtar	69	0.66%	107	1.55	5	Faculty of Sciences, Rabat	Chemistry
EL MRINI, Mohammed	68	0.65%	55	0.81	3	CHU Ibn Rochd, Casablanca	Urology & Nephrology
LAZREK Hassan Bihi	63	0.61%	234	3.71	8	Faculty of Sciences, Marrakech	Chemistry
JOUAL, Abdennabi	61	0.59%	34	0.56	2	CHU Ibn Rochd, Casablanca	Urology & Nephrology

Using the theoretical relation suggested by Glänzel (2006), we calculate the relation between the h-index (h) and the composite variable of number of publications (n) and the mean citation rate per paper (x). In fact, Glänzel (2007), and then Schubert et al. (2007) attempting to get deeper insight into the properties of the interesting h-index, has found that the latter is a linear correlation of the two fundamental bibliometric indicators as follows:

$$h = cn^{1/3} x^{2/3}$$

where c is a positive constant.

Figure 1 shows the scatter points corresponding to each of the top ten researchers in term of publications during the decade from 1997 to 2006.

The aforementioned empirical relation was applied by Csajbok et al. (2007) to a sample of 40 countries including 27 EU (UK is treated as four separate statistical entities), Croatia, Turkey, Norway, Switzerland, Australia, Canada, India, Japan, China, and USA. The c constant is found to be 0.932, with a correlation coefficient R<sup>2</sup> equal to 98.8% in applying the model.

Here, we test this empirical formula to the case of Morocco considering the most highly publishing scientists during 1997-2006 and by the way investigate the extent of the validity of the h-index as an easy and accurate tool to measure the quality and performance of a scientist.

From the Figure 1 we find the correlation coefficient to be 95%. Indeed, there is a fairly close relationship between the h-index and a composite indice of other classical bibliometric indicators namely, the number of publications and the mean citation rate per paper, for a given author.

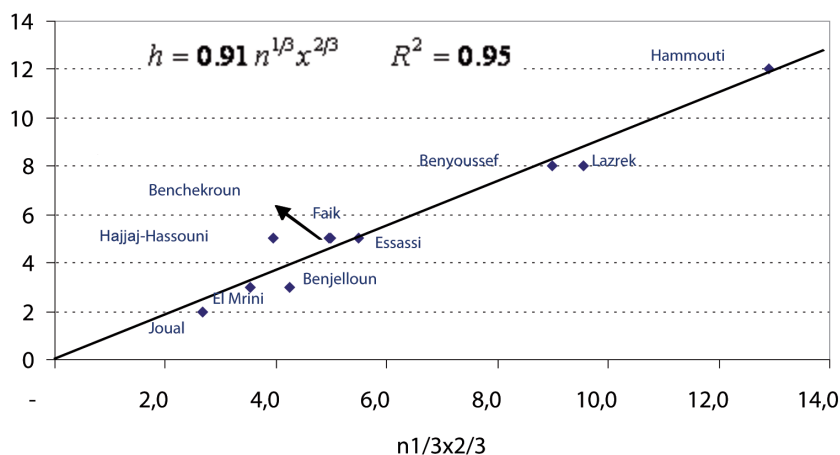


Figure 1: Plot of h-index of the top ten researchers and the Glänzel's model

The above relationship confirms that the h-index is likely to reflect the importance and the quality of the scientific output of a researcher. This is demonstrated here for the 'upper-class' of scientists from Morocco using the empirical model of Glänzel and Schubert. Consequently, we suggest that the h-index is a reasonably reliable indicator of merit and performance.



In addition to the quantitative evaluation of the 'top ten' publishing researchers in Morocco, we have conducted a survey, in which we have questioned these ten highly-publishing researchers. The main point that emerged first from this survey is that the Moroccan researchers are apparently as competent as their counterparts around the world. This survey allows us to appreciate how high is the quality of the research carried out by the researchers in question. For example, M Benchekroun invented the deviation valve known as the 'benchekroun valve' for dealing with urinary infection, a technology that is now widely used in many hospitals. M Lazrek, who is working on biochemical approaches to therapy, has more than ten molecules registered at the National Institute of Health in USA, while M Essassi had developed certain molecules that are sold commercially by a company in Belgium.

For most of these researchers, patents are not particularly important. With the exception of M Hammouti, who has seven patents, and M Essassi who owns three patents, all the researchers believe that a scientific publication is worth more than a patent, since it means the work has been accepted by a high quality journal and the publication 'discloses' the results obtained to the whole scientific community as something that has been found for the first time by the author (or authors). Some researchers (e.g. Benchekroun and Faik) argue that they had introduced new techniques and processes that were technically difficult to patent. None of the results or techniques has yet been exploited for commercial purposes by the researchers themselves or by their respective institutions. All the ten researchers say that they use their research results all the time as inputs, tools, techniques and methods in their teaching courses and seminars, so these benefit both students and trainees.

## CONCLUSION

During the last decade, the scientific research output of Morocco has shown little significant growth. The number of publications is still around a thousand articles per year. Over the decade, each researcher produced an average of one publication every seven years in the journals scanned by SCI. With an average rate of growth of 5.3% yearly, Morocco is rapidly losing out to other African competitors, particularly the emerging ones such as Tunisia (with a growth rate of 30%) and Algeria (25.7%). The increase in scientific impact on research community worldwide is relatively greater for Morocco than for other African competitors. Indeed, despite its relatively low score, Morocco shows a significant growth in its impact of 13.4% per year, which is better than that for South Africa (9.7%) and Tunisia (12.1%).

In the light of the rationale set out earlier in this article, we should be concerned about a decreasing trend in Moroccan scientific production in the near future. It is to be hoped that the current developments to the research infrastructure (for example, the establishment of scientific platforms, the scientific information institute, the experimental nuclear reactor, and so on), the reform of the 'poles of competencies' (networks dealing with a specific theme), the improvement of technology transfer within universities (through 'Interfaces'), and the launch of the Grand Prix for research and innovation and of the Medal of Sciences and Technology will all contribute to increasing research production in terms of size and impact. The recent establishment of the Academy Hassan II of Sciences and Technology should also contribute to strengthening it. One recommendation is to offer each researcher a financial reward for each publication he or she produces in a leading international journal. Such an incentive could also be given on the basis of an evaluation, taking into account the indicators discussed in the present article.

The quantitative indicators - size, impact and h-index - have been calculated for the ten most highly publishing researchers. This analysis, along with the results from the survey of these researchers, suggests that leading Moroccan researchers are likely to be as competent as their counterparts around the world. This qualitative survey allows us to appreciate the quality of their research, which in turn benefits their students and trainees.

Finally, we have used the model suggested by Glänzel and then Schubert to measure the quality and performance of a scientist. The use of this model confirms the validity of the h-index as an easy and accurate tool that is likely to reflect the importance and the quality of the scientific output of a researcher. This is demonstrated here for the 'upper-class' of scientists from Morocco. Consequently, we support that the h-index is a reasonably reliable indicator of merit and performance.

## REFERENCES

- Arnold E (2004), Evaluating research and innovation policy: a systems world needs systems evaluations, *Research Evaluation*, Vol. 13, number 1. pp. 12-13.
- Bornmann L, Daniel H-D (2005), Does the h-index for ranking of scientists really work?, *Scientometrics*, Vol. 65, number 3. pp. 391-392.
- Bouabid H., Martin B. R. (2008), Evaluation of Moroccan research using a bibliometric-based approach: investigation of the validity of the h-index, *Scientometrics* (in press), accepted December 2007.
- Csajbok E., Berhidi A., Vasas L., Schubert A. (2007), Hirsch-index for countries based on Essential Science Indicators data, *Scientometrics*, Vol. 73, number 1. pp. 91-117.
- Egghe L (2006a), Theory and practise of the g-index, *Scientometrics* Vol. 69, number 1, pp. 131-152.
- Egghe L (2006b), An improvement of the h-index: The g-index, *ISSI Newsletter*, Vol. 2, number 1. pp. 8-9.
- Glänzel W. (2006). On the h-index-A mathematical approach to a new measure of publication activity and citation impact. *Scientometrics*, 67(2), pp. 315-321.
- Hicks D, Tomizawa H, Saitoh Y, Kobayashi S (2004), Bibliometric techniques in the evaluation of federally funded research in the USA, *Research Evaluation*, Vol. 13, number 2. pp. 81-84.
- Hirsch JE (2005), An index to quantify an individual's scientific research output, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 102, number 26. pp. 16569-16572.
- Iglesias J E, Pecharroman C, Scaling the h-index for different scientific ISI fields, (in press), [www.ArXiv.org](http://www.ArXiv.org).
- Katz J S (2000), Scale-independent indicators and research evaluation, *Science and Public Policy*, Vol. 27, number 1. pp. 23-36.
- Katz J S, Hicks D (1998), Indicators for systems of innovation - a bibliometrics-based approach, *IDEA paper series*, number 12. pp. 4-6.

- Louise F Dies, Goodman D., Web of Science (version 2004) and Scopus (2005), Charleston Adviser, Vol. 6, number 3. pp. 25.
- Martin BR, J Irvine (1983), Assessing basic research: some partial indicators of scientific progress in radio astronomy, Research Policy, Vol. 12, 1983. pp. 65-69.
- Martin BR (1991), Performance indicators for assessing British university research, Paper published in the Festschrift Volume in Honour of Dr I N Sengupta, edited by Dr. Wyatt H V.
- MRSM (2003), Evaluation du Système National de la Recherche Scientifique et Technologique, Ministère chargé de la Recherche Scientifique du Maroc.
- Narin F (1987), Bibliometric techniques in the evaluation of research programs, Science and Public Policy, Vol. 14, number 2. pp. 104-106.
- OECD (1987), Evaluation of Research: A selection of current practices, Paris. Pp. 32-37.
- Quoniam L, Rostaing H, Boutin E and Dou H (1995), Treating bibliometric indicators with caution: their dependence on the source database, Research Evaluation, Vol. 5, number 3. pp. 179.
- Rousseau R (2006), New developments related to the Hirsch index, (electronic working paper, KHBO (Association K.U.Leuven), Industrial Sciences and Technology, Zeedijk 101, 8400 Oostende, Belgium); published in Science Focus, Vol. 1, number 4, 23-25 (in Chinese).
- Schubert A., Glänzel W. (2007), A systematic analysis of Hirsch-type indices for journals, Journal of Informetrics, 1, pp. 179–184.
- Vanclay J K (2006), On the robustness of h-index, Journal of the American Society for Information Science and Technology, Aug 2007. Vol. 58, Iss. 10. pp. 1547-1550.
- Van Raan A F J (2006), Comparison of the Hirsch-index with standard bibliometric indicators and with peer judgment for 147 chemistry research groups, Scientometrics, Vol. 67, number 3. pp. 491-502.

## LA PRODUCTION SCIENTIFIQUE MAROCAINE DONNÉES RÉCENTES 2001-2006



*Pier Luigi ROSSI*



*Roland WAAST*

*et*

*Institut de Recherche et Développement (IRD)  
Paris, France*

Une longue série d'études sur la science marocaine

En coopération avec l'Union européenne

Sciences en Afrique (2000)

Evaluation du système de recherche du Maroc (2003)

ESTIME (2007)

Assorties d'analyses bibliométriques fines

et pour cette Session ( Février 2008 )

Des données récentes: 2001-2006

## La bibliométrie

Une évaluation par un output particulier : les publications

Les sources : des bases de données bibliographiques  
SCI ( Thomson, USA ) et Pascal ( Inist, France )

Pour produire des indicateurs macro :

- Comparaison entre Pays
- Evolution par grands domaines disciplinaires

## La bibliométrie fine

De la résultante macro à l'analyse de ses composantes :

- Par sous-disciplines
- Par établissements
- Par les dynamiques mondiale et nationale

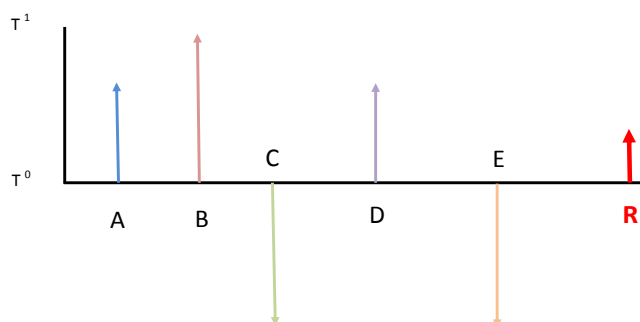
Pour fournir des outils d'aide à la décision :

- Tableaux de bord
- « Shift –share »
- Réseaux de collaborations

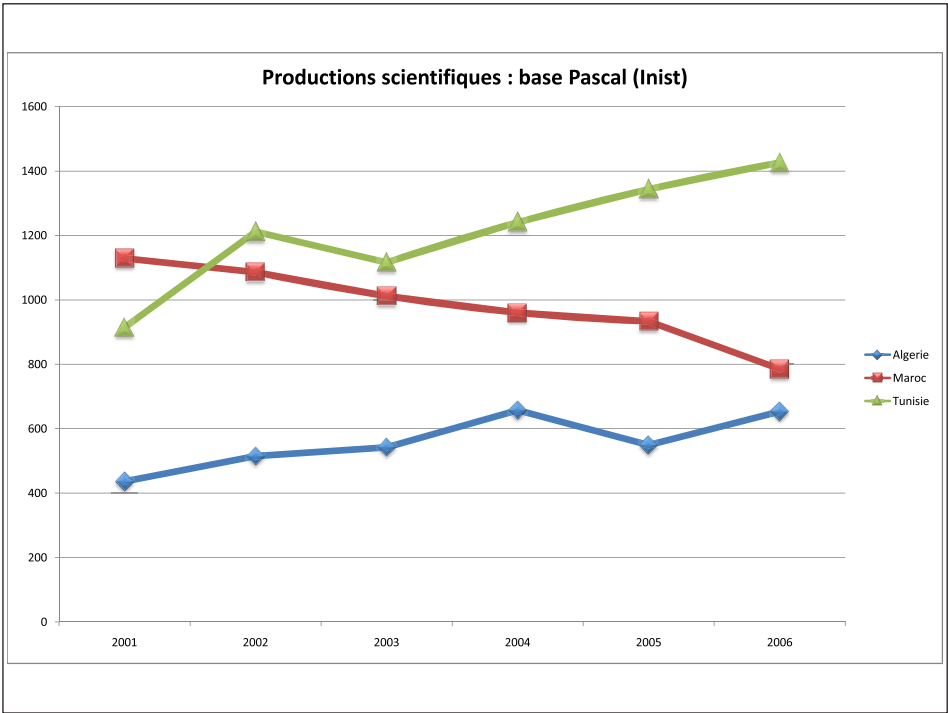
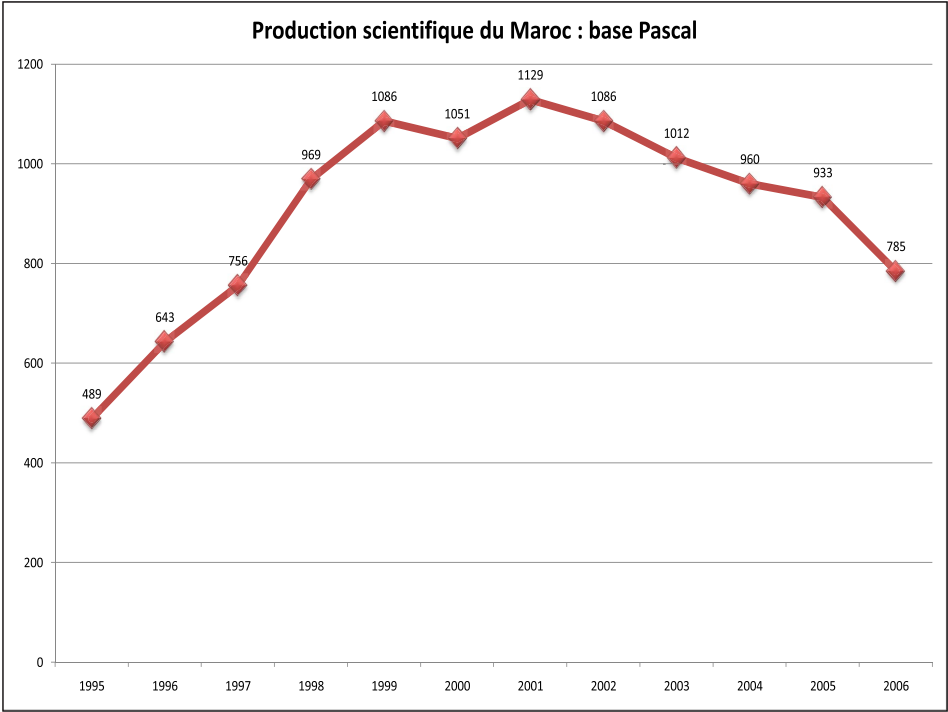
## Evolution de la production scientifique d'un pays



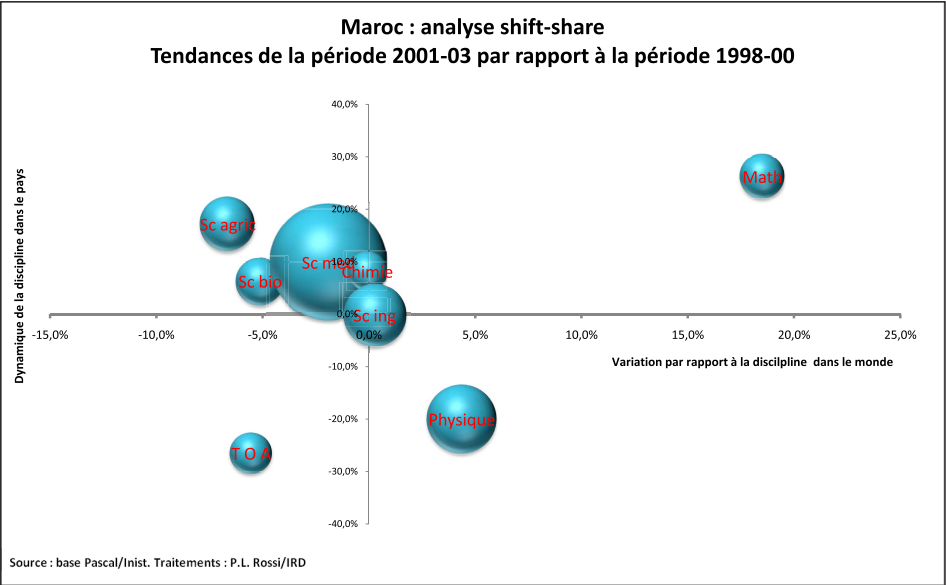
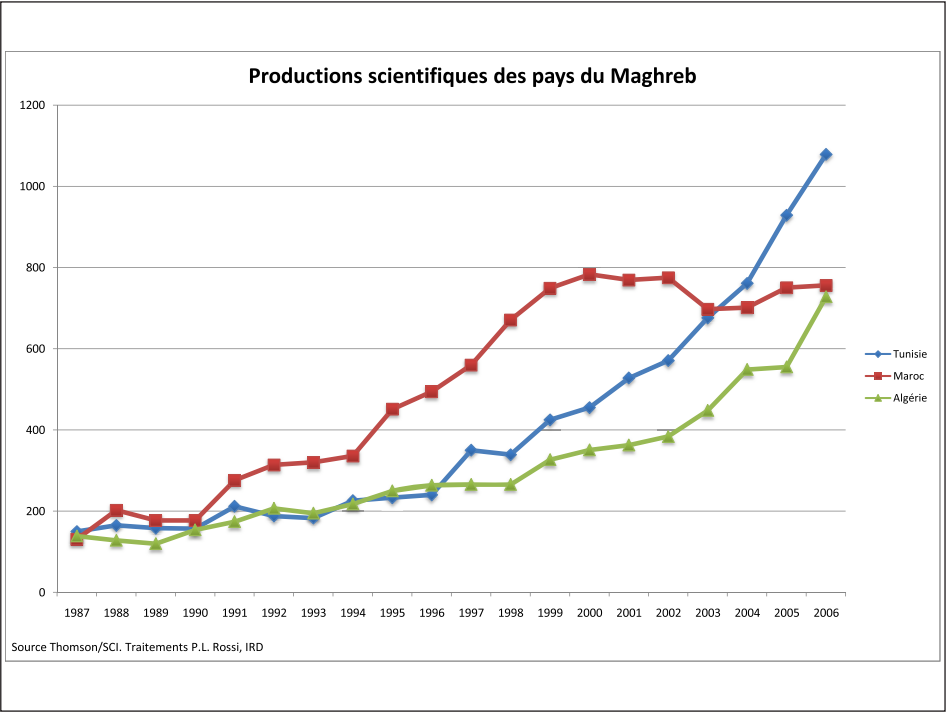
Evolution de la production scientifique d'un pays =  
Evolution composante A + évolution composante B + évolution composante C + .....



Application au cas du Maroc







	1995-1997	1998-2000	2001-2003	2004-2006
Sc agric	210	279	318	240
Sc bio	144	234	247	246
Sc med	838	1318	1468	1205
Math	74	140	207	137
Physique	285	582	512	361
Chimie	88	143	159	143
Sc ing	223	408	426	423
T O A	142	260	185	135
Total	1888	3107	3227	2676

	1995-1997	1998-2000	2001-2003	2004-2006
U Rabat Souissi	314	562	635	415
U Marrakech	218	366	360	357
Hop Univ Casa	360	438	402	335
U Rabat Agdal	122	314	266	202
U Casa Chock	79	181	170	173
U Hassan 2 (Msik & Mdia)	24	99	141	142
Hop Mili	51	89	172	128
U Oujda	44	110	91	122
U Fes	90	176	186	107
U Kenitra	54	121	179	105
U Agadir	70	138	97	97
U Tet_Tanger	29	73	76	97
U Jadida	46	156	128	87
Ecole ENS	39	76	95	77
I_Agr-Véto	76	80	74	67
U Meknes	66	150	121	55
R&D Ind.	9	37	18	28
Ecole Ingén EMI	28	41	38	25
I Pasteur	18	18	16	15
I N Rech Agr	15	27	21	13
Ec Agri Meknes	13	18	12	11
Total	1888	3107	3227	2676

	U Casa Chock	U Rabat Agdal	Ecole ENS	U Agr-Vétro	I N Rech Agr	U Fes	U Marrakech	U Agadir	U Kenitra	U Meknes	Total
A00 Sc agr (divers)										1	24
A21 Hydro	7	4	10	8		16	3	17	9	68	39
A22 Irrigation										7	6
A31 Sc sol		9	11							6	45
A41 : Conduite des cultures				4	6		10	4		26	15
A42 : Amélioration des plantes				8	5		20	3		59	19
A43 : Protec plantes				10	5	7	5			9	1
A50 : Sylviculture										6	5
A60 : Indus agro-alim			8	7	12	17		11	18	47	64
A71 : Prod animale terrestre										5	5
A90 : Entomo agricole							8	7		33	21
B13 : Bio moléculaire										8	8
B14 : Microbiologie		7	4		7	10	5	5	9	5	42
B22 : Génétique										8	9
B31 : Physio végétale										8	2
B41 : Zoologie										24	12
B42 : Physio animale						4	7			15	25
B51 : Ecologie de base						13	3	18	4	62	39
B52 : Ecologie ap							6	5		34	31
B60 : Biotec : divers										5	6
B62 : Biotec: Méth & procédés							5	7		8	13
B64 : Biotec indus										17	10

	U Casa Chock	R&D Ind.	U Hassan 2 (Mik & Midia)	U Rabat Agdal	Ecole Ingén EMI	Ecole ENS	U Fes	U Marrakech	U Agadir	U Tel_Tanger	U Oujda	U Kenitra	U Jaidia	U Meknes	Total
S10 : Math (divers)	9	7		13	12			42	36					7	107
S11 : Math géné				6	6			5	10					3	36
S12 : Proba-Stat				12	4			12	22					3	32
S13 : An num & MMP								6	10					3	30
S21 : Phys nucléaire								5	6					3	21
S22 : Phys: Dnes classiques														3	19
S23 : Phys : Méca, Thermo	13	6		12	4	8	5	10	5				6	8	39
S25 : Etat solide, struct, proj	4	7		19	5	33	12	13	19						75
S26 : Etat solide, prop électr	19	20		5	12	34	12	31	13						102
S27 : Sc des matériaux				6	4	9	3	31	11						189
S28 : Phys : Théories & Méthodes				7	3	13	14	7	16						179
S31 : Chimie géné	3	9		32	28	9	9	8	8						134
S39 : Chimie analytique				8	16			11	1						56
S41 : STICs	15	7						7	8						78
S43 : G. chimique	4	9		8	16			10	7						57
S44 : BTP, transports	6	5						10	7						29
S45 : G. métaux								6	11						10
S48 : Pollution	5	12	7	7	13			5	5						37
S49 : G. Energ	3	8		7	13			26	31						51
S52 : Géochimie								14	16						102
S53 : Géologie	5	6		5	7			13	7						97
S54 : Géophysique				5	7			34	21						102

SCI	97-01	02-06	Total 97-06
Benyoussef A	48	31	79
Essassi EM	32	23	55
Boukhari A	27	15	42
Saber M	32	24	56
Soufiaoui M	18	15	33
Arde J	16	9	25
Lazrek HB	27	18	45
Hammouti B	13	41	54
Hajjajhassouni N	26	35	61

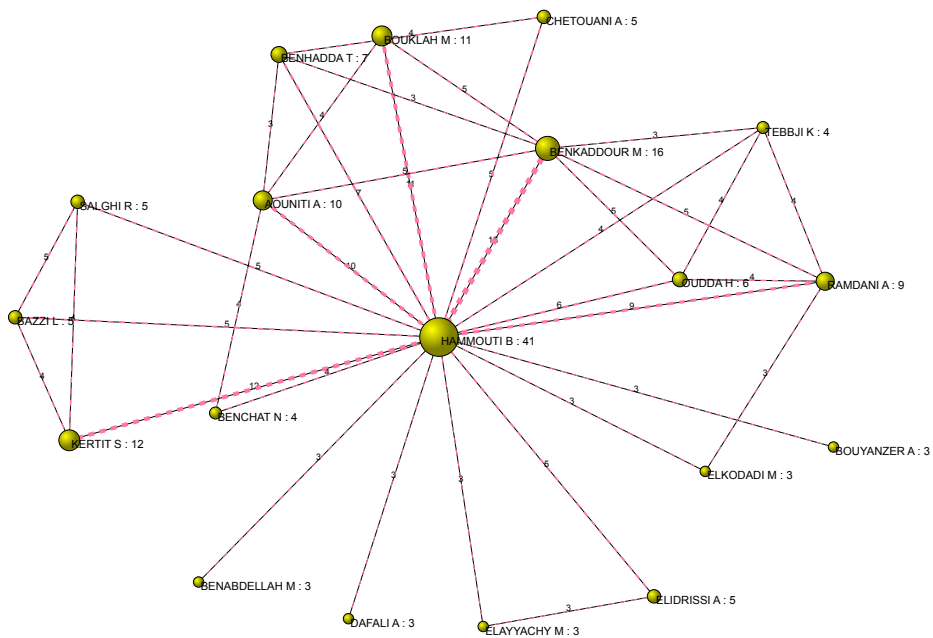
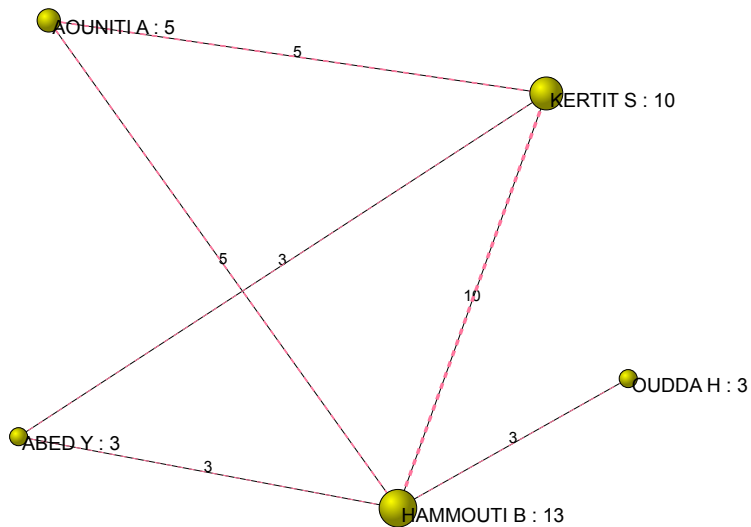
Total 239 211

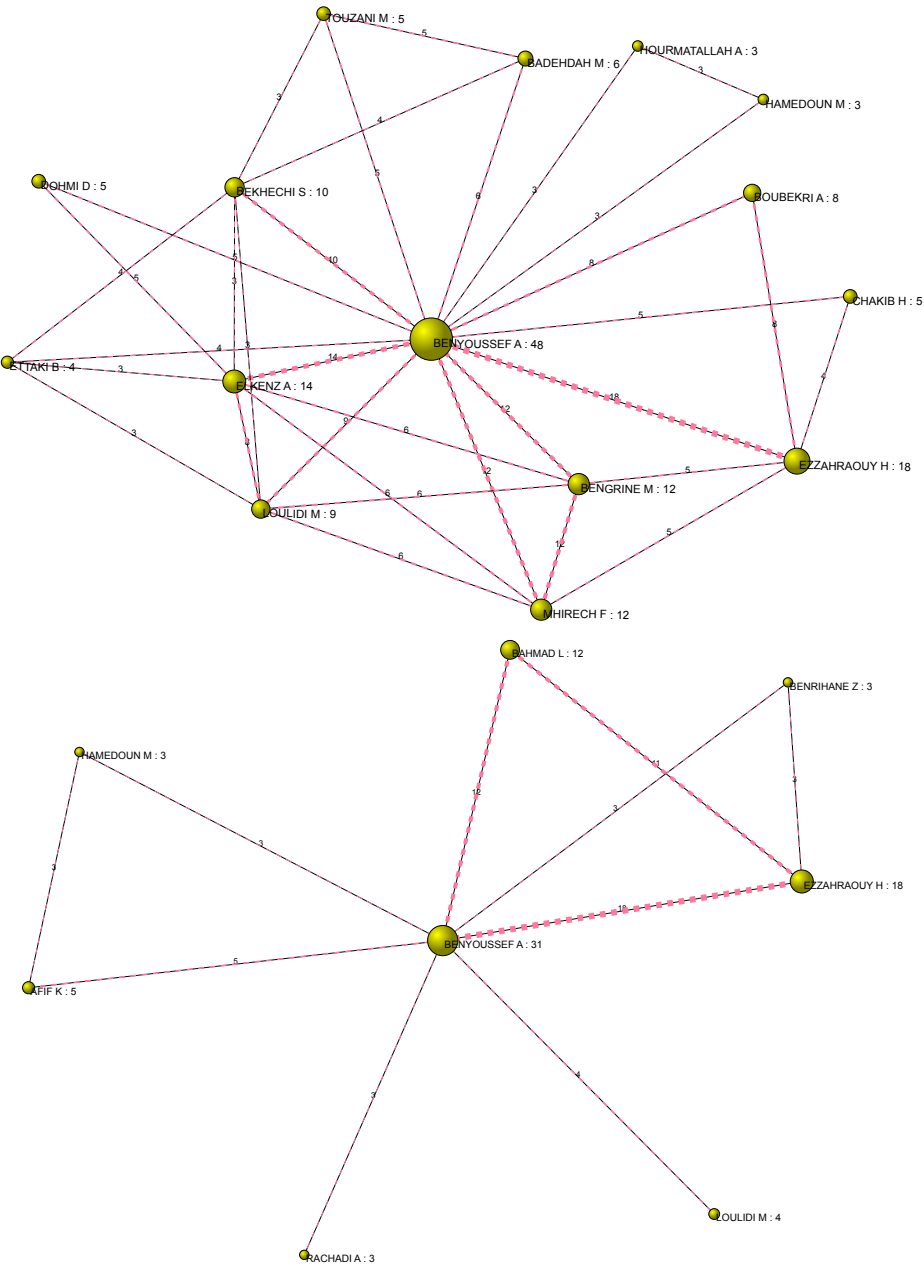
Total Maroc 3532 3598

WOS	97-01	02-06	Total 97-06
Benyoussef A	48	32	80
Essassi EM	39	28	67
Boukhari A	30	18	48
Saber M	33	24	57
Soufiaoui M	19	16	35
Arde J	19	10	29
Lazrek HB	40	23	63
Hammouti B	29	58	87
Hajjajhassouni N	32	48	80

289 257

5012 5510





# Conclusion

## Un « nouveau moteur » ?

- Besoin d'incitations
- Besoin de structuration
- Sauvegarder les compétences
- Outils d'évaluation

## **EVALUATION DE LA RECHERCHE PUBLIQUE DES INDIVIDUS AUX NATIONS**

*Pr. Jean DERCOURT*

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



## **EVALUATION DE LA RECHERCHE PUBLIQUE DES INDIVIDUS AUX NATIONS**

**1. Justification des crédits publics**

**2. Outils stratégiques**

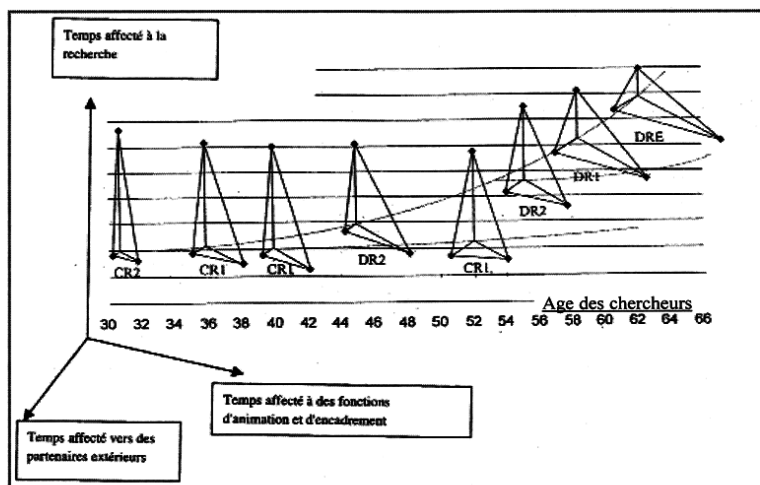


## EVALUATION DES INDIVIDUS

- Confiée aux établissements employeurs : auto-évaluation
  - Exécution des missions statutaires
    - plus rarement mis en œuvre (tentative INRA)
    - généralement la seule mission : Recherche → Bibliométrie
- Conséquence : diminution des 2 autres missions

2

Figure 3.1. Évolution du profil d'activité des chercheurs INRA



Source : O. Philipe, 2000.

CR : Chargé de recherche  
DR : Directeur de recherche

1 : première classe  
2 : deuxième classe  
E : classe exceptionnelle

## **EVALUATION DES STRUCTURES REGROUPANT LES CHERCHEURS**

- Loi 2006 (Loi Goulard, Loi sur la Recherche)
- Création d'une agence spéciale : AERES
- Indépendante des institutions de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur
- Tous les membres publient et diffusent un CV
- Bonnes pratiques
- Aucune fonction de décision (responsabilité des établissements)

4

- Il n'y a pas d'évaluation des gestionnaires, des chercheurs et des enseignants-chercheurs

Mais

L'AERES est sur la voie  
de proposer des indicateurs

5

- Existence OST Observatoire des Sciences et des Techniques - Efficace - Complémentaire de ISI
- Pour chaque niveau (équipe, département, établissement) une liste de critères est publiée
- Toutes les missions d'un établissement sont objet d'un indicateur
- Question importante pour équipes associées (Université-CNRS ou INSERM, etc.)

6

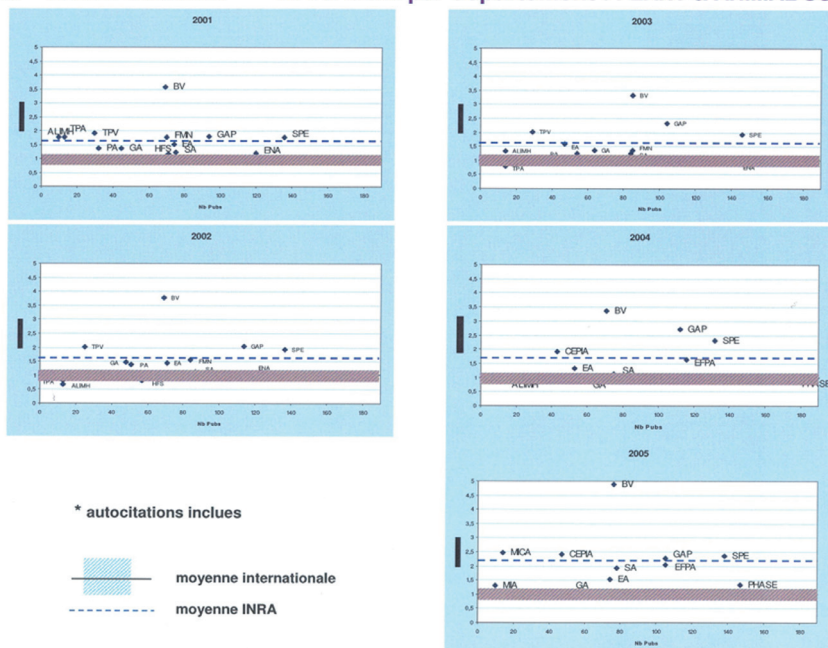
## EVALUATION D'UN ETABLISSEMENT

### Exemple INRA

#### Part des citations de l'INRA par discipline et à l'échelle mondiale

	Moyenne annuelle du nombre fractionnaire de publications	Indice mondial de spécialisation	Part mondiale des publications	Part mondiale des citations
Animal sciences	95,8	13,8	2,8	4,2
Agronomy	59	10,6	2,2	2,9
Horticulture	21,4	8,1	1,67	2,85
Food science & technology	112	9,8	2,1	2,6
Forestry	40,2	10,1	2	2,5
Plant sciences	143,4	7,8	1,5	2,27
Agriculture, soil science	32	8,3	1,62	1,65
Nutrition & dietetics	47,8	6,4	1,27	1,57
Mycology	7,8	4,2	0,77	1,12
Reproductive biology	21,8	5,6	1,1	1,1
Veterinary sciences	63,6	3,6	0,7	1,02
Microbiology	80,2	4,7	0,87	0,85

## Le " Crown indicator " CPP/FCSm par département : PLANT &amp; ANIMAL SCIENCES

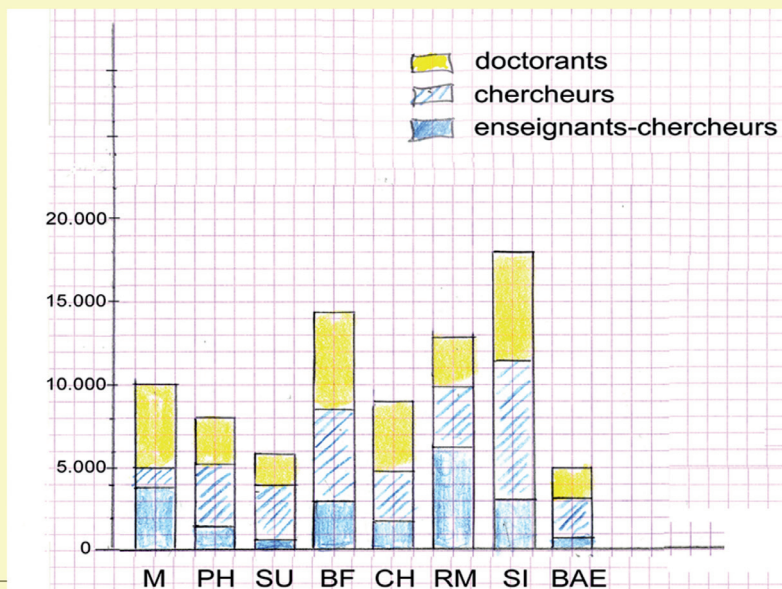


# EVALUATION DE LA RECHERCHE

## PUBLICATIONS ET CITATIONS

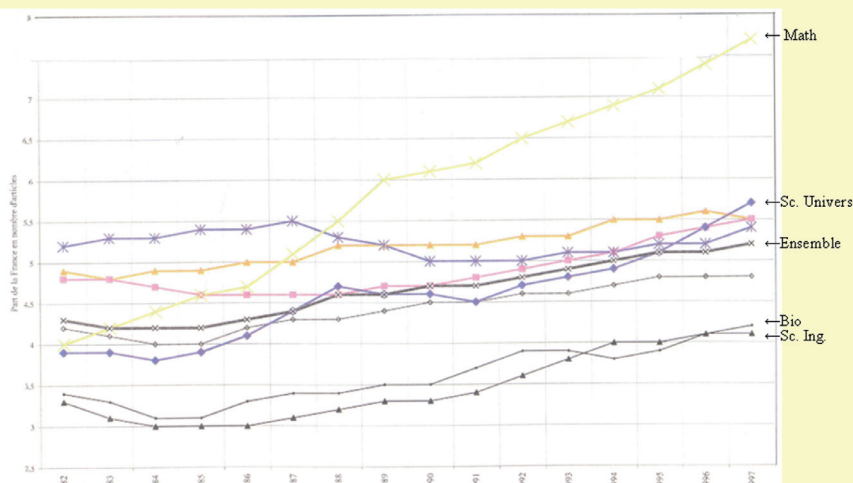
## FRANCAISES ET MONDIALES

### France : personnel chercheur du secteur public civil – répartition (en équivalent temps plein) selon la discipline (2003)



10

### Evolution de la part mondiale des publications scientifiques françaises en nombre d'articles

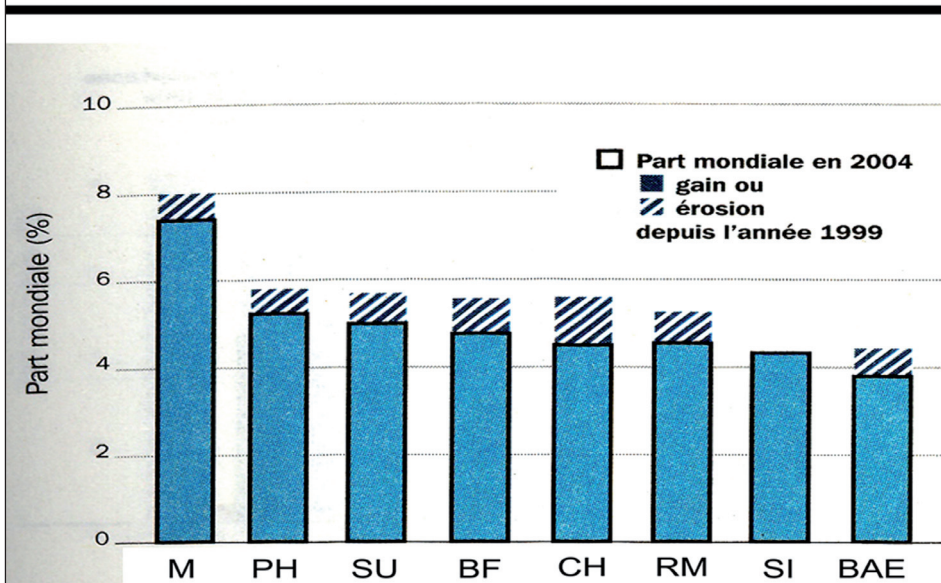


Source : OST, 2000.

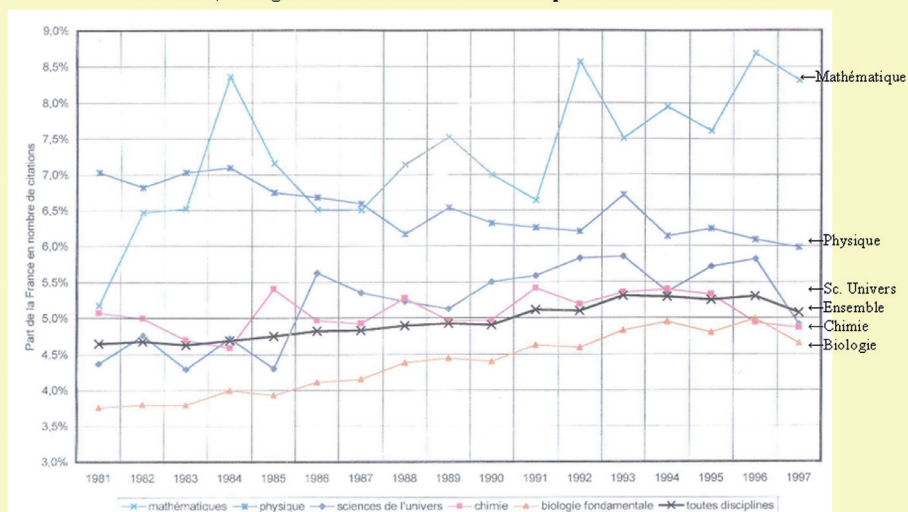
11



### Part mondiale (%) de publications à 2 ans de la France par discipline scientifique en 2004 et évolution entre 1999 et 2004



### Evolution de la part mondiale de la France en nombre de citations reçues par les articles publiés par les laboratoires situés en France en mathématiques, physique, sciences de l'univers, biologie fondamentale et toutes disciplines. Données ISI 1998



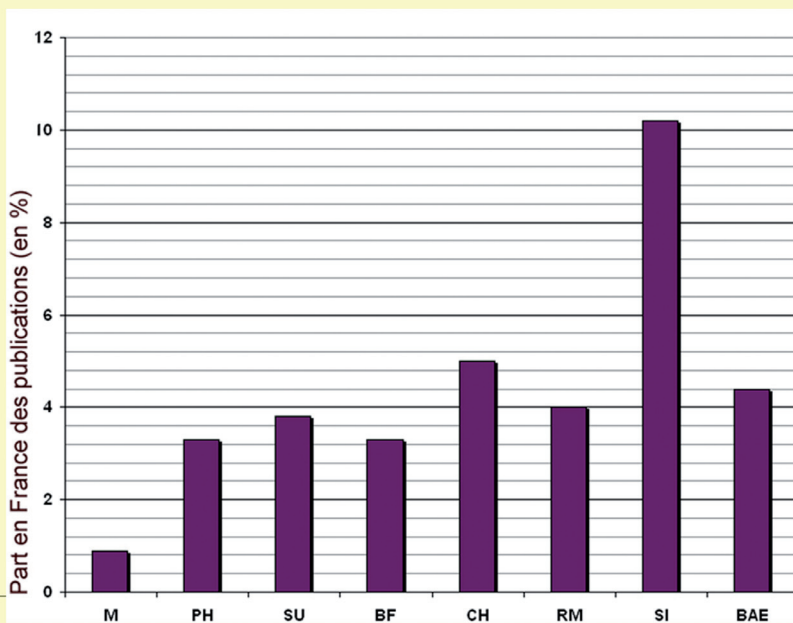
Source : ministère chargé de la Recherche, Bureau de l'information scientifique et technique, 2000.

## EVALUATION D'ENTREPRISES PRIVEES FRANCAISES

- Une première esquisse

15

Publications scientifiques des entreprises privées concurrentielles situées en  
France (Part en France des publications en %)



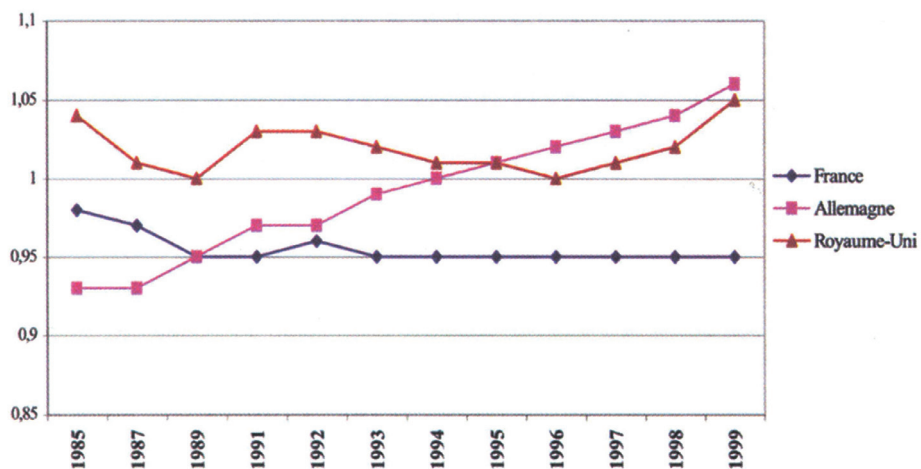
16



## EVALUATION SYNTHETIQUE EUROPEENNE

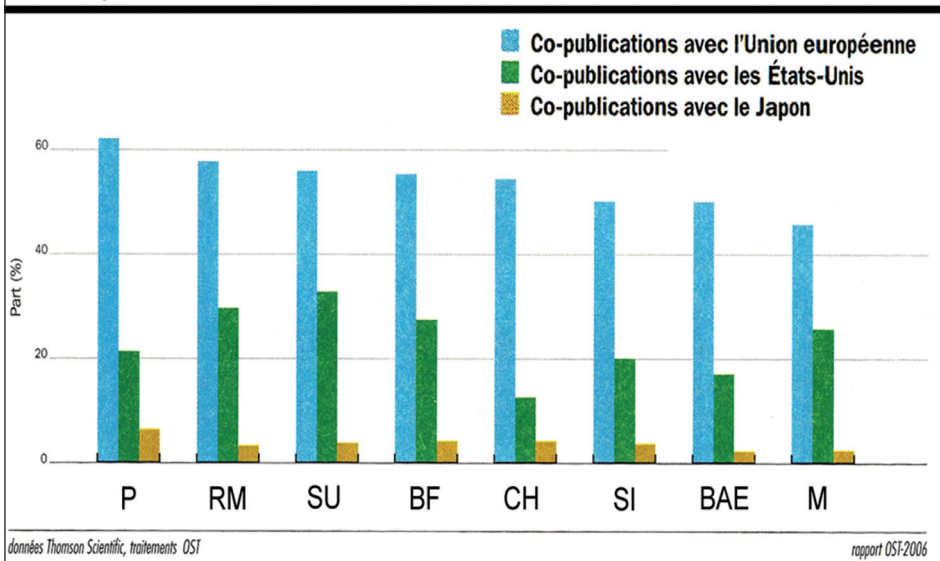
17

Figure 8 : évolution de l'indice de citation relatif à 5 ans des publications des scientifiques résidant en France, en Allemagne et au Royaume-Uni entre 1985 et 1999



Source : OST (2002).

Part (%) des co-publications de la France avec l'UE, les USA et le Japon dans l'ensemble des co-publications internationales de la France par discipline scientifique en 2004



## CONCLUSION

- Y a-t-il un lien entre données bibliométriques et la qualité?
- Y a-t-il une corrélation entre information statistique et les décisions politiques?
- Il y a peu d'évaluation fondée sur les brevets côtés ici.
- Il n'y a pas d'évaluation de la qualité pédagogique des enseignants-chercheurs.

**TECHNOLOGY, FORESIGHT, EVALUATION OF RESEARCH  
AND THE CHOICE OF DEVELOPMENT STRATEGY:  
REPORT FROM A FRENCH-SWEDISH MEETING  
(December 2007)**

***Pr. Erik SANDEWALL***

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



The interrelated topics of research evaluation, technology foresight and setting of priorities for continued research and development were addressed in a French-Swedish seminar in December, 2007, with participation from senior ministry officials. The meeting was organized jointly by the Swedish Ministry of Industry and the 'Association Franco-Suédoise pour la Recherche' (AFSR). I will review some important points from the discussion and from the conclusions of the meeting.

**Prospective technologique, évaluation de la recherche et le choix de stratégie de développement. Rapport de la réunion franco-suédoise.**

Les interrelations et interdépendances qui existent entre l'évaluation de la recherche, la prospective technologique et l'établissement des priorités pour assurer une recherche et développement pérenne ont été abordées lors du séminaire franco-suédois du décembre 2007, avec la participation de hauts responsables du ministère. Cette réunion était organisée conjointement par le ministère suédois de l'industrie et l'Association Franco-Suédoise pour la Recherche (AFSR). Je présenterai certains faits saillants de la discussion et des conclusions de cette réunion.

**1. Backgrounds**

- The upcoming EU-presidencies of France, the Czech Republic, Sweden and Spain;
- The continuation and renewal of the Lisbon process of the European Union;
- The interest, in the participating countries, of strengthening the strategic research activities.

**2. Example in point: Bioinformatics**

- Combination of Life sciences and Computing sciences is perceived as a priority topic. How shall it be developed?
- Several sources of expertise and insight must be combined on a global level

- A very large consensus-forming enterprise
- Which expertise is available and can be built on?
- What is the future going to be like, and what will then be important?
- Formulation of priorities in a way where they will also be adopted
- These topics must be addressed and updated continuously.

### **3. Biases in the concertation process**

- Disciplinary vested interests
- Competition between institutes
- Competition between regions
- Experts are often also agents of innovation and change

### **4. The Present Trend**

- Separated responsibilities in funding agencies
- Project portfolios for research groups
- Evaluation of performance is done on all levels
- Attempts to find reliable and objective measures
- Global and open policy setting based on roadmaps and foresight
- Increased impact on, and interaction with government agencies
- Summary: Modularization, Global arena

### **5. Government perspective**

- Is it in fact possible to remould the R&D system along these lines?
- If so, will the desired effects actually be achieved?
- Will there also be (undesirable) side-effects?

### **6. Researcher's perspective**

- Will researchers become more engaged, or less engaged in the choice of global R&D strategy as a result of the new trend?
- Will adhesion to the chosen strategy improve or deteriorate?
- How will these changes influence the balance between different disciplines and different research communities?

### **7. Some answers**

- No indication that the trend will be reversed in the foreseeable future
- Considerable reservations concerning the use of bibliometrics-based evaluations

### **8. Next steps**

- Deepened discussion and analysis of the role of industry partners and social services in these processes
- Consideration of the role of humanities and social sciences in the overall research strategies.

### **The Current Change in Project Structure.**

One observation that can be drawn from the presentations today is that the French and the Swedish systems for academic research projects - in universities and in research institutes - are converging; they have so far had very different structure, and they are changing in ways

whereby the differences are becoming smaller. The common factor is the desire, in both countries, to improve the systems for evaluation of research and to have as good a basis as possible for the choice of research directions and research strategy.

The following are some of the salient aspects of the new landscape where researchers increasingly find themselves today:

- Separated responsibilities: different funding agencies for different types of research activities, e.g. in the spectrum from basic to applied research.
- Project portfolios: research groups of some size can no longer rely on a single, long-term budget; they must maintain a 'portfolio' of multiple projects with different sponsors, different and overlapping durations, and more or less compatible goals.
- University level competition: evaluation of performance is done on all levels: individual researcher, research group, university department, entire university.
- Global and open evaluation, with attempts to find reliable and objective criteria for such evaluation.
- Global and open policy setting, and use of foresight as a basis for the choice of policies and research strategies. Ideally, both foresight and policy setting should be done on all levels, from the individual researcher to the levels of government, with strong communication in both the up and the down direction in the hierarchy, and with similar two-way communication also with industry
- Increased impact on, and interaction with government agencies. The ideal that was mentioned in the previous item can not always be achieved, and in practice there is sometimes a lack of communication that can lead to uninformed decisions on one side or the other.

### **The Perspective of Government**

The discussion above shows that there is desire to move towards an organization of research where available information is communicated and used in the best possible way throughout the system. Present organizational changes in our countries could hopefully contribute to this. The salient questions are :

- Is it in fact possible to make this transition?
- If so, will the desired effects *actually be achieved*?

These have been important underlying questions for much of the discussion during today's seminar.

### **The Perspective of the Research Community**

With respect to the perspective of the research community, the following are important questions:

- Researchers have important insights concerning the actual developments in their respective fields of competence. Ideally, these insights should be used in the total process of foresight and strategy setting. However, are researchers going to act and react in this way, and will there be venues or fora where they can participate effectively. In brief: will they be activated or passivized in this respect?
- How will these changes influence the balance between different disciplines and different research communities? Who are the winners, who are the losers?

**The Perspective of Industry and of Society at Large**

Last but not least, there is a question that has not been very much addressed during today's seminar, namely, the role and the participation of industry and of society at large in these processes of foresight, evaluation, and policy setting for research and developments. It is natural that a one-day seminar can not cover everything, and we made an active choice of focus for the seminar of today, but for the next seminar in the series there are several interesting topics that should be added, in particular:

- The role and the participation of industry
- The role and the participation of the humanities and the social sciences

## DISCUSSION



**- Pr. Sellama Nadifi (CSTV)**

Je tiens tout d'abord à remercier les orateurs pour les enquêtes qui étaient très exhaustives. J'ai une remarque c'est que la plupart sont des enquêtes quantitatives qui ne reflètent pas du tout une enquête analytique et je pense qu'il est de notre devoir de se mettre à réfléchir sur l'analyse de ces données notamment lorsqu'on parle de bibliométrie. Celle-ci doit être comparée au Maroc par rapport aux capacités des laboratoires au point de vue des équipements et au point de vue de la masse critique scientifique.

La question qui se pose: l'analyse de l'impact de la recherche faite au Maroc sur la santé sur l'agriculture, qu'est ce qu'elle a apporté de plus et quel le coût/bénéfice des réalisations.

**- Pr. Philippe Tanguy (CITIT)**

Je voudrais remercier le Dr. Bouabid pour son courage à aborder une question qui est très souvent l'objet de débats animés. Je voudrais aussi remercier le Dr. Sandewall pour m'avoir donné l'occasion d'introduire ma question à savoir, pour nous tous qui nous préoccupons de mécanismes d'évaluation, j'aimerais que nous réfléchissions véritablement à la façon d'introduire une réflexion sur la contribution de l'ingénierie et de la recherche en ingénierie dans les statistiques. Je m'explique : dans le domaine de l'ingénierie il n'est pas du tout évident que le mécanisme de publication soit le meilleur mécanisme pour le transfert. Très clairement, il y a plusieurs raisons à cela. La première si vous faites une recherche de type appliqué, vous avez souvent des questions de propriété intellectuelle et de propriété industrielle qui vont intervenir. On peut évidemment penser au brevet, mais même le brevet n'est pas nécessairement non plus le véhicule pour le faire. C'est simplement le transfert de savoir et le transfert de savoir-faire vers l'industrie qui est souvent très privilégié, et s'il y a un jour une publication elle paraîtra très tard.

La véritable question en fait c'est de savoir quelle est la contribution réelle de la recherche en ingénierie telle que je viens de la décrire dans le PIB parce que en fait les statistiques que l'on voit et qui nous ont été rappelés tout à l'heure et qui montrent cette magnifique corrélation entre le nombre de publications et le PIB/habitant ça laisse comme même un petit peu rêveur parce que c'est l'approche très classique des scientifiques qui font de la recherche fondamentale mais elle évacue tout un pan de l'activité économique et de l'activité industrielle. Et moi je crois que c'est un problème fondamental, je vis au Canada et je vois c'est un débat que nous avons très régulièrement et nous avons réussi à convaincre les agences de financement de la recherche d'en tenir compte mais je crois que nous sommes une situation un petit peu exceptionnelle au Canada, et globalement ce n'est pas le cas ailleurs dans le monde.

Je vous remercie.

**- Pr. Mohamed Besri (CSTV)**

Nous avons eu des exposés extrêmement brillants avec des conclusions qui peuvent être retenues par notre Académie. Je vais essayer de mettre l'accent sur quelques points qui m'ont paru être extrêmement importants notamment dans l'exposé de Rossi et Waast qui montre que le Maroc se trouve vraiment en queue de peloton. Je rejoins la question qui a été posée par Madame le Pr. Sellama Nadifi. Le Pr. Dercourt nous a donné les raisons de la situation et de la baisse des publications et de la qualité, mais je pense que nous avons des situations complètement différentes de la situation française pour quelques que je voudrais vraiment souligner. D'abord, d'après les exposés on a vu que le Maroc a eu une croissance spectaculaire dans les années 90. A cette époque la plupart des enseignants chercheurs étaient en préparation de doctorat. Ensuite après les soutenances, on constate qu'il y a généralement une chute des publications.



**CÉRÉMONIE D'INSTALLATION  
DU CHANCELIER ET ACCUEIL DE TROIS  
NOUVEAUX MEMBRES**



La session plénière 2008 a été marquée par l'installation du Pr. Mostapha Bousmina Chancelier de l'Académie et l'accueil solennel des personnalités nommées au cours de l'année écoulée à l'Académie par Sa Majesté le Roi Mohammed VI, que Dieu Le garde :

- M. Abdelaziz Meziane Belfkih, membre résident,
- M. Marcello De Sousa Vasconcelos, membre associé,
- M. Ismaïl Akalay, membre correspondant.

**Présentation du Pr. Mostapha Bousmina  
par le Pr. Omar Fassi-Fehri**

**Mesdames, Messieurs,  
Chers collègues,**

Au mois de juillet de l'année dernière, Sa Majesté le Roi Mohammed VI -que Dieu Le garde- a procédé à la nomination de notre collègue Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de notre Académie. Je voudrais au nom de nous tous le féliciter pour cet honneur et cette distinction, et pour la confiance placée en lui par Sa Majesté; les nouvelles responsabilités du Pr. Bousmina s'ajoutent à celles déjà nombreuses, qu'il occupe tant sur le plan scientifique que sur le plan de la société civile. Nous sommes tous convaincus que son action sera d'un apport essentiel pour la marche de notre Institution et connaîtra un succès assuré.

Pr. Mostapha Bousmina est un spécialiste en Génie Chimique; il exerce à l'Université de Laval, titulaire de la Chaire Senior de recherche sur la physique des polymères et des nanomatériaux. Il a obtenu son doctorat à l'Université Louis Pasteur à Strasbourg en France; il s'est formé dans les universités les plus prestigieuses et travaillé avec des personnalités scientifiques éminentes dont le Prix Nobel de Physique (1991) le Professeur Pierre-Gilles de Gennes. Son activité sur le plan scientifique est immense, et possède une production scientifique nombreuse. Il travaille sur plusieurs sujets en rhéologie, sur le système de la mise en œuvre et surtout dans le domaine des nanomatériaux. Il est en outre titulaire de nombreuses distinctions et de nombreux prix. Je ne vais pas les citer tous mais au moins quelques uns. Il est lauréat du Prix Louis Pasteur, du Prix de l'innovation en recherche, titulaire du Prix international Morand Lambla pour le meilleur chercheur à l'échelle internationale et je citerai enfin une distinction qu'il a obtenue en 2004, c'est la prestigieuse bourse canadienne Stacy.

Pr. Mostapha Bousmina préside plusieurs sociétés savantes et occupe des responsabilités au niveau de plusieurs instances scientifiques tant au Canada qu'en dehors du Canada. Il a été invité dans plusieurs pays à faire des conférences de réputation internationale. Le 18 novembre 2004, il a été nommé par Sa Majesté le Roi Mohammed VI membre de la Commission de Fondation de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques au sein de laquelle il a effectué un travail remarquable aux côtés des autres membres de ladite commission. Et je ne peux pas ne pas signaler l'immense honneur que lui a fait Sa Majesté le Roi en le nommant membre d'honneur de la Fondation Mohamed V pour la Solidarité, et nous savons tous quel prix attache notre bien aimé Souverain à cette Fondation qui porte le nom de son Grand-Père l'illustre Sa Majesté le Roi Mohamed V.

Au sein de l'Académie, Pr. Mostapha Bousmina a déployé des efforts remarquables pour appuyer toutes les actions que nous avons menées depuis son installation par Sa Majesté le Roi le 18 mai 2006. Le Pr. Mostapha Bousmina pilote aujourd'hui un des

projets importants que l'Académie a décidé d'appuyer, c'est le projet INANOTECH sur les nanotechnologies dans le cadre des projets initiés par l'association MASCIR.

A moi personnellement, il a apporté une aide inappréciable dans mon travail. Au sein du Conseil d'Académie, il a été d'une efficacité remarquable et je voudrais également dire à tous les collègues que l'année dernière, après plusieurs offres et propositions qui lui ont été faites par de prestigieuses institutions comme MIT aux USA, ainsi que des institutions au Japon, il a décidé de passer son année sabbatique, à laquelle il avait droit dans son Université de Laval, avec nous au Maroc; et aujourd'hui il a décidé de regagner la mère patrie pour développer dans son pays natal une recherche d'excellence tout en maintenant ses relations et son activité scientifique sur le plan international.

Je voudrais le féliciter encore une fois pour la confiance placée en lui par Sa Majesté et former des vœux de succès et de réussite dans sa vie professionnelle, dans sa vie scientifique, et aussi dans sa vie familiale. Merci pour votre attention.

\*\*\*\*\*

### Allocution du Pr. Mostapha Bousmina



Merci Monsieur le Secrétaire Perpétuel pour votre aimable introduction. Je suis extrêmement honoré mais en même temps j'avoue que je suis très ému.

أريد قبل كل شيء أن أعبر عن أصدق تشكراتي وخالص امتناني لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله بعدما حظيت بثقته الغالية وعينني في هذه المسؤولية. أرجو من الله تبارك وتعالى أن أكون عند حسن ظنه.

J'aimerais également remercier le Secrétaire Perpétuel le Pr. Omar Fassi-Fehri pour sa confiance. Je vais déployer tous mes efforts pour l'assister et pour travailler avec lui, avec ardeur et rigueur et je l'espère avec efficacité, pour mettre en œuvre les missions de notre Académie et atteindre les objectifs qu'elle s'est fixés.

I am very happy to come back to my country after passing quite two thirds of my life abroad. Many colleagues from Morocco and some of them from this Academy have visited my research group in Canada. Now I am letting behind one of the biggest laboratories in the world in my field to start a new career here in my country. I do it because I have met many valuable people here in Morocco and particularly our Permanent Secretary Pr. Omar Fassi-Fehri.

Yo encuentre una persona muy agradable, una persona la verdad que tiene mucho valores de integridad y de honestad, una persona que quiere a su país, una persona que trabaja duro por implementar y por desarrollar de manera pragmática y realista el sistema de investigación en Marruecos. Es la persona medio la gana el gusto de regresar a mi país y por hacer una causa muy importante.

Pour faire une chose très importante et qui a été évoquée par notre Secrétaire Perpétuel dans



son discours introductif lors de la séance inaugurale et qui représente un passage extrait du discours de Sa Majesté «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale». J'ai beaucoup apprécié de travailler avec Pr. Omar Fassi-Fehri, c'était pour moi une leçon d'être à ses côtés, un homme de rigueur avec une honnêteté incroyable, un homme qui veut servir son pays et un homme avec lequel j'ai eu beaucoup de plaisir de travailler.

Merci beaucoup

Thank you

Gracias

شكرا

\*\*\*\*\*

### **Présentation de M. Abdelaziz Meziane Belfkih par M. Rachid Benmokhtar Benabdellah**

Mes chers collègues,  
Mesdames et Messieurs,

C'est un honneur et un plaisir pour moi que de présenter M. Abdelaziz Meziane Belfkih, et vous m'excuserez si je suis ému et que si ce que je vais dire traduit ou trahit une certaine sensibilité car la personne que je vais vous présenter est avant tout un ami, un ami de très longue date, et peut être plus qu'un ami un complice auquel me lient de nombreux souvenirs mais aussi des réalisations. C'est aussi un compagnon duquel j'ai beaucoup appris et que je vais essayer de vous présenter. Je ne le présenterai pas de manière classique en me reportant à sa biographie, qui est d'ailleurs dans l'annuaire de notre Académie, mais je dirai quelques mots qui vont nous permettre de découvrir plutôt l'homme qui va se joindre à nous. Abdelaziz Meziane Belfkih est un ingénieur. C'est peut être quelque chose de commun, mais c'est un ingénieur comme on aimerait en avoir beaucoup parce qu'à la fois il est concepteur, organisateur, réalisateur et humaniste. Je pense qu'il est très difficile souvent de trouver en une seule personne toutes ces qualités.

Tout au long de sa carrière, il a été imbu du sens du service public, autrement dit il a porté très haut la fonction d'ingénieur au service de son pays et des populations et ce tout au long d'une carrière qui l'a porté de l'Ecole des Ponts et Chaussées dont il est lauréat jusqu'ici, à la Direction de l'Hydraulique, à l'Arrondissement des travaux Publics de Rabat puis plus tard à Laâyoune et puis par la suite de retour au Ministère à l'Inspection Générale, à la Direction des Routes, toute une carrière au service du public qui a abouti à sa nomination d'abord de Ministre de l'Agriculture et de l'Environnement, puis de Ministre des Travaux Publics et puis Ministre de l'ensemble c'est à dire Ministre de l'Agriculture, de l'Environnement et des travaux Publics et enfin Conseiller de Sa Majesté le Roi -que Dieu Le glorifie.

Vous conviendrez avec moi que c'est une carrière exceptionnelle, mais c'est une carrière qui ne tient pas au hasard parce que Abdelaziz Meziane Belfkih dans tout ce qu'il a fait a montré toujours un certain nombre de qualités, qualités de rigueur, de souci du travail bien fait, de la capacité d'organisation exceptionnelle et surtout un don c'est celui de savoir choisir son équipe et d'être toujours parmi les membres de cette équipe. Je ne l'ai jamais vu être au dessus de l'équipe. J'ai des souvenirs extrêmement touchants lorsque nous travaillions sur le rapport du cinquantenaire, et que parmi les membres de cette

équipe il y avait des jeunes beaucoup plus jeunes que nous, he bien ces jeunes avaient la même place et le même droit à l'opinion. Il était là pour mettre en avant et souvent en exergue ce qu'ils disaient. Tout ceci montre des qualités qu'il faut souligner.

Une autre qualité que je lui connais, c'est sa modestie, une modestie déconcertante. Autrement dit, il faut vraiment le chercher quelquefois pour qu'il ose dire ou qu'il dise quelque chose de bien sur lui-même. Il a toujours voulu être à jour, s'intéressant aux enjeux de notre planète, aux découvertes, aux défis scientifiques et technologiques et surtout aux grands problèmes de notre pays. Tout ceci lui a permis d'intégrer et d'aborder des problématiques extrêmement différentes et complexes, d'innover aussi au sein de son travail et avec ses équipes mais aussi dans le cadre des missions qui lui sont confiées aujourd'hui, sur les plans de l'organisation et des études. Dans tout cela, il y avait toujours le sens des qualités dont je vous ai parlé, mais aussi un souci d'appréhension de problèmes actuels comme celui d'anticiper des problèmes futurs. Ceci me rappelle quelque chose qui a été dit ce matin, il avait cette capacité aussi de s'arrêter sur les opportunités et de ne pas au contraire amplifier les difficultés. Et non seulement il le faisait pour lui-même mais il le fait pour les autres pour les pousser toujours à aller de l'avant.

Aujourd'hui, nous accueillons au Collège des Etudes Stratégiques et de Développement Economique notre compagnon Abdelaziz Meziane. Je pense et j'en suis sûr qu'il sera un apport certain à notre Collège et à notre Compagnie; et c'est pour ça qu'en mon nom, en votre nom tous, je lui souhaite la bienvenue.

Merci.

\*\*\*\*\*

### **Allocution prononcée par M. Abdelaziz Meziane Belfkih**



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

Mesdames et Messieurs les membres de l'Académie,

Je tiens à remercier mon ami Rachid Benmokhtar pour cette aimable présentation. Je pense que le rapport d'amitié et d'affection qui nous lie a pris quelque part le pas sur l'objectivité qui sied à un tel exercice.

Permettez moi aussi de dire mes remerciements à M. le Secrétaire perpétuel, M. Omar Fassi-Fehri, et au Conseil de l'Académie pour leur initiative de soumettre à l'Agrément de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, qui a bien voulu la confirmer, la proposition de ma désignation en tant que membre, résident, de cette honorable institution.

Je suis très honoré de cette désignation. J'espère pouvoir servir au mieux cette jeune institution et être utile en son sein.

Je suis aujourd'hui bien loin de l'arène scientifique réelle (et opérationnelle), mais

je continue de partager le beau combat de la science et je rêve, comme vous tous, de davantage de progrès scientifique et technique pour notre pays.

Notre institution, minaret naissant dans le paysage scientifique et technique marocain, est appelée à poursuivre son travail dans une perspective plus ouverte sur la société et l'économie et plus ouverte sur les mutations que connaît le monde dans les domaines de la science et des technologies. La tâche qui incombe à l'Académie est stratégique ; elle met sur les épaules de chacun de ses membres une responsabilité importante.

### **Chers collègues,**

L'Académie Hassan II est attendue sur le plan des valeurs, en ce sens que sa mission consiste à consacrer l'autorité et le prestige de la science, véritable valeur de toute modernité.

Elle est aussi attendue sur le plan des projets, à travers sa participation au développement scientifique et technique du Maroc, dans un rayonnement plus visible à l'international. Elle a, par ailleurs, toute sa place, dans l'immense chantier d'éducation scientifique de notre jeunesse ... pour faire aimer la science à nos jeunes ... pour faire éclore les vocations et confirmer les talents naissants ... pour engager sur la voie de la recherche un grand nombre d'entre eux.

De par ma modeste expérience dans le domaine des politiques éducatives, il me semble qu'un travail important attend notre pays dans ce domaine : celui de l'enseignement des sciences, de la diffusion de la culture et du raisonnement scientifiques, de l'articulation entre les savoirs scientifiques et les savoir-faire techniques et entre ceux-ci et les sphères de décision économique et sociale. un énorme chantier qui attend notre école et auquel l'Académie Hassan II devrait prendre part.

Je pense, par ailleurs, que la recherche scientifique et technique n'est pas un gadget ou un luxe pour un pays comme le Maroc (sous prétexte que notre pays devra d'abord en finir avec les questions primaires de scolarisation et d'alphabétisation). En effet, le Maroc peut, et doit, prendre part à la dynamique mondiale de la recherche et de l'innovation, et en faire un levier puissant de son développement. Il doit y œuvrer, avec ses modestes moyens, mais avec beaucoup de volonté et d'ambition. Il va ainsi de son intégration positive à la société mondialisée de la connaissance.

Telle est la perspective stratégique qui, à mon sens, devrait guider le travail de l'Académie et la contribution de chacun de ses membres.

Je voudrais finir mon propos avec cette citation de Condorcet, prononcée il y a plus de deux siècles, devant l'Académie des Sciences : « Des citoyens voués par état à la recherche de la vérité, instruits par l'expérience, et ce que peuvent les lumières pour la félicité générale (...) doivent porter plus loin leurs regards, et, sans doute, ont le droit de vous remercier (vous, membres de l'Académie) au nom de l'humanité, comme au nom de la patrie ». Je vous remercie.

\*\*\*\*\*

### Présentation de M. Marcelo de Sousa Vasconcelos par le Pr. Ahmed El Hassani

**Mesdames Messieurs,**

Permettez-moi de vous présenter brièvement la biographie de notre collègue Marcelo de Sousa Vasconcelos. Il est Membre Correspondant de notre Collège (Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer) depuis sa nomination le 18 mai 2006, par SM Le Roi Mohammed VI.

Mr Vasconcelos est Président du Conseil d'Administration à l'Agence Communautaire pour le Contrôle de la Pêche relevant de la Commission Européenne. Il est né à Lisbonne, en 1936, et après sa maîtrise en Sciences Biologiques (Faculté des Sciences, Université de Lisbonne) en 1960, il a fait sa spécialisation en Océanographie Biologique au Fisheries Laboratory, Lowestoft (Royaume Uni). Ses premières études ont visé la faune marine du Cap Vert et de l'Angola. Pendant les années 1980 il est membre de la Délégation Portugaise chargée des négociations (Pêches) avec la Communauté Européenne, puis Délégué National auprès de la Commission de la Pêche de l'OCDE et Membre de la Commission Nationale de la FAO, Coordinateur de la Présidence Portugaise de l'Union Européenne en 1992 (Pêches), ayant pris la Présidence du Groupe de Haut Niveau.

Depuis 1985, Directeur Général de l'Office pour l'Étude et le Plan de la Pêche et, après 1992, de l'Office des Affaires Européennes, Ministère de la Mer. Conseiller Scientifique de la Commission Européenne pour le 5<sup>e</sup> Programme Cadre de R&D et Conseiller spécial du Commissaire Franz Fischler pour la Réforme de la Politique Commune de 2002. Depuis 1995 jusqu'à 1998, Secrétaire d'État pour la Pêche et de 1998 jusqu'à 2002 Président de L'Institut de Recherche pour la Pêche et la Mer.

Parmi d'autres contributions, il fut responsable pour la conception des systèmes de Contrôle d'Activités de Pêche (SIFICAP) et de Monitoring par Satellite (MONICAP) (1985-87). Il est co-auteur, en 2000, du Plan stratégique européen pour la recherche (Pêche et Aquaculture), responsable pour l'évaluation du Domaine des Sciences de la Mer du Système de Recherche Publique au Maroc (2002-2003), auteur de deux études sur le futur de l'industrie de pêche en Angola : Diagnostics et Scénarios suivi de la Stratégie pour le Progrès et le Développement jusqu'à l'horizon de 2025 (2003-2004).

Depuis sa nomination à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, Mr Vasconcelos a participé activement au sein du Collège à la définition du Plan d'Action de celui-ci et a contribué à la réussite des réunions du Collège.

Aujourd'hui j'ai l'honneur et le plaisir de vous annoncer que SM Le Roi a décidé de nommer notre Collègue Vasconcelos « Membre Associé » de notre Compagnie. Je saisis cette occasion pour lui adresser en mon nom personnel et au nom de l'ensemble des membres du Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement de la Terre et de la Mer ainsi qu'au nom de tous les membres de notre Compagnie mes sincères félicitations et lui souhaite plein succès dans ses travaux.

\*\*\*\*\*

**Allocution prononcée par M. Marcelo de Sousa Vasconcelos****Prof. Ahmed El Hassani****Prof. Omar Fassi-Fehri**

Tout d'abord, merci Prof. Ahmed El Hassani pour la gentillesse de votre présentation. Pour moi, cet instant restera un des moments mémorables de ma vie et, certainement, un motif de très grande fierté.

Je remercie profondément Sa Majesté le Roi pour l'honneur qu'Il a décidé de me conférer, un honneur que j'espère bien mériter dans les années à venir.

En me rappelant des mots que Sa Majesté a prononcés à Agadir, je renouvelle mon engagement à agir pour la réalisation des objectifs fixés pour les Collèges et l'Académie, et je continuerai à donner le meilleur de mes capacités en m'associant dans la mesure du possible mais de façon solidaire aux efforts et actions ciblées pour le développement de ce beau pays et surtout le bien-être de son peuple, que j'ai appris à aimer il y a déjà des années.

\*\*\*\*\*

**Présentation de M. Ismail Akalay  
par le Pr. Phillipe Tanguy****Mesdames, Messieurs, chers collègues et amis,**

C'est avec un immense plaisir que je vais vous présenter un ami de 10 ans, le Dr. Ismail Akalay qui vient d'être nommé membre correspondant de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques par Sa Majesté le Roi et qui a rejoint le Collège de l'Ingénierie, Transfert et Innovation Technologiques. Ismail Akalay a effectué ses études supérieures à la Faculté des Sciences de Rabat dans le domaine de la chimie et est détenteur d'un Doctorat de l'Université Pierre et Marie-Curie en France (1985) en chimie des solides.

Il a également suivi plusieurs formations en management stratégique et en Executive Management à HEC-Paris et à l'Instituto de Empresa de Madrid. En 1986, Ismail Akalay rejoint le groupe ONA (la première holding industrielle et financière du Maroc) où il démarre une cellule de recherche en minerais du Groupe MANAGEM (la filière minière et hydro-métallurgique de l'ONA). Il est le premier universitaire à être recruté par Managem dont la politique de l'époque était de recruter des ingénieurs d'Ecole. Actuellement, le centre de recherche de Managem héberge une équipe de 140 personnes qui travaillent en étroite collaboration avec les universités. On y met au point des procédés de valorisation des minerais ainsi que des procédés de traitement des eaux résiduaires, pour l'industrie minière

mais aussi pour les industries agroalimentaires et textiles. Jusqu'à présent, 16 procédés industrialisés y ont été développés, une preuve éclatante que le Maroc a sa place dans le concert des nations innovantes et à la pointe des sciences et des technologies.

Au cours de sa carrière, le Dr. Akalay a occupé plusieurs fonctions de directions d'usine, principalement dans le traitement du cobalt. Actuellement, il est le Directeur Général de l'Hydrométallurgie et de la Recherche et Développement au sein de Managem. Il compte à son actif six brevets. Pour terminer, mentionnons que notre collègue est membre du directoire du Cobalt Development Institute à Londres. En mon nom, et en votre nom à tous, je lui souhaite la plus cordiale bienvenue au sein de notre Compagnie et lui adresse mes vives félicitations.

\*\*\*\*\*

### **Allocution prononcée par M. Ismail Akalay**



**Monsieur le Secrétaire Perpétuel,  
Mesdames et Messieurs les académiciens,**

Je suis très honoré par la décision de Sa Majesté de me nommer membre correspondant de votre honorable Académie. Je remercie mon collègue Philippe Tanguy de la présentation qui a été faite à mon sujet.

Je pense être le seul membre issu de l'industrie. Je m'engage à contribuer à faciliter le rapprochement entre l'Université et l'entreprise dans notre pays.

Au cours de mon parcours professionnel, j'ai démarré avec un budget annuel en R&D de 200 Kdh, vingt ans après nous avons réalisé 16 unités industrielles qui réalisent 50% du chiffre d'affaires de Managem, soit 1 milliard de dirhams. Le budget annuel de la R&D est actuellement de 20 millions de dirhams et 140 personnes travaillent dans notre centre de recherche.

Mon expérience, acquise au sein d'une entreprise minière, m'a appris à transformer des contraintes en opportunités, c'est ce que je compte faire au sein de notre Académie en toute humilité mais avec enthousiasme.

Je vous remercie de votre attention.

\*\*\*\*\*

**Thématique :**

**COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES**





## GET SET FOR THE KNOWLEDGE ECONOMY

*Pr. John O'REILLY*

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



In the transition from the 'industrial age' to a 'knowledge age' advances in science, engineering and technology (SET) together with people skilled in these areas have never been more crucial to success. But I observe that "real world problems do not respect the boundaries of established academic disciplines, nor indeed the traditional boundaries of science and engineering". So major SET advances commonly draw on and engage contributions from across the spectrum in interdisciplinary collaborations.

This speaks to the nature of research in the 'knowledge age', increasingly recognised as inherently interdisciplinary. In one sense it was ever thus, but the bar has been raised considerably by the pace of change and the intimacy of interaction today. At the same time many companies increasingly look towards universities for 'frontier' research. In this presentation I shall draw on my recent experience as head of a research funding agency in the UK (The Engineering and Physical Sciences Research Council) and now Vice-Chancellor of a university strongly committed to 'user engagement' in research. I observe that greater engagement with universities encourages industry to appreciate the need for and to 'buy into' the longer term, while universities find that the more intimate engagement with industrially-inspired challenges can open up new intellectual horizons; it's 'win-win', as they say.

The presentation will 'showcase' examples of frontier research with a strong emphasis on user-inspired interdisciplinary challenges, underscoring the vital importance of SET in a modern knowledge-based economy.



# LE RÔLE DES CROYANCES DANS LE PROCESSUS DU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ARGUMENTS POUR UNE RECHERCHE

*Pr. Nouredine EL AOUI*

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



## Introduction

Les limites de l'efficacité économique dans les pays en voie de développement en général et dans le « mode musulman » en particulier, sont attribuées, dans le sens commun, aux défauts de rationalité caractéristiques à la fois des structures productives, des institutions et des comportements des agents.

Analysant les liens historiques existant entre processus de développement et nature des institutions, la littérature économique, notamment évolutionniste et néo-institutionnaliste (Greif, 1989, 1993, 1994; Kuran, 1986, 1997, 2003; North, 2005), s'efforce de mettre en évidence le rôle de l'*architecture artificielle* - croyances, héritage culturel, règles, normes, valeurs, institutions, *Common Knowledge* -, dans l'échec du «monde musulman», «les rigidités apparues au sein (de ce monde l'ayant) évidemment empêché de poursuivre son expansion au-delà du 12<sup>e</sup> siècle, alors que l'Europe occidentale connaissait au contraire une dynamique de changement» (North, 2005, p. 68).

L'hypothèse sous-jacente à ces travaux met en avant trois séries d'arguments :

- La prédominance au sein des pays à tradition musulmane des *liens personnels* et *informels*, par rapport aux *liens impersonnels* et *formels* caractéristiques des formes modernes d'échange, n'a pas favorisé, à travers l'histoire, l'émergence d'institutions incitatives et propices au changement (droits de propriété, assurance, système judiciaire, etc.).
- Liée à des modes d'organisation *communautaire*, une telle prédominance se double de la prégnance de «croyances comportementales collectivistes», au moment où «l'orientation individualiste» du monde occidental médiéval a contribué à assurer durablement sa supériorité.
- En performant l'attitude des agents face au changement et en déterminant leurs choix, leurs décisions et leurs anticipations, les croyances «rationnelles» sont la source de l'efficacité adaptative des institutions qui sont la clé de la dynamique économique.

La présente contribution a pour objectif de tenter une introduction à l'analyse du statut ambivalent des catégories de rationalité et de croyances (au sens large) dans la théorie économique. Une telle approche institutionnaliste peut permettre, en référence aux intuitions

positives et pragmatiques d'Ibn Khaldûn, de fonder et de justifier l'efficacité des croyances et des affects dans la dynamique économique. On mettra, chemin faisant, en évidence le caractère réductionniste et a-historique des interprétations évolutionnistes, à tonalité culturaliste, voire génétique, de l'écart entre pays avancés et pays en développement.

## 1. La rationalité économique n'est plus ce qu'elle était

### 1.1. La rationalité dans ses limites

Deux origines, liées à la politique, de l'économie (Sen, 1993, p. 6) : l'une s'intéresse à l'«éthique», l'autre à ce qu'on pourrait appeler la «mécanique». La tradition éthique remonte à Aristote (*Éthique à Nicomaque*) : la politique, considérée comme la «première des sciences», doit utiliser «les autres sciences» y compris l'économie.

Cette dernière s'en tient, dans sa version classique, à l'énoncé canonique de la prévalence de l'*intérêt* sur la *bienveillance* dû à Adam Smith (Smith, 1776, p. 105) : «Ce n'est pas de la bienveillance du boucher, du marchand de bière ou du boulanger que nous attendons notre dîner, mais bien du soin qu'ils apportent à leurs intérêts. Nous ne nous adressons pas à leur humanité, mais à leur égoïsme ; et ce n'est jamais de nos besoins que nous leur parlons, c'est toujours de leur avantage».

Dans l'axiomatique néo-classique, l'hypothèse que «les vices privés font le bonheur public» (Hirschman, 1980, 1982) sera élevée au rang de principe procédural définissant une conception *conséquentialiste* de l'égoïsme et de l'intérêt individuel. Pourtant, les développements consacrés par le même A. Smith dans sa *Théorie des sentiments moraux* (1759) sont loin d'être équivoques quant à l'importance de l'*engagement*, au-delà même des catégories de *bienveillance* ou de *sympathie*, dans la détermination de l'action individuelle. Empruntée aux stoïciens, la distinction opérée entre l'«amour de soi» et la «prudence» qui est «parmi toutes les vertus, celle qui est la plus utile à l'individu» d'une part, la «bienveillance, la justice, la générosité et l'esprit public (qui) sont les qualités les plus utiles aux autres» d'autre part permet de définir le champ de l'économie politique en relation avec les limites apportées aux intérêts individuels par l'appartenance à la communauté.

Les limites de la rationalité économique dans sa version radicale, néo-classique, paraissent plus nettes lorsqu'on observe le comportement de *l'homo oeconomicus* «en société», une fois ce dernier soumis aux préférences des autres, subissant les contraintes liées à la vie collective. Cet *idiot rationnel*, qui est «à vrai dire un *demeuré social*» (Sen, 1993, p. 87-116, souligné par nous), un calculateur sans *affects* (Damasio, 2003), s'évanouit dès lors qu'est pris en compte, non pas un «classement de préférences unique et multifonctionnel» mais un répertoire complexe et hiérarchisé de préférences à la fois éthiques et subjectives: «les premières doivent exprimer ce que l'individu préfère (ou, plutôt, préférerait) en fonction des seules considérations sociales ou impersonnelles, et les secondes doivent exprimer ce qu'il préfère en réalité, que ce soit en fonction de ses intérêts personnels ou de tout autre critère» (Harsanyi, 1955, cité par Sen, 1993, p. 107).

On doit à John Maynard Keynes (*Théorie générale*, chapitre 12, p. 162-163) l'intuition relative à l'*incertitude* en économie, lorsque dans les affaires «les uns (sont) appelés à réussir, les autres à échouer. Mais personne ne (sait), même après coup, si les résultats moyens (sont) avec les sommes engagées dans un rapport supérieur, égal ou inférieur au taux de l'intérêt existant». Dans ce jeu de *loterie* «les hommes d'affaires jouent un jeu mixte d'adresse et de hasard dont les résultats moyens pour les joueurs ne sont pas connus de ceux qui prennent une main.» (Keynes, 1936). Plus loin, l'auteur de *la Théorie générale* se réfère explicitement à la catégorie de risque, catégorie pour le moins ambivalente, afin d'expliquer que «si la nature humaine n'avait pas le

goût du risque, si elle n'éprouvait aucune satisfaction (autre que pécuniaire) à construire une usine ou un chemin de fer, à exploiter une mine ou une ferme, les seuls investissements suscités par un calcul froidement établi ne prendraient sans doute pas une grande extension».

Dans une posture critique de la rationalité substantielle, les économistes «conventionnalistes» (Favereau, 1989, 2004; Orléan, 2004; Eymard-Duvernay *et al.*, 2006) ont tenté de fonder une démarche, à la fois *interprétative* et *compréhensive* des comportements des agents et de leurs actions individuelles et collectives, mettant en avant le rôle des *conventions* dans les choix, les décisions et les conduites stratégiques des agents (Lewis, 1969; Keynes, 1936).

La distance épistémologique observée par Keynes vis-à-vis de la vulgate de la rationalité absolue apparaît également dans les analyses qu'il consacra au jeu des «prophéties auto-réalisatrices» dans le domaine, notamment, de la finance et que tendent à accréditer les mouvements browniens des cours boursiers, notamment des produits dérivés et exotiques, dont la volatilité semble obéir davantage aux «biais cognitifs», psychologiques et émotionnels (Kahneman et Tversky, 1979) des traders qu'aux calculs stochastiques basés sur la pseudo rationalité des marchés. Ces dernières observations invitent à présent à aller au-delà des limites soulignées et à proposer une prise en compte des croyances, au sens large du terme, dans la surdétermination des choix économiques, notamment en matière de développement.

### Dans la pratique, les conventions

«Dans la pratique, nous sommes tacitement convenus, en règle générale, d'avoir recours à une méthode qui repose à vrai dire sur une pure *convention*. Cette convention consiste essentiellement - encore que, bien entendu, elle ne joue pas toujours sous une forme aussi simple- dans l'hypothèse que l'état actuel des affaires continuera indéfiniment à moins qu'on ait des raisons définies d'attendre un changement.

Ceci ne signifie pas que nous pensions réellement que l'état des affaires continuera indéfiniment. L'expérience constante nous enseigne qu'une telle hypothèse est des plus improbables. Les résultats effectifs d'un investissement au cours d'une période de plusieurs années concordent très rarement avec la prévision initiale. Nous ne pouvons pas non plus donner à notre attitude un caractère rationnel en disant qu'un homme en état d'ignorance n'a qu'une chance sur deux de se tromper et qu'il subsiste par conséquent une prévision moyenne du point de vue actuarial basée sur des probabilités égales. Car on démontre aisément qu'à vouloir fonder des probabilités arithmétiquement égales sur un état d'ignorance on aboutit à des absurdités. Dans la pratique nous supposons, en vertu d'une véritable convention, que l'évaluation actuelle du marché, de quelque façon qu'elle ait été formée, est la seule *correcte*, eu égard à la connaissance actuelle des faits qui influenceront sur le rendement de l'investissement, et que ladite évaluation variera seulement dans la mesure où cette connaissance sera modifiée ; encore que sur le plan philosophique une telle évaluation ne puisse être la seule correcte, car notre connaissance actuelle ne saurait fournir la base d'une prévision calculée mathématiquement. En fait il entre dans l'évaluation du marché toutes sortes de considérations qui n'ont aucun rapport avec le rendement futur. Néanmoins la méthode conventionnelle de calcul indiquée ci-dessus est compatible avec un haut degré de continuité et de stabilité dans les affaires, tant que l'on peut compter sur le maintien de la convention».

Source : Keynes (1936, p. 164-165, souligné dans le texte).

## 1.2. Où les croyances performent le réel

### *La théorie des forces productives et l'hypothèse de la sécularisation*

C'est par rapport au subjectivisme radical de la valeur-utilité que Karl Marx opposa dans *le Capital* (1867) un étalonnage de la valeur-travail par le temps dépensé. Sans vouloir revenir à un débat théorique, resté indécidable, sur la «transformation de la valeur en prix», il convient de noter que le *matérialisme historique* de Marx, contre la «gangue mystique» et le «fétichisme de la marchandise», vise à débusquer dans la fantasmagorie liée au capital les phénomènes d'aliénation. La détermination, en dernière instance (Althusser, 1965, 1975), de la «superstructure» (ensemble formé de croyances et d'institutions) par l'«infrastructure» (base économique, intérêts matériels, etc.) ne tend pas, loin s'en faut, à établir une relation causale entre le réel et les représentations du réel, entre la *substance* que traduit l'économie et les *formes* que figurent ce que l'on désignera, à la suite de Douglas North (2005) par l'*architecture artefactuelle* - croyances, héritage culturel, règles, normes, valeurs, institutions. Dans le paradigme marxien, tel qu'il a été revisité par Louis Althusser dans *Pour Marx* (1975), la réaffirmation de la détermination par l'économique, outre qu'elle doit être comprise comme une tentative de «tordre le bâton dans l'autre sens», a pour enjeu théorique moins l'élimination des croyances de la combinatoire des déterminations que la prise en compte de l'*intérêt souverain* (Lordon, 2006) dans les configurations que prennent les rapports et les processus sociaux.

Le réductionnisme matérialiste n'a pas été sans effets sur l'orientation prise dans les années 1960 et 1970 par la version hétérodoxe de l'économie du développement (théories de la dépendance, de l'échange inégal, de l'accumulation à l'échelle mondiale en termes de centre-périphérie, etc.). Participant, peu ou prou, de la «théorie des forces productives», cette dernière octroie un rôle globalement négatif aux croyances et aux systèmes de valeur dans le processus de développement. Dans cette perspective, le «procès du sous-développement» (Salama, 1976), analysé comme le résultat historique de l'agression coloniale et des déséquilibres structurels engendrés par l'introduction du mode de production capitaliste au sein des sociétés traditionnelles, ne peut être enrayé sans une déconstruction systématique des valeurs, des croyances et des représentations à la fois «archaïques» (consubstantielles aux sociétés traditionnelles) et «modernes» (liées aux institutions du capitalisme) dominantes au sein des pays sous-développés. Le mode de développement préconisé, de façon canonique, à l'ensemble de ces pays est ainsi fondé sur une double rupture que ne manquera pas d'induire, en termes de rapports sociaux et de croyances, un développement accéléré des forces productives (accumulation primitive du capital, industrialisation, progrès technique, etc.) : une rupture d'avec l'aliénation capitaliste et le fétichisme marchand d'une part et d'avec les structures mentales élémentaires et domestiques des pays sous-développés d'autre part. Ce n'est qu'en référence au modèle chinois de transition socialiste que sera prise en compte, dans certains travaux (Bettelheim, Charrière, Marchisio, 1968; Poulain, 1977), l'*efficace* des rapports sociaux et en particulier de l'action politique dite de masse, voire leur primauté par rapport au développement des forces productives associé au modèle standard de type soviétique.

Trop longtemps occultée en raison de l'effet structurant dont elle tend à créditer la religion, la corrélation établie par Max Weber (1909) entre «éthique protestante» et «esprit du capitalisme», entraînera, avec le renouveau du paradigme institutionnaliste, un regain d'intérêt pour l'analyse du rôle des facteurs non économiques en général, des valeurs et des croyances en particulier dans le processus de développement économique.



Pouvant exercer, par le biais de l'éthique du travail, de l'honnêteté, etc., un effet positif sur les performances économiques, la religiosité fait l'objet aujourd'hui de multiples réinterprétations (Barro et McCleary, 2003 ; Barro, 2005). Se référant à des indicateurs reflétant les croyances et les pratiques religieuses, la «théorie de la modernisation» met en évidence une corrélation négative entre niveau de développement et degré de religiosité dans un pays : «Au fur et à mesure qu'une économie se développe et s'enrichit, les individus deviennent moins religieux» (Barro et McCleary, 2003; Barro, 2005).

Rejoignant, dans ses prémices, la «théorie des forces productives», l'«hypothèse de la sécularisation» ne met pas moins en évidence la complexité et l'historicité des interactions entre l'économie et les croyances. Les trajectoires du développement dans le mode arabo-musulman peuvent, en effet, être appréhendées sous un jour nouveau dès lors que sont prises en compte les idiosyncrasies liées aux croyances en général et à la religion musulmane en l'occurrence. Les irrédentismes de type fondamentaliste qui traversent l'ensemble des pays arabes, «du Golfe à l'Océan», peuvent être appréhendés de ce point de vue comme une conséquence, directe ou indirecte, des tentatives de sécularisation ou de «modernisation de l'islam», menées dans le cadre de stratégies développementistes et économicistes. Traitant les facteurs non-économiques comme des facteurs secondaires, voire résiduels, le modèle nassérien de développement (Egypte), à titre d'exemple, n'a pu se déployer, tout au long des années 1950-1960, sans une action vigoureuse de réduction du champ de l'idéologie religieuse. Force est de constater que l'échec des expériences de développement économique (chômage, pauvreté, analphabétisme, exclusion, aggravation des pénuries humaines etc.) a contribué à renforcer, au contraire, les mouvements préconisant «l'islamisation de la modernité» comme alternative.

### *Plus réel que le réel, le symbolique*

La théorie standard a tendance à limiter, au plan théorique et méthodologique, le champ de l'économique à la dimension rationnelle des comportements et des interactions, individuels et collectifs, des agents (El Aoufi, 2008). Dans les pays en voie de développement cette théorie a pu imposer son hégémonie dans le champ intellectuel, pour ainsi dire, par défaut. Dans les pays avancés ces mêmes processus n'ont pas, pour autant, réussi à désarmer la critique et les tensions autour de (et pour) l'hégémonie théorique, voire intellectuelle (au sens de l'*intellectualité* de Simmel, 1986).

L'approche normative est performative des croyances, des représentations et des anticipations des agents, mais les axiomatiques qui lui sont constitutives l'affranchissent du principe de falsifiabilité et de réfutabilité propre à la science. La pensée positive et fonctionnaliste a tendance, quant à elle, à expulser du champ des sciences économiques les croyances, les valeurs, l'éthique, le sacré, les affects, sous prétexte que l'économie n'est pas une science morale. La problématique, à l'œuvre au sein de la philosophie économique, connaît aujourd'hui un regain d'intérêt imputable, au-delà des dérives du capitalisme financier (Aglietta, Rebérioux, 2004), à l'impact produit sur les firmes et sur les Etats par les nouvelles médiations que constituent la société civile, les ONG, etc. Sans entrer dans le débat qu'on ne fait que signaler, il importe de mettre en évidence non seulement la *part* du symbolisme dans les sociétés *composites* (Pascon, 1967) au sein des pays en voie de développement, mais aussi son *efficace* dans la performance des comportements individuels et collectifs et des anticipations des agents. De même, l'économie des pays en voie de développement, y compris dans sa composante dite moderne, étant irréductible à la sphère marchande, il serait

fallacieux de considérer comme non création de valeur l'ensemble des processus liés au don/contre don et l'ensemble des structures fonctionnant à la réciprocité et à l'altruisme.

Repousser radicalement l'anthropologie morale et l'ordre symbolique loin du champ de l'économie revient à réduire les relations sociales aux transactions marchandes et l'individu, tout à la fois agent économique et acteur dans la cité, à la vulgate de l'*homo oeconomicus* et, en dernière analyse, à vouloir expurger l'économie de la «scorie politique» (Amable, Palombarini, 2005). Le déterminisme économique, sans cesse réactivé par la théorie standard, tend à subordonner l'action collective à la logique inexorable des contraintes, des phénomènes d'hystérésis et des processus irréversibles.

On doit, en revanche, à la théorie hétérodoxe (Boyer, 2004; Eymard-Duvernay, 2001; Eymard-Duvernay, Favereau, Orléan, Salais, Thévenot, 2003; Sen, 1989, 1999), la mise en avant du principe constructiviste et la prééminence du rôle attribué au politique, aux «architectures institutionnelles» et à l'action publique dans la (re)fondation sociale.

La perspective suggérée par la Théorie de la régulation (TR) est que, sans constituer une surdétermination, l'action politique est l'ultime procédure permettant de rendre réversibles les irréversibilités et d'opérer un infléchissement des trajectoires économiques par rapport à la *dépendance du chemin* liée aux politiques d'ajustement structurel mises en œuvre dans les années 1980 au sein de la plupart des pays en voie de développement. La rhétorique de l'ajustement structurel n'étant pas sans lien avec les représentations fatalistes et le façonnage des comportements par rapport à l'impuissance publique et son corollaire l'«individualisme informel» : l'Etat ne pouvant s'engager au-delà de l'équilibre budgétaire, la planche de salut pour plusieurs catégories sociales semble résider dans les activités informelles et/ou illicites. L'équilibre financier ayant été érigé en norme, les secteurs sociaux ont dû subir la loi d'airain des restrictions budgétaires et leurs effets sur les indicateurs du développement humain n'en ont été que plus dévastateurs.

En effet, la contrainte externe a été inlassablement présentée, tout au long des années 1980, comme la traduction d'un déterminisme économique alors qu'il s'agit d'une hypothèse *ad hoc* qui, en l'occurrence, ne peut qu'être sujette à caution. De même, faisant l'impasse sur la complexité des statuts fonciers (terres collectives, indivision) et sur la nature hybride des modes d'exploitation des terres, les politiques de libéralisation de l'agriculture menées en Afrique et en Amérique latine, à titre d'exemple, ont débouché sur des situations de pauvreté et de vulnérabilité sans précédent ajoutant aux déséquilibres économiques et financiers des déficits d'ordre social et humain. De même, la non prise en compte des *positions* culturelles et culturelles des communautés villageoises par rapport au crédit et à la monnaie n'est pas sans lien avec l'échec des stratégies volontaristes de mécanisation de l'agriculture et de modernisation du monde rural. En effet, il y a lieu d'observer que le décryptage des ordres institutionnels traditionnels prévalents au sein des pays en voie de développement (croyances, mythes, coutumes, systèmes de parenté, etc.) aurait pu (et dû) inspirer, à moindres frais et sans tomber sous les conditionnalités des organismes financiers internationaux, les politiques de retour aux équilibres fondamentaux.

L'Economie des conventions (EC) conjugue dans son approche trois registres disciplinaires correspondant au «pluralisme des modes légitimes de coordination» (Eymard-Duvernay, Favereau, Orléan, Salais, Thévenot, 2006) : le droit ou la théorie de la justice, la sociologie ou les régimes d'interprétation, enfin la philosophie morale, l'éthique et la critique politique.

A cette économie politique fondée sur la valeur du bien commun, la tendance dite néo-réaliste de la théorie de la régulation (Amable, Palombarini, 2005) oppose une théorie du changement institutionnel et de la régulation des conflits d'intérêts entre dominants et dominés pour ainsi dire séparée de sa «gangue morale».

Cette divergence autour de l'efficace du symbolique entre l'économie des conventions et la théorie de la régulation nous paraît pour le moins secondaire dès lors que le périmètre de l'analyse articule les deux sphères marchande et non marchande du capitalisme et qu'il s'étend aux sociétés traditionnelles des pays en voie de développement. De fait, comme le suggèrent les travaux fondateurs de la régulation, une théorie du capitalisme est incomplète sans une prise en compte de la *métaphysique du capital*, c'est-à-dire de l'ensemble des croyances, des valeurs et des mythes qui le structurent et fondent ses formes expérimentales. L'analyse menée par Michel Aglietta et André Orléan en termes de rivalités mimétiques et de processus victimaires, en référence à René Girard (1972), pour expliquer les phénomènes de violence par et autour de la monnaie constitue, en l'occurrence, une sorte de réhabilitation du sacré dans le champ référentiel de la théorie de la régulation.

Dans la même optique, les tonalités «économiste» et «agnostique» ont été infléchies, de façon significative, dans les derniers développements de la théorie de la TR (Lordon, 1999), «certains régulationnistes (...) se sont attaqués à la grande question de la formation des représentations légitimes (...) et même du rôle du *symbolique* (parfois de l'archaïque) dans la légitimation des politiques économiques et des réformes institutionnelles» (Boyer, 2005).

### 1.3. Le rationnel, le raisonnable et l'institutionnel

La théorie de la régulation et l'économie des conventions ont contribué, on l'a vu, à refonder la coordination et l'action politique par rapport au *conflit d'intérêt* et à sa résolution par le *compromis institutionnalisé* (pour la première), à la *justification de l'intérêt* et au dépassement de l'*épreuve critique* par la *convention légitime* (pour la seconde). En réincorporant l'ordre politique et moral, les deux approches hétérodoxes pointent du doigt, chacune à sa manière, non seulement les limites de la «rationalité absolue» sous-jacente à la théorie standard, mais également les insuffisances de la «rationalité limitée» ou «procédurale» (Simon, 1976, 1978) définissant la théorie standard étendue (Favereau, 1989). Au-delà de l'imperfection de l'information entachant les choix stratégiques et les jeux adaptatifs des acteurs, ce qui est considéré comme décisif c'est, outre la prise en compte de la configuration dominante, matérielle et objective, des luttes et des rapports de force entre les individus ou les groupes (TR), l'*interprétation* des interactions sociales par les acteurs et la mobilisation de l'ensemble de leurs ressources, y compris les registres symboliques (EC).

En somme, il s'agit de mettre en évidence, par rapport aux jeux non intentionnels des individus et des groupes, la dimension *réflexive* et, par conséquent, le rôle *des arrangements institutionnels* (Aoki, 2006 ; Williamson, 1994; Commons, 1934) dans la coordination de l'action sociale et la régulation politique.

Cet infléchissement de registre, du *rationnel* vers le *raisonnable*, ce dernier réservant une place non négligeable aux *incitations* comme aux *contraintes* liées aux systèmes de valeurs, on suggère de l'ériger, par référence à Ibn Khaldûn, en *pragmatisme méthodologique* dans l'analyse, précisément, des processus du développement économique, notamment dans le monde arabo-musulman.

### *Une anthropologie pragmatique et évolutionniste*

L'approche khaldûnienne a souvent été interprétée par les chercheurs, notamment les sociologues (Lacoste, 1966) et les économistes (Dowidar, 1974) comme une approche historique mettant en évidence les invariants et les causalités récurrentes dans le mouvement de la civilisation. Les économistes ont par ailleurs donné de la *Muqaddima* une interprétation l'associant à une œuvre posant, de façon pionnière, les fondements de l'économie politique dans la même perspective *objective* qui sera, quelques siècles plus tard, élaborée par les classiques, notamment par A. Smith et K. Marx, autour de la valeur-travail.

Il convient certes de souligner, ainsi que le propose Abdellah Laroui (1996), les limites d'ordre historique des analyses d'Ibn Khaldûn, il n'en demeure pas moins que la prise en compte de son «naturalisme moderne» confère «à son universalisme un caractère radical, indépendant des réalités empiriques» et lui permet de «construire des concepts universels comme ceux de la sociabilité, de pouvoir et de civilisation, valables pour toute société» (Cheddadi, 2006, p.472).

Occupant une place barycentrique dans l'anthropologie khaldûnienne, le pouvoir politique fonctionne comme le moteur de la civilisation ou du *'umran* (Cheddadi, 2006) : le pouvoir et l'Etat sont la *forme* et la civilisation la *matière* (*Livre des exemples*, p. 612). Au sein de la combinatoire composée du pouvoir politique, de la production des moyens d'existence, des sciences et des techniques, la première instance est déterminante.

Le modèle khaldûnien définit d'abord une configuration générique : «l'humanité est selon lui formée d'individus libres, autonomes et égaux» (Cheddadi, 2006). C'est par rapport à ce niveau universel que sont appréhendés les lois de fonctionnement de l'économie et les processus de production matérielle, technique et scientifique des moyens d'existence (*ma'âsh*).

Ensuite, au plan historique la civilisation se développe selon un schéma de développement asymétrique articulant, outre le monde rural (agriculture et élevage) et le monde urbain (artisanat, commerce, activités scientifiques, techniques et culturelles), une variété de formes hybrides et en situation de transition.

Comme tout phénomène naturel, la civilisation naît, se développe puis meurt. La plupart des lecteurs d'Ibn Khaldûn n'ont pas manqué de voir dans cette métaphore biologique appliquée aux civilisations une conception cyclique et circulaire du développement : une montée de *badawa* (la ruralité) vers *hadâra* (citadinité), suivie du déclin inexorable dès lors que la *'assabiya* en vient à se déliter et que tarissent les sources de la croissance sous l'effet conjugué des prédateurs, de l'injustice et de la corruption qui deviennent un mode dominant du *mulk* (souveraineté).

Contrairement à la notion de cycle, celle de *trajectoire* permet de restituer au paradigme khaldûnien sa profondeur historiciste et sa cohérence théorique, la première renvoyant à la circularité du temps, à l'irréversibilité des processus sociaux et à la reproduction des configurations sociales (l'éternel recommencement), alors que la seconde suggère un mouvement de l'histoire par scansion et par inflexions, un changement s'opérant par crises et par apprentissages. Selon cet évolutionnisme khaldûnien fondé sur l'apprentissage, la civilisation urbaine est d'abord un phénomène étatique et le rôle des institutions (concept de *dawla* associé au *mulk* ou pouvoir temporel) dans la création des cités est décisif.

L'auteur est tout à fait clair sur la nature de la détermination institutionnelle de l'action de l'Etat lorsqu'il définit ce qu'il appelle le gouvernement par les règles de la raison (*siyâsa 'aqliyya*) par rapport au gouvernement par la loi religieuse (*siyâsa dîniyya*) et au gouvernement selon la nature (*siyyâsa tabî 'iyya*). Le *pragmatisme méthodologique* d'Ibn Khaldûn pourrait ainsi se définir la fois comme une critique des formes de l'irrationnel constitutives des processus sociaux et mentaux dans le monde arabo-musulman et comme une affirmation des liens entre apprentissages et changement, ce dernier étant, en l'occurrence, le produit de l'assomption de la «raison pratique» par les individus et la société. De cette économie réflexive et pragmatique, on peut inférer deux linéaments que l'auteur semble préconiser pour briser les trajectoires de déclin dans le monde arabo-musulman : l'usage politique, c'est-à-dire raisonnable, de la rationalité et le déploiement des ressources éthiques et morales propres à la religion comme «*wazih*» contre les comportements opportunistes et pour enrayer les trajectoires du déclin.

### *Les trajectoires du déclin*

Dans le chapitre 3, paragraphe 41, intitulé «L'injustice détruit la civilisation», Ibn Khaldûn analyse la trajectoire du déclin en mettant l'accent sur l'effet cumulatif provoqué, en dernière instance, par l'injustice sociale (*'addolm*). Pour Ibn Khaldûn l'injustice est consubstantielle aux formes domestiques que prend la *gouvernementalité* (au sens de Foucault, 2004) : non seulement un pouvoir se déployant sur le territoire, mais aussi et surtout un «bio-pouvoir» exercé sur les corps et sur la vie. Se référant à Al-Mas'ûdi, il rapporte ces propos tenus par le *Môbed* - la plus haute autorité religieuse - exprimant au souverain perse son mécontentement : «Sire, tu as enlevé leurs fermes aux paysans, à ceux qui payaient la contribution foncière et de qui tu tenais ton argent. Ensuite, tu en as fait des fiefs, que tu as donnés à tes courtisans, à tes serviteurs, à des incapables. Ils n'ont pas cultivé ces terres, insoucieux des conséquences. Mais, en raison de leur intimité avec toi, on les a dispensés d'impôt. Ce qui a augmenté la charge pesant sur les épaules des vrais cultivateurs, des vrais contribuables. Ces malheureux ont dû abandonner leurs terres et leurs maisons, pour se réfugier le plus loin possible. C'est ainsi que la culture a faibli et que les fermes sont tombées en ruine. Faute d'argent, l'armée et le peuple ont dépéri. Et tes voisins convoitent ton royaume, sachant qu'il a laissé détruire les fondements mêmes de l'empire».

«Par injustice, il ne faut pas entendre seulement la spoliation sans compensation ni motif. Certes, c'est là l'interprétation la plus commune, mais il s'agit de quelque chose de plus général que cela. C'est commettre une injustice que de prendre les biens de quelqu'un, ou de le faire travailler de force, ou de lui réclamer autre chose que son dû, ou de le soumettre à une obligation illégale».

Pour Ibn Khaldûn l'injustice contribue à ruiner la civilisation et, partant, l'Etat dont elle est la substance. Diverses formes de domination (*asnâf al-taghallubât*) et de contrainte par la force (*al-ghalaba wa al-qahr*) mises en évidence et analysées par l'auteur, sont observables dans toutes les sociétés historiques (exactions fiscales, captation de revenu, expropriations, etc.). Elles prennent appui dans le monde arabo-musulman sur une transposition de la relation de soumission envers Dieu et sur sa généralisation, de façon verticale et horizontale, aux rapports politiques, sociaux et domestiques (Laroui, 2008). Une telle démarche *interprétative* des croyances est, dès lors, réversible : elles sont susceptibles de fonder une *architecture artefactuelle* rationnelle et positive et d'infléchir au sein du monde arabo-musulman les trajectoires régressives liés à l'«héritage culturel».

## 2. Croyances, institutions et développement

### 2.1. Où le développement a partie liée avec les «croyances rationnelles»

Il a été suggéré dans les développements précédents une interprétation institutionnaliste des travaux d'Ibn Khaldûn dans la mesure où il met l'accent sur les formes d'exercice du pouvoir et les règles de comportement dans la grammaire des civilisations. De même il a été souligné la présence, en creux, dans la *Muqaddima* d'une pragmatique raisonnable du développement incorporant le changement institutionnel et la dynamique des apprentissages.

Par conséquent, il n'est pas sans fondement de prétendre que Ibn Khaldûn fut le premier à avoir saisi, de façon rigoureuse, les causes du déclin, à partir du XIV<sup>ème</sup> siècle, dans le monde arabo-musulman. En analysant en profondeur les enchaînements régressifs engendrés par l'altération du double *wâzi'* (autorité et contrainte) politique (développement de comportements tyranniques et prédateurs du pouvoir politique) et culturel, notamment religieux (rigidification de l'effort législatif incitant les individus à rechercher des arrangements informels en dehors du *fiqh*), l'auteur a voulu montrer le rôle majeur joué par les formes institutionnelles, et leurs différentes traductions aux niveaux politique, économique, social et culturel, tant dans la grandeur civilisationnelle du monde arabo-musulman (entre le XVII et le XV<sup>ème</sup> siècles) que dans son involution ultérieure.

Ainsi comme le souligne à juste titre Abdesslam Cheddadi, pour le «théoricien de la civilisation», le monde arabo-musulman sera confronté à une série de «fragilités structurelles» «lorsqu'il sera appelé à s'adapter à des conditions nouvelles» et lorsque «sonnera l'heure des changements nécessaires face à la montée européenne» : outre «la cohérence et la solidité des structures sociales du monde rural dans les sociétés musulmanes, conjuguées avec la faiblesse traditionnelle de leur monde urbain», il y a lieu de noter celle «liée à l'équilibre instable que doivent réaliser les régimes politiques des sociétés musulmanes entre (...) les mécanismes naturels du pouvoir qui a partie liée avec les structures sociales et la psychologie individuelle d'une part, et le cadre institutionnel qu'impose la religion, de l'autre.» (Cheddadi, 2006, p. 488).

Peut-on, dès lors, rechercher dans la «spécificité» du modèle institutionnel la clé d'explication de la bifurcation historique empruntée par le monde musulman et de son éloignement du modèle de développement occidental ? Où réside «l'originalité» du système islamique ? Pour Ibn Khaldûn, ce qui est en cause est moins l'intrication du séculier et du spirituel que la soumission de la *dynamique* de l'économie et de la société à la *statique* institutionnelle et à du régime d'interprétation. Fonctionnant comme un atout «durant toute l'époque médiévale, écrit A. Cheddadi, dans la mesure où tout un pan du pouvoir législatif et l'initiative de réforme étaient détenus par ce que nous appellerions aujourd'hui la société civile, ce qui donnait à cette dernière la capacité de résister aux dérives de l'arbitraire et de la tyrannie» (Cheddadi, 2006, p. 489), cette configuration institutionnelle au sens large (valeurs, croyances, cultures, normes, règles) s'est vue transformée, au fil du temps, en canonique rigide, figée et quasi-désencastrée par rapport à l'évolution du monde.

Cette perspective khaldûnienne à la fois institutionnaliste et historiciste, reprise à peu près dans les mêmes termes par M. Hodgson (1974, 1998) et Gellner (1981), fait l'objet aujourd'hui d'une reformulation théorique qui, dans le contexte géopolitique de l'après 11-septembre, est susceptible de donner lieu à une nouvelle doxa culturaliste sur le monde



arabo-musulman, son histoire, son évolution économique, son mode de gouvernance, ses structures sociales, son système de valeurs , etc.

Les travaux de Avner Greif (1989, 1994a) sur le commerce méditerranéen aux 11<sup>e</sup> et 12<sup>e</sup> siècles, établissant une comparaison entre les «négociants génois» et les «commerçants maghribi », font ressortir une série d'hypothèses enchevêtrées, de niveau théorique inégal et dont la portée va au-delà de «l'étude de cas» :

- Pour l'auteur il existe une différence dans les formes d'organisation sociale et les systèmes de croyances entre les Maghribi (par extension le monde arabo-musulman) et les Génois (par extension le monde occidental) : de nature «communautariste» ou «collectiviste» dans le premier, elle est «individualiste» dans le second.

- La configuration des rapports inter-individuels demeure chez les Maghribi dominée par le type *personnel* alors que dans le monde latin elle s'est transformée en un mode de relations et d'échanges *impersonnels*.

- Les rapports «communautaires» et «personnels» consubstantiels aux sociétés arabo-musulmanes renvoient à un mode de coordination «horizontale» où l'action individuelle ou collective se trouve légitimée eu égard aux principes de confiance et de réciprocité. En revanche, l'inflexion individualiste opérée par le monde occidental n'a pas manqué de réorganiser les transactions selon une modalité «verticale» où la relation principal-agent est encadrée par le droit, notamment le droit des contrats.

- Les institutions de type «communautaire» et «personnel», si elles sont efficaces en situation d'échanges restreints et internes au groupe et dans le cadre d'une organisation sociale de type tribal et ethnique, elles constituent cependant un frein, voire un facteur de blocage dès lors qu'il s'agit de commerce lointain et d'échanges entre des communautés de cultures différentes.

- Dans le registre des «croyances culturelles» A. Greif opère un clivage entre les *croyances rationnelles* lesquelles, en structurant les «points focaux» ou la « connaissance commune» par référence à la théorie des jeux, tendent à favoriser la coordination des actions des individus et à faciliter leurs anticipations d'une part, et les *croyances irrationnelles* et fatalistes ne favorisant guère le progrès d'autre part.

- Enfin, dans une perspective évolutionniste, l'auteur met en évidence une *dépendance du chemin* entre les *croyances culturelles rationnelles* d'une part, les trajectoires de développement empruntées par les sociétés d'autre part. L'introduction dans le monde occidental d'«institutions formelles» comme la firme, les droits de propriété, le crédit, les tribunaux du commerce, etc. n'a pas été sans lien avec le développement de l'occident, contrairement au monde arabo-musulman qui n'a pas réussi à entreprendre de telles innovations institutionnelles et organisationnelles.

Plusieurs observations peuvent être formulées eu égard aux hypothèses sous-jacentes à l'analyse de A. Greif (Talahite, 2007), notamment au niveau méthodologique : l'écart de deux siècles séparant les deux configurations étudiées des Génois et des Maghribi, l'existence dans le monde arabo-musulman depuis la période de *'tadwin* (au II<sup>ème</sup> siècle de l'hégire) d'un référentiel législatif assez formalisé en matière d'organisation des échanges, d'encadrement des relations d'agence, d'anticipation des risques liés au commerce lointain, etc.



Par ailleurs, il n'est pas tout à fait juste de réduire, comme le fait l'auteur, les rapports sociaux et les croyances culturelles à la dimension collective, l'engagement de l'individu et sa responsabilité juridique et pénale est non seulement affirmé de façon explicite dans les textes mais il trouve plusieurs traductions dans l'exercice, au fil du temps, de la jurisprudence et la mise en œuvre des routines et de «l'habitus» (au sens d'Ibn Khaldûn).

Sur le plan épistémologique, l'approche par Greif des «croyances culturelles rationnelles» peut paraître insuffisante et à bien des égards contingente, voire anecdotique en comparaison avec l'analyse historique et institutionnelle, à portée universelle, que consacra Ibn Khaldûn aux liens existant entre la «civilisation urbaine», et la «civilisations des mœurs» et des comportements via le développement des sciences et des arts et que, selon lui, illustre fort bien l'exemple des sociétés musulmanes : «On peut rappeler à cet égard ce qui a été déjà dit à propos de Bagdad, Cordoue, Kairouan, Basra et Koufa. Au début de l'islam, leur population était nombreuse et la civilisation urbaine s'y était bien implanté. Les sciences y étaient épanouies, les terminologies de l'enseignement et les différentes catégories de sciences développées; de nouveaux problèmes étaient posés et de nouvelles disciplines inventées. Ainsi, les habitants de ces villes surpassèrent ceux qui les ont précédés et ceux qui sont venus après eux. Mais, lorsque la population de ces villes décrut et que leurs habitants se dispersèrent, tout cela disparut de la scène. Les sciences et l'enseignement désertèrent ces cités et se transportèrent dans d'autres villes de l'islam» (Ibn Khaldûn, *Al-Muqaddima*, p. 848-850).

L'effet de la connaissance, de l'apprentissage et de la culture sur les comportements et les mentalités est crucial chez Ibn Khaldûn. Comparant les «Orientaux» et les «Maghrébins», il constate que ces derniers, lorsqu'ils voyagent en Orient, croient «que les orientaux ont, en général, une intelligence plus parfaite que celle des gens du Maghreb. Ils pensent également que l'âme rationnelle des Orientaux est, par nature, plus parfaite que celle des Maghrébins. Ils croient que la différence qui existe entre eux et nous est une différence dans la réalité humaine, à cause de l'habileté dans les sciences et les arts qu'ils remarquent chez eux» (Ibn Khaldûn, *Al-Muqaddima*, p. 847).

Dans un passage (cité par Cheddadi, 2006, p. 407), Ibn Khaldûn est encore plus explicite sur les «mécanismes de l'influence culturelle» et sur «le surplus d'intelligence dû à l'influence qu'exerce la civilisation urbaine sur l'âme» : «les citoyens observent certaines règles dans tous leurs comportements, aussi bien pour ce qui est de leurs moyens d'existence que pour leur manière de se loger et de bâtir, ainsi que pour tout ce qui concerne leurs affaires religieuses ou mondaines, leurs affaires commerciales et toutes leurs autres activités. Ils ont en tout cela certaines règles qu'ils doivent respecter dans ce qu'ils font ou ne font pas. Ce sont, en quelque sorte, des limites qu'ils ne doivent pas transgresser, et, en même temps, des arts qu'ils se transmettent de génération à l'autre. Or, il ne fait pas de doute que tout art a sa place dans un ordre, et qu'il exerce sur l'âme une influence dont résulte un surplus d'intelligence qui lui permet de recevoir d'autres arts» (Ibn Khaldûn, *Al-Muqaddima*, p. 847-848).

L'analyse khaldûnienne constitue, ainsi, une réfutation des idées culturalistes «modernes» à tonalité génétique, voire raciale comme celles développées par le *Movement Conservatism* américain (Krugman, 2008).

Mais au-delà des scories de la thèse culturaliste, la question invite à s'interroger sur l'économie musulmane en référence aux textes et récits fondateurs (le Coran et le *hadîth*) et aux *arrangements institutionnels* élaborés au fur et mesure du développement des activités et de l'intensification des échanges.

## **2. 2. L'*homo islamicus* est un *homo oeconomicus***

Les liens entre religion et économie n'ont eu jusqu'à présent qu'une place congrue au sein de la littérature standard. C'est, dès lors, tout le mérite des économistes néo-institutionnalistes, en particulier américains, de s'être efforcé à une extension de la théorie du développement aux économies du monde arabo-musulman et à une analyse comparative de leur évolution avec celle des pays occidentaux, par référence au rôle joué par les institutions, les valeurs et les croyances dans la dynamique économique.

On l'a vu, la thèse développée par A. Greif, et qui pour nombre d'économistes va fonctionner comme une «connaissance commune», est que «les rigidités apparues au sein du monde musulman l'ont évidemment empêché de poursuivre son expansion dynamique au delà du 12<sup>ème</sup> siècle, alors que l'Europe occidentale connaissait au contraire une dynamique de changement» (Kuran 1997, 2003).

Les rigidités pointées du doigt par A. Greif ont trait, rappelons-le, à la matrice communautariste générant des relations d'échange de type personnel et informel et, de ce fait, n'incitant guère les commerçants à étendre les transactions au-delà du groupe tribal ou de la collectivité ethnique.

Procédant pour l'essentiel des préceptes de l'islam contenus dans le texte sacré (le Coran), cette matrice stylisée aura à subir, dans la longue période, plusieurs sédimentations de «récits» de la *sîra* recueillant les *hadîth* du Prophète et consignants, par le menu, ses comportements, ses choix et décisions relatifs aux *mouâmalât* (échanges et transactions) et aux préoccupations temporelles des musulmans. Cette construction normative et conventionnelle connaîtra, avec le temps, plusieurs réaménagements, fruit d'une herméneutique riche et vigoureuse (*ijtihâd*) qui va culminer au XIV<sup>e</sup> siècle à Bagdad sous les Abbassides.

C'est sans doute Timur Kuran, parmi tous les néo-institutionnalistes américains qui se sont penchés sur la question du développement économique dans le monde musulman, qui aujourd'hui semble faire montre d'une connaissance sérieuse, à la fois élaborée et fine, des textes fondateurs de l'islam, ainsi que des «récits» restituant la complexité des problèmes et débats d'ordre économique en relation avec l'histoire et l'évolution du monde. De même, il convient de souligner que son approche se distingue nettement par la distance qu'elle observe vis-à-vis de tout réductionnisme, notamment culturaliste, postulant une incompatibilité fondamentale entre l'islam et le développement économique et l'incapacité de ses «récits» historiques à s'adapter à la dynamique évolutionnaire des «choses», en particulier dans le capitalisme : «la vaste littérature consacrée aux effets des dogmes religieux sur l'activité économique, souligne-t-il, n'apporte cependant pas de conclusions définitives puisqu'on trouve dans presque toutes les religions certains aspects antithétiques de la croissance économique. On citera comme exemple l'hostilité de l'islam au marché de l'assurance et celle du christianisme aux prêts à intérêt» (Kuran, 1986).

### *L'économie islamique : les récits, les usages et les choses*

Du point de vue strictement épistémique, l'économie politique islamique n'existe pas dans la mesure où l'objet de la discipline ne s'est constitué dans ses concepts et méthodes qu'au XVIII<sup>ème</sup> siècle en correspondance de phase avec le développement extensif du capitalisme. Cette appréciation générale, tout à fait explicite dans l'introduction à l'ouvrage de Mohammed Baker Assadr (1991), si elle présente l'intérêt d'*historiciser* les principes sur lesquels l'«économie islamique» entend se constituer comme cadre institutionnel et comme *infrastructure artefactuelle* au-delà de la *matrice stylisée* que figurent les *sourates* dédiées aux *mouâmalat*, c'est-à-dire aux «choses» économiques. Les fondements de l'économie dite islamique se condensent dans les trois principes essentiels suivants (Kuran, 1986; Talahite, 2007) :

- Les comportements économiques des individus sont gouvernés et encadrés par des normes et des règles énoncées, de façon explicite, dans le Coran et la *sunna*.
- La politique fiscale a pour base la *zakat* (aumône légale) qui est une institution de redistribution équitable des richesses.
- L'équilibre optimal au niveau monétaire et financier est supporté par le principe de prohibition de l'intérêt.

L'objet de la critique de T. Kuran est clair : non pas le Coran et le *hadîth*, mais plutôt le corpus des récits et la vulgate de l'interprétation et des usages qu'en font les «économistes islamiques» (Talahite, 2007). A l'instar des récits réformistes (*salafistes*) et hétérodoxes (*mu'tazilites*) (Laroui, 2008), l'auteur met en évidence l'*historicisme* des institutions économiques en islam et, par conséquent, leur variabilité dans le temps et leur adaptabilité aux évolutions. Il prône, dans cette optique, une poursuite de l'herméneutique fondée sur le principe crucial de l'*ijtihâd* et donne comme exemple l'institution de la *zakât* qui, avec l'augmentation de la taille de la collectivité, a connu un aménagement institutionnel visant à compléter la modalité volontaire découlant de la prescription de charité, en dispositif formel de taxes et de subventions.

Comme le fait remarquer F. Talahite (Talahite, 2007), l'auteur raisonne dans le cadre de la théorie standard et, par conséquent, les normes vers lesquelles doit tendre constamment la réforme des institutions islamiques sont celles propres, en l'occurrence, au modèle canonique de l'économie contemporaine. Dans le contexte d'aujourd'hui, les institutions génériques, élaborées au temps du Prophète, ne peuvent que paraître anachroniques et en porte-à-faux par rapport aux lois économiques de l'économie moderne. Alors que pour les tenants de l'«économie islamique», les principes issus du Coran et du *hadîth* forment un corpus immuable, car substantiel et transcendant les lois de la nature, des sociétés et de l'histoire, l'auteur se plaçant sur un terrain résolument positif et procédural, celui de l'applicabilité, dans le contexte du capitalisme moderne, des normes contingentes et des règles dédiées à l'organisation d'échanges *personnels* et *informels* au sein d'une collectivité restreinte et dans le cadre d'une structure sociale *horizontale*, pour reprendre les hypothèses et la terminologie de A. Greif.

Cette dernière observation relative à la distinction épistémique entre les deux niveaux *normatif* et *positif* permet de mieux situer les «termes du débat» : les fondements religieux, moraux et éthiques, sous-jacents à la formation de l'économie politique depuis les classiques, n'ayant jamais constitué dans les faits un impératif catégorique et efficace empêchant tout comportement opportuniste et déviant, les *arrangements institutionnels* et les *usages pratiques* ont de tout temps et dans toutes les sociétés été élaborés et mis en œuvre dans le but de desserrer

la contrainte des dogmes et de rendre en compte les évolutions et les changements. Dans cette optique, le *wazi'* religieux a tendance à fonctionner, dans la pragmatique khaldûnienne, comme une *autorité endogénéisée* par l'individu dans ses comportements et incorporée par la collectivité transnationale (*'umma*) dans les *habitus* sociaux.

### *Où l'Homo islamicus est raisonnable, juste et altruiste*

Commentant les analyses consacrées par T. Kuran à l' «économie islamique», Fatiha Talahite reprend les trois principes d'évaluation et de justification des comportements, des choix et de l'action des individus évoqués par l'auteur : les principes de rationalité, de justice, et d'éthique définissant un *homo islamicus* qui serait à la fois *raisonnable*, *juste* et *altruiste*.

Pour T. Kuran, outre la plasticité de ses hypothèses (interprétations à l'envi), le modèle islamique paraît non seulement irréalisable hors son contexte d'origine et ineffectif dès lors que les échanges se déploient à une échelle plus grande que celle d'une tribu, mais de surcroît rien ne peut empêcher les comportements opportunistes de s'y développer.

L'irréalisme du modèle, en termes d'effectivité et d'applicabilité dans le temps et dans l'espace, tient, selon l'auteur, d'une part au rigorisme des «récits» et des «usages» face à l'évolution des «choses» et du monde, et d'autre part à la rigidité de ses hypothèses au-delà de la « source fondamentale» (le Coran) et de la «base interprétative» (le *hadîth*).

Au delà de cette critique classique, critique à la quelle ne peut échapper non plus, d'ailleurs, le modèle standard auquel se réfère T. Kuran, portant sur la pertinence du modèle pur et la résistance, dans le mouvement de l'histoire réelle, de ses principes idéal-typiques face au jeu d'intérêts et aux comportements opportunistes, il y a lieu de souligner la dimension syncrétique du modèle théorique d'inspiration «islamique» décrit par Kuran : à la fois une *économie* ou *the Economics* (au sens de la théorie standard) et une *économie politique* (au sens des classiques de Smith à Marx).

L'*homo islamicus* est, dans les sources fondamentales mêmes, un agent qui cherche à maximiser sa fonction d'utilité et de gains. S'il ne correspond pas à l'image d'Epinal du croyant altruiste et désintéressé, il ne se distingue pas, non plus et symétriquement, de la figure d'*homo oeconomicus* peinte par la théorie de l'équilibre général. Sauf à créditer la thèse culturaliste d'une quelconque pertinence.

Le modèle théorique met l'accent sur l'équilibre entre la fonction objectif de l'individu et celle de la société : la notion d'intérêt (*maslaha*), principe qui oriente les préférences et l'action, est définie dans sa généralité ontologique sans distinction de niveau individuel et collectif. De fait, comme dans le modèle standard, nulle divergence ne peut être envisagée entre les deux dès lors que le comportement individuel demeure conforme aux normes et que l'individu suit scrupuleusement les règles. L'intérêt est souverain (Lordon, 2006) : «là où il y a intérêt, il y a loi divine (*chrâa*)». Plusieurs récits sont convergents pour établir une hiérarchie idéal-typique où l'intérêt collectif (le bien-être général) est au-dessus de l'intérêt individuel (le bien-être individuel) et où, au sein de la sphère du collectif, l'instance '*umma* est une instance transcendante, déterminante en dernier ressort.

Cette perspective impose au croyant de cesser de se comporter en «idiot rationnel» et de rechercher, par l'ancrage au sein de la communauté, un équilibre stable entre ses préférences personnelles et temporelles d'une part, les normes sociales et les contraintes religieuses et morales (*wazi'*) relatives au «bien commun» d'autre part.

Dès lors, l'altruisme de l'*homo islamicus* ne correspond ni à une caractéristique intrinsèque propre à l'éthos arabo-musulman ni à un mode de coordination disqualifiant l'action et les préférences individuelles. Il s'agit plutôt d'une configuration efficiente des interactions entre individus, une *pragmatique raisonnable* susceptible, en mobilisant les valeurs de confiance et de réciprocité, de réduire les coûts de transaction et de favoriser la duplication et l'inscription dans la durée des jeux coopératifs.

Même si pour T. Kuran, comme pour A. Greif, l'altruisme, dans sa version utilitariste et instrumentale, devient impraticable dès lors qu'on se trouve en présence d'une société hétérogène, diversifiée, où les relations prévalentes sont de type impersonnel, il ne reconnaît pas moins une congruence entre l'*homo oeconomicus* et l'*homo islamicus* que les développements théoriques néo-institutionnalistes ne font, à ses yeux, que confirmer et valider eu égard aux situations d'incomplétude des contrats et de «dilemme du prisonnier» qui tendent à structurer l'économie moderne (Talahite, 2007).

Le modèle islamique, comme idéal-type, ne se limite pas, loin s'en faut, à une conduite exemplaire du croyant, celui-ci ayant intériorisé, grâce notamment à l'éducation musulmane, les normes altruistes. Il implique aussi, compte tenu des imperfections des comportements humains, un dispositif de sanction contre les actes déviants et opportunistes de type passerager clandestin, aléa moral, etc.

C'est le régime de justice qui est l'enjeu ultime de la combinatoire intérêt individuel/ bien-être collectif sous-tendant le modèle islamique, lequel de ce point de vue se fonde sur une intrication profonde entre plusieurs «sphères de justice» (Walser, 1997), notamment les sphères de la morale, de l'économie et de la politique. Le principe de «justice comme équité» (Rawls, 1971) obéit, outre le *wazi'* religieux ou la satisfaction morale, à une logique d'équilibre social et de solidarité collective comme un facteur d'incitation à l'effort et comme un levier pour l'accroissement des richesses.

Ibn Khaldûn, on l'a souligné précédemment, a décrit de façon subtile la dynamique du modèle de croissance économique (ou de crise) en relation avec la justice sociale et l'équité (ou '*addolm*'), en particulier dans le domaine de la fiscalité. En mettant au cœur du processus de régulation de cette dynamique l'institution étatique, l'auteur de la *Muqaddima* se place à distance par rapport à l'utilitarisme et à l'altruisme, dans une position à la fois méta-économique et méta-éthique que nous avons définie comme une *pragmatique interprétative et réflexive* mobilisant pleinement les ressources de la politique afin d'élaborer les «bonnes» institutions, construire les arrangements et les compromis efficaces, assurer l'effectivité des normes partagées et leur adaptation aux changements.

La perspective d'Ibn Khaldûn est, d'un côté, celle d'un rationaliste lorsqu'il prend la mesure des jeux d'intérêts et des passions ('*assabya*) qui animent les individus, les groupes et les nations. D'un autre côté, dans sa grammaire des civilisations, il a été amené à appréhender, de manière historiciste, le rôle joué non seulement par les sciences, la technologie, les métiers, les apprentissages, l'innovation, mais aussi par la culture, la littérature, les arts, les formes de conscience, les croyances, les *habitus*, etc.

L'échelle adoptée par l'auteur de la *Muqaddima*, plus ample que celle d'un groupe ou d'une nation, porte ainsi le curseur de l'analyse à un niveau plus complexe, surplombant l'objet classique de l'économie (la croissance et les facteurs de sa dynamique), celui du processus du développement. Sur ce terrain, Ibn Khaldûn peut être considéré comme un

«institutionnaliste posthume» : le processus du développement est indexé sur la qualité de «l'architecture institutionnelle» en général et de la gouvernance politique en particulier. Le cas du monde arabo-musulman est à cet égard un cas édifiant.

### 3. Ethique musulmane et conditions du développement

Les travaux consacrés, dans les années 1960-1970, aux pays en voie de développement ont tendance à privilégier les facteurs économiques dans l'analyse des conditions du développement (taux d'épargne, niveau d'investissement, types d'industries, mécanisation de l'agriculture, taux de changes, taille des firmes, degré d'ouverture de l'économie, volume du commerce extérieur, etc.). Cette orientation économiciste propre à la théorie standard, trouvera, à partir des années 1980, un prolongement dans les «programmes d'ajustement structurel» ainsi que dans les politiques de lutte contre la pauvreté, l'exclusion et l'émigration (micro-crédit, aide monétaire ciblée) préconisés de nos jours par les institutions financières internationales (FMI et Banque Mondiale). Même les «nouvelles théories classiques» en termes de «progrès technologique» (Solow, 1956), de «croissance endogène» (Romer, 1986 ; Lucas, 1988) ou de «capital humain» (Becker, 1964), ne semblent pas échapper totalement à cette «tradition» analytique faisant des incitations économiques la clé du développement.

En contrepoint par rapport au réductionnisme économiciste, plusieurs approches structuralistes ont tenté, dans les années 1970, de mettre l'accent sur le rôle des facteurs non économiques dans l'analyse historique du «procès du sous-développement» (Amin, 1973; Frank, 1969). Mais même dans ces travaux «structuralistes» et transdisciplinaires (histoire, sociologie, ethnologie, etc.), l'analyse demeure limitée aux facteurs sociaux (structures sociales, inégalités entre les classes, formes d'exploitation du travail) et politiques (nature du régime politique, dépendance vis-à-vis des puissances impérialistes).

La prise en compte, par le paradigme institutionnaliste, des croyances, au sens large défini tout au long des développements précédents, permet ainsi d'appréhender sous un jour nouveau les conditions requises par le développement et de repenser, ainsi de façon plus complexe, les limites de la rationalité économique, le rôle des croyances, du sacré, des symboles, bref, l'efficacité des dispositifs institutionnels.

Dans ce qui suit, l'on posera, d'abord que, contrairement à une hypothèse suggérée par le relativisme culturaliste, l'éthique musulmane est tout sauf hostile au développement économique ou à «l'esprit du capitalisme». (Rodinson, 1966). Tout en soulignant, toutefois, l'involution plus que séculaire des pays arabo-musulmans, on mettra en évidence, dans la perspective institutionnaliste ouverte par Ibn Khaldûn, le rôle crucial incombant au système politique en général et aux formes de domination (*asnâf al-taghalloubât*) en particulier. On précisera, en l'occurrence, la pertinence et la richesse de l'analyse en termes de *gouvernementalité* par rapport aux réductions actuelles du politique à la gouvernance (Banque mondiale notamment).

#### 3.1. Islam et développement : pour le meilleur et pour le pire

Le débat sur «l'échec» du développement dans le monde arabo-musulman n'est ni récent ni circonscrit aux économistes. Les penseurs de la nahda (Jamâl al-Dîn al-Afghâni, Mohamed Abduh, notamment) se sont en effet interrogés, dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, sur les raisons profondes qui expliqueraient, dans le même mouvement, le progrès du monde occidental et le retard du monde arabo-musulman (Lewis, 1982, 1988). Cette

interrogation lancinante continue de résonner dans les mêmes termes encore aujourd'hui et les mêmes explications sont apportées de manière récurrente privilégiant tour à tour les facteurs externes ou internes, économiques ou politiques, sociaux ou culturels (Laroui, 1987, 2008). Elle acquiert de surcroît, en ce début de «siècle religieux», on l'a souligné, une tonalité idéologique plus radicale compte tenu des enjeux géostratégiques.

Bien qu'elle renvoie aux mêmes enjeux, la problématique telle qu'elle a été reformulée dans la littérature institutionnaliste, permet de réengager l'analyse dans une perspective moins réductrice.

Sur la base d'une régression portant sur la situation, en 1995, de 132 pays, Kuran (1997, 2004b) observe que les musulmans ont tendance à être relativement plus pauvres, quelle que soit le critère de développement pris en compte (Pib par tête, commerce, alphabétisation, science, éducation, technologie). Se référant au classement de la Banque Mondiale, l'auteur fait remarquer cependant que les différentiels en termes de revenu par habitant peuvent être importants, certains pays étant classés parmi les pays à haut revenu alors que d'autres figurent sur la liste des pays les moins avancés. Mais en général les pays les plus pauvres abritent une population à prédominance musulmane.

Peut-on dès lors établir une causalité entre islam et sous-développement? Soulignant que corrélation n'est pas causalité, l'auteur rappelle que, avant la trajectoire de déclin et d'involution, le monde musulman a connu, jusqu'au XIV<sup>ème</sup> siècle, une trajectoire marquée par une formidable expansion économique coextensive avec une vitalité sans précédent de l'herméneutique et de l'*ijtihad*.

«Logiquement, écrit (Kuran), si l'on considère que l'islam a contribué à l'essor de l'économie, on doit admettre qu'il en a probablement aussi influencé le déclin. Inversement, si des facteurs autres que l'islam sont responsables de sa chute, alors l'essor économique des débuts de l'islam peut aussi être dû à d'autres facteurs que la religion» (cité par Talahite, 2007).

Au total, un tel constat historique, loin de neutraliser le rôle de l'éthique musulmane, permet au contraire de resituer les conditions du développement dans le monde arabo-musulman en référence à la qualité du dispositif artéfactuel et à sa capacité à favoriser les arrangements institutionnels et les usages dans le cadre d'une pragmatique interprétative et réflexive du développement.

### 3.2. La raison pratique : arrangements institutionnels et jeux de réciprocité

Plusieurs auteurs ont tenté de capturer les obstacles au développement dans le système de valeur associé à l'islam (Lewis, 1982, 1988) : archaïsme des structures sociales, inertie des institutions, absence de réformes économiques et sociales, défiance à l'égard du changement et de l'innovation, statut inférieur des marchands, système éducatif basé sur la mémorisation et la méthode scientifique et l'expérimentation, vision statique du monde et perception cyclique du temps et, *last but not least*, fermeture des «portes de l'*ijtihad*», rigidification du *fiqh* et sanctuarisation de la *charia*.

Dans sa critique de l'«économie politique islamique», T. Kuran s'efforça de montrer comment des ajustements furent, de tout temps, introduits par l'herméneutique réformiste



dans le corpus de la *charia* avec le souci constant de faire prévaloir la *maslaha* ou l'intérêt général (le bien commun) eu égard aux évolutions profondes de l'économie ainsi que peut l'attester l'exemple de l'institution de la *zakât*.

Contribuant ainsi à augmenter la pertinence du modèle normatif et à réduire la sanctuarisation et l'anachronisme des règles statiques par rapport à la dynamique des usages collectifs, les *arrangements institutionnels* élaborés selon la méthode de l'*ijtihad* ou inscrits, de façon informelle, dans les *habitus* tendent à réactiver et à refonder la pragmatique du développement sur l'endogénéisation du changement et sur l'adaptation aux évolutions non ergodiques de l'économie contemporaine (North, 2005).

C'est précisément dans une telle optique, défendue en son temps par Ibn Khaldûn, de prise en compte de la «raison pratique» et des pratiques *raisonnables*, qu'il convient d'appréhender, au sein du monde arabo-musulman, l'interaction des liens individuels et communautaires et leur effet structural sur le développement.

Renvoyant à l'«héritage culturel», l'opposition, déjà signalée, introduite par Greif entre le «collectivisme» des Maghribi et l'«individualisme» des Gênois définit une divergence de trajectoire entre le monde occidental et le monde arabo-musulman : les blocages du processus du développement dans ce dernier étant ainsi imputables à la prégnance des liens communautaires et informels. Selon cette thèse, «durant les périodes de déclin de l'empire ottoman, beaucoup virent dans l'individualisme européen les clés de son dynamisme. Au contraire, les adversaires de l'occidentalisation rejetaient l'individualisme parmi les caractéristiques à ne pas encourager. Même s'ils admiraient la science occidentale, ils insistaient sur la supériorité morale, sociale et politique de l'islam. Pour lutter contre le retard économique, ils préconisaient de renforcer l'unité, de raviver les liens communautaires, de redécouvrir l'essence de l'islam. Adopter l'individualisme occidental aurait signifié troquer une religion parfaite pour un système moral créé par l'homme, donc inférieur» (Talahite, 2007).

Pour A. Greif, les croyances culturelles de type communautaire incitent les marchands à limiter leur activité, de façon endogamique, aux échanges informels avec des marchands appartenant au même groupe, partageant les mêmes «points focaux» et adoptant les mêmes conventions. Dans cette configuration fondée sur le principe de confiance, de réputation (Kreps, 1990), de «réciprocité dure» (*strong reciprocity*) et de sanction collective en cas de défection ou de tricherie (Gintis, Bowels, Boyd, Fehr, 2005), le coût de l'opportunisme s'avère trop élevé en comparaison avec la logique individualiste où, à l'inverse, la faiblesse de la menace de sanction collective peut inciter l'agent à adopter un comportement non coopératif. De ce fait, «les marchands issus de cultures individualistes sont relativement mieux préparés pour le commerce inter-culturel, parce qu'ils sont moins dépendants de liens communautaires et déjà prêts à former des relations d'agence avec des gens hors de leur cercle social» (Talahite, 2007).

La thèse du rôle des artéfacts communautaristes dans l'échec du développement au sein du monde musulman ne résiste guère à la critique. Outre la réfutation d'ordre historique (le rôle des musulmans dans l'élaboration du cadre institutionnel pour le commerce lointain, le crédit interpersonnel, les contrats, etc.), Kuran met en évidence, à la suite notamment des travaux de Robert Putnam (1995), le rôle crucial du «capital social» et de la confiance

dans le développement économique au sein des sociétés modernes. «L'explication la plus pertinente, en déduit Kuran, serait que l'individualisme favorise la croissance non en détruisant les liens sociaux mais en les affaiblissant et en les diversifiant. Les avantages économiques en sont la prolifération d'associations, la génération de réseaux et l'expansion du choix individuel dans le cadre de la participation civique. Les limites du communautarisme, mises en évidence par la force des liens de sang dans le Sud de l'Italie, résident dans le fait que ces liens empêchent que se développent des réseaux d'engagement civique qui transcendent les clivages sociaux. De forts liens de sang favorisent la coopération dans de petits groupes, alors que des liens faibles non familiaux nourrissent une plus large coopération et soutiennent une plus grande complexité sociale» (Talahite, 2007).

La réactivation des analyses en termes de «capital social» (Putnam, 2000), en correspondance de phase à la fois avec l'émergence du «nouvel esprit du capitalisme» et les logiques de projet (Boltanski et Chiapello, 2005) dans les pays avancés, et avec les processus de «fragmentation ethnique» (Collier, 2000; Easterly et Levine, 1997; Arcand et ali., 2000a, 2000b) dans les pays en voie de développement, tout en soulignant la différence de nature entre la *force des liens faibles* dans les premiers et la *faiblesse des liens forts* dans les seconds, ne laissent pas moins apparaître, quelque soit la configuration culturelle, l'efficace des liens de type horizontal et des valeurs de solidarité et de réciprocité que ces liens ont tendance à reproduire.

Une telle efficace, érigée par Ibn Khaldûn en principe universel (*'assabya*) de constitution des civilisations, renvoie, en référence à une *pragmatique raisonnable* du développement dans le monde arabo-musulman, à la problématique du pouvoir et de la *gouvernementalité*. Le changement institutionnel implique, en l'occurrence, une condensation holistique des fragmentations ethniques et culturelles et leur traduction, en termes de jeux coopératifs, au sein de réseaux de solidarité et transcommunautaire.

### 3.3. Etat, fragmentation sociale et gouvernementalité

Ibn Khaldûn octroie à l'Etat un rôle majeur dans les trajectoires de *'umran* ou de civilisation. Le schéma est récurrent : mobilisant les ressources de la *'assabya* et profitant d'une situation irréversible de crise, d'instabilité et de déclin, une tribu part à l'assaut du pouvoir, impose non hégémonie idéologique, met un terme à l'anarchie et incite les différentes *fissions* de type *segmentaire* (lignages, groupes, tribus) à coopérer dans le cadre d'une *fusion* de type holistique et à se soumettre à l'autorité centrale (Gellner, 2003). Ce sont, on l'a souligné plus haut, les dérives despotiques, la corruption et le clientélisme de la classe politique et de l'élite, les exactions et les formes d'injustice (*asnaf attaghalloubat*) exercées sur les populations par un Etat devenu prédateur qui, en dernier ressort, entérinent le délitement de la cohésion sociale et la décrépitude du pouvoir en place et sanctionnent sa chute.

Loin de toute statique cyclique, la récurrence du schéma décrit par Ibn Khaldûn indique plutôt les *invariants* de la trajectoire de formation des Etats : un système de croyances partagées (croyances au sens large, culturelles, religieuses, symboliques, etc.), un dispositif politique assurant l'ordre, la stabilité et la cohésion collective au-delà des

### Pas de civilisation (développement) sans politique (institutions)

«On a déjà vu la nécessité absolue d'une organisation sociale (*ijtimâ'*) entre les hommes. La civilisation (*'umrân*) ne signifie pas autre chose. Toute société doit avoir un modérateur (*wâzi'*), qui la gouverne et qui constitue son recours. Parfois l'autorité (supérieure) repose sur la loi d'une religion révélée. Le peuple doit s'y soumettre, parce qu'il croit qu'il en sera récompensé ou puni dans l'Autre Monde, comme son Législateur le lui a prédit. Parfois le pouvoir n'est qu'une politique rationnelle (*siyâssa 'aqliyya*). Dans ce cas, il est obéi dans l'espoir d'être récompensé par lui, quand il aura appris ce qui est bon pour ses sujets.

Le premier système est bon pour ce monde, puisque le Législateur connaît les fins dernières de son peuple et s'occupe du statut éternel de l'homme. Le second système n'est bon que pour ce monde.

On ne traitera pas ici de la politique dite de la «Cité parfaite» (*siyâsa madaniyya*). Les philosophes entendent, par ces mots, la société humaine dont les membres ont de telles dispositions naturelles qu'ils peuvent se passer de gouvernement. C'est ce qu'ils appellent la Cité idéale (*al-madînat al-fâdila*). Ce régime s'appelle «la politique utopique» (*siyâsa madaniyya*). Il ne s'agit pas du régime que se donnent les membres d'une société, avec des lois destinées au bien public. C'est tout autre chose. La «Cité parfaite» (des philosophes) est une rareté : ils n'en parlent que comme d'une simple hypothèse (*fard*), d'une pure supposition (*taqdîr*).

La politique «rationnelle» (*'aqliyya*) peut être de deux types différents. Dans le premier, l'intérêt général est pris en considération, en même temps que celui du souverain dans l'administration de son royaume. Ce système philosophique était celui des Persans. Mais Dieu nous en a dispensé, grâce à l'Islâm, à l'époque du califat. Les lois religieuses l'ont alors remplacé, tant pour le bien public que dans l'intérêt des particuliers, car elles comprennent aussi bien les maximes (des philosophes) que les principes de la monarchie.

Dans le deuxième type (de politique rationnelle), on cherche d'abord l'intérêt du souverain et les moyens de maintenir son autorité par la force. Le bien public, dans ce cas, est tenu pour secondaire. C'est là le type de politique pratiqué par tous les souverains, qu'ils soient musulmans ou non. Avec cette nuance que les princes musulmans, eux, appliquent cette politique en accord avec les prescriptions de la loi religieuse, au moins dans la mesure du possible. Les normes politiques sont alors un mélange de lois religieuses et de règles morales, comme il est naturel en société, avec le souci de la force et de l'esprit de corps. (...)».

Source : Ibn Khaldûn, *Al Muqaddima*, p. 615-616 (traduction V. Monteil)

*fissions* segmentaires, des fragmentations ethniques et des préférences individuelles, une légitimité politique équipée par l'efficacité économique, le développement des sciences, des techniques et des arts d'une part, la justice sociale et la solidarité d'autre part. Toute l'œuvre maîtresse d'Ibn Khaldûn, la *Muqaddima*, est tournée vers cette perspective de redéfinir pour le monde arabo-musulman un modèle stable de pouvoir centré sur les principes de la «politique rationnelle» (*siyâssa 'aqliyya*), transcendant les divisions segmentaires ethniques et tribales, gouvernant la société et constituant un recours pour

elles, bref un modèle institutionnel privilégiant la loi et favorisant la civilisation qui « n'est pas autre chose » que le développement : « On a déjà vu plusieurs fois la nécessité absolue d'une organisation sociale (*ijtimâ'*) entre les hommes. La civilisation n'est pas autre chose. Toute société doit avoir un modérateur (*wâzi'*), qui la gouverne et qui constitue son recours. Parfois l'autorité (supérieure) repose sur la loi d'une religion révélée. Le peuple doit s'y soumettre, parce qu'il croit qu'il en sera récompensé ou puni dans l'Autre Monde, comme son Législateur le lui a prédit. Parfois le pouvoir n'est qu'une politique rationnelle (*siyâssa 'aqliya*). Dans ce cas, il est obéi dans l'espoir d'être récompensé par lui, quand il aura appris ce qui est bon pour ses sujets. Le premier système est bon pour ce monde et pour l'autre, puisque le Législateur connaît les fins dernières de son peuple et s'occupe du salut éternel de l'homme. Le second système n'est bon que pour ce monde » (Ibn Khaldûn, p. 614, traduction de V. Monteil).

« Pas de civilisation (donc) sans politique ». Le régime politique dont traite Ibn Khaldûn n'est pas celui de la « cité idéale » (*al-madina al-fâdila*), qui « est une rareté », « une simple hypothèse », une « pure supposition », mais celui observé dans l'histoire et qui peut prendre deux formes : une forme normative où l'intérêt général et l'intérêt du souverain sont pris en considération ensemble, une seconde forme historique où ce qui prime c'est « d'abord l'intérêt du souverain et les moyens de maintenir son autorité par la force » et où « le bien public, dans ce cas, est tenu pour secondaire » (p. 615-616).

Au sein de la configuration, ayant dominé dans le monde arabo-musulman, caractérisée par « un Etat faible, des tribus fortes » (Gellner, 1981), l'islam a introduit un puissant principe d'homogénéisation culturelle sur le quel peut reposer une « politique rationnelle » susceptible d'endiguer les processus de fragmentation sociale, de mettre un terme aux conflits ethniques, d'enrayer l'instabilité et de réduire l'incertitude.

Mais comme « le type de politique pratiqué par tous les souverains, qu'ils soient musulmans ou non » n'est pas en général en accord avec les « prescriptions religieuses » ou avec les « maximes philosophiques », « les normes politiques » sont, dans les faits et dans toutes les sociétés, « un mélange de lois religieuses et de règles morales, comme il est naturel en société, avec le souci de la force et de l'esprit de corps » (Ibn Khaldûn, *Al-Muqaddima*, p. 616).

Les longs développements consacrés par l'auteur de la *Muqaddima* aux conditions du développement économique et aux causes du déclin des « cités » font ressortir le rôle incombant à la qualité des institutions. Les « bonnes institutions » favorisent le développement et, à l'inverse, les trajectoires d'involution correspondent à des dispositifs institutionnels incohérents, inadaptés et incapacitants.

Cette optique rejoint en partie les conclusions dégagées par D. North dans les quelques passages de son ouvrage qu'il a consacrés au monde musulman (North, 2005) : l'échec du développement dans le monde musulman s'expliquerait, outre la prédominance des transactions personnelles et informelles sur les transactions impersonnelles et formelles, par l'inefficience des institutions et la trop faible assomption des changements, liés au développement du capitalisme, intervenus notamment dans les modes de la gouvernance.

La perspective proposée par Ibn Khaldûn est, toutefois, plus essentialiste dans la mesure où elle a trait aux formes d'exercice du pouvoir et aux dispositifs de la domination.

C'est le concept de *gouvernementalité*, dû à Michel Foucault, qui rend bien compte des intuitions khalldûniennes quant à l'extension des enjeux de la politique à l'ensemble des conditions d'existence (économiques, sociales, culturelles, biologiques, mentales, comportementales, spirituelles, etc.) des individus, des groupes et des populations.

Cette forme de gouvernement exercé «sur les corps et sur les âmes», que Foucault appelle «biopouvoir» et qu'il situe au XVIII<sup>ème</sup> siècle, se fonde sur un «dispositif de pouvoir» conjuguant souveraineté, discipline, sécurité et normalisation ou homogénéisation sociale. Ne se résorbant pas dans «l'instance de la loi», la *gouvernementalité*, dans le monde moderne, «a pour forme majeure de savoir l'économie politique». Il s'agit pour Foucault d'une inflexion majeure opérée dans le principe du pouvoir en relation avec la «grande transformation» du capitalisme (Polanyi, 1983).

Dans la *Muqaddima*, Ibn Khaldûn décrit pour le monde arabo-musulman une *gouvernementalité* ayant pour «forme majeure de savoir» les «sciences traditionnelles» (*tafsîr* ou exégèse, *fiqh*, '*ilm al-kalâm* ou scolastique) où la raison ('*aql*) cède la place à la récitation et à la transmission (*naql*). Les prescriptions d'ordre économique, éclatées dans le vaste corpus du *fiqh* et procédant des mêmes registres traditionnels, demeurent dédiées aux «moyens de gagner sa vie» et ne définissent, par conséquent, qu'une «forme mineure» de *gouvernementalité*. Un «bio-pouvoir» non pas politico-économique mais théologico-politique : le gouvernement des corps par le biais et le dispositif du gouvernement des âmes.

## Références bibliographiques

- Aglietta M., Rebérioux A. (2004), *Dérives du capitalisme financier*, Albin Michel, Paris.
- Althusser L. (1975), *Pour Marx*, François Maspero, Coll. «Théorie», Paris.
- Althusser L. et al. (1965), *Lire le Capital*, François Maspero, Paris.
- Amable B. et Palombarini S. (2005), *L'économie politique n'est pas une science morale*, Raisons d'agir.
- Amin S. (1973), *Le développement inégal*, Les Editions de Minuit, Paris.
- Aoki Masahiko (2006), *Fondements d'une analyse institutionnelle comparée*, Albin Michel, Paris.
- Arcand J-L., Guillaumont P., Guillaumont Jeanneney S. (2000a), «How to Make a Tragedy: on the Alleged Effect of Ethnicity on Growth», *Journal of International Development*, 12, forthcoming.
- Arcand J-L., Guillaumont P., Guillaumont Jeanneney S. (1999), «Ethnicity, Communication and Growth», CERDI, Etudes et Documents.
- Baker Assadr M. (1991), *Iqtissâdouna*, Dar Attaârof, Beyrouth (en arabe).
- Barro R., McCleary R. (2003), «Religion and Economic Growth Across Countries», WP, Harvard University (repris dans *American Sociological Review*, Vol. 68, p. 763).
- Barro R., «Foi religieuse et croissance économique : quels sont les facteurs déterminants? *Problèmes économiques*, n° 2882, 14 septembre 2005.
- Becker G. S. (1964), *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with a Special Reference to Education*, Columbia University Press, New York.

- Bettelheim C., Charrière J., Marchisio H. (1968), *La construction du socialisme en Chine*, Maspero, Paris.
- Boyer R. (2005), «Théorie de la régulation : un point théorique», *Critique économique*, n° 13 (entretien Nouredine El Aoufi).
- Boyer R. (2004), *Une théorie du capitalisme est-elle possible?*, Odile Jacob, Paris.
- Collier P. (2000), «Implications of Ethnic Diversity», World Bank and CEPR, 31st Economic Policy Panel meeting, Lisbon, April.
- Commons J. R. (1934), *Institutional Economics. Its Place in Political Economy*, The University of Wisconsin Press, 1959, 2 vol.
- Damasio Antonio R. (2003), *Spinoza avait raison. Joie et tristesse, le cerveau des émotions*, Odile Jacob, Paris.
- Davidson D. (1991), *Paradoxes de l'irrationalité*, L'Eclat, Paris.
- Diamond J. (1997), *De l'inégalité parmi les sociétés. Essai sur l'homme et l'environnement dans l'histoire*, Gallimard, Coll. «Folio Essais», Paris, 2007.
- Dowidar M. H. (1974), *L'économie politique, une science sociale*, Maspero, Paris.
- El Aoufi N. (2008), «Théorie de la régulation : la perspective oubliée du développement », *Critique économique*, n° 22, printemps-été.
- Easterly W. and Levine R. (1997), «Africa's Growth Tragedy: Policy and Ethnic Divisions», *Quarterly Journal of Economics*, november, p. 1203-1250.
- Eymard-Duvernay F., Favereau O., Orléan A., Salais R., Thévenot L. (2006), «Valeurs, coordination et rationalité : trois thèmes mis en relation par l'économie des conventions», in F. Eymard-Duvernay éd, *L'économie des conventions. Méthodes et résultats*, T1, La Découverte, Paris.
- Eymard-Duvernay F. (2001), «L'économie des conventions a-t-elle une théorie politique?», in P. Batifoulier dir., *Théorie des conventions*, Economica, Paris.
- Favereau Olivier (2004), «Economie des conventions : un point théorique», *Critique économique*, n° 12, Rabat.
- Favereau Olivier (1989), «Marchés internes, marchés externes», *Revue économique*, vol. 40, n° 2.
- Foucault M. (2004), *Sécurité, territoire, population. Cours au Collège de France 1977-1978*, Gallimard/Seuil, Coll. «Hautes études», Paris.
- Foucault M. (1975), *Surveiller et punir*, Gallimard, Paris.
- Frank A. G. (1969), *Le développement du sous-développement*, Maspero, Coll. «Textes à l'appui», Paris.
- Gellner E. (2003), *Les Saints de l'Atlas*, Editions Bouchene, Coll. «Intérieurs du Maghreb», Paris.
- Gellner E. (1981), *Muslim Society*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Gintis H., Bowles S., Boyd, R. Fehr E. (2005), *Moral sentiments and Material Interests. The Foundation of Cooperation in Economic Life*, MIT Press.

- Girard R. (1972), *La violence et le sacré*, Grasset, Paris.
- Greif A. (1989), «Reputation and Coalitions in Medieval Trade: Evidence on the Maghribi Traders», *The Journal of Economic History*, Vol. 49, n° 4, Dec, 857-882.
- Greif A. (1993), «Contract Enforceability and Economic Institutions in Early Trade: The Maghribi Traders «Coalition», *The American Economic Review*, vol.83, N°3, June, 525-548.
- Greif A. (1994a), «On the Political Foundations of the Late Medieval Commercial Revolution: Genoa During the Twelfth and Thirteenth Centuries», *The Journal of Economic History*, vol. 54, N°2.
- Greif A. (1994b), «Cultural Beliefs and the Organization of Society: A Historical and Theoretical Reflection on Collectivist and Individualist Society», *Journal of Political Economy*, vol. 102, n° 5.
- Greif A. (2004), «Impersonal Exchange Without Impartial Law: The CRS», *Chicago Journal of International Law*.
- Greif A. (2006), *Institutions and the Path to the Modern Economy. Lessons From Medieval Trade*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hirschman A. O. (1982), *Bonheur privé, action publique*, Fayard, Paris.
- Hirschman A. O. (1980), *Les passions et les intérêts*, PUF, Paris.
- Hodgson Marshall G.S. (1974), *The Venture of Islam*, Chicago, Chicago University Press.
- Hodgson Marshall G.S. (1998), *L'Islam dans l'histoire mondiale*, Sindbad-Acte Sud, Paris (textes traduits par A. Cheddadi).
- Ibn Khaldûn A. (1378), *Al-Muqaddima. Discours sur l'histoire universelle*, Sindbad, Paris, 1968 (traduction Vincent Monteil).
- Kahneman D. et Tversky A. (1979), «Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk», *Econometrica*, XLVII, 1979, 263-291.
- Keynes John Maynard (1936), *La Théorie générale de l'emploi, de l'intérêt et de la monnaie*, Payot, Paris.
- Kreps D. M. (1990), «Corporate Culture and Economic Theory», in Alt J. E. et Shepsle K. A. eds, *Perspectives on Positive Political Economics*, Cambridge(USA), Cambridge University Press.
- Krugman P. (2008), *L'Amérique que nous voulons*, Flammarion, Paris.
- Kuran T. (1986), «The Economic System in Contemporary Islamic Thought», *International Journal of Middle East Studies*, 18(2), 135-164.
- Kuran T. (1995), *Private Truths, Public Lies: The Social Consequences of Preference Falsification*, Cambridge Mass., Harvard University Press.
- Kuran, T. (1997), «Islam and Underdevelopment: an old Puzzle Revisited», *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 153(1), 47-71.
- Kuran T. (2003), «The Islamic Commercial Crisis: Institutional Roots of Economic Underdevelopment in the Middle East», *Journal of Economic History*, 63(2): 414-446.



- Kuran T. (2004a), «The Economic Ascent of the Middle East's Religious Minorities: The Role of Islamic Legal Pluralism», *Journal of Legal Studies*, 33 (June) 475-515.
- Kuran T. (2004b), *Islam and Mammon. The Economic Predicaments of Islamism*, Princeton & Oxford, Princeton Economic Press.
- Kuran T. (2005), «The Absence of Corporation in Islamic Law: Origins and Persistence», *American journal of Comparative Law*, vol. 53 (July): 785-834.
- Lacoste Y. (1966), *Ibn Khaldoun*, Maspero, Prais.
- Laroui A. (2008), *La sunna et la réforme*, Centre culturel arabe, Beyrouth (en arabe).
- Laroui A. (1996), *Le concept de raison*, Centre culturel arabe, Beyrouth (en arabe).
- Laroui A. (1987), *Islam et modernité*, La Découverte, Coll. «Armillaire», Paris.
- Lewis B. (1988), *The Political Language of Islam*, Chicago : Chicago University Press.
- Lewis B. (1982), *The Muslim Discovery of Europe*, New York : W. W. Norton.
- Lewis D. K. (1969), *Convention : A Philosophical Study*, Cambridge, Harvard University Press.
- Lordon F. (2006), *L'intérêt souverain. Essai d'anthropologie éconoiue spinoziste*, La Découverte, Coll. «Armillaire», Paris.
- Lordon F. (1999), «Croyances économiques et pouvoir symbolique», *L'année de la Régulation*, volume 3, La Découverte.
- Lucas Robert E. (1988), «On the Mechanics of Economic Development», *Journal of Monetary Economics*, 22, p. 3-42.
- Marx K. (1867), *Le Capital*, Editions sociales, 1971, Paris.
- North Douglass C. (1990), *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge, Cambridge University Press.
- North D. C., Thomas R. P. (1980), *L'essor du monde occidental. Une nouvelle histoire économique*, Flammarion, Paris.
- North Douglass (2005), *Le processus du développement économique*, Editions d'organisation, Paris.
- Pascon P. (1967), «La formation de la société composite », *Bulletin Economique et Social du Maroc*, Rabat.
- Orléan A. éd. (2004), «Préface» in A. Orléan éd., *Analyse économique des conventions*, PUF, Paris ( 1<sup>ère</sup> édition 1994).
- Polanyi K. (1983), *La grande transformation*, Gallimard, Paris.
- Poulain E. (1977), *Le mode d'industrialisation socialiste en Chine*, Maspero, Coll. «Economie et socialisme», Paris.
- Putnam Robert D. (2000), *Bowling Alone : The Collapse and Revival American Community*.
- Putnam Robert D. (1995), «Bowling Alone : America's Declining Social Capital», *The Journal of Democracy*, 6 :1, p. 65-78.
- Rawls J. (1971), *La théorie de la justice*, Seuil, Paris, 1987.

- Rodinson M. (1966), *Islam et capitalisme*, Seuil, Paris.
- Romer Paul M. (1986), «Increasing Returns and Long-Run Growth », *Journal of Political Economy*, 94, October, p. 1002-1037.
- Salama P. (1976), *Un procès de sous-développement*, Maspero, Coll. «Critiques de l'économie politique», Paris.
- Simmel Georg (1986), *La sociologie et l'expérience du monde moderne*, PUF, Paris.
- Simon H. (1978), «Rationality as Process and as Product of Thought», *American Economic Review*, 68 (2), p. 1-160.
- Simon H. (1976), «From Substantive to Procedural Rationality», in Latsis S. ed., *Method and Appraisal In Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Smith A. (1776), *Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations*, Flammarion, Paris, 1991.
- Smith A. (1759), *Théorie des sentiments moraux*, PUF, Coll. «Quadrige», Paris.
- Sen A. (1987), *Ethique et économie*, PUF, Paris, 1993.
- Solow Robert M. (1956), «A Contribution to the Theory of Economic Growth», *Quarterly Journal of Economics*, February, p. 65-94.
- Talahite F. (2007), «Trois approches institutionnelles du développement dans le monde musulman», Communication à l' Ecole thématique «Méthodes de l'analyse institutionnelle», La Rochelle, 17-21 septembre 2007.
- Walzer M. (1997), *Sphères de justice*, Seuil, Paris.
- Weber M. (1909), *L'éthique protestante et l'esprit du capitalisme*, Flammarion, Paris, 2000.
- Williamson O. (1994), *Les institutions de l'économie*, InterEditions, Paris.



## **LES RISQUES ATTACHÉS AUX ACTIONS DANS LA TOURMENTE BOURSIÈRE POUR UNE APPROCHE CONDITIONNELLE DU RISQUE BÊTA**

*Pr. Nicolas MOUMNI*

*Maître de conférences (HDR)-CRISEA,  
Faculté d'Economie et de Gestion, UPJV, Amiens  
France*



Depuis plus de trois décennies, la théorie de l'efficience qui est au fondement du CAPM a dominé, du moins dans les milieux académiques, les analyses des déterminants des cours des actions en particulier et des marchés boursiers en général. Mais, depuis la résurgence des bulles, des krachs, des crises financières et semble-t-il, la récurrence des excès de volatilité boursière, la recherche universitaire a élargi son champ d'investigation pour intégrer certains des apports fondamentaux des sciences sociales comme la sociologie humaine ou les enseignements de la psychologie expérimentale concernant la nature des comportements des intervenants en bourse.

Toutefois, certains milieux professionnels manifestent toujours de l'intérêt pour la mesure du risque systématique des actions, fondée sur la relation entre le rendement et le bêta caractéristique du modèle CAPM alors que sa vérification empirique est sujette à controverse chez les économistes. L'étude qui fait l'objet de ce travail, consiste à réexaminer la pertinence de cette relation, dans le cas des actions cotées à Paris, sur la base d'une spécification conditionnelle du type Pettengill, Sundaram, Mathur (1995). L'objectif est de mettre en évidence les limites de l'approche traditionnelle fondée exclusivement sur l'hypothèse de l'efficience.

Cette étude a été menée en considérant à la fois les rendements quotidiens sur une fenêtre glissante d'un an et les rendements mensuels pour des périodes de quatre ans sur un échantillon de 81 actions éligibles au SRD entre 1995 et 2006. Les résultats établis révèlent que les spécifications conditionnelles sont plus pertinentes pour décrire la relation entre le risque (bêta) d'une action et son rendement lorsque le marché est haussier/baissier, en particulier dans le cas des rendements quotidiens envisagés sur des périodes annuelles. Cette limite justifie, entre autres, l'importance de l'intégration des connaissances proposées par les sciences sociales pour l'amélioration de l'explication des risques encourus sur actions.

## Introduction

Durant la période d'après guerre, le Capital Asset-Pricing Model (CAPM) représente certainement l'une des trois contributions majeures de la recherche académique aux techniques de gestion des portefeuilles. Selon ce modèle, le bêta d'une action est considéré comme la seule cause des différentiels systématiques caractérisant les rendements des titres. Dans sa version Sharpe-Lintner-Black (SLB), la plus fréquemment utilisée dans la détermination du prix d'équilibre des titres sur les marchés des capitaux, l'hypothèse généralement admise est le caractère positif du rapport entre le risque d'une action, mesuré par le bêta, et son rendement anticipé et/ou réalisé. Cependant, la validité de cette hypothèse est tributaire de deux conditions : d'une part le portefeuille de marché (représenté souvent par un indice boursier) doit être efficient, de l'autre, la nature linéaire de la relation existant entre les rendements anticipés des actions et leurs bêtas respectifs. Il y a un consensus relatif entre différents auteurs pour penser que ces deux conditions sont indissociables ; chacune impliquant nécessairement l'autre. Or, depuis environ deux décennies, les propositions de cette contribution académique majeure résistent difficilement à l'épreuve de la vérification empirique dans la mesure où les résultats établis par une vague assez large d'études ont conclu, en effet, au rejet du modèle SLB.

Toutefois, malgré ce rejet, les milieux professionnels continuent à percevoir le bêta comme une mesure utile du risque des actions. L'explication réside probablement dans le fait qu'une autre vague d'études considère que la validité de la relation rendement/bêta peut être soutenue dans des conditions particulières, notamment lorsqu'elle fait l'objet d'observations pour un marché haussier/baissier, en utilisant une estimation par la méthode des moindres carrés généralisés (MCG) parallèlement à celle des moindres carrés ordinaires (MCO). C'est cette voie que nous nous proposons d'explorer ici. Il s'agit à travers cette recherche de revisiter, en effet, cette relation en se fondant sur l'analyse de l'évolution des cours des actions cotées à la bourse de Paris et ce, sous un double angle : d'un côté, l'adoption, à la suite de Pettengill, Sundaram, Mathur (1995), de Jagannathan, Wang (1996) et de L'her, Sy, Vencatachellum (2003), d'une spécification conditionnelle ; de l'autre, faire usage pour l'estimation non seulement de la méthode des MCO, mais aussi de la MCG expérimentée notamment par Roll, Ross (1994) et Kandel, Stambaugh (1995).

Notre problématique consiste, par conséquent, à interroger la pertinence de la relation rendement/bêta d'une action, dans les conditions d'un rendement excédentaire de marché spécifique : haussier ou baissier. La détermination du coefficient bêta par la méthode des MCG permet, quant à elle, de rendre compatible la matrice des variances-covariances du modèle avec l'application des MCO. La régression par la MCG atténue l'écueil de l'inefficience de l'indice boursier utilisé comme «proxy» du portefeuille de marché, en le rapprochant substantiellement de la frontière efficiente. Il faut préciser néanmoins, que nous ne cherchons en aucun cas à tester la validité en soi du modèle SLB car notre objectif demeure celui de mettre en évidence le caractère raisonnable de l'usage de la relation rendement/bêta comme mesure utile du risque de marché, dans les situations de hausse et de baisse de la bourse de Paris.

Nous procéderons d'abord à un développement consacré aux risques liés aux actions, aux principaux facteurs explicatifs de la tourmente boursière et à la critique du cadre d'analyse traditionnel de l'efficience des marchés financiers. Nous ferons ensuite le point, à travers

une brève revue de la littérature, sur les variantes conceptuelles de la relation de base, avant de présenter, enfin, les résultats de nos investigations empiriques. Ces résultats sont établis à partir d'une analyse portant sur un échantillon de 81 actions, éligibles au SRD à la bourse de Paris sur la période 1995-2006, par le recours aux méthodes des MCO et des MCG en deux étapes (périodes). Durant la première étape, nous estimons les bêtas individuels en constituant les portefeuilles en fonction d'un ordre croissant du bêta. Pendant la seconde étape, nous régressons le rendement moyen des portefeuilles de rang bêta ainsi constitués sur le rendement excédentaire de marché, en considérant à la fois les spécifications conditionnelles et non conditionnelles. Deux applications sont proposées : des rendements journaliers des 81 actions sur une « fenêtre » glissante d'un an de 1995 à 2006, puis des rendements mensuels sur deux périodes de quatre ans chacune (1995/1998-1999/2002 et 1999/2002-2003/2006).

Nos résultats montrent, d'une part, la pertinence de la détermination conditionnelle de la relation rendement/bêta d'une action, notamment à travers l'estimation par la méthode des MCG, particulièrement, dans le cas des rendements journaliers. De l'autre, les insuffisances, dans le cas des rendements mensuels, du cadre d'analyse standard des marchés financiers efficients, justifiant ainsi le bien fondé des apports de la finance comportementale pour une meilleure compréhension de certains événements boursiers.

## **1. La bourse n'est pas un casino !**

Cette assertion peut paraître provocatrice. Et pourtant, considérer la bourse comme un casino est une opinion relativement répandue surtout dans les places émergentes d'Amérique Latine et d'Asie. La Bourse de Casablanca n'échappe pas totalement à ce type de perception. En effet, elle est devenue, pour certains investisseurs, un lieu privilégié de spéculation. Il est vrai que l'excès de demande par rapport à l'offre favorise les stratégies «court-termistes» consistant à rechercher des opportunités de plus-value sur les titres, sans rapport avec leurs fondamentaux. Or, le véritable rôle économique de la bourse est de permettre le financement des projets d'investissements des grandes entreprises, sans délaisser pour autant les PME/PMI porteuses de projets économiques créateurs d'emplois dont le Maroc a cruellement besoin.

Les entreprises de type familial, caractérisant une part importante du capitalisme et du tissu économique marocain, pourraient en être les bénéficiaires. S'il est normal et légitime que les investisseurs aient comme exigence des rendements supérieurs au rendement de l'actif sans risque, pour accepter de détenir des actions risquées, l'excès de cette exigence, assez éloigné de la réalité économique des entreprises cotées, (des taux de rémunérations de 30 % à 40 %), peut s'avérer déstabilisatrice pour l'ensemble de la place. Il est bien connu que les hausses appellent d'autres hausses, participant ainsi aux bulles financières qui finissent toujours par éclater au moindre retournement de l'opinion publique. Il ne faut jamais perdre de vue que la valeur de l'action d'une entreprise doit être le reflet fidèle de ses résultats économiques.

### **1.1. Quels sont les risques liés aux actions?**

Lorsqu'on raisonne sur une action individuelle, le cours doit s'apprécier lorsque l'entreprise enregistre des bénéfices et pourrait baisser si celle-ci annonce ou réalise des pertes.

Gordon et Shapiro (1956) nous ont enseigné que la valeur fondamentale (ou valeur intrinsèque) d'une action peut être évaluée en actualisant ses dividendes futurs<sup>1</sup> comme suit :

$$C_0 = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{(1+k)^i} + \frac{C_n}{(1+k)^n}$$

Où :

$D_i$  : le dividende versé à la date  $i$ ;

$K$  : le taux d'actualisation du marché;

$C_i$  : la valeur de l'action en période  $i$ .

Et c'est bien là le premier risque que prend l'acheteur d'une action. Fondamentalement, il s'agit du risque «objectif» propre à l'entreprise et à son secteur : c'est le risque spécifique. Il est bien établi que ce risque peut être réduit par la diversification. L'investisseur, en achetant les actions d'un ou de plusieurs secteurs économiques, pourrait diversifier son portefeuille et réduire donc le risque spécifique.

Si, dans un deuxième temps, on porte le raisonnement sur l'ensemble des actions cotées en bourse, le risque serait mesuré par l'indice général : MASI ou MADEX à Casablanca, le CAC 40 à Paris ou le Dow-Jones à New-York. Ces indices traduisent le risque sur les principales sociétés censées être représentatives de l'économie du pays. C'est ce second risque qu'on qualifie de risque de marché ou risque bêta. Il s'agit du risque systématique de l'action irréductible par la diversification. Le risque bêta a été développé dans le cadre du Capital Asset Pricing Model (CAPM ou MEDAF) et «popularisé», à partir du modèle de Markowitz (1952), par Sharpe, Linthner et Black (SLB) dès 1964. Et c'est bien le risque systématique qui exprime l'évolution de la bourse via son indice général regroupant l'échantillon des actions de la place. Il constitue, par conséquent, l'indicateur de mesure des bulles, des krachs et des crises financières.

La question centrale est celle des facteurs explicatifs de ces aléas boursiers. Sans prétendre à l'exhaustivité, deux facteurs principaux paraissent particulièrement éclairants :

- D'une part, la course à la rentabilité qui pousse certains investisseurs à prendre des risques inconsidérés. En effet, le déséquilibre démographique dans les pays riches (USA et Europe), notamment, oriente l'épargne des retraité(e)s vers les bourses émergentes à la recherche de rendements déraisonnablement élevés (de 30% à 50% voire plus). Cette recherche entraîne une forte concurrence entre les gestionnaires internationaux des fonds de retraite. Cette concurrence accentue le déséquilibre entre l'offre et la demande dans les jeunes places, les rendant très vulnérables au moindre retournement de conjoncture ou de rumeurs collectives;

- De l'autre, l'excès de liquidités que connaît de façon épisodique le système monétaire et financier international. Ces injections, certes ponctuelles, mais par moment très massives, se produisent souvent à la suite de changement de politique monétaire par les principales banques centrales (FED, BCE et banque du Japon) ou via soit des baisses très significatives de leur taux directeur, soit des interventions sur les marchés des changes, lors d'actions de soutien du dollar par les banques de pays qui dégagent un excédent d'épargne élevé.

<sup>1</sup> Sous réserve de l'acceptation de l'hypothèse forte sur le taux de croissance du dividende. Celui-ci est souvent considéré comme constant dans le temps.



Ces injections de liquidités apparaissent comme des actions de sauvetage d'établissements ayant pris des risques inconsidérés, dans un contexte de libéralisation financière à outrance. Cette situation assimilée dans la littérature au phénomène de l'Aléa moral, soulève le problème de la responsabilité, indirecte, des institutions publiques (banques centrales et institutions de régulation prudentielles) dans l'incitation aux prises excessives de risque par certains établissements financiers.

Jusqu'où peut-on aller dans la tolérance du principe du «too big to fail» pour préserver la stabilité de l'ensemble du système monétaire et financier international? S'il est clair que l'arsenal de la réglementation prudentielle, résultant de la réforme de Bâle II, est plus que jamais utile, il est, tout de même, urgent de «moraliser» les pratiques boursières en intégrant des considérations éthiques dans le comportement des opérateurs sur les marchés financiers.

Bref, l'action comporte deux types de risques :

- un risque spécifique (propre au secteur économique de l'action) diversifiable;
- un risque systématique (risque bêta) lié au marché, non diversifiable.

La nature différenciée de ces deux risques explique la complexité des fondements théoriques sur lesquels reposent les modalités de leur gestion.

### **1.2. Le cadre d'analyse de l'efficience des marchés financiers est-il toujours suffisant?**

L'analyse des deux risques, spécifique et bêta, attachés aux actions a pour fondement théorique l'efficience des marchés financiers forgée et diffusée notamment par FAMA en 1973.

La théorie de l'efficience financière suppose que le prix d'une action cotée en bourse reflète, à tout moment, toute l'information disponible sur l'entreprise. Sans rappeler l'ensemble des hypothèses sous-jacentes, cette théorie admet notamment, un fonctionnement quasi-idéal des marchés financiers du point de vue de l'information. L'idée générale est, qu'il suffit que le prix de marché absorbe toute l'information disponible pour que «tout va pour le mieux dans les meilleurs des mondes».

Or, nous savons que dans les faits ce n'est pas toujours le cas. Depuis la fin des années 1970, l'évolution des cours boursiers ne correspond pas à celle postulée par ce cadre théorique. La résurgence des bulles, des krachs, des crises financières s'est traduite souvent par un excès de volatilité boursière. La recherche universitaire a étendu son champ pour intégrer certains des apports des sciences sociales comme la psychologie, la sociologie humaine ainsi que les enseignements de l'expérimentation en laboratoire du comportement des intervenants en bourse. C'est ce qui justifie l'intérêt de la finance comportementale qui a vu s'étendre son audience grâce, notamment, à la théorie des perspectives de D. Kahneman et A. Tversky en 1979.

En effet, la finance comportementale tente d'expliquer des phénomènes observés dans les marchés financiers en contradiction avec les hypothèses habituelles de la théorie de l'efficience. Il s'agit de plusieurs anomalies qui ne peuvent être expliquées en mobilisant le paradigme de l'efficience. A titre d'exemple, les performances des indices boursiers peuvent subir l'impact calendaire de certains jours, ou mois de l'année (effet lundi ou effet janvier), de la météorologie (effet ensoleillement) ou d'autres événements comme le Super Bowl américain.

Les anomalies des marchés financiers représentent autant de limites que le modèle de la finance standard de l'efficacité, dominant depuis la période d'après guerre, ne parvient pas à dépasser alors que la finance comportementale pourrait leur apporter des débuts de réponse.

## 2. Brève revue de la littérature : finance standard versus finance comportementale

Depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les prix des titres financiers font, sans doute, partie des variables économiques les plus étudiées. Des économistes français comme Regnault (1863) et Bachelier (1900) aux économistes américains<sup>2</sup> tels que Markowitz (1952), Sharpe (1964) ainsi que Fama, Black, Scholes et Merton (1973), la théorie financière a eu, en effet, comme quête permanente la résolution des questions de détermination des cours boursiers et des facteurs gouvernant leurs fluctuations. La détermination empirique de l'équilibre des marchés de capitaux par le Capital Asset Pricing Model (CAPM), développée par Sharpe (1964), Linthner (1965) et Black (1972) à la suite de Markowitz (1952), a fait l'objet de nombreux tests qui ont conduit néanmoins à des conclusions contradictoires en particulier depuis le début des années 1990.

En effet, certaines études rejettent l'hypothèse selon laquelle le bêta d'une action est la seule cause de la composante systématique des différences dans les rendements moyens des titres. Elles suggèrent que le rendement moyen peut s'expliquer par d'autres facteurs tel que le ratio cours/bénéfices (PER) ou le ratio de capitalisation des fonds propres. D'autres études critiques mettent en avant l'inefficience de l'indice boursier, supposé être représentatif du portefeuille de marché par rapport auquel doit être appréciée la relation entre le bêta (risque) et le rendement moyen d'un titre. Enfin, certaines autres vérifications empiriques du CAPM soulignent l'importance de la spécification conditionnelle sur l'état de marché, en distinguant les périodes des hausses de celles des baisses. La relation entre le risque d'une action, mesuré par le bêta, et son rendement moyen ne serait pas stable d'un état de la nature à un autre.

### 2.1. Le CAPM et ses spécifications de base

Le modèle de Sarpe-Linthner-Black (SLB) suppose l'existence d'une relation positive entre le rendement espéré d'un titre et son risque en fonction de trois variables seulement : le bêta du titre, un actif sans risque et le rendement espéré de marché. L'équation exprimant le prix d'équilibre à partir du CAPM est la suivante :

$$E(R_i) = R_f + \beta_i [E(R_m) - R_f] \quad (1)$$

Où :

$E(R_i)$  : le rendement espéré de l'actif i;

$E(R_m)$  : le rendement espéré du portefeuille de marché;

$R_f$  : taux d'intérêt de l'actif sans risque;

$\beta_i$  : le bêta de l'actif i, il est égal à la covariance des taux de rentabilité de l'actif i avec ceux de l'indice de marché rapportée à la variance des taux de rentabilité de l'indice de marché.

<sup>2</sup> Markowitz, Sharpe, Scholes et Merton ont été honorés par la récompense du prix Nobel, en économie, pour leurs travaux en théorie financière.

L'équation (1) s'applique aussi dans le cas d'un portefeuille composé de plusieurs titres, soit :

$$E(R_p) = R_f + \beta_p [E(R_m) - R_f] \quad (2)$$

D'après la relation (1), si deux titres ont deux bêtas différents, leur rendement moyen attendu sera différent. Autrement dit, le terme  $[E(R_m) - R_f]$  de l'équation (2) (et (1)) doit être positif. Le rendement espéré de tout portefeuille risqué est une fonction positive de son bêta. L'investisseur ne va accepter d'acheter une action que si son rendement attendu est performant au point de compenser son risque systématique. Sinon, il ne détiendrait que les actifs non risqués. Ce comportement s'appuie sur la décomposition du risque total d'une action en risque systématique et risque spécifique. Celle-ci admet que, dans un portefeuille bien diversifié, seul le risque systématique persiste. Et c'est justement le bêta, correspondant à la pente de la droite dans les équations (1) et (2), qui mesure la sensibilité (réactivité) du rendement moyen d'un titre aux mouvements du marché.

Pour estimer la relation fondamentale du CAPM (équations (1) et (2)), la plupart des études empiriques adoptent un raisonnement statique. Le comportement des investisseurs est pris en compte dans un modèle économique mono-périodique. La conséquence est qu'il faut accepter comme hypothèse forte la constance dans le temps des bêtas. Or, cette hypothèse est peu réaliste dans la mesure où le risque sur les flux de trésorerie des entreprises peut varier selon leur cycle d'affaires; le levier d'endettement de certaines sociétés, peut augmenter leur bêta par rapport à d'autres firmes et inversement. Sachant par ailleurs que les cycles des affaires d'un certain nombre de secteurs sont entraînés par les innovations technologiques, on comprend que les bêtas des entreprises de ces secteurs soient susceptibles de varier. C'est ce qui justifie l'intérêt de la méthode que nous proposons pour calculer le bêta quotidien sur des périodes annuelles glissantes et le bêta mensuel sur des intervalles de quatre ans. En outre, parmi les nombreuses vérifications empiriques du CAPM, celle entreprise par Reinganum en 1981 a permis d'établir que les rendements moyens des titres ayant un bêta élevé n'étaient pas très différents des rendements moyens des titres possédant un bêta faible.

Autant dire que le caractère contradictoire des résultats des différentes études empiriques rend ainsi problématique le statut de la relation rendement/risque. Ainsi les travaux de Black, Jensen et Scholes (1972) mais aussi ceux de Fama et MacBeth (1973) concluent à l'existence d'une relation positive entre le bêta et le rendement moyen des titres américains pendant la période d'avant 1969. En revanche, les vérifications de Lakonishok et Shapiro (1986) montrent que, lorsque le bêta est la seule variable explicative, la relation entre le rendement moyen et le bêta des titres ne se vérifie pas sur la période 1963-1990. Le caractère contradictoire des résultats empiriques explique le fait que de nombreux économistes aient suggéré l'adjonction d'autres variables explicatives dans le cadre de modèles plutôt multifactoriels.

## **2.2. Critiques du CAPM : modèles multi-facteurs et inefficience de l'indice de référence**

Deux auteurs bénéficiant d'une grande notoriété dans le domaine, Fama et French, ont publié coup sur coup en 1992 et en 1993 des résultats contradictoires concernant le modèle SLB. Dans leurs deux articles, ils remettent en cause la relation entre le bêta d'un titre et ses rendements moyens entre 1963 et 1990 en concluant à sa faiblesse pour la période 1941-1990.

Dans l'article publié en 1992, Fama et French proposent un modèle multi-facteurs. En plus des bêtas du marché, ils prennent en compte le ratio cours/bénéfices (PER), la taille, l'effet-Janvier ainsi que le ratio de capitalisation des fonds propres (mesuré par le rapport<sup>3</sup> entre la valeur de marché et la valeur comptable des fonds propres) dans l'explication des rendements moyens des bourses américaines : NYSE, AMEX et NASDAQ. Selon les deux auteurs (1992), si les titres boursiers sont évalués rationnellement, les risques des actions seraient liés à des facteurs multidimensionnels dont deux sont privilégiés : la taille (ME) et le ratio de capitalisation des fonds propres (M/B).

Dans le prolongement et l'extension du CAPM à un modèle conditionnel et multi-factoriel, Jagannathan et Wang (1996) introduisent, entre autres, le rendement du capital humain dans la mesure du rendement agrégé de la richesse des investisseurs. Ils pensent, en effet, que la version statique du CAPM pourrait être validée, mais que l'indice représentant le portefeuille de marché n'est pas un indicateur pertinent ni réaliste de la richesse agrégée. De ce fait, suivant en cela Mayers (1972), ils soutiennent que le rendement du capital humain contribue, pour une large part, à la formation du capital total de l'économie. Ils observent que l'introduction du capital humain, en tant qu'élément complémentaire de mesure de la richesse dans le modèle CAPM conditionnel, peut expliquer plus de 50% des variations des rendements moyens des titres boursiers. Mais contrairement à Fama et French, ils considèrent que la taille et le book-to-market ont un faible pouvoir explicatif de la partie qui demeure inexpliquée par le rendement du capital humain.

Il semble que dans le cadre du débat sur la vérification empirique de la version statique du CAPM, la ligne de démarcation oppose les auteurs qui imputent le rejet du modèle à l'inefficience de l'indice de marché et ceux qui insistent sur les spécificités conditionnelles relatives à l'état haussier ou baissier de marché, comme nous le faisons dans notre étude empirique.

Rappelons que le modèle CAPM de Sharpe, Linthner et Black implique deux conditions liées : le portefeuille de marché est supposé être efficient et les rendements espérés des titres boursiers ont une relation linéaire avec leur bêta. Bon nombre d'auteurs ne séparent pas ces deux conditions dans la mesure où chacune implique l'autre. En effet, si l'indice de portefeuille de marché est inefficent dans le plan moyenne-variance, il n'y aura pas de relation linéaire entre le rendement attendu des titres boursiers (ou portefeuilles) et leur bêta.

Dans une étude publiée en 1995, Kandel et Stambaugh ont montré que chacune des deux conditions précédentes peut se vérifier presque parfaitement alors que l'autre condition ne sera pas respectée. Pour cela, ils proposent d'utiliser comme régression la méthode GLS, generalized least square (moindres carrés généralisés, MCG) lorsque l'indice de portefeuille de marché est inefficent. Dans ce cas, la MCG permet de retrouver les propriétés de la relation linéaire entre le rendement moyen des titres boursiers et leurs bêtas.

Aussi, Roll et Ross (1994) font remarquer que l'indice boursier observé n'est pas représentatif du vrai indice de marché dont l'efficience moyenne-variance correspond à celle stipulée par la théorie du CAPM. Cependant, les deux auteurs indiquent qu'avec des méthodes économétriques avancées comme les moindres carrés généralisés, l'indice de marché ne serait pas très loin de la frontière efficiente décrite par le CAPM. La méthode MCG peut changer par conséquent significativement le résultat et faire valider la relation rendement/risque.

---

<sup>3</sup> Désigné par «market-value-to-book ratio » ou M/B.

### 3. Données et méthodologie adoptée

Pour étudier la relation entre le rendement et le bêta des actions françaises, nous avons considéré un échantillon<sup>4</sup> de 81 valeurs cotées à la bourse de Paris entre le 1<sup>er</sup> janvier 1995 et le 31 décembre 2006. A l'instar des études de Pettengil, Sundaram et Mathur (1995) et de l'Her, Sy et Vencatachellum (2003), nous avons adopté, en plus du cas général (sans spécification conditionnelle), les deux déterminations conditionnelles en distinguant a posteriori les périodes de marché baissier et haussier, en considérant les rendements quotidiens et mensuels. Pour chaque type de rendement, nous avons procédé en deux étapes.

Pour la première période, nous avons calculé le vrai bêta de chacune des 81 actions en l'estimant par rapport au CAC 40, sur une fenêtre glissante d'un an pour les rendements journaliers; la première fenêtre étant l'année 1995. Pour les rendements mensuels, la fenêtre utilisée est de 4 ans; les premières observations concernent la période 1995/1998. Nous avons classé les bêtas des titres par intervalles suivant un ordre ascendant,  $\beta_{jt-1}$ ,  $j = 1$  à 6, et constitué des portefeuilles en prenant la moyenne des bêtas des titres du même intervalle ( $Rd$   $PF \beta_{jt-1}$ ). Nous avons pu ainsi composer pour cette période (constitution des portefeuilles de rang  $\beta_{jt-1}$ ) 6 portefeuilles de bêta croissant pour chacun des deux types de rendements (journaliers et mensuels).

Aussi, nous avons utilisé les taux d'intérêt des bons du Trésor français à 3 mois ( $tb3$ ) comme rendement de l'actif sans risque. Afin d'obtenir le rendement excédentaire de marché et les rendements excédentaires moyens des portefeuilles  $\beta_{jt-1}$ , (prime de risque), nous avons retranché le taux des bons du Trésor du rendement du CAC40 ( $cac40$ ) et de celui des portefeuilles  $\beta_{jt-1}$ .

Lors de la deuxième étape (l'année 1996 pour la première fenêtre des observations de 1995 et la période 1999/2002 pour la première fenêtre des observations de 1995/1998), nous avons régressé les rendements excédentaires moyens des portefeuilles  $\beta_{jt-1}$  sur le rendement excédentaire moyen de marché, comme l'indique l'équation (3) ci-dessous<sup>5</sup> :

$$E(Rd \text{ } PF\beta_{jt-1}) - tb3 = \alpha + \beta(E(cac40) - tb3) + \mu \quad (3)$$

Les paramètres de la relation rendement/bêta ont été estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires mais aussi par la méthode Prais-Winsten. Il s'agit d'un estimateur des moindres carrés généralisés (GLS estimator) qui permet de résoudre les problèmes d'hétéroscédasticité et des auto-corrélations. Ce qui le différencie du processus, plus connu, de Cochrane-Orcutt utilisant une définition retardée, c'est qu'il ne perd pas la première observation.

### 4. Etude préalable sur les données : test de racine unitaire

Avant de procéder aux différentes estimations économétriques, il convient d'exposer préalablement l'analyse des caractéristiques statistiques des séries chronologiques des variables utilisées. L'étude de la stationnarité des séries est un moyen permettant de vérifier si leur espérance et leur variance se modifient dans le temps.

<sup>4</sup> Les données sur les actions proviennent des sites d'ABC Bourse et Yahoo Finance. Les taux d'intérêts des bons du Trésor français à 3 mois ont été téléchargés du site de la Banque de France. Nous les en remercions.

<sup>5</sup> Vu le nombre de paramètres, nous n'avons pas reproduit dans les tableaux des résultats l'estimation du  $\alpha$ .

Le test de racine unité sert à identifier le type de non-stationnarité : processus DS ou TS. En effet, l'existence d'une (ou plusieurs) racine unité dans la série indique que le processus est stochastique et peut être éliminé par différenciation. Pour cela, nous avons adopté le test de Augmented Dickey Fuller (ADF) afin d'identifier l'ordre d'intégration<sup>6</sup> des variables utilisées dans les régressions. L'intérêt de ce test réside dans le fait qu'il tient compte à la fois de l'auto-corrélation et de l'hétéroscédasticité dans les séries. Il s'agit de tester l'hypothèse nulle (non stationnarité)  $H_0 : |\rho| = 1$  (le processus suit une marche au hasard) contre l'hypothèse alternative  $H_1 : |\rho| < 1$  (le processus est asymptotiquement stationnaire). Les résultats du test ADF indiquent, qu'au seuil de 5%, toutes les séries utilisées sont stationnaires.

## 5. Bêtas des rendements journaliers sur des périodes glissantes d'un an

L'étude de la relation rendement journalier/bêta des actions sur une fenêtre glissante d'un an<sup>7</sup> de 1996 à 2006 (tableau 1) nous livre des renseignements intéressants. En effet, la méthode des moindres carrés généralisés (Prais-Winsten) fournit par endroit, des résultats meilleurs que ceux obtenus par les moindres carrés ordinaires, corroborant ainsi notre intuition de départ.

Tableau 1. Récapitulatif de la relation rendement/bêta journalier sur une fenêtre glissante d'un an de 1996 à 2006

Année	Primes positives/ négatives Marché haussier/ baissier	Allure de la relation rendement/bêta croissante/décroissante dans un marché haussier/ baissier	Proportionnalité entre bêta (faible/élevé) et Rendement/perte (faible/ élevé)
1996	Systématique à l'exception d'un $\beta$	Oui	Oui
1997	Systématique	Oui	Oui à une exception près
1998	Systématique	Oui	Oui à une exception près
1999	Systématique	Plus net dans le cas de MCG	Oui à deux exceptions près
2000	Systématique à l'exception d'un $\beta$	Plus net dans le cas de MCO	Oui à une exception près
2001	Systématique	Oui	Oui à une exception près
2002	Systématique	Plus net dans le cas de MCG	Oui à une exception près
2003	Systématique	Oui dans le cas de MCG	Oui
2004	Systématique à l'exception de trois $\beta$	Oui dans le cas de MCG	Oui à trois exceptions près
2005	Systématique	globalement oui	Oui à quatre exceptions près
2006	Systématique	globalement oui	Oui à cinq exceptions près

<sup>6</sup> Ce test utilise les trois modèles du processus : sans terme constant ni trend, avec terme constant et enfin avec terme constant et trend.

<sup>7</sup> Etant donné leur caractère volumineux, nous ne pouvons reproduire dans ce texte tous les résultats des estimations ni tous les graphiques de la relation rendement/bêta en glissement annuel de 1996 à 2006. Ces résultats peuvent être fournis sur demande.

Globalement, les deux méthodes indiquent que les bêtas journaliers des portefeuilles estimés à la deuxième étape suivent, à quelques exceptions près, l'ordre croissant des vrais bêtas calculés à la première période. Ce n'est pas le cas pour les données mensuelles.

La détermination non conditionnelle fait apparaître des primes positives de 1996 à 2006, à l'exception des années 2001 et 2002. Mais ces primes ne sont pas proportionnelles aux bêtas des portefeuilles.

Lorsque l° rendement de marché excédentaire est positif (détermination conditionnelle) les primes sont, comme on s'y attendait, toutes positives de 1996 à 2006. En plus, elles sont, à quelques exceptions près, liées aux bêtas des portefeuilles. La relation rendement/bêta journalier semble être confirmée. L'observation de la situation conditionnelle où le rendement excédentaire de marché est négatif nous renseigne qu'à part 6 portefeuilles (pour les deux méthodes), toutes les primes de risques sont négatives comme on pouvait l'escompter. Là aussi, nous remarquons pour la grande majorité des portefeuilles, l'existence d'un lien négatif entre ces primes et les bêtas des portefeuilles correspondants. La relation théorique est globalement soutenable.

Par ailleurs, ces constatations sont confirmées par le calcul de la moyenne des primes et des bêtas des portefeuilles sur l'ensemble de la période de 1996 à 2006 (tableau 2). En effet, lorsque le rendement excédentaire de marché est positif/négatif, quelle que soit la méthode d'estimation, les primes de risque sont positives/négatives et le graphique du rendement/bêta des portefeuilles est croissant/décroissant (relation quasi- linéaire) dans le cas des MCG. Mais la proportionnalité entre le bêta et le rendement/perte, bien qu'elle soit globalement observée, n'est pas systématiquement vérifiée.

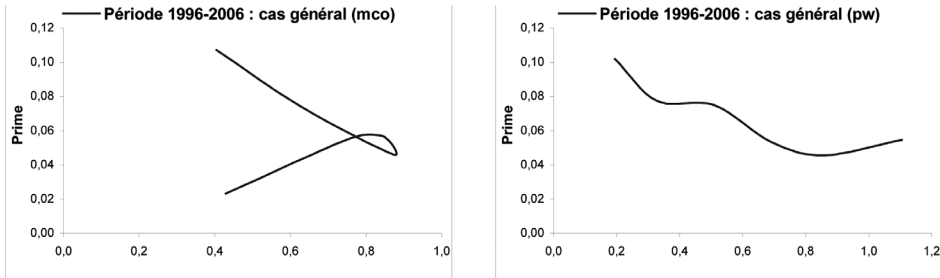
Tableau 2. Rendements/ bêtas des portefeuilles journaliers en moyenne des périodes annuelles de 1996 /2006

PF j	Cas Général				Cas (Rdcac40-tb3)>0				Cas (Rdcac40-tb3)<0			
	Méthode mco		Méthode pw <sup>(1)</sup>		Méthode mco		Méthode pw <sup>(1)</sup>		Méthode mco		Méthode pw <sup>(1)</sup>	
	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Bêta estimé	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Bêta estimé	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Bêta estimé	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Bêta estimé	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Bêta estimé	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Bêta estimé
1	0,1071	0,4048	0,1019	0,195	0,4382	0,3502	0,2860	0,132	-0,2488	0,5608	-0,0959	0,285
2	0,0742	0,6280	0,0775	0,329	0,6623	0,5858	0,3394	0,307	-0,5363	0,7767	-0,1960	0,440
3	0,0460	0,8724	0,0749	0,512	0,9105	0,8550	0,5284	0,493	-0,8501	0,9112	-0,4066	0,615
4	0,0566	0,8476	0,0532	0,693	0,8150	0,8517	0,7209	0,659	-0,7565	0,8846	-0,6370	0,806
5	0,0559	0,7617	0,0457	0,858	0,8852	0,7623	0,8629	0,871	-0,8668	0,7783	-0,8087	0,948
6	0,0232	0,4292	0,0545	1,105	0,4775	0,4464	1,1685	1,091				

(\*) RD PF j - Tb3

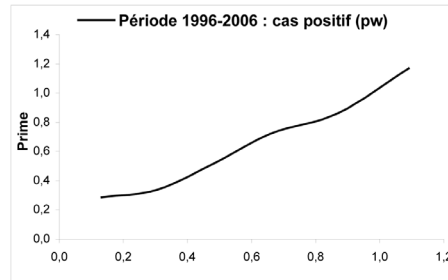
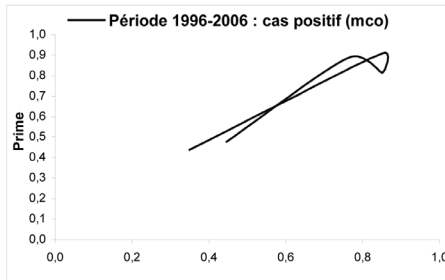
Graphique 1. Relation rendement/bêta journalier en moyenne sur l'ensemble de la période 1996/2006

Cas général :



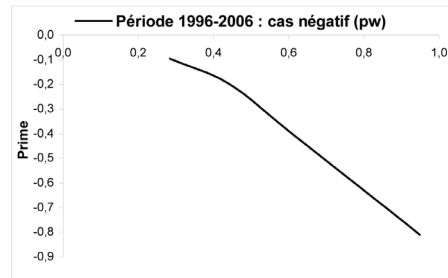
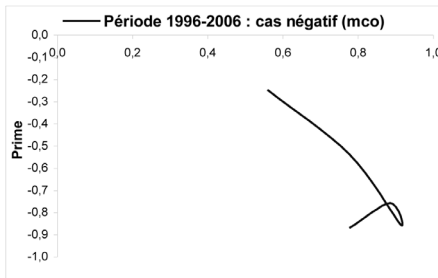


Cas ( $R_{dcac40-tb3}$ )>0 :



(1) Prais-Winsten est une méthode MCG

Cas ( $R_{dcac40-tb3}$ )>0 :



(1) Prais-Winsten est une méthode MCG

### 5.1. Bêtas des rendements mensuels sur des périodes de 4 ans

L'estimation de la relation rendement/bêta par la méthode des moindres carrés ordinaires, dans la situation non conditionnelle des rendements mensuels, révèle pour les deux périodes (1999/2002 et 2003/2006), des primes de risque positives de tous les portefeuilles, à l'exception du portefeuille  $\beta_4$  de la période 1999/2002 dont la prime est négative (tableaux 3 et 4).

Dans l'ensemble, ces primes sont significativement inférieures à celles de la situation où le rendement excédentaire de marché est positif, avec des écarts toutefois beaucoup plus importants lors de la période 1999/2002. Ceci s'explique à la fois par la compensation des primes positives et négatives, et par la spécification non conditionnelle du rendement excédentaire de marché.

Nous constatons, en outre que les portefeuilles ayant les bêtas les plus élevés sont caractérisés par les primes les plus élevées, comme escompté, mais uniquement pour la période 1999/2002 et non pour la seconde période 2003/2006. En revanche, lorsque la régression s'effectue selon la méthode Prais-Winsten (moindres carrés généralisés), toutes les primes sont positives sauf pour les portefeuilles  $\beta_2$  et  $\beta_6$  de la période 1999/2002. Mais, le lien entre les bêtas et les primes de risque disparaît.

S'agissant des déterminations conditionnelles, lorsque le rendement excédentaire de marché est positif, toutes les primes sont positives dans les deux périodes, et ce, quelle que soit la méthode de régression. Elles sont globalement liées aux bêtas des portefeuilles estimés par les MCO (plus ces derniers sont élevés plus les primes augmentent). La relation rendement/bêta est, par conséquent, vérifiée mais uniquement pour la période 1999/2002, contrairement à ce qui est le cas, et ce pour les deux périodes, avec la méthode MCG (Prais-Winsten).

Dans le cas où le rendement de marché excédentaire est négatif, à l'exception du bêta le plus faible  $\beta_1$  de la période 2003/2006 calculé par les MCO, toutes les primes sont négatives comme attendu. Nous observons, pour les deux méthodes, que durant les deux périodes et dans la majorité des cas, les portefeuilles ayant un bêta élevé ne sont pas assortis de primes négatives aussi élevées. La relation rendement/bêta ne se rapproche pas globalement de la relation théorique. Les représentations graphiques montrent, en effet, pour les deux périodes une relation certes globalement décroissante (1999/2002 (MCO) et en 2003/2006 (MCG)) mais non linéaire.

Tableau 3. Rendements/bêtas mensuels de la période 1999/2002

Cas Général

PF $\beta_j$	Méthode mco					Méthode pw <sup>(1)</sup>				
	Bêta Période 1995-1998	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 1999-2002			Bêta Période 1995-1998	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 1999-2002		
			Bêta estimé	F stat.	R <sup>2</sup>			Bêta estimé	T student	R <sup>2</sup> ajusté
1	0,0795	1,1688	1,7355	34,83	0,43					
2	0,1986	0,3905	1,1122	159,64	0,78	0,1666	-0,6643	0,9829	12,02	0,76
3	0,3732	0,0357	0,8547	161,28	0,78	0,3767	0,5667	0,7864	12,47	0,77
4	0,5465	-0,5330	0,7527	148,40	0,76	0,6378	0,3866	0,9914	12,13	0,76
5						0,8728	0,0147	0,7895	10,89	0,72
6						1,2561	-0,0778	1,1241	15,15	0,83

Cas (Rdcac40-tb3)>0

PF $\beta_j$	Méthode mco					Méthode pw <sup>(1)</sup>				
	Bêta Période 1995-1998	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 1999-2002			Bêta Période 1995-1998	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 1999-2002		
			Bêta estimé	F stat.	R <sup>2</sup>			Bêta estimé	T student	R <sup>2</sup> ajusté
1	0,0795	10,8805	2,8694	10,68	0,35					
2	0,1986	6,3419	1,1175	19,17	0,49	0,1666	5,2603	1,1015	2,81	0,26
3	0,3732	4,7166	0,5616	8,98	0,31	0,3767	4,4413	0,6871	3,21	0,32
4	0,5465	3,6935	0,4916	6,52	0,25	0,6378	5,5229	0,6643	2,25	0,17
5						0,8728	4,8517	0,3253	2,16	0,15
6						1,2561	5,3693	1,2065	4,16	0,45

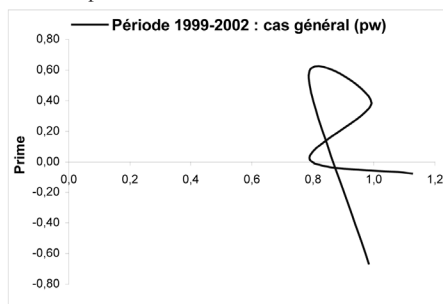
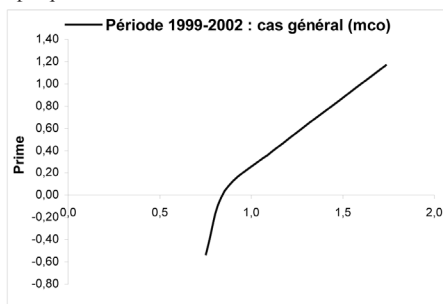
Cas (Rdcac40-tb3)<0

PFβj	Méthode mco					Méthode pw <sup>(1)</sup>				
	Bêta Période 1995-1998	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 1999-2002			Bêta Période 1995-1998	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 1999-2002		
			Bêta estimé	F stat.	R <sup>2</sup>			Bêta estimé	T student	R <sup>2</sup> ajusté
1	0,0795	-7,0488	1,1755	4,70	0,16					
2	0,1986	-4,6454	1,2397	50,12	0,68	0,1666	-5,6775	0,9302	7,64	0,70
3	0,3732	-3,9251	1,0565	68,99	0,74	0,3767	-2,7118	0,5991	5,37	0,54
4	0,5465	-4,1092	0,8860	69,47	0,74	0,6378	-3,9595	1,2296	7,99	0,72
5						0,8728	-4,0782	1,0233	8,64	0,75
6						1,2561	-4,6868	1,1730	7,36	0,69

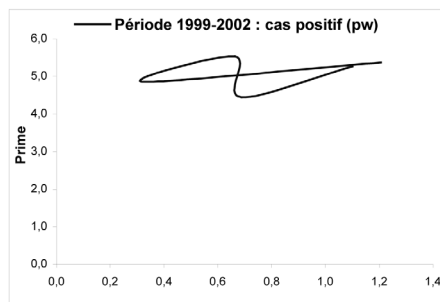
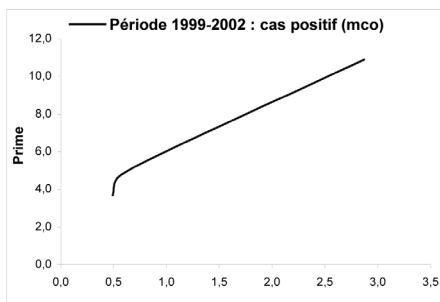
(\*) Rd PFβj – tb3

<sup>(1)</sup> Prais-Winsten est une méthode MCG

Graphique 2. Relation rendement/bêta mensuel en moyenne sur des périodes de 4 ans 1999/2002



Cas (Rdcac40-tb3)>0



Cas (Rdcac40-tb3)<0

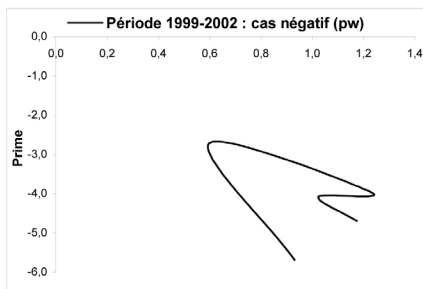
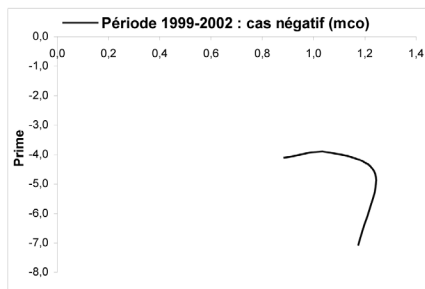


Tableau 4. Rendements/bêtas mensuels de la période 2003/2006

Cas Général

PFβj	Méthode mco					Méthode pw <sup>(1)</sup>				
	Bêta Période 1999-2002	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 2003-2006			Bêta Période 1999-2002	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 2003-2006		
			Bêta estimé	F stat.	R <sup>2</sup>			Bêta estimé	T student	R <sup>2</sup> ajusté
1	0,0684	2,5057	0,5876	10,63	0,19	0,0665	2,3409	1,3587	2,42	0,10
2	0,1846	2,1768	1,2308	54,39	0,54	0,1777	1,8219	0,9070	8,64	0,62
3	0,3406	1,3470	1,0677	416,58	0,90	0,3701	1,9024	1,1711	8,82	0,63
4	0,5471	1,5457	0,7298	52,63	0,53	0,6266	1,4450	1,1092	16,84	0,86
5						0,9140	1,2314	1,1176	12,18	0,76
6						1,8585	1,7527	1,0464	15,94	0,85

Cas (Rdcac40-tb3)>0

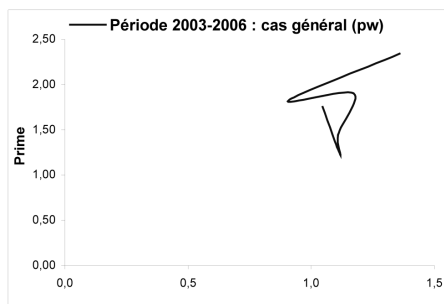
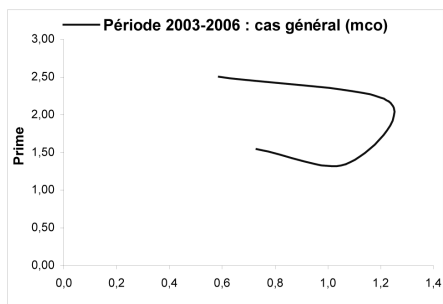
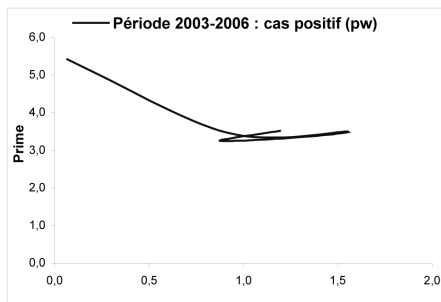
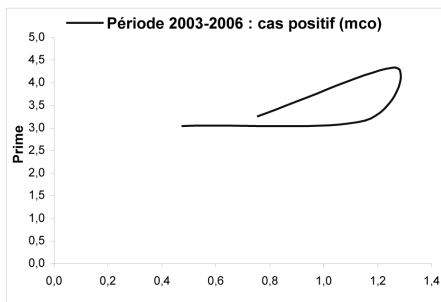
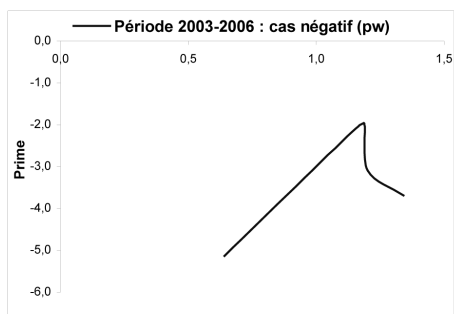
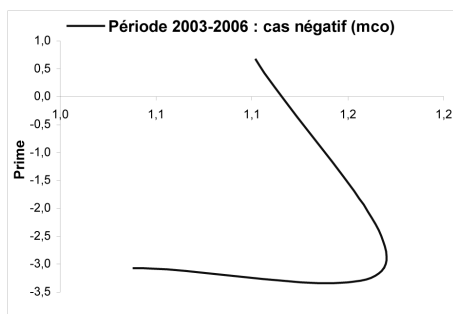
PFβj	Méthode mco					Méthode pw <sup>(1)</sup>				
	Bêta Période 1999-2002	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 2003-2006			Bêta Période 1999-2002	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 2003-2006		
			Bêta estimé	F stat.	R <sup>2</sup>			Bêta estimé	T student	R <sup>2</sup> ajusté
1	0,0684	3,2632	0,7571	7,45	0,19	0,0665	5,4216	0,0671	0,06	-0,03
2	0,1846	4,3358	1,2653	14,59	0,31	0,1777	3,4665	0,9169	4,37	0,36
3	0,3406	3,1648	1,1534	125,65	0,80	0,3701	3,4971	1,5493	5,12	0,44
4	0,5471	3,0408	0,4766	6,38	0,17	0,6266	3,3159	1,2232	9,80	0,75
5						0,9140	3,2586	0,8752	4,42	0,37
6						1,8585	3,5157	1,1943	9,01	0,71

Cas (Rdcac40-tb3)<0

PFβj	Méthode mco					Méthode pw <sup>(1)</sup>				
	Bêta Période 1999-2002	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 2003-2006			Bêta Période 1999-2002	Prime de risque <sup>(*)</sup>	Période 2003-2006		
			Bêta estimé	F stat.	R <sup>2</sup>			Bêta estimé	T student	R <sup>2</sup> ajusté
1	0,0684	0,6661	1,1020	1,84	0,13	0,0665	-5,1407	0,6417	1,09	0,02
2	0,1846	-3,0667	1,1689	6,52	0,35	0,1777	-2,1722	1,1395	2,50	0,30
3	0,3406	-3,0677	1,0384	55,50	0,82	0,3701	-1,9705	1,1872	3,98	0,55
4						0,6266	-3,0986	1,2009	5,30	0,69
5						0,9140	-3,6918	1,3420	4,60	0,63
6										

<sup>(\*)</sup> Rd PFβj – tb3<sup>(1)</sup> Prais-Winsten est une méthode MCG

Graphique 3. Relation rendement/bêta mensuel en moyenne sur des périodes de 4 ans 2003/2006

**Cas Général****Cas (Rdcac40-tb3)>0****as (Rdcac40-tb3)<0**

(1) Prais-Winsten est une méthode MCG

## 5.2. Rapprochement avec les résultats de quelques autres études empiriques

Au regard de l'originalité qui caractérise nos résultats, il nous a semblé intéressant de les rapprocher de ceux établis par d'autres études empiriques ayant eu des objectifs analogues ou identiques aux nôtres.

En 1981, Reinganum a, par exemple, cherché à tester si des titres ayant des bêtas estimés différents avaient systématiquement des taux de rendements moyens eux-mêmes différents. Pour cela, il a procédé en deux temps : il a estimé les bêtas individuels des titres cotés aux New-York Stock Exchange et American Stock Exchange puis a formé 10 portefeuilles en fonction de leur bêta avant de régresser, par la méthode des MCO notamment, la relation de leur rendement/risque. L'auteur a analysé deux types de rendements. Pour les rendements journaliers, la révision des bêtas des portefeuilles était annuelle de 1963 à 1979 alors que dans le cas des rendements mensuels, la révision des bêtas des portefeuilles se faisait tous les 5 ans de 1930 à 1979. Dans cette étude, Reinganum constate que les bêtas des portefeuilles estimés n'étaient pas systématiquement reliés à leurs rendements moyens.

D'autres études empiriques portant sur la spécification du CAPM, ont mis plutôt l'accent sur les deux états de la nature à propos du rendement excédentaire de marché. Le bêta estimé n'est pas le même selon que le marché est haussier (rendement excédentaire de marché positif) ou baissier (rendement excédentaire de marché négatif). A cet effet, Pettengill, Sundaram et Mathur (1995) ont testé la relation systématique entre les rendements moyens mensuels des titres américains et leurs bêtas sur la période janvier 1926-décembre 1990 en distinguant les périodes de hausses et de baisses du marché. Pour ce faire, ils ont estimé les bêtas des titres individuels, constitué 20 portefeuilles selon le rang du bêta et enfin régressé ces portefeuilles, classés par leur niveau de bêta, sur l'indice de marché. Les trois auteurs ont testé la relation conditionnelle entre le risque (bêta) et les rendements excédentaires de marché en considérant une hypothèse duale. Leurs résultats montrent, lorsque le marché est haussier, que les portefeuilles ayant un bêta élevé ont une prime de risque positive. Ces portefeuilles devraient surperformer ceux ayant un bêta faible. Durant les périodes de baisse du marché, les portefeuilles de bêtas élevés ont des rendements plus faibles comparés à ceux des portefeuilles à bêtas faibles. Par ailleurs, ils ont confirmé l'existence d'une saisonnalité dans la relation rendement/risque. En particulier, la relation entre le rendement moyen et le bêta est significativement positive au mois de janvier. Phénomène connu dans la littérature sous le nom «d'effet Janvier».

Les auteurs ont aussi régressé, par les MCO, les bêtas moyens des portefeuilles sur leurs rendements annuels moyens, sur la période 1936/1990. Ils concluent à une forte relation entre le rendement et le risque des investisseurs. Les variations des bêtas expliquent 88 % des variations des rendements moyens des portefeuilles. Cette recherche met l'accent sur le biais, causé par les spécificités conditionnelles sur la nature haussière ou baissière du marché, que comporte le calcul du bêta. Cependant, elle préconise de continuer à l'utiliser comme mesure utile du risque de marché.

Dans le même registre, il faut mentionner l'étude publiée par L'her, Sy et Vencatachelum réalisée en 2003 sur le marché canadien. Les auteurs ont estimé la relation entre le rendement et le risque en ajoutant au bêta, les variables capitalisation boursière des titres, l'efficience des titres ainsi que «l'effet Janvier». Ils ont constitué 20 portefeuilles en

les regroupant en fonction, à la fois de leur bêta et de leur taille et les ont estimés sur une période de 5 ans avant de les régresser sur le rendement excédentaire de marché pendant l'année qui suit, de janvier 1966 à décembre 1995. L'intérêt de cette recherche réside notamment dans la spécification conditionnelle (distinction du marché haussier et baissier) et non conditionnelle (sans tenir compte du fait que le rendement excédentaire est positif ou négatif) ainsi qu'à l'utilisation des MCO et des MCG. Ils rappellent que les procédures d'estimation du vrai risque systématique par la régression des moindres carrés ordinaires ou généralisés peuvent conduire à des erreurs dont il faut rester conscient.

Les résultats de cette étude canadienne montrent, qu'en cas de spécification conditionnelle, que la prime de risque mensuelle est positive/négative, dans les périodes de hausses/baisses de marché. La vérification de cette relation dans la situation non conditionnelle (sans distinction des deux états du marché) indique que la prime de risque systématique mensuelle est positive, mais demeure fortement dépendante de la procédure du test réalisé. Il ressort de cette étude, lorsque les deux états de la nature sont distingués, que le bêta est un indicateur intéressant du risque. Cela étant, les résultats de ces tests ne permettent pas de garantir que les titres dont le bêta est élevé auraient systématiquement les meilleures performances en termes de rendement.

## Conclusion

Au même titre que les études menées par Pettengill, Sundaram, Mathur (1995) et de Jagannathan, Wang (1996) sur la relation rendement/bêta d'une action, nos résultats, sur les rendements quotidiens en périodes annuelles glissantes et mensuelles sur des intervalles de 4 ans concernant un échantillon de 81 actions éligibles au SRD coté à Euronext Paris de 1995 à 2006, montrent, dans le cas général (sans aucune spécification conditionnelle), que les primes sont positives, à l'exception des années 2001 et 2002 marquées par les effets du krach lié à la bulle Internet. Etant donné la compensation entre les primes positives et négatives consécutives aux périodes des hausses et des baisses des marchés boursiers, ces primes sont plus faibles comparées à celles déterminées dans le cas des spécifications conditionnelles.

Cependant, la mesure du risque systématique par le bêta, selon que le rendement excédentaire de marché est positif ou négatif, paraît plus pertinente dans la mesure où nos résultats sur les rendements quotidiens et mensuels aboutissent à des primes symétriques et systématiquement positives/négatives, à très peu d'exceptions près. De même, graphiquement, l'allure de la relation rendement/bêta sur des données quotidiennes des actions de notre échantillon est croissante/décroissante lorsque le rendement excédentaire de marché est positif/négatif. L'utilisation de la méthode MCG, en parallèle à la MCO, rend souvent plus nette cette allure. Enfin, on observe, très globalement, une proportionnalité entre les bêtas et les rendements des titres.

S'agissant des rendements mensuels sur les deux périodes de 4 ans, les primes sont très largement symétriques (positives/négatives) lorsque le marché est haussier/baissier. Mais la relation rendement/bêta apparaît relativement peu soutenable. En effet, graphiquement, l'allure de la relation n'apparaît nette que dans le cas de l'estimation par la MCG durant la période 1999/2002 lorsque le rendement excédentaire de marché était positif.



L'objectif de cette recherche n'était ni de valider ni d'invalidiser le CAPM. Celui-ci demeure parmi les modèles les plus utilisés en finance même s'il n'autorise pas la segmentation en fonction des états de la nature du marché. Il s'agissait plutôt de montrer la pertinence à la fois de la détermination conditionnelle et de l'estimation de la relation rendement/bêta par la MCG. En effet, cette approche permet de valider globalement la relation théorique rendement journalier/bêta et de calculer des primes symétriques et significatives, dans le cas des rendements quotidiens et mensuels par rapport à la situation non conditionnelle.

Sur le plan pratique, notre étude a certainement le mérite d'inviter à reconsidérer l'utilisation de la méthode habituelle de calcul du risque bêta. Désormais, les spécifications conditionnelles, prenant en compte l'état haussier ou baissier du marché, seront fortement recommandées. Pour ce qui est du cadre théorique, les limites constatées par notre recherche sur les rendements mensuels, entre autres, témoignent de l'insuffisance de la théorie de l'efficience et de ses hypothèses sous-jacentes. La finance comportementale constitue dès lors une voie complémentaire sérieuse, qu'il convient désormais de mobiliser pour une meilleure compréhension des comportements des intervenants en bourse.

## Bibliographie

- Black F., (1993), «Beta and return», *The Journal of Portfolio Management*, 8-51.
- Calvet A. L. et Lefoll J., (1988), «Risk and return on Canadian capital market», *Canadian Journal of Administrative Sciences*, mars, 1-12.
- Chan K. C. et Lakonishok J. (1993), «Are the reports of beta's death premature?», *The Journal of Portfolio Management*, 51-63.
- Fama E. F. et French K. R., (1992), «The cross-section of expected stock returns», *The Journal of Finance*, 427-465.
- Fama E F., French K. R., (1993), «Common risk factors in returns on stocks and bonds», *Journal of Financial Economics* 33.
- Gauthier C., Lardic S., (2000), «Modélisation multifactorielle des spreads de crédit. Une analyse empirique des secteurs industriel et bancaire de janvier 1995 à décembre 1998», *Banque & Marchés* n°49 –novembre-décembre.
- Gibbons M. R., (1982), «Multivariate Tests of Financial Models A New Approach», *Journal of Financial Economics*, 10.
- Hunt L H., Hoisington D. M., (2003), «Estimating the Stock/Bond Risk Premium : An alternative approach», *The journal of Portfolio Management*, hiver.
- Ilmanen A., (2003), «Expected Returns On Stocks and Bonds», *The Journal of Portfolio Management*, hiver.
- Jagannathan R., Wang Z. (1996), «The conditional CAPM and the cross-section of expected returns», *The Journal of Finance*, 3-53.
- Jovanovic F., (2002), «Le modèle de marche aléatoire dans la théorie financière quantitative : fondements historiques, théoriques et épistémologiques», thèse de Doctorat, Université Paris 1.

- Kandel S. et Stambaugh R., F., (1995), «Portfolio Inefficiency and the Cross-section Expected Returns», *The Journal of Finance*, 157-184.
- L'her J-F., Sy O., Vencatachellum D., (2003), «Un réexamen de la relation entre le rendement et le risqué des actions canadiennes», *Revue Finance*.
- Lilti J. F., Rainelli-Le Montagner R., (1998), «Beta, size and returns : A study on French stock exchange», *Applied Financial Economics*, 13-20.
- Litterman R., Scheinkman J., (1991), «Common Factors Affecting Bond Returns», *The Journal of Fixed Income*, juin.
- Moumni N., (1994), «Essai sur l'efficience de l'Ecu », *Revue Banque & marchés* n°13-mai - juin.
- Moumni N., (2004), «Simulation de la VaR de marché : Monte Carlo versus Historique», *La Revue du Financier* n° 145.
- Moumni N., (2005), «La détermination du taux moyen obligataire : une approche multifactorielle du marché de Paris », *Revue Banque & marchés* n° 76-mai-juin.
- Moumni N., (2005), «Chronique bibliographique» in la *Revue du Financier* n° 152 sur Dérives du capitalisme financier –Aglietta M. et Rebérioux A.,- 2004.
- Pettengill G. N., Sundaram S. et Mathur I., (1995), «The conditional relation between beta and return», *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 101-116.
- Reinganum M. R., (1981), «A new empirical perspective on the CAPM», *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 439-461.
- Roll R., (1977), «A critique of the Asset Pricing Theory's Tests Part I : On Past and Potential Testability of the Theory», *Journal of Financial Economics* 4.
- Roll R. et Ross S., (1994), «On the cross-sectional relation between expected returns and betas», *The Journal of Finance*, 101-121.
- Ross S. A., (1976), «The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing», *Journal of Economic Theory*, 13.
- Ross S. A., Westerfield R.W., Jaffe J. F., (2005), «Finance Corporate», traduction et adaptation de Ducoulombier F., Michel P.A., Pirotte H., Schier G., Dunod.

---

Je suis redevable dans cette étude à Alain Boitel, chargé de cours en Informatique à la Faculté d'Economie et de Gestion d'Amiens, pour le traitement informatique de l'étude empirique. Je lui exprime mes vifs remerciements et ma gratitude. Excepté l'estimation par la MCG et les tests de stationnarité, il a réalisé, en plus de la collecte des données, la quasi-totalité de la programmation informatique ainsi que la présentation des résultats. Je reste cependant seul responsable des éventuelles erreurs de méthodologie et de conception des formules de calculs.

Mes vifs remerciements à Ali Bouhaili, Chargé de cours à la Faculté d'Economie et de Gestion d'Amiens et membre du CRIISEA, pour la relecture de ce texte et pour ses suggestions.

## CHAMPS LOCAUX ET PLASTICITÉ CRISTALLINE

***Pr. André ZAOUI***

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



Cette communication vise à illustrer, dans le champ de la mécanique des matériaux, la manière dont le développement de nouvelles techniques expérimentales peut entraîner, dans le contexte général du développement fulgurant de la simulation numérique, un profond renouvellement des thèmes scientifiques, voire une remise en cause d'approches considérées jusque là comme solidement acquises.

### **1. Contexte général**

Dans le cadre du « passage du microscopique au macroscopique » en plasticité cristalline, dont le problème central est celui de la prévision, par homogénéisation, du comportement global du polycristal à partir de la connaissance de celui du monocristal et de certaines caractéristiques de la distribution spatiale des cristaux constitutifs, plusieurs conclusions se sont dégagées ces dernières années :

- les progrès récents en homogénéisation non linéaire permettent une prédiction de plus en plus sûre du comportement macroscopique à partir de la connaissance, réelle ou supposée, du comportement intracristallin. De fait, ces progrès donnent une importance accrue aux spécificités du comportement intragranulaire pour chaque matériau considéré, ce que des méthodes plus anciennes, aujourd'hui mises en défaut par les approches variationnelles développées récemment, avaient des difficultés à exprimer. Pour autant, de sérieuses difficultés sont attachées à l'acquisition expérimentale des lois de comportement plastique des monocristaux en matière d'élaboration, de sollicitation tridimensionnelle et de représentativité et les incertitudes qui subsistent pour un matériau donné sur la pertinence de la loi de comportement plastique intracristallin ne permettent pas de bénéficier pleinement des progrès maintenant possibles en matière de changement d'échelle.

- la seule prédiction des réponses macroscopiques à différentes sollicitations ne permet pas de prévoir des propriétés essentielles, dépendant fortement des états mécaniques locaux (endommagement, transformations de phase, recristallisation, localisation...). De plus, différents modèles de changement d'échelle peuvent fournir des prévisions de réponse globale très voisines mais des réponses locales très différentes. Le besoin de pouvoir valider ces modèles également sur les réponses locales et de forger de nouveaux outils pour prévoir et analyser les champs locaux est donc de plus en plus pressant.

- la première étape méthodologique dans la mise en œuvre d'une démarche d'homogénéisation réside dans la description, statistique pour les matériaux aléatoires comme le sont les polycristaux, d'un volume élémentaire représentatif (V.E.R.), s'il existe, et, dans ce V.E.R., des phases constitutives du matériau hétérogène considéré. Pour un polycristal chimiquement monphasé, l'hétérogénéité première provient de la différence d'orientation du réseau cristallin entre les grains du V.E.R. et il est donc classique de définir les «phases» comme les familles de grains ayant la même orientation cristalline (éventuellement subdivisées ensuite en sous-phases en fonction de la forme ou d'autres caractéristiques des grains). Il s'agit là, par delà la diversité des modèles utilisés ensuite pour traiter le changement d'échelle, d'une façon de faire unanimement partagée dans ce domaine.

Sur chacun de ces trois points, on peut illustrer la manière dont le développement de nouvelles techniques expérimentales, joint aux progrès de la simulation numérique, a permis récemment de renouveler profondément les approches et les points de vue.

## 2. Le «mésoscope numérique»

La mise au point des méthodes de diffraction d'électrons rétro-diffusés (EBSD : electron back-scattering diffraction) permet désormais d'acquérir en très peu de temps et avec une résolution meilleure que le micromètre, grâce à un accessoire implanté dans un microscope électronique à balayage, une cartographie précise des orientations cristallines de tous les grains observés sur la surface de l'échantillon polycristallin analysé. On peut donc à la fois identifier, sur des zones pouvant compter plusieurs centaines de grains, leur géométrie en surface (pour des grains supposés de taille supérieure au micromètre) et leur orientation cristalline individuelle. Il est aussi possible désormais de réaliser sur de telles structures, prolongées dans la troisième dimension par des hypothèses adéquates, des calculs numériques de réponses mécaniques (les « champs locaux ») à condition de connaître le comportement intracristallin et d'appliquer à l'ensemble multicristallin de grains étudiés les conditions aux limites qui conviennent.

C'est là que réside la principale difficulté : on connaît en général le chargement global sur l'éprouvette complète à laquelle appartient cet ensemble mais pas les conditions aux limites qui doivent être appliquées au contour de cet ensemble; comme cet ensemble multicristallin ne peut, de surcroît, généralement pas être considéré comme un V.E.R., il n'est pas justifié d'appliquer des conditions aux limites de type homogène, en contraintes ou en déformations. L'idée du «mésoscope numérique» est alors d'immerger cet ensemble de grains dans une matrice «infinie» (ce qui, dans le traitement numérique, signifie de taille grande par rapport à celle du multicristal étudié), ayant le comportement mécanique macroscopique du matériau étudié (que cette donnée provienne de la mesure macroscopique directe ou de la prévision d'un modèle de changement d'échelle, passant du monocristal au polycristal) et soumise à l'infini (numériquement : sur son contour) au chargement macroscopique considéré : on confie ainsi à l'environnement granulaire du multicristal analysé, remplacé par un environnement homogène équivalent, le soin de transmettre depuis le chargement à l'infini de « bonnes » conditions aux limites au multicristal étudié. Ce n'est, bien sûr, pas une solution exacte, en tout état de cause inaccessible, du problème posé mais en semble une approximation raisonnable, sûrement meilleure que celle provenant d'une hypothèse de chargement homogène.

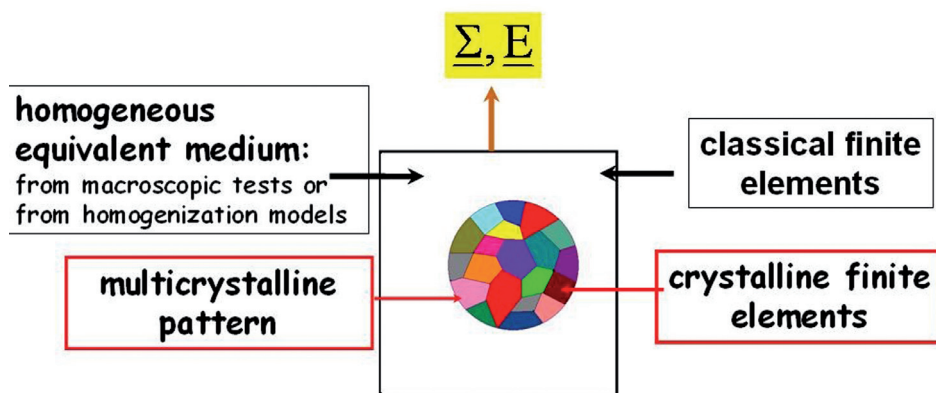


Figure 1 : principe du «mésoscope numérique»

Le principe de ce «mésoscope numérique» [1, 2] est résumé sur la figure 1. Il a été notamment appliqué à l'étude de l'endommagement intergranulaire en fluage d'un acier nucléaire : la figure 2 illustre la bonne correspondance obtenue entre l'observation de la localisation de la rupture intergranulaire dans une zone donnée d'une trentaine de grains de l'échantillon étudié et les valeurs maximales des contraintes normales sur les joints de grains calculées par éléments finis selon la méthode présentée. Ainsi, une porte a été ouverte vers la prévision des champs locaux, laquelle est parfaitement intégrable à une démarche d'homogénéisation et la complète de manière nouvelle et très utile. Un grand nombre de champs d'application sont ainsi accessibles, tant pour la mise à l'épreuve de la validation locale de modèles de changement d'échelle que pour la détermination de seuils d'activation de mécanismes locaux (endommagement, recristallisation, transformation de phase, etc.).

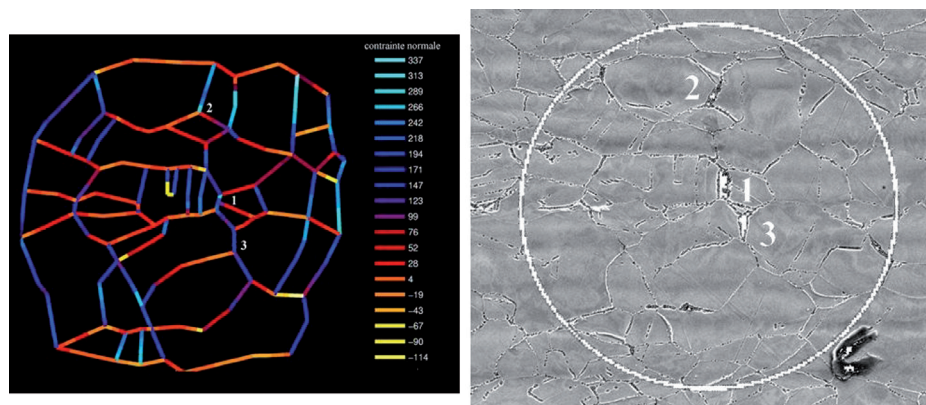


Figure 2 : comparaison de l'observation de joints de grains rompus (à droite) et de la répartition des contraintes normales sur les joints de grains (à gauche) calculée par «mésoscopie numérique»

### 3. Identification de lois de comportement plastique intragranulaire par mesures de champs sur polycristaux

Récemment, les méthodes de mesures de champs de déformations par micro-extensométrie ont franchi une étape décisive dans leur fiabilité, leur sensibilité et leur facilité de mise en oeuvre. Pour celles qui nous concernent ici, il s'agit de la possibilité d'acquérir avec précision une carte des déformations subies sous sollicitation mécanique par la surface d'un échantillon polycristallin observé en microscopie électronique à balayage : ceci peut être acquis dès une déformation moyenne de l'ordre de 10-2, après un marquage par microgrilles, par corrélation d'images numérisées de la zone observée dans deux états successifs. On peut en particulier mesurer dans l'exemple du paragraphe précédent les déplacements au contour du multicristal étudié et il n'est alors plus nécessaire de recourir à l'intermédiaire de la matrice infinie du mésoscope numérique.

Simultanément s'offre une autre possibilité de portée encore plus grande : il n'est plus non plus nécessaire de supposer connue la loi de comportement intracristallin, dont on a déjà souligné la difficulté d'acquisition expérimentale directe sur monocristaux. Celle-ci peut être obtenue en procédant selon la démarche [3] illustrée sur la figure 3 : on mesure le champ local de déformations dans la zone d'intérêt ainsi que le déplacement au contour et, avec cette dernière donnée, celle de la géométrie du multicristal acquise par EBSD et l'introduction d'une loi de comportement intracristallin de forme donnée mais paramétrisée, on calcule numériquement la réponse mécanique dépendant des paramètres de cette loi. Ces derniers sont finalement identifiés par méthode inverse en minimisant la différence entre les champs locaux de déformations expérimental et simulé.

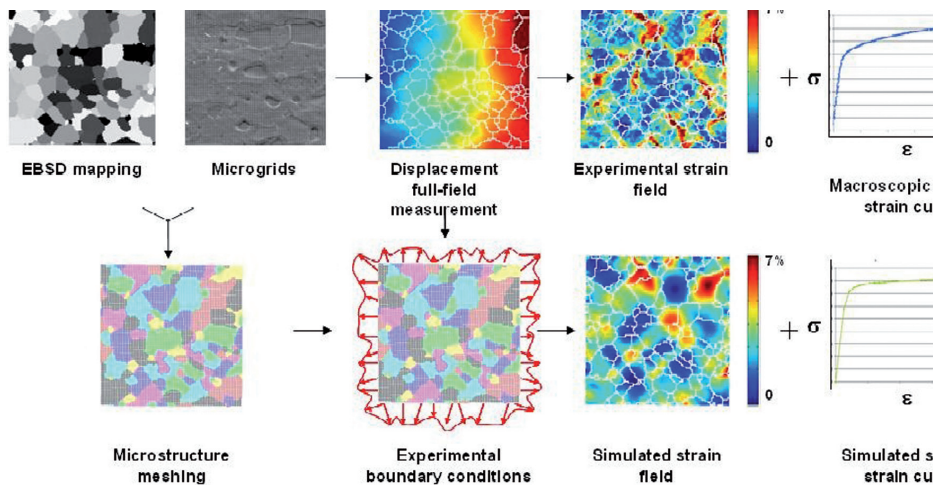


Figure 3 : principe de l'identification par méthode inverse des paramètres d'une loi de comportement intracristallin (tiré de [3])

A titre d'exemple, on a reporté sur la figure 4, pour deux jeux de paramètres initiaux  $A_i$  et  $B_i$  les valeurs optimales  $A_f$  et  $B_f$  obtenues par une telle procédure d'identification [4], sur un polycristal de fer  $\alpha$ , pour les 6 paramètres physiques d'une loi de comportement intracristallin, décrite sur la même figure; cette loi fait intervenir les cisssions critiques réduites  $\tau_{cu}$ , les densités de dislocations  $\rho_u$ , les glissements  $\gamma_u$  et le libre parcours moyen  $L_u$



sur les systèmes de glissement ( $u$ ) ainsi qu'une longueur caractéristique  $G_c$  du processus d'annihilation de dipôles de dislocations. Ces valeurs sont en très bon accord avec celles provenant de différents modèles physiques de la littérature.

«Là encore, le champ d'application est très ouvert et la marge de progrès de cette méthode est importante, notamment pour une meilleure prise en compte de la microstructure de sub-surface que celle contenue implicitement par l'utilisation des déplacements au contour expérimentaux, comme pour une procédure d'optimisation plus performante (seules les distributions statistiques des déformations expérimentales ont été utilisées ici et non leurs champs proprement dits).

$$\tau_c^s = \tau_0 + \sqrt{\sum_u a^{su} \rho^u} \quad \text{with:} \quad \dot{\rho}^s = \frac{1}{b} \left( \frac{1}{L^s} - G_c \rho^s \right) |\dot{\gamma}^s|$$

$$L^s = K \left( \sum_{u \neq s} \rho^u \right)^{-1/2}$$

	$\tau_0^P$ MPa	$a_0^P$	$q^P$	$\rho_0^P$ mm <sup>-2</sup>	$K^P$	$G_c^P$ nm
Ai	46	0,23	1,15	67000	37	2,4
Af	60	0,29	1,2	78000	24	1,3
Bi	61	0,5	1,42	30000	10	5
Bf	64,4	0,26	1,19	72000	21,5	1,2

Figure 4 : Loi de comportement à 6 paramètres utilisée et résultats de l'optimisation

#### 4. Nouvelles techniques, nouvelles remises en cause...

Comme rappelé ci-dessus, une des façons de faire les mieux partagées de l'homogénéisation en plasticité cristalline est de considérer que la «phase» élémentaire du polycristal considéré comme matériau hétérogène est constituée par l'ensemble de tous les grains du V.E.R. qui ont une même orientation cristalline (à l'incrément de la discrétisation, indispensable, de la texture près). Cela signifie que l'on considère que des grains de même orientation de réseau répartis dans le V.E.R. ont, sinon la même réponse mécanique, du moins le même comportement et une certaine similitude de réponse. Depuis que les techniques de micro-extensométrie citées ci-dessus se sont répandues dans le domaine de l'analyse expérimentale des champs locaux de déformation dans les polycristaux, de nombreuses mesures de déformations locales sur des matériaux assez différents ont mis en évidence la fréquence localisation de la déformation, dès le début du régime plastique, dans des systèmes de bandes rectilignes et parallèles de faible épaisseur (de l'ordre de la taille de grains) traversant sans déviation visible plusieurs grains pourtant désorientés. Cela donne des champs de déformations comparables à ceux de la figure 5 : il s'agit [5] de deux cartes de déformation axiales dans deux états de déformation macroscopique (respectivement 2 et 7 %) sur la même zone d'environ 5 000  $\mu\text{m}^2$  d'un échantillon d'alliage de zirconium sollicité en traction simple. La très forte corrélation à courte portée de ces concentrations de déformation dans des grains appartenant à des «phases» différentes, qui s'installe très précocement et se maintient longtemps, en s'amplifiant en intensité mais sans modification apparente de la géométrie globale de ces bandes de localisation, remet donc sérieusement en question la pertinence de cette définition classique des «phases».



De telles observations ont été rapportées récemment sur d'autres matériaux. Il est à souligner que les bandes de localisation dont il s'agit ici ne sont pas visibles par les moyens classiques de la microscopie optique ou électronique et qu'elles n'apparaissent que sur les cartes de déformations dérivant de la mise en œuvre de techniques de micro-extensométrie. La compréhension de leur origine physique est encore un sujet d'étude (textures locales? effet du glissement dévié? dépendance vis-à-vis du chargement macroscopique?...). Les bases les plus classiques de l'homogénéisation en plasticité cristalline n'en sont pas moins soumises à une profonde remise en cause, laquelle devrait déboucher sur une nouvelle définition des «phases», autrement plus complexe que la définition classique...

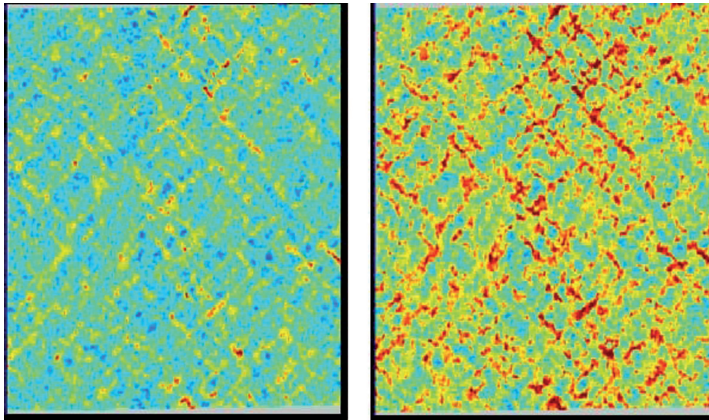


Figure 5 : deux cartes de déformation axiale [5] de la même zone déformée d'un échantillon d'alliage de zirconium sollicité en traction simple à 2 et 7 % de déformation macroscopique.

## Références

- [1] S. HÉRAUD, Du polycristal au multicristal : élaboration d'un mésoscope numérique pour une analyse locale en élastoviscoplasticité, Thèse de Doctorat, École Polytechnique, 17 décembre 1998, Palaiseau, France.
- [2] H. HADDADI, S. HÉRAUD, L. ALLAIS, C. TEODOSIU, A. ZAOUI, A " numerical mesoscope " for the investigation of local fields in rate-dependent elastoplastic materials at finite strain, Symposium IUTAM " Computational Mechanics of Solid Materials at Large Strains ", Ch. Miehe (ed), Kluwer Academic Pub., The Netherlands, 2003, pp. 311-320.
- [3] M. DEXET, Méthode de couplage entre expérimentations et simulations numériques en vue de l'identification de lois de comportement intracristallin. Application aux alliages de zirconium, Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique, 24 octobre 2006, Palaiseau, France.
- [4] T. HOC, J. CRÉPIN, L. GÉLÉBART, A. ZAOUI, A procedure for identifying the plastic behavior of single crystals from the local response of polycrystals, Acta Mater, 51 (2003) pp. 5479-5490.
- [5] K. ELBACHIRI, J. CREPIN, T. BRETHERAU, Communication privée (2003).

## CONVERSION CATALYTIQUE DU MÉTHANE SUR DES MATÉRIAUX PHOSPHATÉS ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

***Mahfoud ZIYAD***

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



### 1. Introduction

La combustion des hydrocarbures fossiles génère une pollution atmosphérique (par des composés soufrés et azotés), des gaz à effet de serre ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) et des produits qui détruisent la couche protectrice d'ozone. Le développement durable a pour fin de laisser aux générations futures un monde où elles pourraient continuer à vivre décemment. Pour cela nos réflexes et agissements ne doivent pas uniquement obéir aux exigences des marchés économiques mais également englober une réflexion et des règles qui obligent au respect et à la protection de la biodiversité. Nos activités doivent nécessairement coupler '*l'économie et l'écologie*'.

Les résultats qui font l'objet du présent travail concernent essentiellement l'étude de la conversion catalytique des deux gaz à effet de serre  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$  en produits à plus grande valeur ajoutée. Les supports des phases actives qui ont été choisis sont des phosphates dont la valorisation en catalyse est un grand intérêt socioéconomique. La caractérisation des catalyseurs a été effectuée par des techniques d'étude de surface telle que la spectroscopie des photoélectrons X et la thermo-réduction programmée.

L'impact de nos activités sur l'environnement peut être quantitativement estimé à l'aide de l'équation empirique de durabilité de Holden & Ehrlich:

$$\text{Impact (l'environnement)} = \text{Population} \cdot \text{PNB} \cdot \text{'Technologie'}$$

Cette équation montre que l'influence de nos activités sur notre environnement est proportionnelle à la population concernée, à son PNB (qui représente la valeur totale des biens et services qu'une population produit sur une période donnée) et au terme 'technologie' qui quantifie tous les préjudices causés à l'environnement par unité de consommation. La technologie n'est évidemment pas uniquement génératrice de méfaits qui ont de graves répercussions sur l'avenir de l'humanité mais c'est aussi sur elle que repose notre salut. Pour illustrer cela il suffit de considérer l'exemple de la voiture qui combine utilement diverses technologies mais qui engendre aussi de multiples nuisances.

Dans les pays technologiquement avancés le taux de croissance de la population est maîtrisé (population stable), le PNB est en augmentation constante. Par conséquent pour atténuer les effets néfastes sur l'environnement, c'est le paramètre 'technologie' de l'équation précédente qu'il convient d'optimiser en améliorant la rentabilité et les performances des industries (Dans le cas de l'industrie chimique cela reviendrait à trouver des catalyseurs qui permettrait d'accroître la sélectivité des réactions et conduire ainsi à une diminution de la production de composés secondaires indésirables. L'amélioration de la sélectivité est aussi l'un des principaux challenges de la chimie verte). A l'échelle mondiale, comme dans les pays en développement, le problème se pose autrement (Fig. 1). Les populations sont en nette augmentation, leur PNB est fluctuant et leur capacité 'to upgrade' les technologies qu'elles utilisent est très faible.

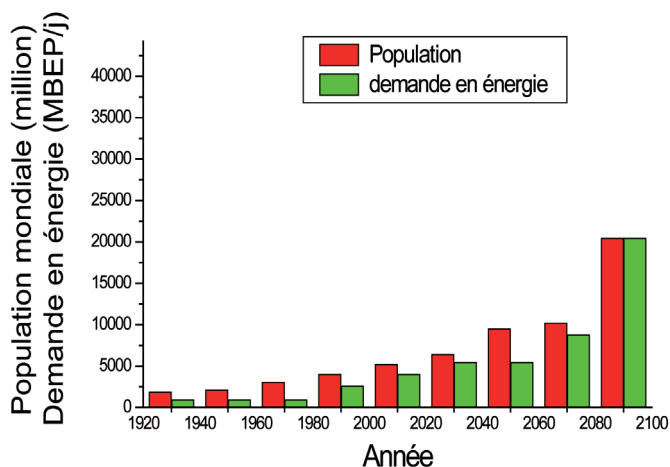


Fig. 1. Evolution de la population mondiale et de sa consommation énergétique

Au rythme actuel de la croissance des populations et surtout de la consommation énergétique nos besoins risquent de ne plus être complètement couverts dans quelques décennies. A titre d'exemple, il reste environ une quarantaine d'année de consommation de pétrole et une soixantaine d'années de gaz naturel. On peut donc penser que le gaz naturel qui est composé de plus 90% de méthane pourrait constituer une solution transitoire qui assurerait le passage inévitable de notre '*société pétrole*' vers une société post-pétrole qui probablement pourrait être une '*société hydrogène*'.

Cependant, pour être judicieusement utilisé à d'autres fins que la combustion, le méthane doit être transformé en produits plus utiles. Il existe globalement deux possibilités de transformation du méthane: l'une en présence d'un oxydant ou produit assimilé et l'autre en milieu neutre. Notre premier exemple concernera le reformage de  $\text{CH}_4$  par  $\text{CO}_2$  sur du nickel déposé sur l'hydroxyapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . La réaction mise en jeu est la suivante:



Elle utilise deux gaz à effet de serre  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$  et produit un mélange  $\text{H}_2/\text{CO}$  qui peut être utilisé dans la synthèse Fischer-Tropsch. Ce procédé permet de produire du méthanol, des essences sans soufre, du diesel et des cires. L'excès d'hydrogène généré pourrait servir à l'alimentation de piles à combustion.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Reformage du méthane par CO<sub>2</sub>

Le support choisi pour cette étude est une hydroxyapatite (CaHAp):

- d'abord parce que c'est un moyen de valoriser les phosphates en catalyse. Ces matériaux sont en effet de plus en plus utilisés comme catalyseur ou additif dans un grand nombre de procédés catalytiques industriels. Ils ont la propriété de stabiliser le catalyseur tout en augmentant sa durée de vie. Par ailleurs c'est l'une des principales richesses du sous sol marocain.
- ensuite parce que les apatites ont une structure particulière qui admet des échanges ioniques et de nombreuses substitutions. Ses propriétés acido-basiques sont modulables et dépendent essentiellement de sa composition.

Le nickel ajouté constitue la phase active. La caractérisation de ce nickel a été effectuée par plusieurs méthodes y compris la spectroscopie des photoélectrons X. Cette technique permet d'analyser la composition d'un l'échantillon sur une profondeur de 3-10 nm. Les résultats obtenus pour différentes compositions en nickel supporté sur une hydroxyapatite et à titre de comparaison sur une fluoroapatite sont donnés sur la figure 2 suivante:

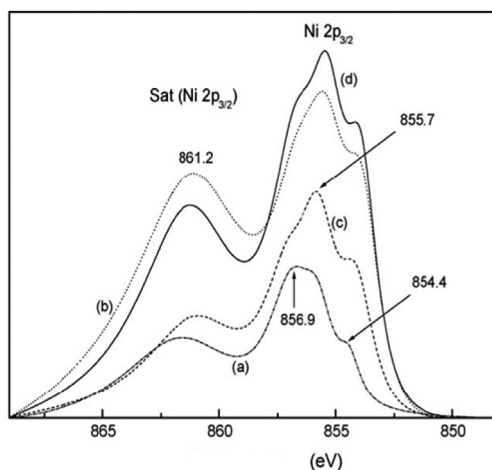


Fig. 2. XPS des échantillons Ni(x)/CaHAp et Ni(x)/CaFAp (a): Ni(1)/CaHAp; (b): Ni(8)/CaHAp; (c): Ni(1)/CaFAp; (d): Ni(8)/CaFAp (% en poids)

Les résultats obtenus pour toutes les compositions en nickel et quelle que soit la nature du support montrent trois pics situés à environ 854,4; 856 et 857 eV. Ils correspondent à trois types de nickel dans trois environnements différents.

- Le premier a été attribué à des particules de NiO, de taille moyenne, dispersées sur le support et en faible interaction.
- Le second est aussi attribué à des petites particules de NiO en forte interaction avec le phosphate
- Le troisième est probablement dû à des ions Ni<sup>2+</sup> échangés dans la matrice phosphatée avec les Ca(I) de la charpente de l'apatite.

Tous les spectres présentent en outre un pic satellite à 861,2 eV caractéristique du nickel. La caractérisation du catalyseur a également été faite par thermo-réduction programmée (TPR). Cette technique consiste à balayer le réacteur par un mélange  $H_2/He$  en le soumettant à une croissance linéaire de température avec une vitesse de  $10^\circ/min$ . On enregistre simultanément la consommation d'hydrogène qui indique les températures auxquelles la réduction s'effectue et les quantités d'oxyde réduites. Les diagrammes TPR obtenus sont représentés sur la figure 3 suivante:

Pour les faibles compositions en Ni ( $x \leq 1$ ) le diagramme présente trois pics distincts et quatre pour des compositions supérieures. Ces pics ont été attribués respectivement à:

- du NiO probablement en grosses particules
- du NiO en petites particules et en forte interaction avec CaHAp
- A des ions  $Ni^{2+}$  en substitution aux calciums Ca(I) et Ca(II) de la charpente du phosphate.
- Le quatrième pic qui apparait aux hautes températures (aux environs de  $700^\circ C$ ) pourrait être attribué à la réduction d'un composé phosphaté superficiel qui se serait formé à la surface du catalyseur en très faible quantité.

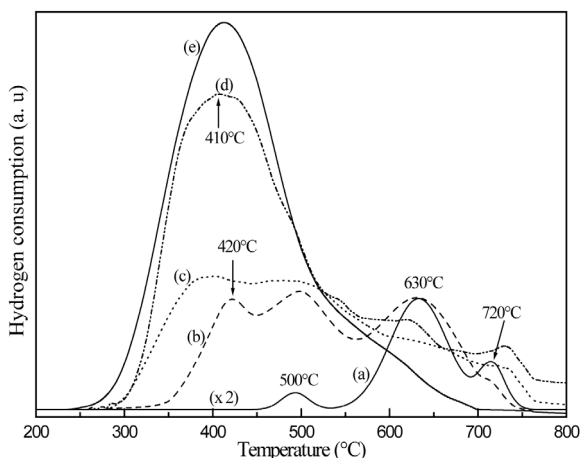


Fig. 3. Diagrammes TPR de Ni(x)/CaHAp contenant différentes quantités de Ni

(a):  $x = 1\%$ ; (b):  $x = 2\%$ ; (c):  $x = 4\%$ ; (d):  $x = 8\%$ ; (e):  $x = 10\%$  (% en poids)

Les résultats catalytiques présentés sur la figure 4 sont relatifs à l'échantillon Ni(4)/CaHAp ( $x=4\%$  en poids de Ni) qui est le plus actif. La courbe en pointillé correspond à la première montée en température et la seconde à la deuxième montée. Elle montre que la conversion en méthane atteint l'équilibre thermodynamique (78%) et des rendements respectifs en  $H_2$  et CO de 56 et 81%. Cet échantillon présente une activité relativement stable. Son empoisonnement est minimum. La détermination du carbone formé au cours de la réaction est de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-3}$  g.carbone/g.catalyseur. Les performances qu'il développe sont comparables à celle du catalyseur Ni/ $Al_2O_3$  qui est actuellement le plus utilisé.

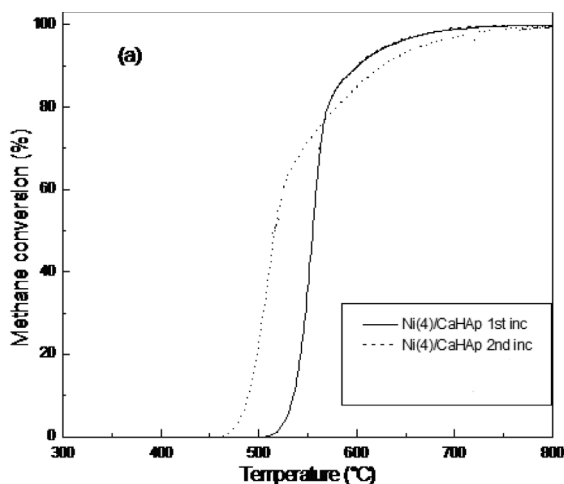


Fig. 4: Conversion du méthane en fonction de la température sur Ni(4)/CaHAp

## 2.2. Conversion du méthane en hydrocarbures supérieurs

Le deuxième exemple que nous allons considérer est celui de la transformation du méthane en hydrocarbures supérieurs par un procédé discontinu (en deux étapes) sur du ruthénium dispersé sur un phosphate de zirconium de structure de type Nasicon. La méthode consiste à balayer dans une première étape le catalyseur par un courant de méthane pur pendant un temps déterminé (schéma 1). Il est important que le débit de méthane soit assez élevé (plus de  $100 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ ) pour évacuer tout l'hydrogène qui se forme en même temps que restent adsorbées sur le catalyseur des entités carbonées. La deuxième étape du procédé consiste en l'hydrogénation des entités  $\text{C}_x\text{H}_y$  formées pendant la première étape en hydrocarbures supérieurs. Pendant cette hydrogénation les hydrocarbures produits sont recueillis à la sortie du réacteur dans la boucle d'injection du chromatographe disposé en ligne. Elle est refroidie à la température de l'azote liquide puis réchauffée rapidement à la température ambiante pour l'injection.

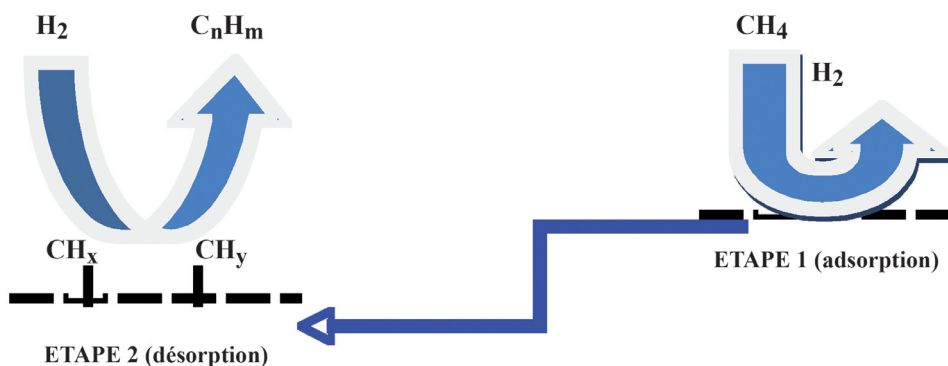
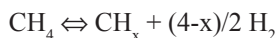


Schéma 1: Les étapes du procédé d'homologation du  $\text{CH}_4$

Durant l'étape d'adsorption le méthane se chimisorbe de manière dissociative. Cette adsorption conduit à la formation d'entités  $\text{CH}_x$  suivant l'équilibre:



Elle s'accompagne d'un dégagement d'hydrogène. Ces entités  $\text{CH}_x$  peuvent s'oligomériser et conduire à des espèces  $\text{C}_x\text{H}_y$  fortement liées à la surface et déficitaire en hydrogène.

L'étape d'hydrogénation permet la désorption des espèces adsorbées sous forme d'hydrocarbures supérieurs allant de l'éthane jusqu'au pentane. Nous avons par ailleurs noté dans toutes nos expériences que l'augmentation de la fraction de méthane transformée s'accompagne toujours d'une diminution de la sélectivité en éthane et d'une augmentation de celles en hydrocarbures supérieurs. Il y a probablement une similitude entre les processus décrits dans cet article et ceux des réactions de Fisher-Tropsch. Il existe cependant entre les deux procédés une différence qui se manifeste au niveau de la distribution de Schultz-Flory qui ne s'applique pas à nos résultats probablement parce que les bases théoriques de cette distribution supposent l'établissement d'un régime stationnaire au cours de la réaction. Dans nos expériences qui mettent en jeu une procédure cyclique, un tel état n'est évidemment jamais atteint.

Les résultats des expériences effectuées à différentes températures sur un échantillon supportant 2,6 % de Ru sont résumés sur la figure 5 qui montre qu'à basse température la sélectivité est préférentiellement orientée vers la production d'éthane. L'augmentation de la température accroît la formation des hydrocarbures les plus lourds. La température semble favoriser la formation d'entités adsorbées plus lourdes  $\text{C}_m\text{H}_n$  qui sont ensuite hydrogénées.

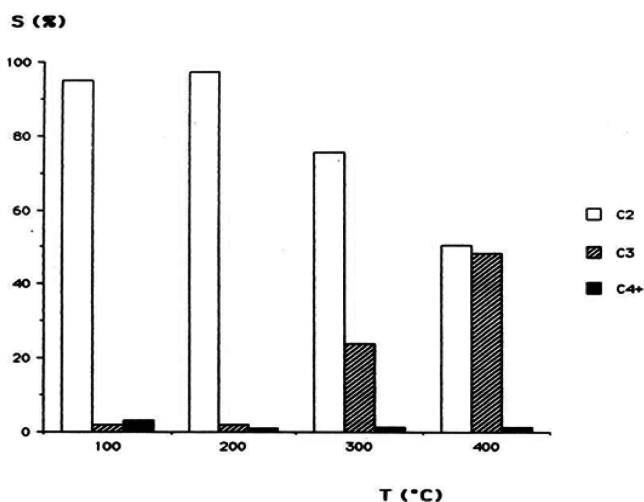
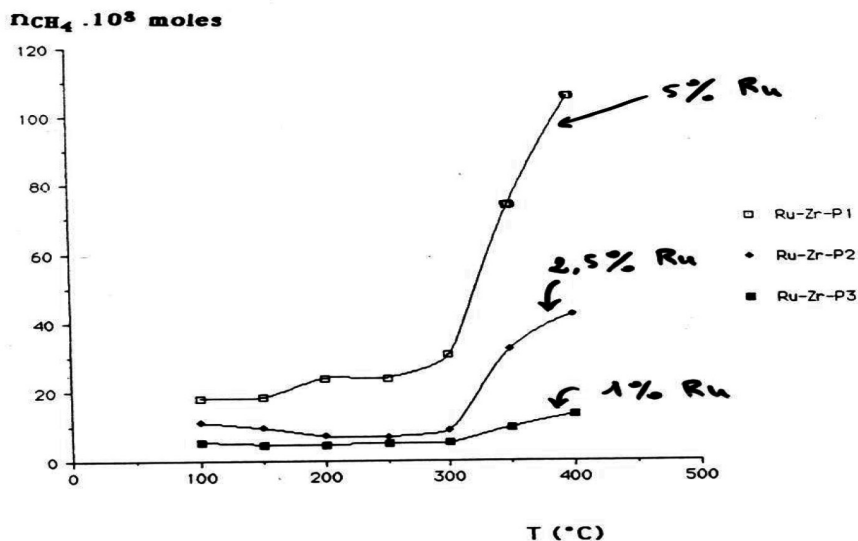


Fig. 5: Distribution des produits en fonction de la température de réaction

Lorsqu'on augmente le taux de ruthénium déposé sur le phosphate on constate que la conversion du méthane croît de manière sensible. La production d'hydrocarbures est d'autant plus grande que le taux de ruthénium est grand (Fig. 6). Cet accroissement de la quantité de Ru s'accompagne d'une augmentation du nombre et de la taille des particules. La conversion du méthane ne semble dépendre que de la surface métallique disponible sur laquelle se forment les dépôts carbonés qui seront ultérieurement hydrogénés et non de la structure des particules déposées.





**Quantité de méthane transformée sur  
Ru-Zr-P1, Ru-Zr-P2 et Ru-Zr-P3 en fonction  
de la température de réaction**

**CH<sub>4</sub> : 100 cm<sup>3</sup>.mn<sup>-1</sup> , 5mn  
H<sub>2</sub> : 50 cm<sup>3</sup>.mn<sup>-1</sup>**

A 1% de Ru le nombre de moles de méthane homologuées sur une masse de catalyseur égale à 100 mg est de l'ordre 11.10<sup>8</sup> moles. A 5%, elle passe à 110.10<sup>8</sup> moles de CH<sub>4</sub> homologuées soit une croissance quasi linéaire. Ce comportement indique que cette réaction d'homologation n'est pas sensible à la structure des particules actives. La distribution des produits de la réaction est par contre étroitement dépendante des conditions opératoires. Il est ainsi possible de modifier la sélectivité de la réaction en choisissant de manière adéquate les températures d'adsorption et d'hydrogénation.

Des expériences complémentaires effectuées dans les mêmes conditions opératoires que précédemment en utilisant Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et AlPO<sub>4</sub> comme support ont montré que Zr<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> est le plus performant. Cependant, dans l'état actuel de nos recherches il est difficile de donner interprétation satisfaisante à cet effet de support.

L'addition de cobalt au ruthénium améliore nettement l'activité catalytique. On constate comme le montre le tableau 1 que l'homologation du méthane sur le catalyseur à 1,9 % de Ru et 2,3 % de Co (en poids) augmente de manière notable. Cet accroissement des performances catalytiques semble être plus important à basse température. L'influence de la température sur la distribution des produits est identique à celle que présente Ru/ZrP. Un accroissement de la température de conduite des cycles d'adsorption et d'hydrogénation s'accompagne d'une diminution de la sélectivité en C2 au profit de celles des C3 et C4.

Tableau : Quantité de méthane transformée sur Ru-Co-Zr-P

T (°C)	n CH <sub>4</sub> .10 <sup>8</sup> moles	
	Ru-Zr-P2	Ru-Co-Zr-P
200	7,14	67,5
300	8,9	71,5
350	32,2	88,5
400	42,2	105,6

L'examen au microscope électronique de l'échantillon étudié indique que les particules d'alliage Co-Ru ont des tailles de l'ordre de 2,2 nm.

L'examen par XPS de cet échantillon bimétallique montre que le ruthénium est au degré d'oxydation zéro et que cobalt est au degré +2. L'effet bénéfique observé sur la réaction catalytique est donc probablement dû à l'apparition d'une synergie entre les entités Ru-Co<sup>2+</sup> qui seraient plus actives que le ruthénium seul. L'existence de telles entités a été auparavant mise en évidence par Bazin *et al.* dans l'étude du système Ru-Co/NaY dans la réaction d'hydrogénation du monoxyde de carbone.

## Conclusion

Les conclusions qui se dégagent des deux exemples de réactions catalytiques qui ont été décrits peuvent être résumées comme suit:

- Il est possible grâce à des réactions adéquatement choisies de transformer des gaz à effet de serre tels que CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub> en composés plus utiles.
- Le développement durable voudrait que la sélectivité de ces réactions soit la plus élevée possible de manière à ce que le terme 'technologie' (préjudices causés par la technologie à l'environnement) dans l'équation de durabilité ait la plus faible valeur possible:

$$\text{Impact (l'environnement)} = \text{Population.PNB.Technologie}$$

- Dans cette perspective le développement durable devient à la fois un *but* et un *processus infini*; c'est-à-dire un processus *dynamique* qui implique une *vision évolutive*. Nos sociétés qui sont devenues dépendantes de la technologie n'ont plus de salut que dans son développement incessant.
- Chaque fois que ce processus dynamique d'innovation est défaillant, une crise surgit. C'est ce qui s'est produit dans le domaine énergétique. Le système est tombé dans un immobilisme qui s'est figé trop longtemps sur l'utilisation à outrance de ressources fossiles.

# CONSERVATION IN SITU DE LA BIODIVERSITÉ AGRICOLE À TRAVERS LE SOUTIEN DE SA GESTION À LA FERME DANS LES AGROÉCOSYSTÈMES MAROCAINS

*conservation in situ de la diversité génétique des cultures*

**Pr. Mohammed SADIKI**

**Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II  
B.P. 6202, Al Irfane, Rabat-10100, Maroc**



## Résumé

Dans les systèmes traditionnels de production, les variétés locales de nombreuses espèces sont produites et maintenues selon un système informel où les agriculteurs produisent leurs propres semences. Celles-ci sont modelées d'une génération à l'autre, sous l'effet des sélections naturelle et humaine. Il en résulte une diversité intra et inter variétés locales. La conservation *in situ* de la diversité des cultures concerne le maintien des variétés locales par les agriculteurs dans les agro-écosystèmes où elles se sont développées. Au Maroc, un programme initié dans un cadre collaboratif international en partenariat avec Bioversity International (ex-IPGRI), vise le développement des bases pour une stratégie nationale de conservation à la ferme de la diversité génétique des cultures à partir de quatre espèces modèles (fève, orge, blé dur et luzerne).

Le projet a d'abord focalisé sur la compréhension des processus de maintien de la diversité et les pratiques de sa gestion à la ferme sous l'influence de facteurs socio-économiques, de l'environnement, les pratiques agricoles et la prise de décision des agriculteurs. Les interventions potentielles pour augmenter la compétitivité de la diversité génétique des cultures ont été identifiées. Ainsi, des voies pour intégrer l'utilisation des ressources génétiques locales des cultures dans le développement agricole ont été formulées.

## Summary

### **In situ conservation of crop genetic diversity through supporting its on-farm management in Moroccan agroecosystems**

For crops species, *in situ* conservation is concerned with the maintenance of traditional crop varieties by farmers in the agroecosystems. In traditional production systems in particular, crop genetic resources are passed on from generation to generation of farmers and are subject to various selection pressures. In these systems crop varieties locally adapted to particular microniches may be one of the few resources available to a resource-poor farmer for increasing or maintaining production on his or her field. Environmental, biological and socio-economic factors influence farmer's decisions of whether to select or discard a particular crop cultivar at any given time. On-farm conservation programmes require partnerships among many stakeholders and their implementation presupposes that integrated multi-institutional, multidisciplinary frameworks are in place at central and local levels.

On-farm conservation of crops genetic diversity in Morocco was initiated in the frame of a global project in partnership with Bioversity International (ex-IPGRI) to strengthen the scientific basis of *in situ* conservation of crop plants. The main objectives are to support development of a framework of a knowledge on farmers decision making that influence the maintenance of crop genetic diversity, to build national capacity for strengthening farmer communities in the management of their crop genetic resources, and to broaden the use of agrobiodiversity and the participation of farmers and others stakeholders in its conservation.

The research areas are: (1) What is the extent and distribution of the genetic diversity maintained by farmers over space and over time? (2) What are the processes used to maintain the genetic diversity on-farm? (3) Who maintains genetic diversity within farming communities? (4) What factors influence farmer decisions on maintaining traditional varieties? The project focusing on faba bean, barley, durum wheat, and alfalfa as model crops is implemented in three contrasting regions (Taounate, Azilal and Errachidia provinces). The project has first described the structure of the diversity and its distribution under the influence of socio-economic and environmental factors and farmers' practices and decision-making. It was established that farmers may characterize the units of crop diversity not by a name but by a set of traits labeled "Farmers' Units of Diversity Management" or FUD. Along with economic analysis of factors that influence farmers to maintain diversity, these results have enabled the creation of a portfolio of development options to enhance benefits of crop diversity to farmers and the development of methods to mainstream the use of local crop genetic resources into the agricultural development arena.

Potential interventions to increase crop genetic diversity's competitiveness were classified under five broad headings: Improving the material, increasing consumer demand for local crop diversity, improving access to genetic diversity, diversity and ecosystem health, and the role of policy.

## 1. Introduction

La biodiversité agricole est la composante de la biodiversité qui comprend la variété et la variabilité des animaux, des plantes et des micro-organismes nécessaires pour maintenir les fonctions clés de l'agroécosystème, de sa structure et des processus contribuant à la production et à la sécurité alimentaire [11]. Pour les plantes cultivées, elle correspond à la diversité génétique maintenue par les agriculteurs sous forme de cultivars locaux, sélectionnés et reproduits à la ferme dans divers agroécosystèmes. Au Maroc les variétés locales de nombreuses espèces caractérisant les systèmes traditionnels de cultures sont produites et reproduites selon un système informel. Le taux d'utilisation des semences sélectionnées demeure très faible (moins de 2 % pour les légumineuses et l'orge) [15]. Ces variétés locales expriment une diversité générée par des mécanismes impliquant les pratiques culturelles et les techniques traditionnelles de culture reflète les besoins et les préférences des agriculteurs et les exigences des consommateurs [9]. Par leurs actions de maintien des variétés locales, les agriculteurs sont les garants de la conservation de la diversité particulièrement dans les agro-écosystèmes des zones marginales. Néanmoins, des pressions grandissantes pèsent sur ces agriculteurs et intensifient l'érosion de la diversité des ressources génétiques des cultures. Aussi, la lutte contre la dégradation de la biodiversité est-elle devenue un enjeu universel et prioritaire. L'importance de conserver l'agrobiodiversité pour le futur de la sécurité alimentaire globale réside dans son potentiel pour satisfaire les besoins des agriculteurs et des sélectionneurs pour une agriculture durable. Contrairement à la conservation *ex situ* où les ressources génétiques des plantes conservées sont maintenues séparées de l'environnement de production agricole, l'approche de conservation *in situ* des espèces cultivées consiste en la culture continue et la gestion par les agriculteurs d'une série diversifiée de populations d'une culture dans les agro-écosystèmes où la culture a évolué [4], [10]. Ainsi, cette approche maintient les processus évolutifs des cultures sous les pratiques agricoles. Le soutien de la conservation et de l'utilisation de la diversité génétique des cultures à la ferme permet de contribuer à améliorer le niveau de vie des agriculteurs pauvres. Cette approche renforce le contrôle et l'accès des agriculteurs les communautés sur les ressources locales des cultures. De plus, l'utilisation durable de variétés localement adaptées peut aider la santé d'écosystème en réduisant le besoin pour des engrais et des pesticides. La conservation *in situ* à la ferme est encouragée par la Convention sur la Diversité Biologique (1992) et le Plan d'Action Mondiale de la FAO pour la Conservation et l'Utilisation durable des Ressources Phytogénétiques (1996).

Dans ce cadre un projet «Renforcement des bases scientifiques de la conservation *in situ* de la biodiversité agricole au Maroc» a été développé dans un cadre international en partenariat avec l'Institut International des Ressources Génétiques des Plantes (IPGRI) [13] pour le développement des bases scientifiques d'une stratégie de conservation *in situ* des ressources génétiques des espèces cultivées à travers trois actions :

- 1) soutenir le développement d'un cadre de connaissance sur les prises de décision des agriculteurs qui influencent la conservation *in situ* de la biodiversité agricole,
- 2) renforcer les institutions nationales en matière de conception et de réalisation des programmes de conservation *in situ* de la biodiversité,
- 3) élargir l'utilisation de la biodiversité et la participation des agriculteurs et les autres groupes à sa conservation.

## **2. Planification et établissement du projet**

### ***2.1. Choix des espèces modèles***

Le projet concerne quatre cultures modèles représentant différents systèmes biologiques et différentes familles (Tableau 1). Les quatre espèces sont très anciennes et intimement intégrées dans les systèmes de culture traditionnels marocains. Elles renferment une diversité génétique importante sous forme de populations de cultivars locaux évoluant dans différents agroécosystèmes sous la pression des facteurs environnementaux et l'effet des pratiques agricoles [5], [7], [17], [18], [20].

### ***2.2. Choix des sites pour l'implantation du projet de conservation in situ***

Les travaux antérieurs de collectes et de caractérisation des populations locales des cultures concernées ont permis le choix de trois régions à haute diversité et diversifiées sur le plan agroécologique [8]. Dans chacune des régions, les sites focaux d'implantation des activités du projet ont été localisés en fonction de l'importance de l'utilisation des cultivars locaux par les agriculteurs, de la disponibilité et la collaboration des communautés et des institutions locales et régionales et des organisations non gouvernementales (ONG). Les sites choisis sont :

- Province d'Azilal au Centre dans le haut Atlas, Commune de Demnate est le site retenu pour la luzerne et la commune de Tanant pour l'orge.
- Province de Taounate au Nord dans le pré-Rif: quatre villages constituent les sites du projet pour les fèves, le blé dur et l'orge: Ain Barda et El Jir dans la commune rurale de Tammadite, Sidi Sennoun dans la commune d'Ourtzagh, Bouajoul dans la commune de Ghafsai.
- Province d'Errachidia au Sud: Dans cet écosystème oasien, le projet s'intéresse à la luzerne et au blé dur dans le site de Rich.

## **3. Dimensions du projet**

### ***3.1. Projet de recherche-développement***

Le projet est largement fondé sur la recherche participative comme outil nécessaire pour simultanément générer les données scientifiques et assurer le développement le transfert des technologies appropriées. Cette approche de recherche participative à la ferme a permis l'implication effective et des interactions étroites des scientifiques, des agriculteurs et des agents de développement dans les 3 régions à tous les niveaux et à toutes les étapes depuis la planification, la prise de décisions, la coordination, la mise en oeuvre des activités, le suivi et l'évaluation des résultats pour assurer les ponts pour lier la diversité au développement.

### ***3.2. Approche agroécosystème***

Le choix de focaliser sur des cultures modèles était dicté par la nécessité de développer des connaissances scientifiques et d'approfondir la compréhension des mécanismes de maintien de la diversité locale. Néanmoins, le projet repose sur une approche agroécosystème et toutes les investigations se réfèrent aux agroécosystèmes dans lesquels ces cultures sont produites. En effet, les pratiques et techniques des agriculteurs concernant la gestion des variétés locales sont intégrées et tiennent compte de nombreux facteurs liés au système de production, à l'environnement socioéconomique et aux conditions du milieu.

### 3.2.1 Approche pluridisciplinaire

Le développement et la mise en œuvre du projet de conservation *in situ* de l'agrobiodiversité repose sur une approche systémique et intégrée nécessitant le développement d'une collaboration pluridisciplinaire et multi-institutionnelle et des liens étroits aux niveaux national et local. La compréhension et l'élucidation des processus et des facteurs agissant sur la gestion de la diversité des espèces cultivées à la ferme, sa répartition et son évolution sous les pratiques agricoles, constitue une question à la fois complexe et nouvelle nécessitant une approche pluridisciplinaire ayant recours à des disciplines diversifiées mais complémentaires. Le travail de l'interdisciplinarité en équipes pluridisciplinaires s'est initialement attelé à la standardisation des méthodologies adoptées, des unités de mesure et d'observation, des échelles des collectes des différents types de données, des situations propres à leur application et l'harmonisation du travail à conduire dans les sites tant en milieu paysan, en stations, dans les laboratoires que dans l'environnement socioéconomique. Ceci a favorisé l'intégration des données sociales et biologiques.

### 3.2.2 Partenariat Multiinstitutionnel

La complexité de la conservation *in situ* de la diversité des cultures à travers le soutien de la gestion de la biodiversité dans les agroécosystèmes requiert la participation concertée en partenariats de plusieurs acteurs et institutions. Ces collaborations sont des éléments fondamentaux pour le succès de l'initiative de conservation à la ferme. Le projet repose sur le développement et renforcement des capacités nationales, le développement des liaisons institutionnelles et d'un partenariat représentatif. Aussi était-il essentiel dès le début d'assurer que le personnel et les expertises nationales appropriées dans différentes institutions soient mobilisées pour former des équipes en veillant à la promotion de l'équité à toutes les échelles du projet. Les structures, les groupes locaux ainsi que les agriculteurs partenaires potentiels du projet ont été identifiés lors des tournées de reconnaissance et suite aux différentes réunions tenues dans chaque région avant les ateliers de planification. Pour une coordination collective, les instituts en charge du projet (IAV Hassan II et INRA) ont formalisé le partenariat avec les services de développement et plusieurs ONG locales dans chacune des 3 provinces abritant le projet mais aussi à l'échelle nationale pour les encourager à jouer un rôle de premier plan dans la conduite et la pérennité des activités du projet. Les organisations communautaires et les ONG fournissent le soutien local aux initiatives de la conservation et l'utilisation par la mobilisation et la représentation des populations locales.

### 3.2.3 Analyse genre

La conservation *in situ* de la biodiversité agricole est le fruit du travail effectif des agriculteurs et des agricultrices. Une attention particulière a été accordée à la dimension «genre» depuis le processus de planification et à l'échelle de toutes les activités en assurant la participation effective des hommes et des femmes [16]. Des chercheuses et des animatrices locales font partie des comités du projet à l'échelle locale et à l'échelle nationale pour faciliter la communication avec les femmes et les filles sur les exploitations agricoles dans les sites. De même, des étudiantes participent de manière concrète à des activités de recherche dans le cadre de leurs thèses ou mémoires de fin d'études.



#### 4. Comprendre la diversité génétique des cultures dans le système et bases de son maintien

La conservation *in situ* de la diversité des cultures à travers le soutien de sa gestion à la ferme nécessite en tout premier lieu l'évaluation et l'analyse du statut actuel de la diversité, la détermination de son amplitude et sa distribution et la compréhension approfondie des pratiques et des stratégies des agriculteurs pour sa gestion dans un agroécosystème donné. Tandis que la conservation *ex situ* est une question primordialement technique de comment mieux préserver le germplasma, la conservation de la diversité génétique dans les champs des agriculteurs est façonné par un éventail complexe de facteurs dans l'espace et dans le temps. La tâche première est de comprendre quand, où et comment la conservation *in situ* à la ferme est possible [13]. L'agenda scientifique du projet comprend les questions de recherche suivantes:

- Quelle est l'amplitude et la distribution de la diversité génétique maintenue par les fermiers au cours du temps et à travers l'espace?
- Quels sont les processus utilisés pour maintenir la diversité génétique à la ferme?
- Qui maintient la diversité génétique à la ferme dans les communautés fermières (hommes, femmes, jeunes, vieux, riches, pauvres, certains groupes ethniques) et qui prend des décisions?
- Quels facteurs (marché, social, environnemental) influent sur la prise de décisions des agriculteurs pour maintenir les cultivars locaux?

Le travail de recherche et de collecte des données et des informations nécessaires pour répondre à ces questions repose sur des enquêtes de terrain, des collectes de matériel végétal, des essais à la ferme, des expérimentations contrôlées, des analyses de laboratoire, et des études à différents échelles (région, communautés, fermes, marchés).

##### 4.1. Evaluation et statut de la diversité génétique dans les agro écosystèmes

###### 4.1.1 Distinction des variétés nommées par les agriculteurs et amplitude de diversité

L'un des problèmes méthodologique pour déterminer quelle diversité existe, où est-elle et comment est-elle structurée est de définir l'unité de diversité à travers laquelle les agriculteurs manipulent la diversité génétique des cultures à la ferme. Cette définition est requise pour comprendre les critères utilisés par les agriculteurs pour distinguer et nommer les variétés et leur perception de la diversité et son management à travers les stratégies culturales. La compréhension du système de désignation et de nomination des variétés locales par les agriculteurs est primordiale pour élucider la structure de la diversité génétique des cultures, sa distribution à différentes échelles spatiales et sa manipulation par les agriculteurs.

Les résultats montrent que les agriculteurs ne caractérisent pas toujours les unités de diversité des cultures qu'ils exploitent par un nom, mais par un ensemble de traits distinctifs qui permettent la différenciation et l'identification de ces unités [19], [21]. Le terme 'FUD' (Farmer's units of diversity management) a été introduit pour rendre compte de cette unité de gestion. Par exemple, les noms de variétés de fève ne sont pas toujours constants selon les fermiers à travers les villages, comme ils ne sont pas toujours uniques (Tableau 2) [19]. Dans certains cas, différents noms désignent la même variété ou correspondent au même ensemble de descriptions, souvent agromorphologiques,

données par les fermiers pour décrire le cultivar nommé. Dans d'autres cas, le même nom désigne des traits agromorphologiques différents. D'autres variétés encore n'ont pas de noms précis, elles sont désignées par la dénomination générique « Beldi » signifiant local bien qu'elles soient distinguées de manière fiable par les agriculteurs à travers différents traits. La constance des noms et des descriptions est meilleure entre les agriculteurs des villages proches, mais elle diminue significativement avec la distance entre les villages, plus rapidement pour les noms que pour les descriptions (figure 1).

Pour les quatre cultures traitées, les noms que les fermiers donnent aux variétés peuvent être en rapport avec la source ou l'origine du matériel, la morphologie de la plante (couleur, forme, hauteur, type de croissance, etc.), la performance agronomique de la variété (date de floraison, précocité, rendement, etc.), ou avec l'adaptation des variétés aux facteurs de l'environnement particuliers (type de sol, résistance à certaines maladies, etc.). Dans certains cas les noms et les traits sont en rapport avec l'utilisation du matériel, tel que le temps de cuisson rapide, goût, utilisation de la paille ou autres parties de la plante, ou un rôle dans des cérémonies religieuses. Les agriculteurs perçoivent ces facteurs à différents stades du cycle de développement de la plante.

L'intégration des données a permis la définition des FUD pour chaque espèce. Le nombre de FUD est utilisé pour déterminer la richesse variétale à la ferme à différentes échelles géographiques. L'importance de chaque UDA a été évaluée par le pourcentage de la superficie occupée et par la fréquence de sa culture. Le tableau 3 récapitule les résultats de certains paramètres des 4 espèces modèles.

#### ***4.1.2 Distribution de la diversité***

L'amplitude et la répartition de la diversité des cultures ont été analysées au niveaux de l'exploitation, du village et de la communauté sur la base de plusieurs indices comprenant le nombre de variétés, l'indice modifié de Shannon et Weaver, le nombre de parcelles de chaque variété, la superficie moyenne et le nombre d'exploitations qui cultivent chaque variété [1], [12], [19]. Les cultivars locaux ont été catégorisés en groupes occupant de large et des petites superficies et des cultivars fréquents et rares. La comparaison des données à différentes échelles montre que la diversité maintenue au niveau de communauté (plusieurs village) est plus importante qu'au niveau du village ou au niveau de l'exploitation. Par conséquent, l'échelle spatiale pour la conservation tourne autour de la communauté, plutôt que sur des exploitations ou sur les villages individuellement.

#### ***4.1.3 Caractérisation de la diversité agro-morphologique des variétés locales***

La caractérisation et l'évaluation des variétés locales reposent sur les mesures des caractères agro-morphologiques des populations de ces variétés dans les essais à la ferme et les tests en conditions contrôlées ou en stations expérimentales. Dans ces essais comparatifs des lots de semences, représentant chaque variété locale reconnue, prélevés chez différents agriculteurs du même village et dans différents villages de la même région, sont semés dans une même parcelle. Les agriculteurs sont invités à classer et décrire leurs variétés lors des visites répétées aux essais à différents stades de la culture. La liste des caractères mesurés comprend aussi bien les critères utilisés par les agriculteurs que d'autres caractères agronomiques et morphologiques choisis dans les listes des descripteurs des quatre espèces concernées [5], [12], [19].

Pour les quatre espèces, les résultats montrent une forte corrélation entre la classification phénotypique des populations analysées et leur classification par les agriculteurs. Les populations appartenant à la même variété locale (selon les agriculteurs) sont classées dans le même groupe agromorphologique. Les différences phénotypiques expriment fortement la perception des agriculteurs de la diversité. Les analyses des distances génétiques entre ces populations par des marqueurs moléculaires (RAPD, AFLP et microsatellites) montrent que la diversité phénotypique exprime des différences génétiques entre les variétés locales [5], [6]. Le maintien des unités génétiquement différentes indique une sélection continue par les agriculteurs qui affecte la majorité des caractères.

#### **4.2. Processus utilisés pour maintenir la diversité génétique à la ferme**

Les processus pour maintenir la diversité locale des cultures à la ferme sont principalement liés aux effets conjugués de l'environnement et de la sélection humaine. Ceci comprend la gestion agricole des cultures, de l'agroécosystème où ces cultures sont pratiquées et le système de semences. Les résultats ont permis la description des voies selon lesquelles les agriculteurs sélectionnent pour les traits préférés. Les pratiques, les méthodes et les techniques de sélection pour la production des semences varient selon les fermiers et les cultures. Les caractères sélectionnés varient aussi. Les fermiers sélectionnent pour des caractères individuels ou une combinaison de plusieurs caractères. Lorsqu'ils sélectionnent plus d'un trait, ils les hiérarchisent selon leurs préférences.

Les réseaux locaux informels d'échange et d'acquisition des semences constituent le facteur le plus important intervenant dans le maintien de la diversité des variétés locales [1], [23], [12']. Pour la fève, la majorité des agriculteurs (88 %) produisent des semences, néanmoins ils ne produisent pas la totalité des besoins et ont recours à différentes sources d'approvisionnement. Seuls 17% utilisent exclusivement leurs propres semences; 69% achètent leurs semences au marché local à des agriculteurs, 18% s'approvisionnent de leurs voisins pour compléter leurs besoins et 13% s'orientent vers les commerçants [12].

Seuls 64 % des agriculteurs produisant leur semences pratiquent une sélection des graines individuelles (26 %) pour la couleur, la taille et la propreté, ou des gousses (21 %) pour la longueur, la largeur et l'absence de symptômes de maladies. Seuls 2 % des agriculteurs produisent les semences dans des parcelles séparément des champs de production de grains. Pour l'orge et le blé dur, la sélection est pratiquée par 63% des agriculteurs pour la hauteur de la plante (6%), la taille du grains (30%), la couleur du grain (6%), la longueur de l'épi (24%), le nombre de grains par épi (4%), le rendement grain (30 %), le rendement en paille (40%), et la qualité de la semoule (10%). Pour la luzerne les critères de sélection sont essentiellement liés aux stades de floraison et de maturité des grains dans les parcelles de production de semences. Les agriculteurs sélectionnent pour le rendement en semences (74%), la couleur de la semence (66%), la taille de l'inflorescence, la taille et la forme de la semence. La persistance est un critère essentiel dans les oasis suivi de la tolérance au froid et la croissance hivernale en montagne.

L'analyse des flux de semences a été fait en terme de proportion de chacune des variétés dans le flux de semences en mouvement de la source vers la parcelle. Ceci a permis la caractériser la diversité dans les flux et de cerner l'effet du flux sur la diversité locale [1].

#### 4.3. Qui intervient dans la gestion de l'agrobiodiversité?

Dans une communauté d'agriculteurs, les différents groupes ne jouent pas tous le même rôle dans le maintien de la diversité des cultures. L'implication des femmes dans la prise de décision au niveau des pratiques et des activités est importante à travers les sites et les cultures, même si les hommes sont presque toujours les chefs d'exploitations. Dans la majorité des villages, les femmes contrôlent amplement les activités liées à la semence sur 64 % des exploitations [12]. Elles interviennent dans le choix des lots de semences et les opérations de sélection, le stockage ainsi que dans les décisions concernant le choix des variétés locales à cultiver. Dans de nombreuses situations, elles interviennent également dans l'affectation des variétés aux différentes parcelles. Les femmes ont un savoir aussi important que les hommes sur les différences entre les variétés locales des valeurs marchandes [16]. Dans la plupart des cas les femmes accoutumées à effectuer la conduite du bétail, le traitement de la production, les travaux de cuisines ont une meilleure appréciation des aspects de qualité des variétés locales. Presque 70 % des agriculteurs cultivant plus de plus de 3 sont âgés de plus de 55 ans. Dans plusieurs villages, des agriculteurs 'experts' jouent un rôle clé dans le maintien et l'utilisation des variétés locales, et sont reconnus pour leurs compétences dans la gestion de la diversité. En général, dans les 3 sites du projet les agriculteurs les mieux dotés de ressources et ceux qui sont mieux intégrés dans le marché cultivent un nombre plus élevé de variétés locales. Néanmoins, aucune relation n'a été clairement trouvée entre la taille de l'exploitation et le nombre de variétés exploitées pour une culture. D'autres intervenants intermédiaires dans les systèmes informels de semences jouent des rôles important dans le maintien des variétés locales et leurs diffusions.

#### 4.4. Quels sont les facteurs qui influent sur le maintien de la diversité locale

Les principaux facteurs qui influent sur l'importance et la distribution de la diversité locale des cultures sont d'ordres socioéconomiques et environnementaux. Les décisions des agriculteurs concernant le choix variétal, le nombre de variétés à cultiver et sur quelle proportion de la superficie agricole utile affectent la diversité génétique des cultures qu'ils exploitent. La culture de la diversité est liée à la gestion des risques, des incertitudes et des aléas, la qualité pour la nutrition et la santé, la réduction des intrants agricoles [2], [3].

La sécheresse a été identifiée comme principal facteur environnemental agissant directement sur la gestion de la diversité à la ferme des 4 cultures analysées dans les trois sites. Les données et des informations sur l'ampleur, la distribution et la gestion de la diversité ont été collectées sur 3 types de saisons: une années sèche, une année moyenne et une année pluvieuse. Les résultats montrent que de nombreux agriculteurs adoptent une stratégie de stockage des semences de leurs variétés de fève et des céréales sur 2 à 5 ans pour faire face à une sécheresse survenant pendant les années consécutives. L'introduction des semences au village augmente nettement après une mauvaise récolte. Cependant, la sécheresse n'affecte pas autant le spectre variétal du village puisque les agriculteurs cherchent presque systématiquement leurs variétés habituelles lorsqu'ils sont contraints de s'approvisionner à l'extérieur. La sécheresse affecte la composition des lots de semences au cours du temps et la proportion relative de chaque variété dans le flux.

L'eau d'irrigation et la salinité sont d'autres facteurs importants dans l'agroécosystème oasien. Leur l'impact sur la diversité a été analysé pour la luzerne dans cette région.

## **5. Transfert et intégration de l'utilisation de la diversité locale des cultures dans le développement agricole**

Le développement d'un éventail d'options variées pour améliorer les bénéfices tirés de la diversité locale des cultures a été ciblé dès le début du projet en tant que voies d'interventions pour intégrer la diversité des cultures dans le développement agricole.

### **5.1. Amélioration de la qualité des semences**

La qualité de la semence présente une importance déterminante en raison du progrès permis en terme de production par de simples opérations de son maintien à la portée de l'agriculteur tel que le nettoyage et le stockage dans des conditions adéquates. La moitié des agriculteurs n'utilise aucune pratique de conditionnement et de nettoyage des lots destinés à la semence. Ceci est nettement reflété par l'état des lots des semences collectés sur les exploitations qui ont une qualité physiologique, analytique, sanitaire et génétique médiocres [12].

Les résultats d'étude du stockage dévoilent l'effet dégradant des conditions de stockage des semences sur les exploitations principalement en raison des attaques de bruches de fève et de charançons de céréales. Les techniques adaptées de nettoyage, de traitement et de stockage des semences ont été mises au point pour chacune des cultures avec les agriculteurs partenaires et validées dans d'autres villages. L'analyse a montré que, par exemple, un traitement à l'insecticide contre les bruches de fève ne dépasse pas 65 dh/ha de charge et induit une augmentation d'au moins 33,6 % de rendement. Outre l'effet de protection des semences, ce traitement présente l'indéniable l'avantage d'empêcher le retour à la parcelle des bruches à travers la semence. La restitution de ces résultats aux agriculteurs a donné lieu à plusieurs sessions de démonstrations ont été répétées dans plusieurs villages de chaque site. Ces démonstrations ont été appuyées par des machines mécaniques et des tamis de différents calibres, confectionnés pour chacune des cultures. Plusieurs unités ont été distribuées aux agriculteurs à travers les ONG dans les 3 sites.

### **5.2. Amélioration du matériel**

La sélection participative à la ferme a été initiée dans les trois sites pour encourager les agriculteurs à améliorer leurs pratiques de sélection des variétés locales dans les villages où elles sont cultivées. Les méthodes adoptées diffèrent selon la culture, mais l'approche générale repose sur l'amélioration des populations de variétés locales à la ferme et l'investigation de l'utilisation directe des variétés locales pour améliorer la production [22], [25]. Cette activité est accompagnée d'un travail de formation et de démonstration non seulement au profit des agriculteurs partenaires, mais également aux autres agriculteurs de la communauté. Les agriculteurs ont montré un intérêt particulier quant à cette activité, particulièrement ceux qui avaient une idée claire de la semence et qui la séparaient du reste de la production.

### **5.3. Législation et réglementation**

La promotion de la législation et la réglementation est une autre voie d'intervention pour soutenir la gestion de la diversité locale. Le projet a conduit une analyse critique de la législation existante pour identifier les lacunes et les contraintes qui influencent les

décisions des agriculteurs quant au maintien des variétés locales Maroc. En utilisant les données et les informations des sites pilotes des projets de conservation *in situ* un atelier international a été organisé à Marrakech en 2003 pour développer les méthodologies communes et les critères pour le processus de développement de la législation qui soutient l'utilisation et la conservation de la diversité à la ferme. A travers la médiatisation des résultats, cet atelier a aidé à la sensibilisation des décideurs politiques particulièrement au niveau des ministères de l'agriculture et de l'environnement.

Le projet a contribué significativement à l'introduction des cours et des séminaires dans les programmes de formation universitaire en agriculture. Les données techniques concernant la qualité des semences leurs réseaux locaux fournissent des bases essentielles pour les recommandations de textes loi et réglementation concernant la production locale des semences.

#### **5.4. Valeurs nutritionnelles et santé**

Les questions de nutrition et de santé en relation avec la diversité locale ont été soulevées et continuent à travers l'étude des valeurs et des habitudes culinaires, du savoir traditionnel, des préférences locales, des recettes à base de variétés locales, la possibilité de la labellisation et de marketing des valeurs nutritionnelles des variétés locales ainsi qu'à travers l'analyse des micronutriments. Une étude sur la diversité des régimes/rations alimentaires en relation avec la diversité génétique des cultures a été entamée dans les sites de Taouante et Azilal.

#### **5.5. Sensibilisation et information**

Une étape importante du projet est le transfert des expériences acquises localement à une plus large échelle pour atteindre une audience plus large et variée. Pour ce faire, les efforts durant la dernière phase de ce projet sont focalisés sur la mobilisation des capacités développées pour promouvoir les mesures qui facilitent l'intégration des variétés locales dans le cadre global du développement agricole.

Le travail de sensibilisation est organisé selon les différents groupes d'audience. Les moyens varient du contact personnel à l'utilisation des mass media. Les expositions de diversité dans les foires régionales et nationales, l'organisation de compétitions régionales à base de diversité (reconnaissance de variétés différentes, plats à bases de variétés locales) ont eu un succès particulier.

La médaille de mérite décernée par la FAO à l'équipe du projet à l'occasion de la journée mondiale de l'alimentation en octobre 2004 tant pour les résultats scientifiques que pour la contribution à l'amélioration de la gestion de la diversité à la ferme avait un impact très fort au niveau des décideurs et des hauts responsables politiques du pays.

Les démonstrations organisées annuellement sous forme de blocks de diversité commentés ont permis à de nombreux agents de développement et d'agriculteurs de découvrir les variétés locales et leur diversité. Ce support a également été utilisé pour exposer et informer des opérations et options permettant d'ajouter de la valeur aux variétés locales. Les publications des résultats et des acquis ont été organisées sous des formats ciblant différents groupes à atteindre. Ainsi, des documents variés ont été produits: des manuels techniques, des affiches, des dépliants, des notes techniques, des articles de journaux locaux et nationaux et des articles scientifiques.

## 6. Perspectives

Ce programme de recherche-développement continue à travers un projet conçu pour développer et favoriser des outils et des méthodes afin d'appliquer le savoir existante concernant l'utilisation de la diversité génétique des cultures pour contrôler la pression des maladies et ravageurs dans les différents agroécosystèmes. Soutenu par le FEM (Fond de l'Environnement Mondial – GEF), basé sur une approche multidisciplinaire et multi-institutionnelle, ce projet repose sur l'exploitation de la résistance naturelle qui résulte de la co-évolution des maladies et des espèces hôtes afin de proposer aux agriculteurs des options à faibles intrants (low-input) pour le management des maladies et des ravageurs. Il s'en suivra une réduction de l'utilisation des pesticides et soutient le maintien de la diversité des cultures. La stratégie d'utilisation de la diversité des cultures pour contrôler les pressions biotiques aura un impact significatif énorme sur la conservation des ressources génétiques des espèces cultivées par les agriculteurs *in situ*. [14]

## Remerciements

*Le présent travail a été conduit en partenariat avec le projet global soutenu par Bioversity International (ex IPGRI). "Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity On-farm. L'auteur exprime ses remerciements aux gouvernements Suisse (Swiss Agency for Development and Cooperation) et allemand (BMZ/GTZ-Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit/Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit et au FEM/PNUE) pour le soutien financier de ce projet. Il remerci également les participants à ce projet aux niveaux international et national, des agriculteurs aux agents de développement, éducateurs et scientifiques, aux décideurs pour leur soutien et encouragement qui on fait aboutir ce travail.*

## Références bibliographiques

- [1] Arbaoui Mustapha. 2003. Analyse des facteurs évolutifs de la diversité génétique de la fève (*Vicia faba* L.) in situ et leurs impacts sur sa gestion et on maintien à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation in situ de la fève au Maroc. Mémoire de troisième cycle Amélioration Génétique des Plantes. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc. 297p.
- [2] Bellon M.R., 1996a. The dynamics of crop infraspecific diversity: a conceptual framework at the farmer level, *Econ. Bot.* 50(1) (1996) 26-39.
- [3] Bellon, M.R. 1996b. The determinants of crop infraspecific diversity: A test of hypotheses at the household level. 37<sup>th</sup> Annual Meeting of the Society for Economic Botany, Imperial College, London, 1-6 July 1996.
- [4] Bellon, M.R., J.L. Pham, and M.T. Jackson. 1997. Genetic Conservation: A Role for Rice Farmers. In *Plant Conservation: The In Situ Approach* (N. Maxted, B.V. Ford-Lloyd and Hawkes, Eds.), London: Chapman and Hall.
- [5] Belqadi, L. 2003. Diversité et ressources génétiques de *Vicia faba* L. au Maroc: variabilité, conservation *ex situ* et *in situ* et valorisation. Doctorat de thèse ès-sciences Agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.



- [6] Benchechou, Z. 2004. Analyse de la structure de la diversité génétique de la fève *in situ* en relation avec sa gestion à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation *in situ* de la fève au Maroc. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle du diplôme D'ingénieur d'état en Agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- [7] Birouk A. et Dattée Y. (1989). Organisation de la variabilité enzymatique des populations marocaines de luzerne (*Medicago sativa* L.): structures géniques et génotypiques. *Genome*, vol. 32, p. 120-128.
- [8] Bouzeggaren, A., A. Birouk, S. Kerfal, H. Hmama, and D. Jarvis. 2002. Conservation *in situ* de la biodiversité des populations noyaux de luzerne locale au Maroc. In A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune, and D. Jarvis, eds., *La Conservation In Situ de la biodiversité Agricole : Un Défi pour une Agriculture Durable*. Rome, Italy: IPGRI.
- [9] Cleveland, D.A., D. Soleri, and S.E. Smith. 2000. A Biological Framework for Understanding Farmers' Plant Breeding. *Economic Botany* 54(3) pp. 377-394.
- [10] Cooper, D., R. Vellve, and H. Hobbelink. 1992. Why Farmer Based Conservation and Improvement of Plant Genetic Resources? PP 1-16 in *Growing Diversity – Genetic Resources and Local Food Security* (D. Cooper, R. Vellve, and H. Hobbelink, Eds.), Intermediate Technology Publications.
- [11] FAO, 1998 FAO, 1998. The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. FAO, Rome.
- [12] GHAOUTI LAMIAE. 2003. Analyse de la diversité génétique de la fève *in situ* et étude des mécanismes de sa maintenance à la ferme: Contribution au développement de bases scientifiques pour la conservation *in situ* de la ferme au Maroc. Mémoire de troisième cycle Amélioration Génétique des Plantes. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc. 205 p.
- [12'] Hodgkin T., R. Rana, J. Tuxill, D. Balma, A. Subedi, I. Mar, Sawadogo M., L. Latournerie, M. Sadiki; A.D.H. Brown, and D. Jarvis ., 2005. Seed systems and genetic diversity in agroecosystems. in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. DI Jarvis, C Padoch and D Cooper, eds. Columbia University Press, New York USA.
- [13] Jarvis D.I., Meyer L., Klemish H., Guarino L., Smale M., Brown A.H.D., Sadiki M., Sthapit B., Hodgkin T., 2000. A training guide for *in situ* conservation on-farm. Version 1. International Plant Genetic Resources. Institute, Rome, Italy.
- [14] Jarvis D.I., Brown, A., Imbruce, V., Ochoa J., Sadiki, M., Karamura, E., Trutmann, P., Finckh, M. R. 2005. Managing crop disease in traditional agroecosystems: the benefits and hazards of genetic diversity. in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. in press. DI Jarvis, C Padoch and D Cooper, eds. Columbia University Press, New York USA.
- [15] Mellas, H., 2000. Morocco. Seed supply systems: Data collection and analysis. In: *Conserving agricultural biodiversity in situ: A scientific basis for sustainable agriculture*. Jarvis, D., Sthapit, B. and Sears, L. (Eds)., Rome, Italy, pp. 155-156.

- [16] Nassif, 2000. Morocco: Policy, Extension and Education. In: Conserving agricultural biodiversity *in situ*: A scientific basis for sustainable agriculture. Jarvis, D., Sthapit B. and Sears L. (Eds). IPGRI, Rome, Italy, pp: 219-220.
- [17] Robertson L.D., Sadiki M., Matic R., Lang Li-juan, 2000. *Vicia* spp: Conserved resources, priorities for collection and future prospects. Knight R. (eds), Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21<sup>st</sup> Century, 623-633. *Kluwer Academic Publishers*. Netherlands.
- [18] Rh'rib, K., A. Amri, and M. Sadiki. 2002. Caractérisation agro morphologique des populations locales d'orge des sutes Tanant et Taounate. In A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune, and D. Jarvis, eds., *La Conservation In Situ de la biodiversité Agricole : Un Défi pour une Agriculture Durable*, pp. 286–294. Rome, Italy: IPGRI
- [19] Sadiki, M., L. Belqadi, M. Mahdi, and D. Jarvis. 2001. Identifying units of diversity management by comparing traits used by farmers to name and distinguish faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars with measurements of genetic distinctiveness in Morocco. Proceedings of the LEGUMED Symposium on “Grain Legumes in the Mediterranean Agriculture”, 25–27 October 2001, Rabat, Morocco. Paris: AEP.
- [20] Sadiki, M., A. Birouk, A. Bouizzgaren, L. Belquadi, K. Rh'rib, M. Taghouti, S. Kerfal, M. Lahbhili, H. Bouhya, R. Douiden, S. Saidi, and D. Jarvis. 2002. La diversité génétique *in situ* du blé dur, de l'orge, de la luzerne et de la fève : options de stratégie pour sa conservation. In A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune, and D. Jarvis, eds., *La Conservation In Situ de la biodiversité Agricole : Un Défi pour une Agriculture Durable*, pp. 37-117. Rome, Italy: IPGRI.
- [21] Sadiki, M., Jarvis D., Rijal D., Bajracharya J., Hue N. N., Camacho-Villa T. C., Burgos-May L. A., Sawadogo M., Balma D., Lope D., Arias L., Mar I., Karamura D., Williams D., Chavez-Servia J.L., Sthapit B., and Rao V. R. 2005. Variety Names: an Entry Point to Crop Genetic Diversity and Distribution in Agroecosystems? in *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. in press. DI Jarvis, C Padoch and D Cooper, eds. Columbia University Press, New York USA.
- [22] Sadiki M., El Alami, A., Berrada, M. and Mehdi, S., 2000. Local faba bean germplasm enhancement through recurrent selection in Morocco. International Symposium Scientific Basis for Participatory Improvement and Conservation of Crop Genetic Resources 8–14 October 2000. Oaxtepec, Morelos, Mexico.
- [23] Sadiki, M., M. Arbaoui, L. Ghaouti, and D. Jarvis. 2005. Seed exchange and supply systems and on-farm maintenance of crop genetic diversity: a case study of faba bean in Morocco. In D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J.-L. Chavez-Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, pp. 81–86. Proceedings of a Workshop, 16–20 September 2003, Pucallpa, Peru. Rome, Italy: IPGRI.
- [25] Sadiki, M., Mehdi, S., El Alami, A., 2000. Sélection de la fève pour la résistance polygénique aux maladies par voies d'amélioration des populations. *Petria*. 10, 203-262.

Tableau 1. Les espèces modèles choisies pour la conduite du projet 'Renforcement des bases scientifiques de la conservation in situ de la biodiversité agricole au Maroc'

Espèce	Système de reproduction	Cycle	Niveau de ploïdie	Utilisation
Orge	Autogame	Annuel	Diploïde	Grains secs et grains pâteux Paille Biomasse verte (affouragement)
Blé dur	Autogame	Annuel	Allopolyploïde	Grains secs Paille
Fève	Partiellement allogame	Annuel	Diploïde	Gousses et graines fraîches (consommation humaine) Grains secs (Alimentation humaine et animale)
Luzerne	allogame	pérenne	Autotétraploïde	Fourrage récolté en vert

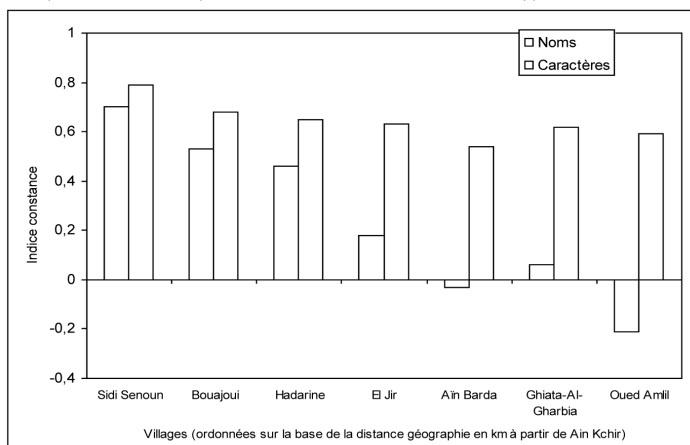
Tableau 2. Liste de variétés locales de fève distinguées et décrites par les fermiers et les critères de leur distinction

Noms des variétés locales	Valeurs des principaux caractères physiques utilisées par les fermiers dans la distinction des types locaux de fève				
	Taille des graines (g/graine)	Longueur des gousses	Nombre de graines par gousse	Couleur des graines	Forme des gousses
Foul Sbaï Labiade	Grosse (1,5 - 2,7g)	Longue	7	Jaune clair	Plate
Foul Sbaï Sdassi Foul Roumi Lakbir Foul Sbaï Lahmar	Grosse (1,5 - 2,7)	Longue	6 à 7	Marron	Plate
Foul R'baï Laghlid Labiade	Grosse (1,5 - 2,7)	Moyenne	4 à 5	Jaune clair	Plate
R'baï Laghlid Lahmar, (Khmassi Laghlide)	Grosse (1,5 - 2,7)	Moyenne	4 à 5	Marron	Plate
R'baï Lou Lkhal Laghlide	Grosse (1,5 - 2,7)	Moyenne	4 à 5	Violet	Plate
T'lathi Beldi Laghlide Lahmar	Grosse (1,5 - 2,7)	Courte	3	Marron foncé	Plate
Moutouassate Labiade Beldi	Moyenne (0,8 - 1,5)	Moyenne	4 à 5	Jaune clair	Plate
Moutouassate Lahmar Beldi	Moyenne (0,8 - 1,5)	Moyenne	4 à 5	Marron	Plate ou Cylindrique
Moutouassate Lakhdar Beldi	Moyenne (0,8 - 1,5)	Moyenne	4 à 5	Vert	Plate
Moutouassate Lou Lkhal	Moyenne (0,8 - 1,5)	Moyenne	4 à 5	Violet	Plate
R'guigue Labiade, Fouila Beldia Lbida, Filt Labiad Beldi	Petite (< 0,8)	Courte	3	Beige	Cylindrique
R'guigue Lahmar, Fouila Beldia Lhamra Fouila Sghira Beldia, Filt S'ghira	Petite (< 0,8)	Courte	3	Marron	Cylindrique
Fouila Baldia Khadra	Petite (< 0,8)	Courte	3	Vert	Cylindrique
Foul Bouzid Sghir Lou Lkhal S'ghir	Petit (< 0,8)	Courte	3	Violet	Cylindrique

Tableau 3. Résumé de quantification de la diversité des quatre cultures : la fève, l'orge, le blé dur et la luzerne dans les sites du projet au Maroc.

Site du projet	Fève		Orge		Blé dur		Luzerne	
	Taounate Ourtzagh	Taounate Ghafsai	Azilal Bouhrazen	Taounate Ourtzagh	Errachidia Rich	Taounate Ourtzagh	Errachidia Rich	Azilal Demnate
Surface de la culture dans la communauté concernée (ha)	2660	1165	1550	3642	1250	2776	850	410
Nombre d'exploitations dans la commune	2413	1950	879	2413	4000	2413	1800	550
Nombre de variétés modernes	0	0	3	2	3	4	2	2
Proportion de l'exploitation cultivée en variétés traditionnelles	100	100	93,23	97,8	23	80	99,5	99,5
Nombre d'unités reconnaissables ou variétés locales dans la région (FUD*)	18	16	5	6	4	3	6	5
Nombre moyen de variétés ou d'unités (FUD) par exploitation	2,0 (1 to 4)	1,6 (1 to 4)	1	1	2,5 (1 to 3)	1,5 (1 to 3)	1	1
Indice de Simpson (sur base de l'exploitation)	0.35	0.21						
Indice de Simpson (sur base du village)	0.63	0.54						
Nombre total d'unités ou variétés (richesse)	8	7	5	6	4	3	6	5

Figure 1. Comparaison de la constance des noms avec la constance des caractères à travers les villages pour une variété de fève (Foul Sbaï labiade) sur la base de l'indice de constance (r).



Coefficient de corrélation entre r (indice de constance) et d (distance en km de Aïn Kchir aux 7 autres villages) pour les noms et les caractères descriptifs = -0,537 et -0,173, respectivement.

# ESTIMATION DE MOUVEMENT ROBUSTE ET DE FAIBLE COMPLEXITÉ DANS LES SÉQUENCES VIDÉO

***Dr. Fedwa ESSANNOUNI***

*Laboratoire de Recherche en Informatique  
et Télécommunications  
Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal  
Rabat, Maroc*



## Résumé

Ce travail s'inscrit dans le domaine de l'estimation du mouvement dans les séquences d'images. La rapidité et la précision de cette dernière sont fondamentales dans de nombreuses applications, telles que la compression, et le suivi d'objets et particulièrement dans les systèmes embarqués.

Dans l'estimation de mouvement, on distingue deux approches principales, les méthodes différentielles basées sur l'équation différentielle du flot optique et les méthodes de mise en correspondance de blocs.

L'approche de mise en correspondance de blocs est la plus utilisée pour sa simplicité et son efficacité. La recherche exhaustive est l'algorithme le plus efficace dans les techniques d'appariement de blocs. Cependant, malgré les différentes variantes proposées dans la littérature, cet algorithme reste très coûteux en temps de calcul. Dans ce travail, nous avons proposé des algorithmes qui restent exhaustifs mais qui sont rapides. Ils sont basés sur une approche définie dans le domaine fréquentiel.

Dans un premier temps, nous avons développé deux techniques de corrélation optimales pour le calcul de la somme des différences carrées (SSD). Ces techniques sont jusqu'à vingt fois plus rapide qu'un algorithme de recherche exhaustive classique. Dans un second temps, nous avons proposé un nouvel algorithme adaptatif pour le calcul de la somme des différences absolues (SAD). Il est basé sur l'utilisation des séries de Fourier où il utilise juste les premiers niveaux de leur approximation. Il obtient jusqu'à 90% de vecteurs de mouvement d'un algorithme de recherche directe exhaustif, tout en étant jusqu'à 50 fois plus rapide.

Enfin, une autre contribution porte sur le développement d'algorithmes robustes utilisant la norme d'ordre quatre ( $L_4$ ) et le M estimateur. Ainsi nous avons proposé des algorithmes qui donnent des champs de vecteur mouvement robustes au bruit et aux données aberrantes.

La rapidité des algorithmes proposés puise son efficacité dans la transformation du problème en un calcul de Transformation de Fourier Rapide et utilise ainsi tous les travaux récents permettant l'optimisation de la complexité de l'Algorithme FFT (TFR).

## 1. Introduction

This work focuses on translational image motion for template and block matching applications. Although this model of motion is very simple, it is a key component of various video processing tasks. More importantly, it is a critical component of video codec which allows temporal redundancy reduction. Translational motion estimation is defined as searching the best motion vector of the current block in the current frame in a predefined search area in the reference frame.

Among the various approaches for motion estimation, block matching algorithm (BMA) is the most popular. It has been adopted by such leading video compression standards MPEG 1/2/4 and H261/263/264. In a standard BMA, each frame is divided into non overlapping blocks. To exploit the video temporal redundancy, each block in the current frame is compared to all candidate blocks in a search area of a reference frame. The candidate block that is best matched with the current block, in terms of some block matching distortion measures, such as the sum of absolute differences (SAD) or sum square differences (SSD), is selected as the reference block for compression.

Full search in the block matching algorithm (BMA) finds the global minimum value of matching error surface. It is popular in many applications of video and image processing due its simplicity and easy hardware implementation. However, its overhead computational load for a large search range can be a significant problem in real time applications. Over the past few decades, many fast algorithms to reduce the computation of the full search have been studied using either sum square difference (SSD) or sum absolute difference (SAD). They can be classified into two groups, the lossy and the lossless fast motion estimation methods. The lossy algorithms have some degradation of predicted images when compared with the FS algorithm, whereas the lossless motion estimation gives no degradation of predicted compared images. In this paper, we are concerned with the lossless algorithms.

The SSD is the most commonly used metric. Indeed, the correlation can be used to evaluate the SSD criterion effortlessly and the straightforward way to compute the correlation is to use the fast Fourier transform (FFT) [1-3] using many correlation. In [4], we have solved the problem of non cyclic SSD matching using only one correlation operation. The SAD (sum of absolute differences) is another commonly used similarity metric. However, unlike the SSD metric, the algorithms which have been developed to speed up the process of sum of absolute difference (SAD) matching are designed exclusively in the spatial domain. Although there are many approaches whose objective is to speed up the process of SAD matching, they can only give the position of the SAD minimum. When the distance SAD should be calculated for every location in the image, the direct SAD computation requires more much time. In [5], we have proposed to expedite this naive approach using the FFT transform while exploiting the Fourier correlation theorem. It is usually supposed in template and block matching that the regions of interest do not change their appearances very much. Hence, the sum of absolute difference (SAD) or the sum of squared difference (SSD), are the metrics commonly used in template and block matching. Using higher than L1-2 norms is appropriate in case the image sequence or the

signal is severely corrupted by additive Gaussian noise. We show in section 5, how we can express the matching surface based on the L4 matching estimator in terms of minimal correlation terms. The straightforward way to compute the correlation is to use the fast Fourier transform (FFT) [6].

This paper is organized as follows: Section 2 introduces the problem statement and notations used after. Section 3 describes our method for SSD computation using only one correlation. Section 4 is concerned with the frequency method for SAD motion estimation computation. The proposed L4 computation using FFT algorithms is described in section 5. Section 6 discusses the computational cost of different frequency matching algorithms presented in this paper. Section 7 concludes the paper.

## 2. Notations

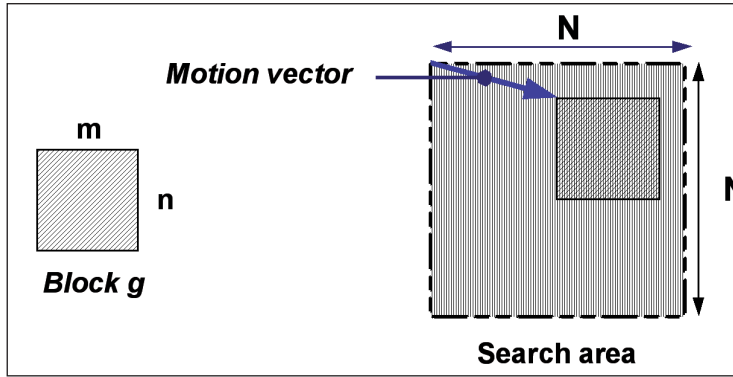


Figure 1. Principle of block matching.

Assume a 2D  $mn$  block,  $g(x,y)$ , is to be matched within a search area  $f(x,y)$  of size  $N^2$ , where ( $N > m$  and  $N > n$ ) (see Figure 1). For each pixel location  $(x,y)$  in the image, the block distortion measure (BDM) is calculated as follows:

$$BDM(x,y) = \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} \rho(d_{x,y}(k,l))$$

where  $d_{x,y}(k,l) = f(k+x, l+y) - g(k,l)$  the values  $f(k,l)$  and  $g(k,l)$  denote either luminance or other real features.

When the block distortion measure (BDM) should be calculated for every location in the search area, the function  $\rho$  must be applied  $(N-m+1)(N-n+1)$  times which is very expensive especially for large images.

The motion vectors can be estimated using a measure of matching error. The matching error between the block  $g$  and the candidate's blocks in a search area  $f$ , is usually defined as the sum of absolute difference (SAD) or the sum of absolute of difference (SSD):

$$SAD(x,y) = \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} |d_{x,y}(k,l)|, \quad SSD(x,y) = \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} |d_{x,y}(k,l)|^2,$$



### 3. SSD computation using frequency domain

In [4], we have proposed a new correlation with an exact performance as the direct full search under SSD metric and without any approximation. This correlation is based on a simple remark. Indeed if we note:

$$f_c(x, y) = f^2(x, y) + j f(x, y), \quad g_c(x, y) = 1 - 2j g(x, y)$$

where  $j$  is the square root of  $-1$ .

From the definition of  $f_c$  and  $g_c$  we can simply remark that:

$$\Re(f_c(x, y) g_c^*(x, y)) = f^2(x, y) - 2g(x, y)f(x, y).$$

Thus the SSD metric can be rewritten as:

$$SSD(x, y) = \Re\left(\sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} f_c(k+x, l+y) g_c^*(k, l)\right) + \sum_{l=0}^{B-1} \sum_{k=0}^{B-1} g^2(k, l).$$

Using the Fourier complex cross correlation theorem, the surface presented previously can be computed using FFT algorithms as follows:

$$SSD(x, y) = \Re\left(\sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} g_c^*(k, l) f_c(k+x, l+y)\right) + \sum_{l=0}^{B-1} \sum_{k=0}^{B-1} g^2(k, l).$$

where  $G_c$  is the FFT of  $g_c$  and  $F_c$  is the FFT of  $f_c$ .

The resulting motion vector  $(mv_x, mv_y)$  of the block  $g$  in the search area  $f$  is measured from the position of the minimum of the SSD. The proposed SSDcorr scheme is illustrated in Figure 2.

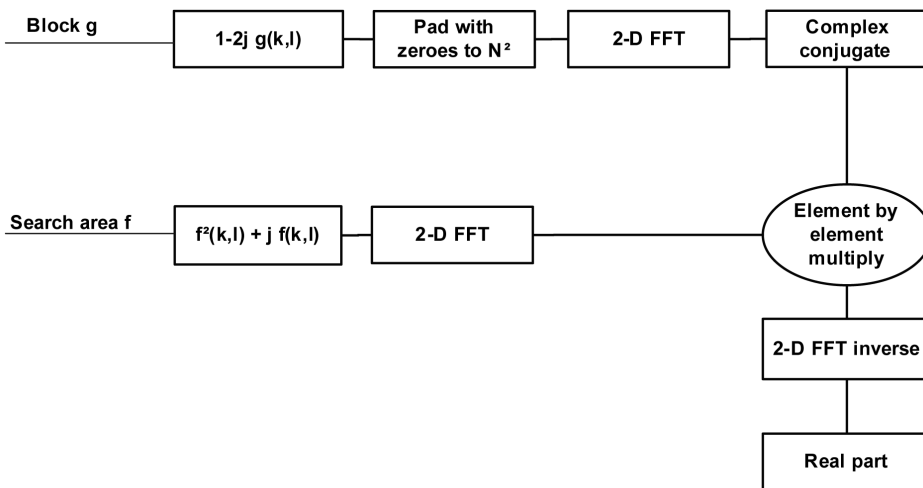


Figure 2. Flow chart for the proposed correlation method SSDcorr.

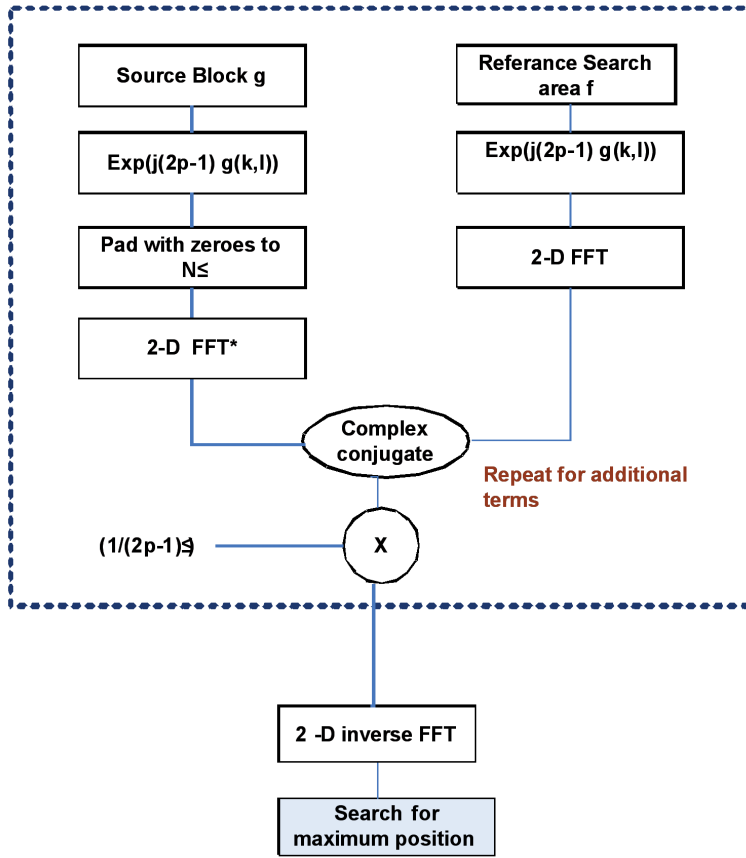


Figure 3. A simple flow chart for the proposed frequency SAD matching algorithm.

#### 4. SAD computation using FFTs

In this section we are concerned with the absolute kernel function:  $\rho(x) = |x|$ . Some kernel functions can be easily expressed in the frequency domain using finite cosine terms [7-9] whereas, the absolute kernel cannot. However using the Fourier cosine series, we can approximate the absolute kernel function defined only on the interval  $[-\pi, \pi]$  by:

$$\rho_L(x) = \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \sum_{p=1}^L \frac{1}{(2p-1)^2} \cos((2p-1)x)$$

The main idea to get the approximation of the SAD surface matching using Fourier cosine series is to normalize the values of the luminance or other features to the interval  $[0, \pi]$  and then use the Fourier cosine series of the absolute function. Taking this into consideration and using the approximation of the absolute function to the value,  $d_{x,y}(k,l)$  we obtain:

$$|d_{x,y}(k,l)| \approx \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \sum_{p=1}^L \frac{1}{(2p-1)^2} \cos((2p-1)d_{x,y}(k,l))$$

Finally, the approximation of the SAD metric at L level using Fourier cosine series can be given as follows:

$$SAD_L(x, y) = \frac{\pi}{2} mn - \frac{4}{\pi} \left( \sum_{p=1}^L \frac{1}{(2p-1)^2} \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} \cos((2p-1)d_{x,y}(k, l) \right)$$

If we note:

$$SCD_L(x, y) = \left( \sum_{p=1}^L \frac{1}{(2p-1)^2} \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} \cos((2p-1)d_{x,y}(k, l) \right).$$

Then the approximation to SAD at L level can be written as follows:

$$SAD_L(x, y) = \frac{\pi}{2} mn - \frac{4}{\pi} SCD_L(x, y).$$

From this formula, we can see that minimizing SADL corresponds to the maximization of SCDL. On the other hand; the SCDL function can be viewed as a series of cross correlation operations. Indeed, if we note that:

$$\begin{aligned} g_p(x, y) &= \exp(j(2p-1)g(x, y)), \\ f_p(x, y) &= \exp(j(2p-1)f(x, y)), \end{aligned}$$

where  $\exp(jx)$  is the complex exponential, using the Euler's identity  $\cos(x) = \Re(\exp(jx))$ , the SCDL can be written as:

$$SCD_L(x, y) = \Re \left\{ \sum_{p=1}^L \frac{1}{(2p-1)^2} \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} g_p^*(k, l) f_p(k+x, l+y) \right\}.$$

From the Fourier correlation theorem, the SCDL surface can be computed using FFT algorithms as follows:

$$SCD_L(x, y) = \Re \left\{ IFFT \left( \sum_{p=1}^L \frac{1}{(2p-1)^2} (F_p(u, v) G_p^*(u, v)) \right) \right\}.$$

where  $G_p$  is the FFT of  $g_p$  and  $F_p$  is the FFT of  $f_p$ ,  $\Re$  denotes the real part of a complex number and the asterisk denotes complex conjugation.

Note that  $f_p$  and  $g_p$  are correlated with FFTs by zero padding the size of  $g_p$  to the size of  $f_p$  prior to taking the forward FFTs. There are two different reasons for zero padding. Firstly, in order that the elements multiplication could occur, they must be of the same size and secondly to avoid cyclic correlation. The last  $m-l$  rows and  $n-l$  columns of the result will contain wrap-around data that should be discarded. Finally the resulting position  $(mvx, mvy)$  of the pattern  $g$  in the image  $f$  is measured **from the position of the maximum** of SCDL (see Figure 3).

The computation of the SAD using the frequency domain is given as follows:

$$SAD_L = \frac{\pi}{2} mn - \frac{4}{\pi} \Re \left\{ IFFT \left( \sum_{p=1}^L \frac{1}{(2p-1)^2} \left( F_p(u, v) G_p^*(u, v) \right) \right) \right\}.$$

## 5. L4 computation using FFT

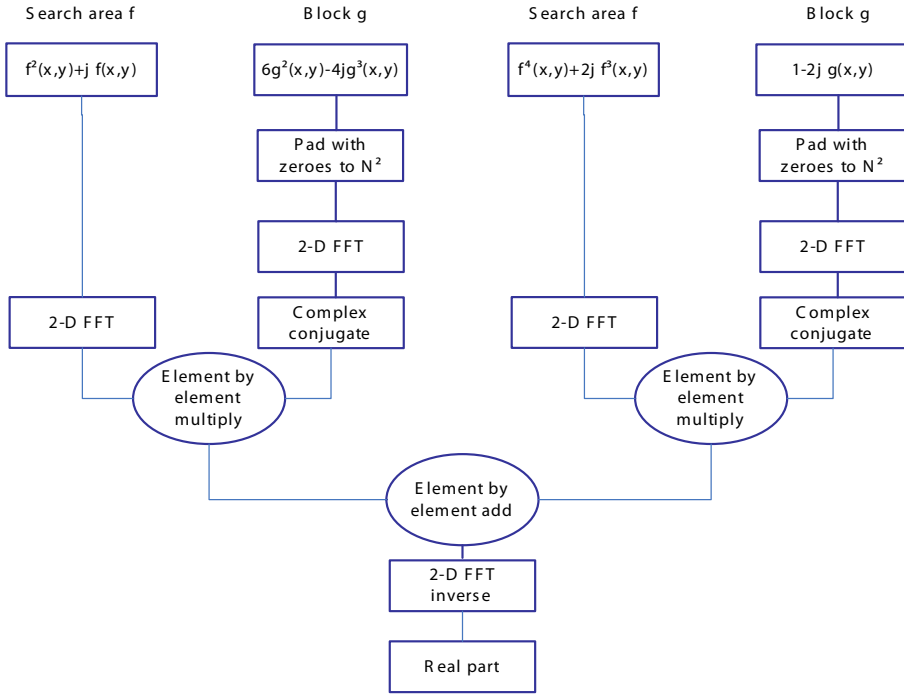


Figure 4. A simple diagram for the L4 computation.

If we consider the cost function based on the L4, for each pixel location (x,y) in the image, the matching surface can be expressed as follows:

$$L_4(x, y) = \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} \left( f(x+k, y+l) - g(k, l) \right)^4$$

The correct displacement is found by minimizing  $L_4(x, y)$ .

Let's note:

$$f_{c1}(x, y) = f^4(x, y) + 2j f^3(x, y), \quad f_{c2}(x, y) = f^2(x, y) + j f(x, y),$$

and

$$\begin{aligned} \Re(f_{c1}(x+k, y+l) g_{c1}^*(k, l)) &= f^4(x+k, y+l) - 4f^3(x+k, y+l)g(k, l), \\ \Re(f_{c2}(x+k, y+l) g_{c2}^*(k, l)) &= 6f^2(x+k, y+l)g^2(k, l) - 4f(x+k, y+l)g^3(k, l). \end{aligned}$$

where the pixel values  $f(k, l)$  and  $g(k, l)$  denote either luminance or other real features.

On the other hand, from the definition of  $f_{c1}$  and  $g_{c1}$  and from the definition of  $f_{c2}$  and  $g_{c2}$  we also obtain:

$$\begin{aligned}\Re(f_{c1}(x+k, y+l) g_{c1}^*(k, l)) &= f^4(x+k, y+l) - 4f^3(x+k, y+l)g(k, l), \\ \Re(f_{c2}(x+k, y+l) g_{c2}^*(k, l)) &= 6f^2(x+k, y+l)g^2(k, l) - 4f(x+k, y+l)g^3(k, l).\end{aligned}$$

The  $L_4(x, y)$  can be rewritten as:

$$\begin{aligned}L_4(x, y) &= \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} \Re(f_{c1}(x+k, y+l) g_{c1}^*(k, l) + f_{c2}(x+k, y+l) g_{c2}^*(k, l)) \\ &\quad + \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} g^4(k, l).\end{aligned}$$

This latter can be viewed as the summation of two spatial complex correlation between  $f_{c1}, g_{c1}$  and  $f_{c2}, g_{c2}$ .

By using again the Fourier complex cross correlation theorem, the surface presented previously can be computed using FFT algorithms as follows:

$$L_4(x, y) = \left( \Re \left\{ FFT(F_{c1}(u, v)G_{c1}^*(u, v) + F_{c2}(u, v)G_{c2}^*(u, v)) \right\} + \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{m-1} g^4(k, l) \right)$$

where :  $G_{c1}, G_{c2}, F_{c1}, F_{c2}$  are the FFT of  $g_{c1}, g_{c2}, f_{c1}, f_{c2}$  respectively. Figure 4 shows a simple flow chart of the computation of these two correlation methods for the computation of the  $L_4$  norm.

## 6. Computational cost

The number of arithmetic operations often refers to as “arithmetic complexity” (although in this context it is the exact number and not the asymptotic complexity) is usually at the heart of computational cost estimation.

Much of the computational cost of the frequency methods is with the Fourier transform. The frequency SAD algorithm requires  $2L$  forward and one backward complex FFTs of size  $(N^2)$  besides the multiplications involved by equations (1) and (2) and by the normalization of the image intensities to the range  $[0 : \pi]$ . These operations, however, may be avoided using lookup tables.

On the other hand, the SSD computation using FFTs requires 2 forward FFTs and one backward FFT of size  $(N^2)$ , meanwhile the algorithm of the  $L_4$  computation requires 4 forward and one backward FFTs of size  $(N^2)$ .

Using the recent algorithm published in [10], which is a simple recursive modification of the split-radix algorithm that computes the DFT with asymptotically about 6% fewer operations, the arithmetic operations of different discussed methods are given in Table1. From this table, it can be seen that as the pattern size increases, the advantage of the Fourier approaches using each of the different metrics becomes more prominent.

Table 1. Flop counts (real additions + multiplications) of the proposed frequency methods and the direct search ( Full Search).

	Pattern size=32x32			Pattern size=64x64		
	N=64	N=128	N= 256	N=128	N=256	N=512
<b>(SSDcorr/SSD FS)%</b>	<b>11,22%</b>	<b>6,16%</b>	<b>5,30%</b>	<b>3,43%</b>	<b>1,80%</b>	<b>1,51%</b>
SSD Full Search	4460544	38539264	207360000	69222400	610287610	3303030780
SSD correlation	500574	2373798	10980849	2373798	10980849	49865529
<b>(SADcorr/SAD FS)%</b>	<b>24,94%</b>	<b>13,69%</b>	<b>11,77%</b>	<b>7,62%</b>	<b>4,00%</b>	<b>3,35%</b>
SAD Full Search	3345408	28904448	155520000	51916800	457715710	2477273080
SAD correlation (L=2)	834290	3956330	18301415	3956330	18301415	83109215
<b>(L4corr/L4FS)%</b>	<b>12,47%</b>	<b>6,84%</b>	<b>5,88%</b>	<b>3,81%</b>	<b>2,00%</b>	<b>1,68%</b>
L4 Full Search	6690816	57808896	311040000	103833600	915431420	4954546170
L4 correlation	834292	3956334	18301416	3956330	18301415	83109215

## 7. Conclusion

In this paper we have present our work on fast methods for different distances using frequency domain. The motion estimation algorithms discussed in this paper exploits only the FFT algorithms in its computation. The methods presented in this paper can be used for any image and signal processing problem which requires the translational displacement estimation. They can be useful for other video applications such as video indexing and video summarizing [11-14].

A further interesting direction of research would be the investigation of the impact of using a colour motion estimation based on the reversible transform or the injective colour transform already proposed in [15-16], in the process of image sequences coding using the proposed frequency techniques.

## References

- [1] Chen, C.K., Duluk, J., F., J.: System and method for cross correlation with application to video motion vector estimator. (U. S. Patent 5,535,288) (1996)
- [2] Essannouni, F., Thami, R.O.H., Salam, A., Aboutajdine, D.: A new fast full search block matching algorithm using frequency domain. In: ISSPA05 (Proceedings of the Eighth International Symposium on Signal Processing and Its Applications). Volume 2., Sydney, Australia (2005) 559 562
- [3] Kiltbau, Drew, S., M.S. Moller, T.: Full search content independent block matching based on the fast Fourier transform. In: ICIP. (2002) I669 I672
- [4] Essannouni, F., Oulad Haj Thami, R., Aboutajdine, D., Salam, A.: Simple noncircular correlation method for exhaustive ssd matching. Optical Engineering Journal 46 (Octobre 2007)

- [5] Essannouni, F., Oulad Haj Thami, R., Aboutajdine, D., Salam, A.: Adjustable sad matching algorithm using frequency domain. *Journal of Real-Time Image Processing* 1(4) (2007) 257265
- [6] Essannouni, F., Oulad Haj Thami, R., Aboutajdine, D., Salam, A.: L4 template matching using frequency domain. *IEE Electronic Letters* 43 (2007) 507508
- [7] Essannouni, F., Thami, R.O.H., Salam, A., Aboutajdine, D.: An optimal and statistically robust correlation technique for block based motion estimation. In: *ICME (2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo)*, Toronto, Canada (2006) 233236
- [8] Essannouni, F., Thami, R.O.H., Salam, A., Aboutajdine, D.: Fast algorithm for ssd block matching using fast Fourier transform. In: *(ICM 06) (18th International Conference on Microelectronics)*, Dhahran, Saudi Arabia (2006)
- [9] Essannouni, F., Hadi, Y., Thami, R.O.H., Aboutajdine, D., Salam, A.: A new optimal frequency motion estimation algorithm. In: *ISCCSP'06 (the Second International Symposium on Communications, Control and Signal Processing)*, Marrakech, Morocco (March 2006)
- [10] Johnson, S.G., Frigo, M.: A modified split-radix FFT with fewer arithmetic operations. *IEEE Trans. Signal Processing* 55(1) (2007) 111119
- [11] Hadi, Y., Essannouni, F., Thami, R.O.H.: Video summarization by k-medoid clustering. In: *SAC'06 (ACM Symposium on Applied Computing)*, ACM (2006) 1400 1401
- [12] Hadi, Y., Essannouni, F., Thami, R.O.H., Salam, A., Aboutajdine, D.: Video summarization based on object disappearance. In: *ICMS 05 (International Conference on Modelling and Simulation)*, Marrakech, Morocco (2005)
- [13] Hadi, Y., Essannouni, F., Thami, R.O.H., Salam, A., Aboutajdine, D.: A new approach for cut detection using color histogram. In: *ISIVC (2nd International Symposium on Image/Video Communications over Fixed and Mobile Networks)*, Tunisia (2006)
- [14] Hadi, Y., Essannouni, F., Thami, R.O.H.: Unsupervised clustering by k-medoids for video summarization. In: *ISCCSP'06 (the Second International Symposium on Communications, Control and Signal Processing)*, Marrakech, Morocco (March 2006)
- [15] Essannouni, F., Thami, R.O.H., Salam, A., Aboutajdine, D.: A new integer and reversible color transform for an efficient extension of phase correlation method to color images. In: *IEEE SMC (2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics)*. Volume 3., Hawaii, USA (2005) 26852689
- [16] Essannouni, F., Thami, R.O.H., Salam, A., Aboutajdine, D.: A preserving color space transformation for correlation between two images, using fft. In: *(ISSPIT) (Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology)*, Germany (2003) 274 277



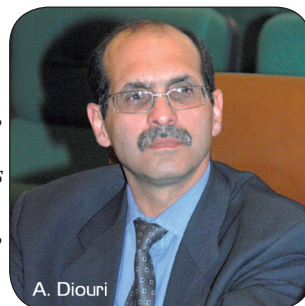
## VALORISATION DU PHOSPHOGYPSE DANS L'ÉLABORATION D'UN CIMENT SULFOALUMINEUX. ASPECTS PHYSICO-CHIMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

**A. DIOURI<sup>1</sup>, A. BOUKHARI<sup>1</sup>, M. IDRISSE<sup>1</sup>,  
M. ALAMI<sup>1</sup>, D. DAMIDOT<sup>2</sup> et J. ARIDE<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire de Chimie du Solide Appliquée, LAF 501,  
Faculté des Sciences, Rabat, Maroc*

<sup>2</sup> *Département Génie Civil et Environnement, Ecole des  
Mines de Douai, France*

<sup>3</sup> *Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux, LAF 502,  
Ecole Normale Supérieure, Rabat, Maroc*



L'industrie des engrais phosphatés et d'acide phosphorique produit d'énormes quantités de phosphogypse, dont seulement une très faible part (environ 5% à l'échelle internationale) trouve une application dans une matrice de valorisation en matière. Plusieurs pays dont le Maroc procèdent au rejet du phosphogypse dans le milieu marin sous forme de gypse hydrate acide, ce qui provoque des problèmes de transferts potentiels d'éléments toxiques tels que le strontium, le cadmium et d'autres éléments vers les sédiments et les êtres aquatiques et causer une stérilisation locale qui peut affecter la faune benthique.

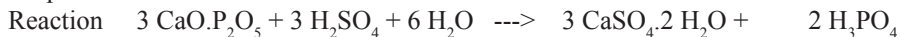
L'objet de ce travail est une recherche sur l'élaboration d'un clinker, sujet à des possibilités de rétention des différents éléments en présence et capable de présenter la réactivité hydraulique et les propriétés mécaniques escomptées pour son utilisation en tant que matériau de construction. Nous étudions le comportement du phosphogypse marocain combiné avec d'autres matériaux pour élaborer un clinker à base de la phase sulfoaluminate et à faible facteur de saturation en chaux. Une réaction chimique spécifique est adoptée par traitement thermique à des températures inférieures à celles de cuisson des clinkers Portland silico-calciques classiques.

L'évolution minéralogique de différents mélanges, à des proportions molaires bien définies, est suivie par diffraction des rayons X et d'autres techniques. Les résultats de synthèse donnent les conditions de formation et de stabilité d'un clinker composé essentiellement des phases sulfoaluminate de calcium  $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{SO}_{16}$  et de bélite  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  sous une forme active. Les températures de synthèse sont situées entre 1250 et 1300°C.

Le comportement hydraulique des clinkers montre des courbes calorimétriques semblables à celles des clinkers Portland. L'identification des produits d'hydratation a été effectuée par analyse thermique différentielle, microscopie électronique à balayage et spectroscopie infrarouge. Les pâtes des hydrates de bélite et sulfoaluminate contiennent principalement le gel CSH, le mono et le tri-sulfo-aluminate de calcium (AFm et AFt) et la portlandite, principaux éléments constitutifs des colles de ciments.

## Introduction

La réaction de base de la fabrication de l'acide phosphorique par voie humide peut être simplifiée de la manière suivante :



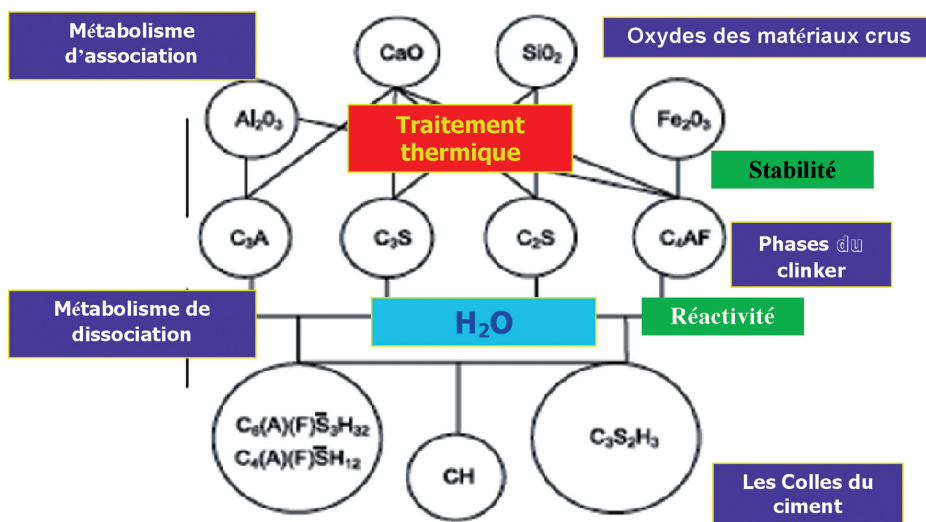
C'est une réaction en environnement hétérogène. Un des produits qui constitue le but de l'opération est l'acide  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , le sous-produit solide, le phosphogypse  $\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$ , est quantitativement plus important que les solides de minerai de départ. Depuis le début de l'industrie de l'acide phosphorique, le phosphogypse a été considéré comme un déchet dont l'élimination a dû être faite avec le moindre coût: soit en mer ou en estuaire, soit en terril près des usines. Plusieurs pays dont le Maroc procèdent au rejet du phosphogypse dans le milieu marin sous forme de gypse dihydrate acide, ce qui affecte fortement par les éléments toxiques présents les fonds marins et de même les êtres aquatiques. Pour le Maroc, ce rejet est supérieur à vingt millions de tonnes par an. Le comportement géotechnique du phosphogypse est comparable à celui d'un sable fin angulaire très friable. Les éléments transférés vers l'eau peuvent s'accumuler dans les sédiments et les êtres salés par les modifications des conditions physico-chimiques et constituer un remplissage des fonds marins puis causer une stérilisation locale de la faune benthique.

Au cours des dernières années un grand intérêt a été consacré à l'étude de nouveaux types de ciments qui contiennent essentiellement la belite et la yeelite (également appelé sulfoaluminate de calcium) comme principales phases hydrauliques. L'avantage de la production des ciments sulfoaluminate de calcium (ciments CSA) est attribuable à leur faible enthalpie de formation, leurs faibles émissions de  $\text{CO}_2$  et une facilité à broyer par rapport aux ciments Portland ordinaires (OPC). Les ciments CSA présentent aussi des caractéristiques et des performances importantes comme : une haute résistance initiale, un temps de prise ajustable, une bonne fluidité, un bon anti-gel, d'excellentes étanchéité et résistance à la corrosion. Ces propriétés rendent les produits à base du ciment CSA, applicables en chapes fluides comme matériaux de grandes ingénieries du bâtiment et des constructions routières, portuaires des aéroports, métros, tunnels, gares, etc [1].

Dans le système  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SO}_3$ , la formation des phases sulfoaluminate de calcium  $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{SO}_{16}$  et silicate de calcium  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  dépend étroitement de la composition chimique des matériaux d'origine. La production des ciments CSA se fait en général à partir de matériaux calcaires, de bauxite et de gypse naturel. La composition optimale dépend de l'origine des matières premières utilisées et en particulier des impuretés qui peuvent entrer dans le réseau cristallin des phases anhydres et hydratées. Les résultats expérimentaux obtenus dans différents laboratoires montrent que des différences existent en ce qui concerne la composition minéralogique de ce type de clinker. Ainsi, une recherche fondamentale est nécessaire pour plus de compréhension du mécanisme complexe d'aptitude à la cuisson, de la stabilité et de l'activité hydraulique de ces matériaux, en particulier si des sous-produits ou déchets sont utilisés pour produire les clinkers. Au cours des dernières années, une grande attention est donnée à l'utilisation des déchets industriels dans la production de divers clinkers, qui, par conséquent, permettent aussi bien de réduire le coût de production et la pollution de l'environnement [2-10].

Dans un précédent article, nous avons publié des travaux sur l'élaboration de ciment sulfoaluminate belitique à partir de mélanges de réactif de carbonate de calcium et des sous-produits industriels; les cendres volantes et le phosphogypse [11]. Pour les compositions étudiées, les clinkers sont composés essentiellement de sulfoaluminate, de belite et de gehlenite ( $C_2AS$ ). Les produits d'hydratation du ciment résultant avec des ajouts de gypse ont été l'ettringite les hydrates de certains aluminates, la belite restait non hydratée après 28 jours et la phase  $C_2AS$  est connue ne présente aucune réactivité hydraulique, d'où la difficulté de trouver des compositions optimales à la réalisation d'un clinker hydrauliquement réactif. Dans le présent travail des compositions différentes de calcaire naturel et de matériaux industriels bruts sont mélangés avec des cendres volantes et/ou du phosphogypse marocain pour étudier les conditions d'aptitude à la cuisson, la minéralogie et le comportement hydraulique des clinkers produits. La synthèse des échantillons est suivie par diffraction des rayons X. L'hydratation du clinker sans addition de gypse a été étudiée par calorimétrie isotherme à conduction. L'objectif est de comparer les premières mesures d'hydratation du clinker seul, sans l'influence de gypse. L'identification des produits d'hydratation a été effectuée par calorimétrie différentielle à balayage (DSC) et microscopie électronique à balayage (MEB).

### Métabolisme de la chimie des ciments Portland (OPC)



Dans le métabolisme chimique des ciments silicocalciques classiques, il est nécessaire de porter les oxydes réactifs aux températures de 1450-1500°C pour pouvoir stabiliser, en grande quantité, le silicate tricalcique phase la plus réactive. L'enthalpie de formation de cette phase nécessite une énergie assez élevée de l'ordre de 1900 Kj/Kg de clinker. Dans ce procédé, l'ajout du gypse, en faible quantité, vient après le traitement thermique comme régulateur de prise et réagit avec l'aluminate tricalcique et l'eau pour former les hydrates sulfoaluminates de calcium. Ces derniers en présence des gels silicocalciques hydratés CSH et la portlandite CH, forment les ingrédients nécessaires à la colle des ciments. L'enchevêtrement des aiguilles des sulfoaluminates hydratés et des CSH de dimensions nanométriques permet à la pâte d'acquies sa cohésion et sa dureté.

Du point de vue des émissions de  $\text{CO}_2$ , le ciment Portland a le double inconvénient de nécessiter une température de cuisson élevée obtenue par la combustion du charbon qui représente  $0.28 \text{ t CO}_2 / \text{t ciment}$  et par la réaction de décarbonatation de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), qui constitue 80% de la matière première, et qui dégage  $0.52 \text{ t CO}_2 / \text{t ciment}$ . Ainsi, le bilan des émissions est en moyenne de  $0.8 \text{ t CO}_2 / \text{t ciment}$ . L'industrie cimentière est l'une des principales industries émettrices de gaz à effet de serre. Pour répondre aux exigences vis-à-vis de ces émissions, l'industrie cimentière se préoccupe depuis plusieurs années de l'évolution des ciments vers des ciments à bas  $\text{CO}_2$  «Low- $\text{CO}_2$  cements».

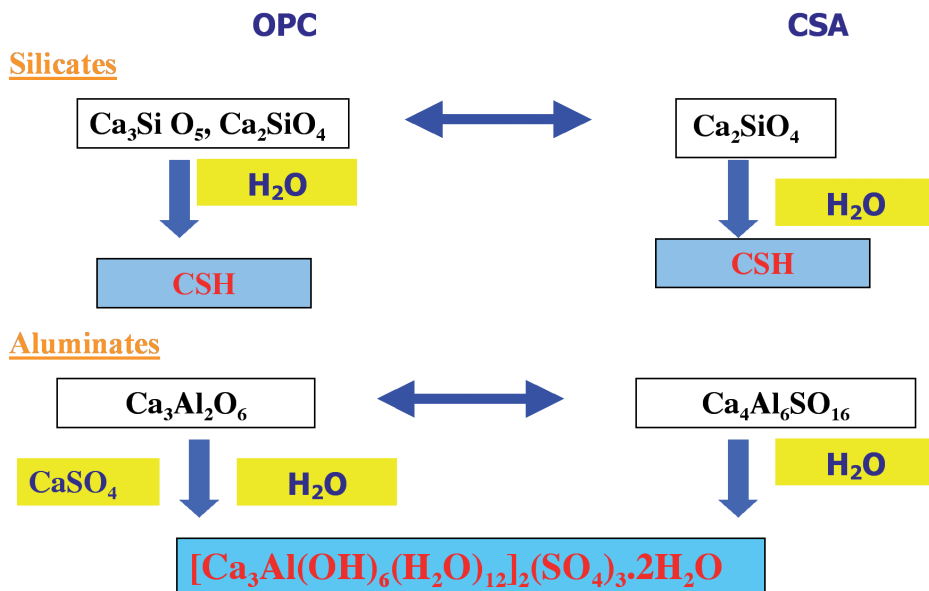
### Les ciments sulfoalumineux (CSA)

Développés depuis les années 80 en chine, ce type de ciment est fabriqué à partir des matières premières : carbonate de calcium, gypse naturel et bauxite dont la réaction de base est la suivante :

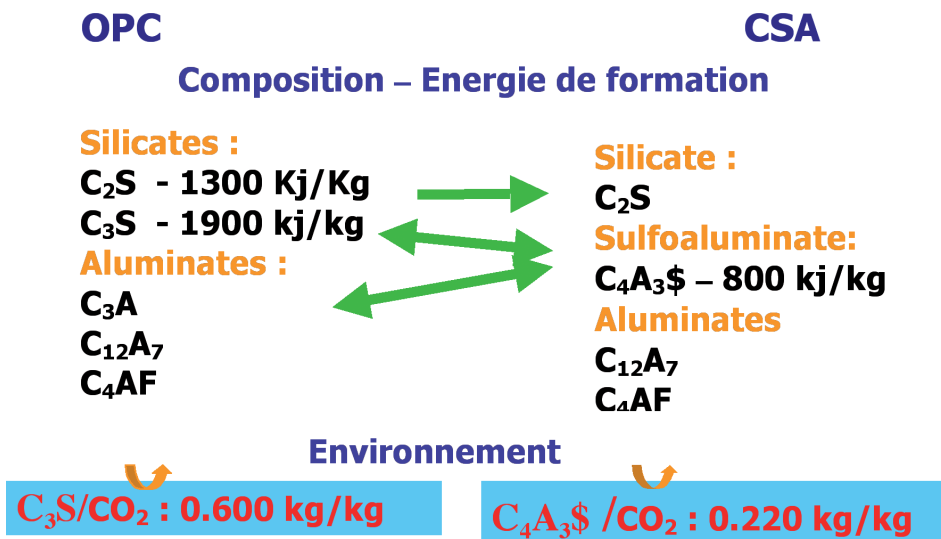


La phase essentiellement formée à  $1300^\circ\text{C}$ , le sulfoaluminate de calcium  $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{SO}_{16}$ , peut remplacer le silicate tricalcique  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ , phase principale du ciment portland, dans le développement des résistances initiales lors de l'hydratation. Dans ce procédé, le gypse est introduit, en grande quantité, comme matière première et subit un traitement thermique qui le transforme en sulfoaluminate de calcium. Un schéma de substitution des phases entre le ciment classique OPC et le ciment sulfoalumineux CSA montre que la finalité, après hydratation, de l'obtention des ingrédients de colmatage des ciments est atteinte.

### Schéma de substitution OPC-CSA



## Comparaisons OPC – CSA



## La phase sulfoaluminate de calcium

Nous avons élaboré la phase  $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{SO}_{16}$  par une synthèse à l'état solide et par inclusion d'éléments spécifiques pour étudier le potentiel chimique de cette phase à piéger les éléments nocifs présents dans le phosphogypse. La réaction de base adoptée est la suivante :

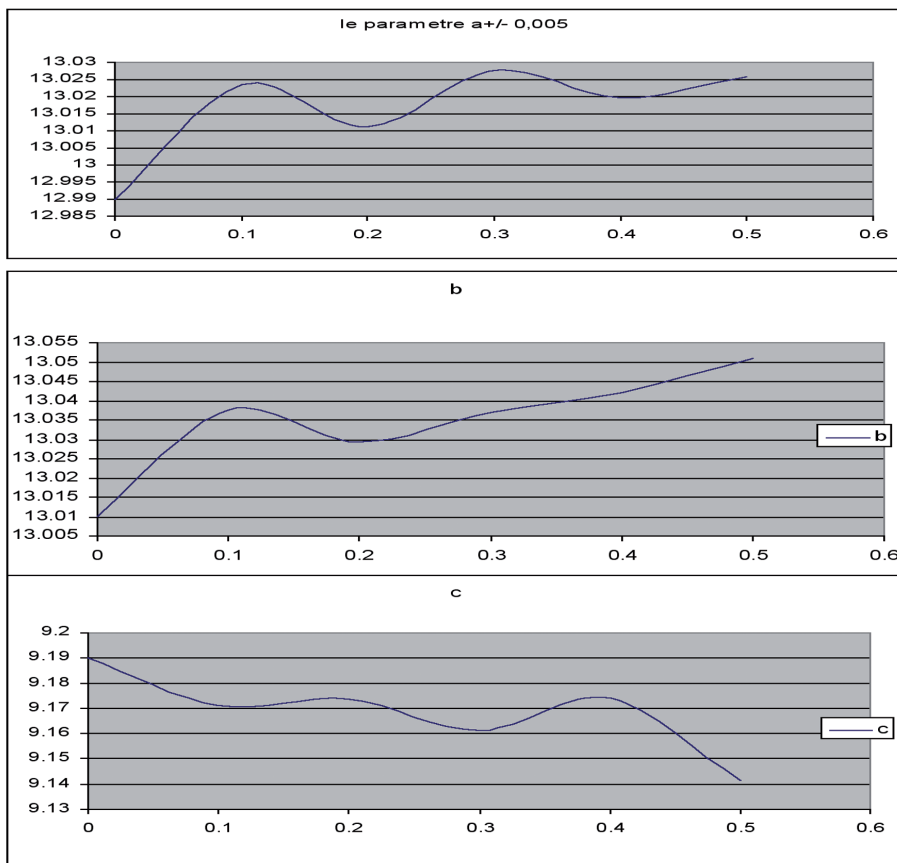


M représente l'inclusion et x le taux d'inclusion. Les températures de traitement montrent que la phase se forme à l'état pure entre 1100 et 1300°C et par différentes inclusions entre 1000 et 1250°C. Les inclusions favorisent une diminution de la température de formation.

L'analyse par diffraction des rayons X montre que la structure se maintient pour plusieurs solutions solides avec des taux d'insertion élevés. La structure est indexée dans le groupe d'espace Pcc2 Orthorhombique avec les paramètres de maille suivants :

$$a = 13.028 \text{ \AA}, \quad b = 13.037 \text{ \AA} \text{ et } c = 9.16 \text{ \AA}.$$

L'étude des variations des paramètres de la maille en fonction de l'inclusion montre un comportement anisotrope : Lorsque les deux paramètres a et b varient dans un sens le troisième c varie dans le sens contraire. Cette spécificité importante donne à la maille un certain comportement d'élasticité vis-à-vis de l'inclusion tout en gardant la structure.



### Variations des paramètres de la maille $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{SO}_{16}$ en fonction du taux d'inclusion Elaboration du clinker SulfoAlumineux Bélitique (SAB) par le phosphogypse

Plusieurs compositions de crus ont été testées dans un cadre global d'élaboration de clinkers à partir de sous-produits industriels dont le phosphogypse et les cendres volantes des centrales thermiques.

Compositions chimiques des crus Composés (CR1-CR10)  $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 2.72$  à

Sample	Original materials	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	C/S (molar)
CR0	PCR	63.45	21.05	6.05	3.86	-	-	2.59	3.22
CR1	PCR/PG	60.46	24.81	6.28	3.62	2.38	0.03	2.41	2.61
CR2	PCR/PG	60.26	24.70	6.26	3.60	2.75	0.03	2.39	2.61
CR3	PCR/PG	61.10	25.17	6.35	3.68	1.22	0.01	2.46	2.60
CR4	PCR/PG	61.55	25.42	6.40	3.72	0.41	< 0.01	2.49	2.57
CR5	PCR/PG	57.83	22.71	11.25	3.53	2.32	0.03	2.31	2.71
CR6	LS/FA/PG	55.54	23.10	11.08	2.96	6.08	0.44	0.77	2.57
CR7	PCR/FA/PG	54.76	23.65	12.42	3.03	5.12	-	1.00	2.48
CR8	PCR/FA/PG	52.28	23.68	12.45	2.98	7.60	-	0.99	2.36
CR9	CC/FA/PG	49.23	23.44	14.18	2.45	8.76	0.52	1.03	2.25
CR10	CC/FA/PG	50.26	24.34	15.04	2.56	5.90	0.51	1.08	2.21

PCR = cru ciment Portland, LS = filler calcaire, CC = Calcium Carbonate, PG = Phosphogypse, FA = cendre volante

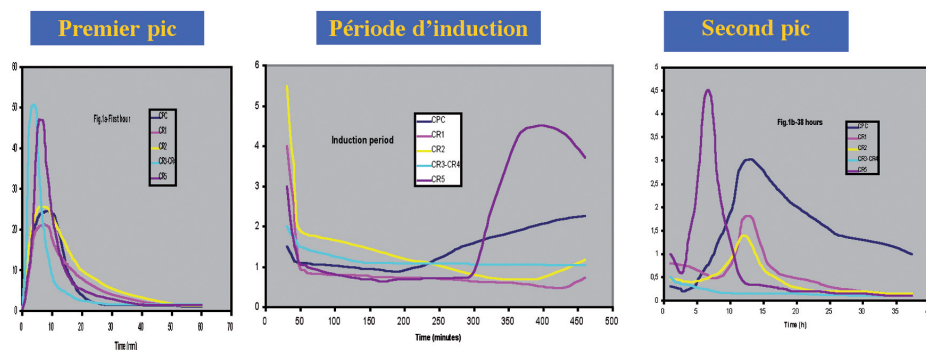
### Analyse minéralogique des clinkers SAB

L'analyse des clinkers par diffraction des rayons X permet d'identifier une composition (CR5) pour laquelle les phases formées sont restreintes aux phases cibles : le sulfoaluminat de calcium  $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{SO}_{16}$ , la bélite  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , le ferroaluminat de calcium  $\text{C}_4\text{AF}$  et un aluminat de calcium  $\text{C}_{12}\text{A}_7$  commun aux clinkers avec un taux de chaux libre très faible 0.21% ce qui montre la bonne aptitude à la cuisson pour ce clinker.

Sample -heated at T°C	Identified phases in decreasing content						Free lime
CR0-1350	$\text{C}_3\text{S}$	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	CaO	$\text{C}_3\text{A}$	-	-	10.15
	++	++	+	+	-	-	
CR1-1250	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_4\text{AF}$	$\text{C}_2\bar{\text{S}}$	CaO	0.70
	+++	+	+	+	-	-	
CR2-1250	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_4\text{AF}$	$\text{C}_2\bar{\text{S}}$	CaO	0.65
	+++	+	+	+	-	-	
CR3-1250	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{AF}$	$\text{C}_3\text{A}$	CaO	-	-	0.92
	+++	+	+	-	-	-	
CR4-1250	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{AF}$	$\text{C}_3\text{A}$	CaO	-	-	1.40
	+++	+	+	-	-	-	
CR5-1250	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$	$\text{C}_{12}\text{A}_7$	$\text{C}_4\text{AF}$	CaO	-	0.21
	++	++	+	+	-	-	
CR6-1250-1350	$\text{C}_2\text{AS}$	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$	$\alpha^{\text{p}}\text{-C}_2\text{S}$	CaO	-	-	0.24
	+++	++	++	-	-	-	
CR7-1250-1350	$\text{C}_2\text{AS}$	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$	$\alpha^{\text{p}}\text{-C}_2\text{S}$	CaO	-	-	0.38
	+++	++	+	-	-	-	
CR8-1250-1350	$\text{C}_2\text{AS}$	$\alpha^{\text{p}}\text{-C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$	CaO	-	-	0.28
	+++	+	+	-	-	-	
CR9-1250-1350	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$	$\text{C}_2\text{AS}$	$\text{C}_4\text{AF}$	CaO	-	0.60 -
	+++	+++	+	+	-	-	0.43
CR10-1250-1350	$\beta\text{-C}_2\text{S}$	$\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$	$\text{C}_2\text{AS}$	$\text{C}_4\text{AF}$	$\text{C}_3\text{A}$	CaO	0.40 -
	+++	+++	+++	++	+	-	0.28

### Réactivité hydraulique des clinkers SAB

#### Calorimétrie isotherme à conduction :





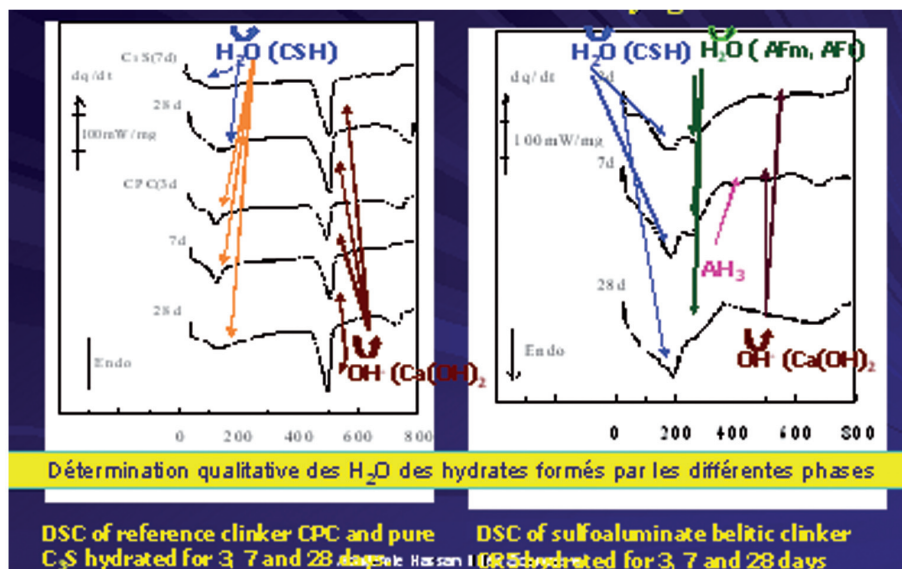
Les compositions des clinkers (SAB) étudiés montrent des caractéristiques comparables à celles des clinkers Portland Ordinaire. La période d'induction séparant le premier pic dû à l'effet de mouillage général et le second pic traduisant le phénomène de prise est bien observée. Cette période d'ouvrabilité du matériau est plus grande et promet une meilleure fluidité de coulage. Le phénomène de prise est par contre beaucoup plus accentué et rapide.

#### Caractéristiques des étapes de l'hydratation des clinkers CR1-CR5 par rapport à la référence CPC clinker Portland

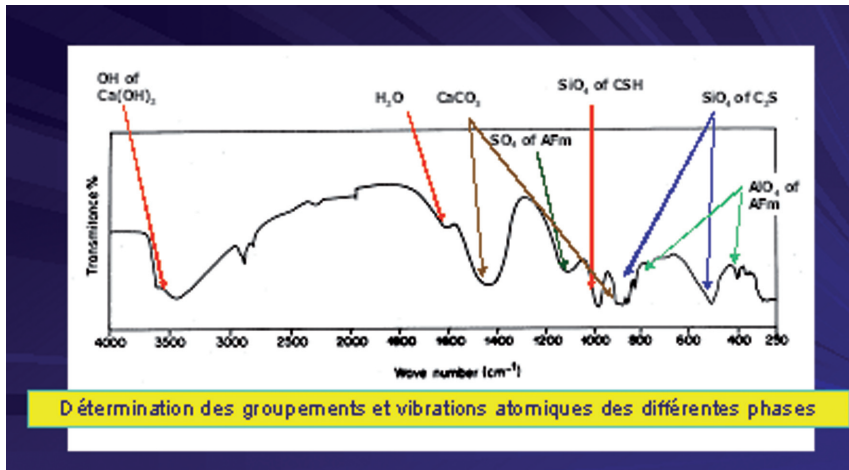
Etape	Pre-induction		Induction	Accélération	
Echantillon	$T_{\max 1}$ (min)	$(dQ/dt)_{\max 1}$ (a.u.)	$T_i$ (min)	$T_{\max 2}$ (h)	$(dQ/dt)_{\max 2}$ (a.u.)
CPC	8	24.50	170	12	3.00
CR1	7	21.22	440	12	1.80
CR2	6	25.69	330	12	1.4
CR3	4	50.04		Flux constant	
CR4	3	51.05		Flux constant	
CR5	6	46.91	240	6.5	4.51

#### Calorimétrie différentielle à balayage - DSC

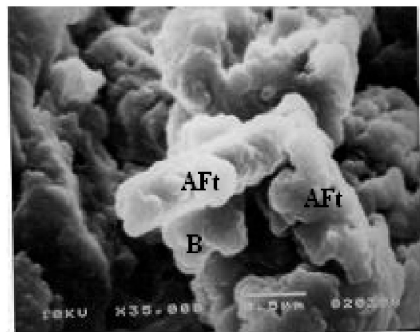
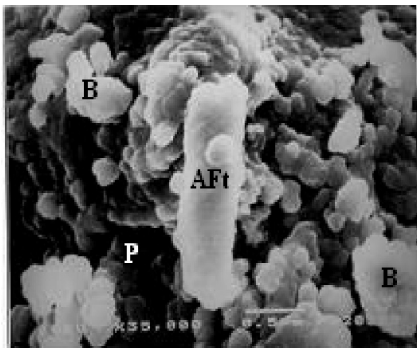
La caractérisation des produits d'hydratation par DSC a été réalisée pour la détermination qualitative des molécules d'eau des hydrates formés par les différentes phases en présence.



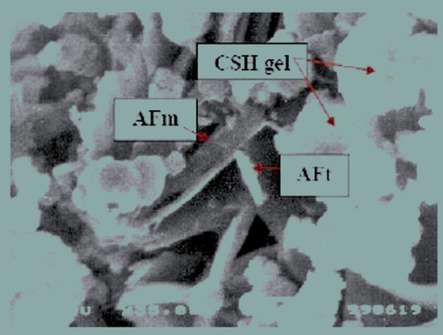
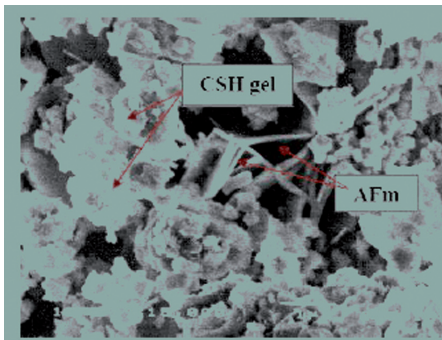
## Spectroscopie Infrarouge



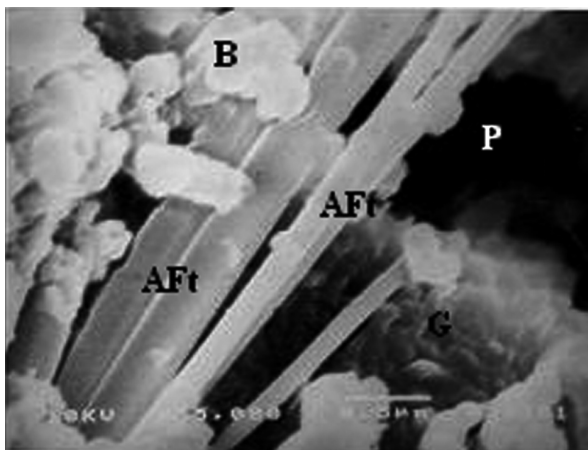
Microstructure des produits d'hydratation  
Microscopie électronique à balayage MEB



Pâtes des clinkers SAB hydratées observées après 1 et 3 jours  
AFt: Ettringite      B: Belite      P: Pore



Micrographie du clinker CR5 hydraté observé après 7 jours.



Evolution de la microstructure des hydrates AFt et CSH après 28 jours

## Conclusion et perspectives

Les investigations menées peuvent être un point de départ vers la valorisation du phosphogypse dans la production des ciments au Maroc. Cette valorisation est bénéfique et contribue à la fois à la préservation de l'environnement et à la réalisation de gains énergétiques importants. La contribution est d'ordre économique et écologique en même temps et peut constituer un des leviers du développement durable du pays.

La synthèse et les analyses effectuées concernant la phase sulfoaluminate pure et avec des inclusions montre que cette phase possède une structure capable de piéger les impuretés du phosphogypse. L'étude minéralogique des clinkers SAB, élaborés avec du phosphogypse, indique qu'il existe une relation très étroite entre les quantités d'oxydes  $Al_2O_3$ ,  $SO_3$  et le rapport  $CaO/SiO_2$ , pour former un clinker sulfoaluminate belitique principalement constitué des phases  $\beta$ - $C_2S$  et  $C_4A_3S$  sans gehlenite. Le comportement hydraulique a montré une bonne réactivité hydraulique dans les premiers temps d'hydratation.

Une étude plus poussée doit être réalisée, sur des grandes quantités, pour mesurer les résistances mécaniques et suivre l'évolution des émanations éventuelles d'éléments radioactifs comme le radon connu parmi les impuretés présentes dans le phosphogypse. Les prévisions à ce sujet ne sont pas préoccupantes puisque quelques roches granitiques et les bétons actuels sont parfois émetteurs de radiations supérieures à celle mesurées sur les phosphogypses.

Les principaux avantages apportés par ce type de ciment peuvent se résumer aux points suivants :

- Une économie d'énergie par la réduction de la consommation thermique spécifique de clinkérisation et la réduction des énergies de broyage.
- Un impact environnemental important par l'élimination et la valorisation du déchet qu'est le phosphogypse et la réduction des émissions de gaz à effet de serre le  $CO_2$ .

Le phosphogypse peut constituer un Eco-Matériau de l'avenir dans le domaine des matériaux de construction au sens économique et écologique du terme.

## Bibliographie

- [1] - Yaozhong Xi and Shuxia Ren, "Expansive agents of concrete made from burnt Bauxite" 11th ICCC. Durban, South Africa, pp. 1941-1950 (2003)
- [2] M.Singh and M. Garg, "Development of cementitious properties in phosphogypsum-fly ash system", 9th ICCC, New Delhi, India 3, (1992) 489-494.
- [3] S. Sahu and J. Majling, "Preparation of sulphoaluminate belite cement from fly ash", Cem. Concr. Res., 24 (6) (1994) 1065-1072.
- [4] H. Ölmez and E. Erdem, "The effects of phsphogypsum on the setting and mechanical properties of Portland cement and trass cement", Cem. Concr. Res., 19 (1989) 377-384.
- [5] M. Singh, "Effect of blended gypsum on the properties of Portland cement and Portland slag cement", 10th ICCC, Gothenburg, Sweden 3, (1997) 93-97.
- [6] G. Goswami, B.N. Mohapatra, P.K. Panigrahy and J.D. Panda, "Application of X-ray diffractometry in comminution of gypsum", 10th ICCC, Gothenburg, Sweden 3, (1997) 8-12.
- [7] A. Jarosinski, "Properties of anhydrite cement obtained from apatite phosphogypsum", Cem. Concr. Res., 24 (1994) 99-108.
- [8] A. Tabikh and F.M. Miller, "The nature of phosphogypsum impurities and their influence on cement hydration", Cem. Concr. Res., 1 (1971) 663-678.
- [9] P.K. Mehta and J.R. Brady, "Utilization of phosphogypsum in Portland cement industry", Cem. Concr. Res., 7 (1977) 537-543.
- [10] J.Péral, J. Ambroise, E. Holard and G.Beauvent "Influence of the type of calcium sulfate on the properties of calcium sulfoaluminate cement" 11th ICCC. Durban, South Africa, pp.1129-1135 (2003)
- [11] I. Elkhadiri, A. Diouri, A. Boukhari, F. Puertas and T. Vazquez "Obtaining a sulfoaluminate belite cement by industrial waste" Materiales de Construcción, Vol. 53, n°270, pp. 57-69 (2003)



## **DISCUSSION**

**- Pr. Moustapha Kasse (CESDE)**

Je tiens tout d'abord à féliciter les collègues pour les brillants exposés qu'ils viennent de nous présenter. L'énormité des questions qu'ils soulèvent quant aux problèmes que pose aujourd'hui la science économique, je crois qu'il y a une très forte convergence dans les deux derniers exposés qui nous sont présentés.

Dans le premier, celui du Pr. Nicolas Moumni, on voit très bien qu'aujourd'hui il y a une impuissance à expliquer des phénomènes qui nous sont courants. Il y a des menaces de crises, les risques financiers deviennent de plus en plus grands et on a l'impression que les économistes viennent plutôt pour constater en tout cas que le mort est bien mort. Je pense que ce délitement en quelque sorte provient peut être, à mon avis, du fait que nous n'avons pas suffisamment retravaillé le modèle standard que nous avons accepté comme étant effectivement quelque chose qui s'est imposé à nous.

Quand tout à l'heure mon ami le Pr. El Aoufi évoquait un certain nombre de valeurs, je me suis demandé si en réalité ça obéit à la normalité de la science économique c'est-à-dire les deux fondements de la rationalité économique, en quelque sorte l'*homo economicus* et ensuite la rationalité qui donne l'économie pure, c'est une fois encore montrer indirectement l'insuffisance du modèle standard avec lequel nous travaillons, ce qui explique en fait les dimensions des nouvelles recherches en science économique et lui donne en fait une capacité explicative beaucoup plus grande. Sinon, nous risquons d'être dans la même problématique soulevée par le Pr. Nicolas Moumni, comment voulez-vous qu'on prévienne le risque?

Si effectivement le système monétaire international a complètement changé, la banque a un rôle extrêmement secondaire, la dérégulation fait que vous n'avez absolument plus de règles, la déréglementation fait en fait qu'il y a une fluidité et une transparence, du moins une mobilité très grande des capitaux. Alors vous n'avez plus aucune instance de gouvernance. Vous ajoutez à cela les prises de risques qui se multiplient dans un autre système et de l'autre côté les banques centrales, y compris la banque Centrale Européenne, travaillent sur un vieux modèle basé sur une inflation qui n'existe plus. Pour les sociétés de titrisation, évidemment les modes de formation de l'inflation et de transmission deviennent complètement différents de ce qu'ils étaient dans l'ancien système.

Je retiens pour ma part que nous sommes vraiment interpellés précisément du point de vue de cette recomposition de la science économique en y intégrant les variables qui ne soient pas seulement les variables de la rationalité et, encore si rationalité nous pensons. En fait, la Moqaddima d'Ibn Khaldoun nous renvoie à une autre conception de cette rationalité. Est-ce que c'est l'*homo economicus* vu par de simples individus ou est-ce que c'est une rationalité holistique dans le cadre d'une collectivité?

**- Pr. Daoud Ait Kadi (CITIT)**

J'ai juste une intervention concernant la présentation du Pr. John O'Reilly. Je voudrais lui demander s'il veut bien revenir un petit peu sur l'organisation de son institution. C'est un modèle où on a beaucoup plus d'études graduées et à peu près 2.000 chercheurs qui sont impliqués dans ce processus et plus de 3.000 étudiants gradués dont 51% qui sont des étrangers. Pr. O'Reilly peut-il donner son impression et son évaluation de ce modèle qui pourrait être très intéressant au niveau de la recherche?



**- Pr. John O'Reilly (CSMI)**

I am really not too sure how to respond and you know something about my institution. As you said it's a postgraduate institution focused on postgraduate education, research and innovation. Taken together it's about 4.500 people engaged in that endeavour about half of them being students, and I suppose although there wasn't an opportunity really to expose it I am trying to give you a hint of the way and which the right environment where you can bring science to work on the real world problems. But also by looking at those you find some new avenues for science itself and I do believe it's a strong synergy, but I don't really think there is time to go to that.

**- M. Rachid Benmokhtar Benabdellah (CESDE)**

Je voudrais poser une question au Pr. El Aoufi. Dans son exposé il a comparé deux systèmes. Je voudrais lui poser la question suivante : ce poids relatif de l'individu et de l'institution, est-ce que quelque part à chaque niveau de développement de l'économie est-ce qu'il n'y en a pas un qui en fait est celui qui a la plus forte action ou en quelque sorte qui est le plus grand vecteur? Parce que toutes les économies n'étant pas au même niveau un instant donné il est peut être vrai que dans des économies déjà établies comme l'économie américaine ou l'économie européenne, évidemment la part individu dans la croissance est extrêmement importante, avec tous les instruments qui existent, alors que dans les économies émergentes on peut penser que le poids de l'institution et la nature des institutions jouent un rôle beaucoup plus grand. Je crois qu'il y a quelques études assez récentes qui essaient d'expliquer quelque part le développement d'un nombre de pays émergents et notamment les pays d'Asie (Chine, Vietnam, Singapour, Taiwan) et d'essayer d'analyser finalement les raisons de développement de ces pays, mais les thèses qui sont en train d'être formulées c'est de dire dans ces pays ce qui était fondamental c'est le rôle de l'Etat indépendamment des institutions, des régimes ou des systèmes politiques et que c'est l'Etat qui est en fait le moteur de la croissance. Donc je voudrais si tu peux nous dire, dans le cadre du travail que tu as fait, qu'est ce qu'il en est, en effet sur cette partie de la place des différentes institutions dans une situation donnée au niveau du développement économique?

**- Pr. Noureddine El Aoufi (CESDE)**

L'économie politique (le modèle dominant) ou ce que les économistes appellent l'économie néo-classique met l'accent sur le rôle de l'individu. L'économie néo-classique a beaucoup évolué et, au sein même de ce paradigme, un certain nombre d'économistes ont commencé à partir des années 30 du siècle dernier à dire que l'individu, le marché ce n'est pas suffisant; il y a le marché, les groupes les actions collectives etc., et c'est des économistes qui restent au sein du modèle néo-classique ou ce qu'on appelle la science normale mais ils ont développé le paradigme à la lumière des évolutions.

Aujourd'hui, ce qu'on appelle l'économie néo-institutionnaliste est un courant fondamental qui est en train, à mon avis, de ratisser de plus en plus très large et de briser même les frontières. Il y a de plus en plus d'adhésions de l'extérieur même du modèle standard à ce paradigme néo-institutionnaliste. Il met l'accent sur ce rôle, le rôle des institutions que les économistes ont pendant très longtemps négligé. Les institutions alors c'est un concept très large qui comprend à la fois les institutions politiques, les règles, les normes, les croyances, les valeurs etc., mais c'est surtout les institutions du marché qui mettent en place des règles pour le fonctionnement du marché, pour rendre le marché moins

imparfait, pour rendre la coordination des agents et des individus justement plus facile, pour réduire les coûts des transactions. Il y a l'opposition chez les économistes (Kuran, Greif, ...) qui se sont penchés sur le monde musulman. Pour Kuran, c'est le collectivisme, le communautarisme du monde musulman qui expliquerait cette difficulté du passage de nos sociétés vers la modernité. C'est l'échange personnel basé sur la confiance et donc on ne fait pas appel à des institutions formelles (le contrat, les juridictions, ...). Kuran connaît beaucoup mieux que Greif le monde musulman. Pour Greif le problème n'est pas dans les normes qui s'inspirent du contenu de la religion musulmane, il est dans cette rigidification qu'auraient subie les institutions dans le monde musulman, à la fois collectivistes et même individualistes puisque dans les normes de l'éthique musulmane, il y a beaucoup d'individualisme. L'*Homo islamicus* ressemble comme deux gouttes d'eau à un *Homo economicus*, mais il y a cette composante normative qui constitue l'altruisme. Donc, sur le plan de l'histoire, on peut dire qu'à un certain moment l'individualisme était dominant et qu'aujourd'hui il y a un retour général vers l'importance des institutions, des normes, des règles, des valeurs, de la religion qui peut présenter des facteurs d'incitation économique au développement, etc. C'est à la fois dans l'histoire, mais on ne peut pas dire qu'il y a des sociétés, que parce qu'elles ont un héritage culturel déterminé elles seraient institutionnellement inaptes au changement et au passage à la modernité. Malheureusement tous ces économistes n'ont pas lu Ibn Khaldoun qui est un rationaliste et un matérialiste empirique et pragmatique qu'il faut redécouvrir. A mon avis pour comprendre le monde musulman, le passage par Ibn Khaldoun est un passage obligé.

**- Pr. Nicolas Moumni** (Faculté d'Economie et de Gestion, UPJV, Amiens, France)

Je suis entièrement d'accord sur les observations faites par mon collègue. Effectivement, de plus en plus on va chercher des apports des sciences dites sociales pour essayer de comprendre le comportement des intervenants en bourse. Donc, le cadre d'analyse traditionnel qui est celui de l'efficacité, avec toutes les bonnes hypothèses, n'est plus suffisant, il y a un craquement théorique si vous voulez un changement de paradigme, mais il y a une insuffisance constatée du cadre du modèle standard. Il n'y a pas de transaction parfaite et donc toutes les bonnes hypothèses ne servent plus à rien. De plus en plus on va essayer de rechercher à comprendre le comportement des intervenants et on va étendre l'analyse à la psychologie, à la psychanalyse parce qu'on est incapable aujourd'hui d'expliquer un certain nombre de phénomènes qu'on appelle des anomalies tel que l'effet lundi. Cet effet se traduit par le fait que le lundi, un certain nombre d'indices de pays développés ne sont pas très performants parce que les opérateurs reviennent au travail pas motivés et donc ils n'ont pas un comportement qui leur permette de prendre des risques. A la suite d'un week end, ils sont fatigués et donc leur comportement ne permet pas la prise de risques. Pareil pour l'effet super ball aux Etats-Unis, bref pour un certain nombre de phénomènes, ça va beaucoup plus loin. Il y a eu des études sur les couvertures nuageuses d'un certain nombre de capitales mondiales et on a constaté que le jour où la couverture nuageuse était importante les indices sous-performaient. Ça peut paraître farfelu, mais non ce n'est pas aussi farfelu que cela. Il y a eu des études très sérieuses sur l'ensoleillement et la performance des indices boursiers et on a constaté qu'il y a lieu d'étendre le champ de l'investigation à ce qu'on peut appeler la finance comportementale. On a besoin de comprendre comment nous fonctionnons nous les humains pour prendre des décisions; et donc ça va très loin, il y a des études sur la psychanalyse carrément, sur le bien-être de l'individu. Lorsque l'individu se sent bien, il peut prendre des risques, à ce moment là il achète et à ce moment les indices montent et les risques chutent. Lorsqu'il n'est pas

bien, il ne prend pas de risque et les indices chutent. Ceci n'est pas nouveau, déjà Keynes en avait parlé sur cette psychologie de masse, sur le mimétisme etc... Mais devant la multiplication de ces anomalies, la communauté des économistes a été obligée de revoir son cadre d'analyse et d'accepter l'idée selon laquelle l'opérateur est un être humain et c'est en essayant de pénétrer dans son subconscient qu'on arriverait à comprendre un certain nombre de choses.

Voilà à peu près ce que je voulais dire et c'est le message qu'il faut retenir de cette intervention, en tout cas, sur les marchés financiers. Il y a certainement une certaine rationalité, mais il y a beaucoup de mimétisme. Très souvent, il y a un meneur qui va donner des ordres d'achat et il y a des suiveurs qui vont continuer à acheter, et donc le cours va monter uniquement parce que les gens continuent à acheter sans aucune raison mais surtout sans rapport avec la valeur réelle de l'entreprise et c'est cela qui est gênant. La bulle va tenir le temps qu'elle tient et dès qu'il y a une information en sens contraire de ce qui a été dit, il y a un retournement de l'opinion publique sur la convention et c'est le mimétisme ou phénomène moutonnier. C'est pour cela que l'apport des sciences sociales est crucial pour essayer de comprendre ce qui se passe sur les marchés financiers. A côté de cela, il y a le rôle des banques centrales qui jouent le rôle du prêteur en dernier ressort. Dès qu'il y a une crise financière, elles sont obligées de le faire, mais c'est paradoxal parce que 10 ans auparavant on libéralise, on laisse faire les établissements financiers, et dès qu'il y a un début d'incendie, tout le monde s'affole les banques centrales baissent les taux d'intérêt de façon drastique et ça s'accompagne par des injections de liquidités, ce qui n'est pas forcément bon pour le système parce que lorsqu'il y a des liquidités ça encourage les gens à investir en bourse et à entretenir la hausse pour la hausse.

L'exigence en matière de rentabilité des gestionnaires des fonds qui gèrent des masses colossales de fonds à travers le monde est aussi là. Si les actionnaires des pays riches acceptaient de revoir leurs prétentions en matière de rendement, les gestionnaires des fonds n'iraient pas chercher des rentabilités très élevées et surtout pas justifiées dans les bourses de pays émergents. Il faut moraliser le monde des affaires, il faut introduire de l'éthique. Ce sont des questions qui méritent d'être posées.

**- Pr. Jean Dercourt (CSTETM)**

Une question : il y a des agriculteurs dans cette région, sont-ils volontaires pour participer à cette opération? Je pense que oui. Avaient-ils l'alternative de changer de semences pour en prendre d'autres s'il y en a qui étaient d'un meilleur rapport, et dans ce cas là ce manque à gagner est-il compensé par un moyen que j'ignore?

**- Pr. Mohamed Besri (CSTV)**

Je voudrais tout d'abord féliciter le Pr. Mohamed Sadiki pour son exposé qui était vraiment très clair et bien structuré, qui nous donne une méthodologie d'approche pour étudier la biodiversité pour plusieurs espèces. J'ai quelques questions que je souhaiterais lui poser pour l'avenir. Il a décrit le rôle de la biodiversité dans les écosystèmes à agriculture intensive en prenant comme exemple la fève, l'orge, etc...

Je voudrais savoir quelles seraient les implications de telles études pour les agrosystèmes à agriculture intensive? Parce que l'agriculture extensive on s'y intéresse mais l'agriculture intensive doit aussi avoir son importance dans toutes ces études de biodiversité.

Les biotechnologies peuvent-elles contribuer à la conservation de la biodiversité locale?

**- Pr. Mohamed Sadiki (I.A.V. Hassan II, Rabat)**

Pour la première question, oui les agriculteurs étaient volontaires. Avaient-ils l'alternative, oui mais les alternatives ne satisfaisaient pas leurs besoins. D'abord parce que la gamme des variétés modernes qui étaient disponibles est très étroite et puis le coût de la semence cause un problème puisqu'à propos des variétés locales ils les produisent eux-mêmes, il s'agit là d'une surcharge en plus étant donné le rôle de ces cultures dans ces agrosystèmes. Le fait d'avoir un éventail de variétés locales qu'ils maîtrisent leur permet de gérer leur production au cours du temps et en fonction de leurs exploitations, ce que ne leur offre pas les variétés qui sont disponibles et qui ne sont pas forcément adaptées aux besoins dans ces régions.

Pour répondre au Pr. Besri, nous avons travaillé dans ces agro-écosystèmes, nous avons développé des bases scientifiques, nous nous sommes intéressés à des systèmes où nous avons cette diversité qui est maintenue sous la pratique des agriculteurs. Alors, l'implication pour le système intensif, en termes de conclusions scientifiques, c'est d'abord montrer au système intensif comment apprendre à cultiver la diversité. Je pense que l'un des problèmes qui se posent dans le système intensif c'est qu'on a quelques variétés très productives basées sur une base génétique très étroite et donc cultivées sur de larges superficies voire sur de larges régions. Nous avons des exemples historiques, aux USA le problème du maïs, la pomme de terre etc...

Pour faire face aux problèmes des aléas et au stress que ce soit biotique ou abiotique nécessite donc le recours à la diversité. Ce qu'on a développé comme modèles dans les agro-écosystèmes traditionnels nous permettent de donner un message au système intensif et ceci a été démontré chez nous et dans tous les autres pays qui sont partenaires de cette problématique.

Comment est-ce qu'on peut améliorer le potentiel des variétés locales? On peut le faire de la même manière que celle utilisée pour améliorer les variétés modernes, mais adaptée aux moyens et aux conditions dans lesquelles on travaille. C'est grâce aux biotechnologies que nous avons pu faire cette analyse *in situ* de la base génétique de la variabilité qui est observée au niveau phénotypique. C'est la seule voie pour dire que nous avons vraiment une diversité génétique.

Deuxième voie qui est très importante ce sont les transformations. Si les variétés locales qui sont adaptées sont productives là où elles ont duré, elles ont certains problèmes, par exemple la sensibilité à certaines maladies. Les transformations peuvent nous aider à résoudre ces problèmes dans certains cas. Les biotechnologies peuvent apporter énormément pour ajouter de la valeur au matériel local et convaincre les agriculteurs à continuer à cultiver cette diversité.

**- Pr. Abdelkrim Alaoui-Maltouf (Faculté des Sciences, Rabat)**

Ma question s'adresse au Pr. Mahfoud Ziyad. La réaction de conversion de méthane a pour objectif de développer un nouveau catalyseur basé sur une richesse nationale représentée par les phosphates, jusqu'où cette étude a été développée? Est-ce que vous avez fait des tests au niveau des caractéristiques physiques du catalyseur? Est-ce que vous avez essayé de modéliser la réaction au niveau de la cinétique? Est-ce que vous avez développé un mécanisme réactionnel? Est-ce que vous avez testé sur pilote ou semi-pilote ce catalyseur? Est-ce que vous l'avez comparé à d'autres types de catalyseurs? Est-ce que vous pouvez déposer un brevet là-dessus?

**- Pr. Mahfoud Ziyad (CITIT)**

Les études cinétiques ont été faites, toutes les caractérisations sont faites. Nous n'avons pas fait d'essai à l'échelle pilote parce que pour les deux réactions y compris la Fischer-Tropsch les procédés industriels ne sont pas encore complètement au point. Comme je l'ai dit, à ma connaissance, même pour Fischer-Tropsch, qui est une réaction vieille comme le monde, il n'y a eu qu'une usine en Afrique du Sud qui s'est arrêtée. Shell a construit une usine Fischer-Tropsch en Malaisie, mais je pense qu'ils l'ont arrêtée tout simplement parce qu'il faut des gisements de méthane assez importants. Ce que j'ai essayé de montrer, on parle beaucoup de réchauffement climatique, la technologie peut apporter des solutions radicales intéressantes ou ponctuelles à certains dégagements gazeux.

Dans la deuxième réaction, on utilise du méthane seul. Il n'y a pas de procédé encore, c'est une recherche qui a quelques années. Toutes les caractérisations ont été faites, la stabilité du catalyseur a été vérifiée, ses caractéristiques nous les avons déterminées, mais de là à passer au stade industriel il y a quand même un gap assez important que nous universitaires avons du mal à franchir. La deuxième réaction est effectivement brevetable tout à fait honorablement.

**- Pr. Malik Ghallab (CSMI)**

J'aurais une question au Pr. André Zaoui sur la partie calcul. Est-ce que les processus de simulation qui sont requis rencontrent des difficultés? En particulier je suppose que la structure n'est pas isotrope qu'elle est anisotrope, est-ce qu'en particulier en terme de maillage on a des difficultés en termes algorithmiques et aussi en termes de complexité de la taille des calculs qui sont requis ou est-ce que l'état de l'art sur ce volet est suffisant pour répondre au besoin?

**- Pr. André Zaoui (CSPC)**

Je dois dire que c'était ma grande peur au départ et puis, pour le moment en tout cas, pour les problèmes que nous avons traités avec des moyens tout à fait classiques et ne mobilisant pas des choses les plus puissantes et performantes actuelles, on s'en est bien sorti et donc la marge de la profession est encore assez grande. Il se posera sûrement si on approfondit un peu les choses ou dans les cas un peu limites où il faudra s'interroger sur les méthodes, mais pour le cœur des problèmes actuels c'est tout à fait suffisant et même sans recourir à des choses très évoluées.

**- Pr. Mohamed Ait Kadi (Directeur des séances)**

Nous arrivons au terme de cette journée et je voudrais d'abord dire tout mon embarras d'avoir été amené à bousculer les orateurs et parfois les collègues qui participent aussi à la discussion. Mais si je ne m'étais pas acquitté de la lourde tâche qui m'est confiée et que m'imposent les textes de l'Académie pour la direction des séances. Cela m'amène à lancer un appel, vu l'immense intérêt des interventions, que l'Académie puisse en disposer à temps et les diffuser dans le cadre des actes. Je dois rappeler qu'à 18h30 nous avons une cérémonie qui honore certains collègues de l'Académie et que nous reprendrons demain matin nos travaux avec deux conférences qui étaient prévues cet après-midi dont je remercie les auteurs d'avoir accepté de les reporter à demain.

Je vous remercie.



# RAPPORT D'ACTIVITÉ

février 2007 - février 2008

*Pr. Omar FASSI-FEHRI*

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



## Introduction

**Après son installation solennelle par Sa Majesté le Roi Mohammed VI – que Dieu le protège, les différentes instances de l'Académie (Conseil – Commission des travaux – Collèges et bien entendu l'ensemble du staff administratif) se sont attelées à mettre en œuvre les missions de l'Académie telles que stipulées par le Dahir de sa création et surtout à mettre en œuvre les orientations et conseils que Sa Majesté nous a donnés dans Son Discours d'installation; nous avons privilégié une action multiforme visant à la fois à mettre en place une administration de l'Académie, contribuer à la réflexion sur l'état de la recherche au Maroc, promouvoir la recherche scientifique dans notre pays (appui aux actions scientifiques par le financement de projets de recherche et de manifestations scientifiques), diffuser la culture scientifique, en particulier auprès des élèves des lycées et collèges, développer une présence sur le plan international, tout en engageant la construction du Siège de l'Académie, en réalisant un travail de publications non négligeable (Actes des sessions, Annuaire, Bulletin de l'Académie ( bi-annuel ), la Lettre de l'Académie ( trimestrielle ), et en créant le site Web de l'Académie ( en 4 langues ), ...**

**Nous voulons à cette occasion exprimer notre profonde gratitude et nos remerciements déferents à Sa Majesté le Roi pour Ses encouragements, pour Ses conseils et pour Sa bienveillante sollicitude à l'égard de notre institution.**



# ***1. Promotion de la recherche scientifique***

3

## ***1.1. Appui financier aux projets de recherche***

4

### **Sciences & Techniques de l'Environnement, de la Terre & de la Mer**

<b>Titre du projet</b>	<b>Porteur du projet Domiciliation</b>	<b>Durée (Ans)</b>	<b>Montant (DH)</b>	<b>1<sup>ère</sup> tranche allouée (DH)</b>
<b>1- Patrimoine géologique et géodiversité du Maroc : L'exemple de la région de Rabat-Salé-Zemmour-Zaïr</b>	<b>Pr. Abdelfettah Tahiri</b> (Université Mohamed V- Agdal, Institut Scientifique)	<b>4</b>	<b>600 584</b>	<b>304 652</b>
<b>2- Conception et construction d'une station pilote innovante pour le traitement des eaux usées pour les petites agglomérations et complexes touristiques en zones côtières (RALBI)</b>	<b>Pr. Omar Assobhei</b> (Université Choualb Doukkali, El Jadida)	<b>3</b>	<b>1 305 000</b>	<b>705 000</b>

5

### **Sciences de la Modélisation & de l'Information**

<b>Titre du projet</b>	<b>Porteur du projet Domiciliation</b>	<b>Durée (Ans)</b>	<b>Montant (DH)</b>	<b>1<sup>ère</sup> tranche allouée (DH)</b>
<b>3- Réseau de capteurs sans fil : optimisation des performances et maîtrise de la technologie</b>	<b>Pr. Driss Aboutajdine</b> (Université Mohamed V- Agdal, Rabat)	<b>3</b>	<b>4 184 800</b>	<b>Convention en cours de signature</b>
<b>4- Réseau Théorie des Systèmes: Réseau de recherche fondamentale sur les systèmes, leur modélisation, analyse et contrôle</b>	<b>Pr. Abdelhaq El Jai et Pr. Larbi Afifi</b> (Université Hassan II – Aïn Chok, Casablanca)	<b>3</b>	<b>1 825 000</b>	<b>275 000</b>
<b>5- Mathématiques financières</b>	<b>Pr. Youssef Ouknine</b> (Université Cadi Ayad - Marrakech)	<b>3</b>	<b>1 890 000</b>	<b>354 000</b>

6

### Sciences & Techniques du Vivant

Titre du projet	Porteur du projet (Domiciliation)	Durée (Ans)	Montant (DH)	1 <sup>ère</sup> tranche allouée
6- COHORTE ESPOIR MAROC Etude et Suivi des Polyarthrites Indifférenciées Récentes	Pr. Najla Hajja-Hassouni (Université Mohamed V - Soulss, Rabat)	3	250 000	250 000
7- Caractérisation génétique et régénération assistée de l'arganier pour le reboisement et la domestication	Pr. Fouzia Banl-Aameur (Université Ibn Zohr, Agadir)	4	3 487 000	Convention en cours de signature
8- Etude de l'efficacité de la consommation de l'huile d'argan sur le profil lipidique et les statuts anti-oxydant et hormonal et détermination de l'effet hydratant de la peau chez les femmes ménopausées	Pr. Zoubida Charrouf (Université Mohamed V - Agdal, Rabat)	2	384 000	287 000
9- Préservation et valorisation du chêne liège ( <i>Quercus suber</i> L.) : Etude de la variabilité génomique et amplification clonale à partir de l'embryogenèse somatique	Pr. Ahmed Lamarti (Université Abdelmalek Essadi, Tétouan)	4	2 500 000	Convention en cours de signature
10- Etude génomique et immunologique de la tuberculose dans la population marocaine (2007-2011)	Pr. Rajae El Aouad (Institut National d'Hygiène)	4	4 303 912	Convention en cours de signature
11-Epidémiologie prospective de l'accident vasculaire cérébral ischémique ; rôle des affections cardiaques, des facteurs nutritionnels, biologiques et génétiques	Pr. My El Mostafa El Alaoui Farès (Université Mohamed V - Soulss, Rabat)	4	4 069 005	2 524 735

7

### Ingénierie, Transfert & Innovation Technologique

Titre du projet	Porteur du projet (Domiciliation)	Durée (Ans)	Montant (DH)	1 <sup>ère</sup> tranche allouée
12- Valorisation des ressources végétales marocaines : Exploitation des fibres végétales dans le domaine des composites fonctionnels	Pr. Hamid Kaddami (Université Cadi Ayad - Marrakech)	3	1 623 800	648 500
13- Synthèse par voie catalytique homogène et hétérogène du biodiésel à partir d'huiles végétales usagées	Pr. Mohammed Kacimi (Université Mohamed V - Agdal, Rabat)	3	1 415 600	Convention en cours de signature
14- PACT - Pôle d'Activités Concertées en Technologies de l'Energie	Pr. Philippe Tanguy (Ecole polytechnique Montréal)	3	A l'étude	

8



### Sciences physiques et chimiques

Titre du projet	Porteur du projet (Domiciliation)	Durée (Ans)	Montant (DH)	1 <sup>ère</sup> tranche allouée (DH)
15- Nanocomposites polymères à base d'argile marocaine et mise au point des nanomatériaux fonctionnels	Pr. Mostapha Bousmina (Université Mohamed V - Souissi, Rabat)	4	21 736 000	Convention en cours de signature
16- Contribution au développement à l'échelle internationale de la production de l'énergie par la voie de la fusion contrôlée (Programme ITER) & Applications des Technologies plasmas	Pr. Dannoun Saifaoui (Université Hassan II - Ain Chok, Casablanca)	3	230 000	80 000
17- Contribution à l'équipement de l'Observatoire Astronomique Universitaire de l'Oukaïmeden	Pr. Benkhaldoun (Université Cadi Ayad, Marrakech)		447 000	En cours d'étude

9

### Etudes Stratégiques & Développement Economique

Titre du projet	Porteur du projet Domiciliation	Durée (Ans)	Montant (DH)	1 <sup>ère</sup> tranche allouée
18- Industrial Dynamism and Jobs Creation In Morocco: A Quantitative Assessment	Pr. Khalid Sekkat (Université Mohamed V - Agdal, Rabat)	2	1 121 000	Convention en cours de signature
19- Systèmes territoriaux et articulation du local et du régional	Pr. Mohammed Berriane (Université Mohamed V - Agdal, Rabat)	2	1 000 000	Convention en cours de signature
20- Economie de la Propriété Intellectuelle au Maroc & Comparaison aux Autres Pays Emergents	Ahmed Driouchi (Université Al Akhawayn, Ifrane)	3	524 650	100 000

10

## 1.2. Participation et soutien aux manifestations scientifiques

Thème de la manifestation	Date et lieu	Montant alloué
1- Nanoscience et Nanotechnologie	04/2007 à Ifrane	10.000 DH
2- Colloque Nord-Sud sur l'Enseignement et la Recherche en Physique	9-13/04/2007 à Oujda	10.000 DH
3- Ecole des Finances sur les Modèles Stochastiques en Finances Mathématiques (CIMPA)	9-20/04/2007 à Marrakech	20.000 DH
4- 8 <sup>ème</sup> Congrès de la Société Marocaine des Sciences Mécaniques	17-20/04/2007 à El Jadida	20.000 DH
5- Conférence du Pr. Susumu Tonogawa	28/11/2007 à Rabat	
6- 5 <sup>ème</sup> Ecole des Sciences et Technologies du Bois, sous le thème «recherche sur le bois méditerranéen»	15-17/11/2007 à Casablanca	10.000 DH
7- 6 <sup>ème</sup> Rencontre Hydrodynamique Maroc	22-23/11/2007 à Casablanca	10.000 DH
8- Enjeux et Défis de l'Energie (GID)	14/12/2007	30.000 DH
9- Les Systèmes Dynamiques et Systèmes Complexes	21-22/12/2007	10.000 DH
10- 1 <sup>er</sup> Congrès de la Société Marocaine de Mathématiques Appliquées	06-08/02/2008 à Rabat	14.000 DH

11

## 1.3. Suivi des indicateurs de Sciences et de Technologies

- *Réflexion sur l'état des lieux en matière de recherche dans les disciplines du ressort de l'Académie*
- *Mise en place d'une cellule représentant différentes structures et instances en charge de la recherche scientifique publique ou privée, animée par l'Académie, pour réfléchir sur le potentiel scientifique national (en particulier la production scientifique). Ce travail sera accompagné par l'OST- France et l'IRD (France).*

12

## ***2. Promotion de la culture et de la formation scientifiques***

13

### ***2.1. Parrainage d'établissements secondaires ( Ouezzane, Salé,...)***

### ***2.2. Organisation de la deuxième édition des journées « les jeunes et la science »***

- *deuxième édition des journées « les jeunes et la science » du 19 au 30 novembre 2007, dans les villes de Rabat, Salé, Ifrane, Fès, Marrakech et El Jadida.*
- *Organisée en collaboration avec les académies régionales de l'éducation et de la formation et les universités concernées.*

14



- L'édition 2007 tenue dans le cadre de la commémoration du cinquantième anniversaire de la conquête de l'espace .
- Participation de chercheurs de la NASA (Pr. Kamal Oudrhiri) appartenant au Jet Propulsion Laboratory, Caltech, CA, USA
- Initiation à la connaissance du système solaire, et de l'univers
- Comment aider les enfants (8-12 ans) à apprendre les sciences
- Réunions de travail avec les enseignants marocains
- Rencontre avec les élèves des lycées et collèges et organisation de conférences, données par des membres de l'Académie :
  - Pr. Omar Fassi-Fehri : «l'homme et le ciel» (El Jadida, Marrakech)
  - Pr. Rajae Cherkaoui El Moursli : «la radioactivité et ses applications» (Salé)
  - Pr. Zouheir Sekkat : «Nanotechnologie : fiction ou réalité» (Salé)



15

## 2.3. Organisation de conférences et tables rondes

- Conférence publique donnée par Mme Nicole El Karoui Shvartz, Professeur à l'Ecole Polytechnique (France), sur le thème «promenade aléatoire dans les marchés du risque financier», à l'occasion de la commémoration du 1<sup>er</sup> anniversaire de l'installation solennelle de l'Académie par Sa Majesté le Roi, le 18 mai 2007
- Conférence publique donnée par le Pr. Susumu Tonegawa, prix Nobel de Médecine-Physiologie (USA), sur le thème «mécanismes cérébraux de la mémoire : rôle des circuits de l'hippocampe»
- Tables rondes au siège de l'Académie sur :
  - «les eaux souterraines dans le monde : chiffres clés»,
  - «Cartographie géologique et géotechniques : quelles relations?» ,
  - «l'océanographie et les problèmes des côtes marocaines»,
  - «la télédétection spatiale».
  - «la valorisation de la recherche»
  - «Réflexion sur le dictionnaire économique et financier et sur la traduction des «fondamentaux» de la science économique

16



## **2.4. Préparation de conférences internationales**

- *Colloque international sur les biotechnologies (mars 2008)*
- *Congrès international sur les énergies renouvelables (mai, 2009)*

17

## **3. Actions de coopération**

18

### **3.1. Participation et présence de l'Académie dans différentes activités et actions organisées sur la recherche au Maroc et à l'étranger**

#### **Au Maroc**

Conseil National de l'Environnement
Forum International des Compétences Marocaines de l'Etranger (FINCOME)
Jury du Grand Prix pour l'Invention et la Recherche en Science et Technologie
Prix Oréal - UNESCO
Restitution du Projet européen ESTIME
Séminaire International sur le thème « Les recompositions socio-économiques face aux défis de la mondialisation (approche comparative Maroc-Mexique) »
Réunions du Conseil d'Administration du CNRST
Réunions du Conseil Supérieur de l'Enseignement
Réunions de la Commission Nationale de Coordination de l'Enseignement Supérieur (CNACES)

19

### **3.2. Participation et présence de l'Académie dans différentes activités et actions organisées sur la recherche au Maroc et à l'étranger (suite)**

<b>A l'étranger</b>	<b>Lieu et date</b>
Installation de l'Académie des Technologies de France	France, Paris, le 14/03/2007
Observatoire des Sciences et des Techniques (OST)	France, Paris, le 14/03/2007
VIème Conférence de la Fondation « Pensée Arabe »	Bahreïn, Manama, les 1, 2 et 3/12/2007
Table Ronde sur « la Science et la Technologie au service du Développement Durable »	France, Paris-UNESCO, les 26 et 27/10/2007
Célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre	France, Paris-UNESCO, les 12 et 13/02/2008

20

### 3.3. Coopération internationale

<b>Visites effectuée au siège de l'Académie</b>	<b>Date</b>
Mr. Majid Moubarek, Secrétaire d'Etat à l'Enseignement Supérieur et à la Recherche du Soudan	19/04/2007
Mr. Yves Chauvin, Directeur de recherche à l'IFP (France) et Prix Nobel de Chimie	02/05/2007
Mr. Christian Bréchet, Directeur général de l'INSERM (France)	18/07/2007
Mr. Susumu Tonegawa (USA), Membre associé de l'Académie et Prix Nobel Médecine-Physiologie	28/09/2007
Mme. Sylvie Inizian, Responsable du Pôle Fonctions d'Appui et Communication à l'OST (France) et Mr. Patrick Sachet, Chargé de mission à l'OST -> projet de convention	12 et 13/12/2007
Mr. Jean-François Girard, Président de l'IRD (France)-> projet de signature de convention	13/12/2007
Experts de l'Union Européenne pour le projet de jumelage « renforcement institutionnel des capacités administratives de la recherche scientifique et technique	16/01/2008

21

### 3.3. Coopération internationale (suite)

<b>Institution</b>	<b>Action</b>
Inter Academy Panel (IAP)	Adhésion
Conseil International des Académies de l'Ingénierie et des Sciences Techniques	Demande d'adhésion
Union Internationale des Conseils Scientifiques	Demande d'adhésion
Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique (CSIC) d'Espagne	Projet d'Accord signé à l'occasion de cette session
Institut de Recherche et Développement (IRD-France)	Projet d'Accord en préparation
Observatoire des Sciences et des Techniques (OST) - France	Convention conclue



22



## **4. Ressources humaines et moyens matériels**

23

### **4.1. Ressources humaines**

***L'Académie a de manière progressive et chaque fois que le besoin se fait sentir procédé au recrutement du personnel dont elle a besoin; aujourd'hui le personnel de l'Académie s'élève à 21 personnes dont 11 cadres supérieurs.***

***Au nom de tous les Académiciens, je voudrais les remercier et leur rendre hommage pour les efforts qu'ils déploient ainsi que pour leur abnégation et leur dévouement.***

24

## 4.2. Budget

<i>Dépenses</i>	<i>2006 (DH)</i>	<i>2007 (DH)</i>
Fonctionnement (personnel, achat consommés, indemnités, déplacements, divers ...)	7 452 000,00	8 775 000,00
Equipement (construction et équipement du siège, promotion de la recherche, organisation des sessions, édition, et achat d'ouvrages)	2 469 000,00	8 500 500,00
<b>TOTAL</b>	<b>9 921 000,00</b>	<b>17 275 500,00</b>
Coût Session inaugurale mai 2006	2 238 000,00	
Coût Session plénière 2007		1 810 000,00
Coût Session ordinaire 2007		510 000,00
Conventions de recherche		1 384 000,00
Soutien aux manifestations scientifiques		143 000,00

NB = Les Comptes de l'Académie ont été audités en juin 2007 par le bureau d'audit BAREME

Cet audit a porté sur les comptes des exercices 2004-2005 et 2006.

Le rapport d'audit conclut : «L'examen des documents suscités n'a pas révélé d'anomalies ou irrégularités, les états d'exécution budgétaire au titre des exercices 2004-2005 et 2006 sont conformes et réguliers au regard de la réglementation en vigueur»

25

## Conclusion

**Nous avons essayé de mener et nous continuerons d'essayer de mener, autant que possible, nos différentes missions, avec le souci de tendre vers l'objectif tel que défini par Sa Majesté le Roi dans Son Discours d'installation et dont nous faisons notre devise «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale».**

**Avant de clore ce rapport, je voudrais porter à votre connaissance qu'aujourd'hui le public peut se connecter au site dédié à notre Académie:**

**[www.academie.hassan2.sciences.ma](http://www.academie.hassan2.sciences.ma)**

**Merci pour votre attention**

27



## APPEL D'OFFRES POUR DE NOUVEAUX PROJETS DE RECHERCHE

*Pr. Mustapha BOUSMINA*

*Chancelier de l'Académie Hassan II  
des Sciences et Techniques*



Dans le but de continuer à promouvoir l'excellence dans le domaine de la recherche scientifique et technique au Maroc et de mettre cette dernière au service du développement socioéconomique du pays, l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques lancera un deuxième appel d'offres, ce qui permettra d'apporter l'appui financier nécessaire à la réalisation de nouveaux projets de recherche d'envergure, structurants et répondant aux priorités nationales.

Dans ce contexte, les six collèges scientifiques de l'Académie ont proposé un certain nombre de thèmes portant sur les matériaux, les nanomatériaux, l'énergie, l'eau, les systèmes embarqués, l'ingénierie du cycle de vie-développement durable, l'analyse multidimensionnelle des données, la géolocalisation et positionnement par satellite, les mathématiques appliquées/modélisation, l'agrobiotechnologie, la biomédecine, la modélisation et prospective économique, la démographie et l'économie, les dynamiques territoriales et les recompositions productives, l'innovation, la croissance et le développement humain, les effets des changements climatiques sur les ressources en eau et sur les écosystèmes, les risques naturels ainsi que les géo-matériaux et le patrimoine géologique.

Ces thèmes feront l'objet de discussions et seront précisés lors des prochaines sessions ordinaires avant le lancement du prochain appel d'offres.





## LISTE DES PARTICIPANTS à la session de février 2008

### Membres de l'Académie

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Driss ABOUTAJDINE	Professeur STIC Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SMI
Daoud AIT-KADI	Professeur Productique-génie industriel Université Laval, Canada	Membre résident	SMI
Mohamed AIT-KADI	Professeur Président du Conseil Général du Développement Agricole	Membre résident	STETM
Omar ASSOBBEI	Professeur Sciences de la mer Faculté des Sciences El Jadida	Membre correspondant	STETM
Ismail AKALAY	Directeur Général de l'Hydrométallurgie MANAGEM (ONA)	Membre correspondant	CITIT
Abdelmalek AZIZI	Professeur Mathématiques Faculté des Sciences, Oujda	Membre correspondant	SMI
Mohammed BELAICHE	Professeur Physique ENS, Rabat	Membre correspondant	SPC
Rachid BENMOKHTAR BENABDELLAH	Président de l'Université Al Akhawayn, Ifrane	Membre résident	ESDE

#### Collèges (abréviations):

- SPC : Sciences Physique et Chimiques
- STV : Sciences et Techniques du Vivant
- SMI : Sciences de la Modélisation et de l'Information
- ESDE : Etudes Stratégique et Développement Economique
- ITIT : Ingénierie Transfert et Innovation Technologique
- STETM : Sciences et Techniques de l'Environnement de la Terre et de la Mer

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Abdelilah BENYOUSSEF	Professeur Physique Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SPC
Abdellatif BERBICH	Professeur Médecine interne Faculté de Médecine -Rabat Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume	Membre résident	STV
Mohamed BERRIANE	Doyen, Faculté des Lettres	Membre correspondant	ESDE
Mohamed BESRI	Professeur Plant Pathology Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat	Membre correspondant	STV
Jean-Jacques BONNET	Professeur Université Paul Sabatier Directeur du Laboratoire de Chimie de Coordination	Membre associé	SPC
Badia BOUAB	Professeur Paléontologie Faculté des Sciences - Rabat	Membre correspondant	STETM
Yahia BOUGHALEB	Professeur de Physique Doyen, Faculté des Sciences El Jadida	Membre correspondant	SPC
Ali BOUKHARI	Professeur de Chimie Doyen, Faculté des Sciences Kénitra	Membre correspondant	ITIT
Tijani BOUNAHMIDI	Vice-Président Université Mohamed V Agdal - Rabat	Membre correspondant	ITIT
Mostapha BOUSMINA	Professeur Département-génie chimique Chaire du Canada sur la physique des polymères et les nanotechnologies	Chancelier Membre résident	SPC

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Juan Carlos CASTILLA ZENOBİ (Chili)	Membre de l'Académie Nationale des USA. Facultad de Ciencias Biológicas Departamento de Ecología & Centro de Estudios Avanzados en Ecología & Biodiversidad	Membre associé	STETM
Mohammed CHERKAOUI	Professeur – Physique Université du Metz - France	Membre correspondant	SPC
Rajaa CHERKAOUI EL MOURSİI	Professeur de Physique Faculté des sciences- Rabat	Membre correspondant	SPC
Taïeb CHKILI	Professeur Neurologie Président Université Mohammed V-Souissi	Membre résident	STV
JEAN DERCOURT (France)	Professeur de Géologie Université Pierre et Marie Curie (Paris) Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences (France)	Membre associé	STETM
Rajae EL AOUAD	Professeur de Génétique Directrice Institut d'Hygiène - Rabat	Membre résident	STV
Noureddine EL AOUI	Professeur d'économie Faculté de Droit - Rabat	Membre résident	ESTE
Ahmed EL HASSANI	Directeur l'Institut Scientifique Université Mohamed V	Membre résident	STETM
Abdelhaq EL JAI	Professeur - Mathématiques Laboratoire de Théories des Systèmes Université Perpignan - France	Membre résident	SMI
Mokhtar ESSASSI	Professeur - Chimie Faculté des Sciences - Rabat	Membre résident	SPC

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
OMAR FASSI-FEHRI	Professeur de Mécanique Faculté des Sciences-rabat	Membre résident Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques	SPC
Gerald G. FULLER (USA)	Fellow of the Academy of Engineering Department Chemical Engineering (Stanford University)	Membre associé	SPC
Francisco GARCIA- GARCIA (Mexique)	Director General de Gestión Forestal y Suelos Secretario de Medio Ambiente	Membre associé	STV
MALIK GHALLAB	INRIA-France Délégué Général à la recherche et au transfert pour l'innovation	Membre résident	SMI
Moustpha KASSE (Sénégal)	Directeur National du PTCI Faculté des Sciences Economiques et de Gestion	Membre associé	CESDE
Nadia GHAZZALI	Professeur Titulaire de la Chaire de recherche CRSNG-Industrielle Alliance sur les femmes en sciences et génie Départ. Maths et de Statistique Université Laval (Québec)	Membre correspondant	SMI
Claude GRISCELLI (France)	Institut Necker Faculté de Médecine-Université René Descarte - Frabce	Membre associé	STV
Mohammed JELLALI	Ingénieur en Hydraulique Conseiller auprès du Premier Ministre	Membre résident	STETM
Abderrahim MAAZOUZ	Professeur – INSA Départ. de Génie Mécanique Conception Lyon – France	Membre résident	ITIT

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

Prénom et NOM	PROFESSION	FONCTION	COLLEGE
Carlos MARTINEZ-ALONSO (Espagne)	Professeur d'immunologie Président- Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique (CSIC – Madrid)	Membre associé	STV
Abdelaziz MEZIANE BELFKIH	Conseiller de Sa Majesté le Roi Mohammed VI Président délégué du Conseil Supérieur de l'Enseignement	Membre résident	CESDE
Sellama NADIFI	Professeur de Génétique et immunologie Faculté de Médecine - Casablanca	Membre correspondant	STV
Driss OUAZAR	Professeur Hydromécanique (EMI) Université Mohamed V Agdal, Rabat	Membre résident	STETM
Youssef OUKNINE	Professeur Faculté des Sciences Université Cadi Ayyad Marrakech	Membre résident	SMI
Valeriano RUIZ HERNANDEZ (Espagne)	Professeur à la Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla	Membre associé	ITIT
El Hassan SAIDI	Professeur – Physique Faculté des Sciences, Rabat	Membre résident	SPC
ALBERT SASSON	Professeur Sciences biologiques Consultant auprès UNESCO	Membre résident	STV
Abdelaziz SEFIANI	Professeur Faculté de Médecine - Rabat Directeur Département Génétique médicale (INH) Rabat	Membre correspondant	STV

## LISTE DES PARTICIPANTS (suite)

<b>Prénom et NOM</b>	<b>PROFESSION</b>	<b>FONCTION</b>	<b>COLLEGE</b>
Khalid SEKKAT	Professeur – Economie Université Libre de Bruxelles Belgique	Membre correspondant	ESDE
Zouheir SEKKAT	Professeur Nanotechnologies - AUI (School of Science and Engineering) Osaka University	Membre correspondant	SPC
Philippe A. TANGUY (Canada)	Professeur -Département of Chemical Enginnering Ecole Polytechnique de Montréal	Membre associé	ITIT
Marcelo DE SOUSA VASCONCELOS (Portugal)	Chairman Administrative Board Community Fisheries Control Agency (Agence Communautaire de Contrôle de Pêches)	Membre associé	STETM
André ZAOUI (France)	Professeur Micromécanique des Matériaux Ecole Polytechnique Membre de l'Académie des Sciences	Membre associé	SPC
Mahfoud ZIYAD	Professeur de Chimie Vice Doyen Faculté des Sciences - Rabat	Membre correspondant	ITIT



## **LISTE DES INVITES**

### **ayant présenté une communication**

<b>Prénom et NOM</b>	<b>Affiliation</b>
Abdellatif BERRAHO	Directeur Général de l'Institut National de Recherche Halieutique, Casablanca, Maroc
Hamid BOUABID	Directorate of Technology, Ministry of Higher Education and Scientific Research, Morocco
Hasnaa CHENNAOUI AOUDJEHANE	Laboratoire de Géosciences, Faculté des Sciences, Université Hassan II Aïn Chock, Casablanca
Patrick DE WEVER	Directeur Géosciences, Service Patrimoine Naturel, Muséum National d'Histoire Naturelle, France
A. DIOURI	Laboratoire de Chimie du Solide Appliquée, LAF 501, Faculté des Sciences, Rabat, Maroc
Fedwa ESSANNOUNI	Laboratoire de Recherche en Informatique et Télécommunications, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal , Rabat, Maroc
Randall T. HANSON	U.S. Geological Survey, San Diego, California - USA
Torkil JONCH-CLAUSEN	Managing Director, DHI Water Policy, Chair, Danish Water Forum
Manuel Ramón LLAMAS	Complutense University, Madrid, Spain
Nicolas MOUMNI	Professeur, Faculté d'Economie et de Gestion, UPJV, Amiens, France
Pier Luigi ROSSI	Directeur de Recherches. Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Paris, France
Mohammed SADIKI	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202, Al Irfane, Rabat-10100, Maroc
Roland WAAST	Directeur de Recherches. Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Paris, France
Abdelhamid ZAKRI	President, Institute of Advanced Studies, United Nations University - Tokyo, Japan



وتجدر الإشارة إلى أن الأستاذ Hubert Reeves، العالم الأستروفيزيائي البارز، كان سيحضر معنا لإلقاء المحاضرة الافتتاحية تحت عنوان «مستقبل الحياة على الأرض». لكن مع الأسف الشديد، نظرا لظروف صحية طارئة، اتصل بنا يوم السبت الفارط للاعتذار عن عدم تمكنه من الحضور في هذه الدورة؛ فبدوري أقدم لكم اعتذاري عن هذا الطارئ متمنيا باسمكم جميعا للأستاذ Hubert Reeves الشفاء العاجل وصحة جيدة.

كما أنه في إطار هذه الدورة ستقدم عدة محاضرات علمية التي ستلقى اليوم وغدا صباحا حول موضوع «كوكب الأرض». وأغتنم هذه الفرصة لأقدم الشكر الجزيل لأعضاء الهيئة العلمية لعلوم وتقنيات البيئة والأرض والبحر على مساعدتهم القيمة التي قدموها للأكاديمية لتنظيم هذه الدورة حول كوكب الأرض. وخلال هذه الدورة سنتطرق أيضا إلى حصيلة الإنتاج العلمي الوطني ومسألة تقييم أنشطة البحث العلمي، وسنستمع إلى عدد من العروض العلمية ستقدم من قبل أعضاء الأكاديمية وباحثين مغاربة وأجانب في مجال بحوثهم وتخصصاتهم. كما سنستمع ونناقش التقرير السنوي للأكاديمية برسم سنة 2007.

وفي الختام، أتوجه بالدعاء إلى الباري جلت قدرته، أن يكلل أشغالنا بالنجاح والتوفيق حتى تصبح هذه المؤسسة منارا في خدمة التعاون العلمي وإشعاع العلم والمعرفة، وحتى ترقى إلى الهدف الذي حدده لها صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله وأيده، والذي ذكرنا به في بداية هذه الكلمة وهو «خدمة وطننا، والإسهام في تنمية العلوم في العالم».

شكرا على حسن إصغائكم واستماعكم.

إذ أن عدد سكان العالم الآن هو 6.5 مليار نسمة وسيصل إلى 9 مليار نسمة في أفق سنة 2050. إن الرهانات العالمية والجهوية، المرتبطة بالتغيرات المناخية، وبندرة واستنزاف الموارد المائية، وبقلة الموارد الطاقية المعدنية منها والنجمية، تدعو إلى الوعي بمدى أهمية الإشكالات البيئية وإعادة الاعتبار للوعي الذاتي لدى الرأي العام بأهمية التوازنات الكوكبية والمشاكل المترتبة عنها.

إلا أنه بالرغم من هذا الوعي الذاتي والاهتمام المتزايد، فالتدهور البيئي في العالم في تفاقم متزايد، نتيجة الاستهلاك المتزايد للموارد الطبيعية مما يخلف ضغوطا جسيمة على البيئة. وبهذا تبقى التنمية المستدامة المنشودة ذات بعد نظري فقط بالنسبة لشريحة هامة من المجتمع البشري. وتجب الإشارة كذلك إلى أن مستوى التحسيس والعمل لا يرقى إلى مستوى تحديات إشكالية التنمية المستدامة.

وبالنظر إلى التطور الحاصل في الحالة البيئية والذي يبعث على القلق البالغ، وكذلك إلى آفاق التنمية المستدامة، فإنه يجب على السلطات العمومية التزود بالقدرة على الحدس والتوقع الكافي الذي يستدعي نهج طرق متكاملة وناجعة من خلال استعمال أمثل للعلم والمعلومات العلمية ولأحدث المعارف المتوفرة. وفي هذا الصدد، تشكل ضرورة تقويم الصورة المقرونة بعلوم الأرض أهمية كبيرة. وهذا يستدعي النهوض بعلوم الأرض والبيئة لدى العموم وكذلك تقويم ثروة كوكبنا «الأرض».

في الكلمة التي ألهاها صاحب الجلالة الملك محمد السادس، نصره الله، أمام قمة جوهانسبورغ سنة 2002، أوضح فيها جلالته الرهانات الكبرى المتعلقة بالاحتياجات البيئية إذ قال حفظه الله: «إننا مطالبون باعتماد إستراتيجية جماعية متكاملة قائمة على شراكة حقيقية وتضامن فعلي وقرب ناجع ووضع ضوابط لتطويق الأخطار الناجمة عن التحولات المناخية وعن الاستغلال المفرط للثروات المائية والغابوية والسمكية والضغط الممارسة على الانظمة البيئية والتنوع البيولوجي. فنهوض المجموعة الدولية بمسؤولياتها كاملة في هذا المجال هو الكفيل بتبديد كل المخاوف وبعث التفاؤل من جديد في انبثاق مواطنة كونية تقوم على التضامن الإنساني الفعال في نطاق شراكة فاعلة بين الدول والمجتمع المدني والقطاع الخاص والمنظمات الإقليمية...»

إن هذه الكلمات الحكيمة ذات الرؤية السديدة والمتنورة تدعونا إلى تقويم معرفة كوكبنا الأرض والإسهام في الحفاظ على التوازنات الكبرى لنظام الأرض، «مع مواصلة استعمال الثروات بدون تبذير للموارد من أجل ضمان عيش أفضل ورخاء أكثر للأجيال التي تلينا». كما ذكرت بذلك منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلوم والثقافة «يونسكو» و «الاتحاد الدولي لعلوم الأرض».

**أصحاب السعادة،  
سيداتى،**

إنها بمشاركتها في تخليد السنة الدولية للأرض، إرتأت الأكاديمية أن تخصص الموضوع العام لهذه الدورة لهذا الحدث الدولي، وحصه كبيرة من اشغالها لاهمية علوم الأرض.

وإنى أغتنم هذه المناسبة لأتوجه بتشكراتي الحارة إلى جميع الشخصيات التي أبت إلا أن تشرفنا بحضورها ومشاركتها في هذه الدورة الرسمية العامة للأكاديمية.

كما أتوجه بالشكر الجزيل، إلى جميع الشخصيات العلمية البارزة، التي أتت من خارج وداخل المملكة، على قبولها دعوتنا للمشاركة في هذه الدورة بتقديم محاضرات او عروض علمية.

يوصي العالم الكبير إنشتاين "بأهمية إعطاء الفرصة إلى أوسع العموم للقيام بتجارب واعية وذكية لبعض الأنشطة ونتائج البحث العلم" ويضيف "أن حصر المعرفة على مجموعة صغيرة ومحدودة من الاختصاصيين تقتل الفكر الفلسفي عند الشعب وتخلق الفراغ على المستوى الاخلاقي". إن نتائج البحث الممولة من طرف المال العام، تعتبر بمثابة "معطيات عمومية"، وفي هذا الصدد، يجب نشرها للعموم وللمواطنين، كما أن عملية نشر المعلومة والمعارف العلمية هي من مهام الباحثين والاساتذة الباحثين ومؤسسات البحث العمومية.

### أصحاب السعادة،

سيداتي، سادتي،

إن أحسن مثال لتوضيح أهمية نشر المعرفة ووضع المعلومة العلمية والتقنية لدى العموم هي المعرفة التي باتت متوفرة عند الجيولوجيين في العالم. وذلك نظرا لأن المعطيات المحصلة والمعلومات المتوفرة الناتجة عن علم الجيولوجيا، هي ذات أهمية قصوى لفهم كوكبنا "كوكب الأرض"، ولجرد ثرواته واكتشاف ثروات جديدة وتقييم مدى ضرورة الحفاظ عليها من أجل تحسين مستوى عيش المواطنين ومن أجل تأمين التوازنات الكبرى للكوكب الذي ننتمي إليه.

إن انعقاد الدورة العامة الرسمية للأكاديمية يتزامن هذه السنة مع تخليد "السنة الدولية للأرض" التي نادت بها الجمعية العامة لمنظمة الأمم المتحدة في دجنبر من سنة 2005 والتي كرستها تحت موضوع "علوم الأرض في خدمة الإنسانية".

إن الهدف الأساسي من هذه المبادرة هو العمل على جعل كوكبنا "الأرض" أكثر أمنا وسلامة وغنى بالنسبة للمجتمعات البشرية من خلال تحسين استخدام المعارف التي باتت متوفرة عند الاختصاصيين في علوم الأرض. ولقد أعطيت انطلاقة هذه المبادرة الدولية الهامة خلال الاسبوع المنصرم، بباريس، من طرف الاتحاد الدولي لعلوم الأرض واليونسكو. هذا الحدث الذي شاركت فيه الأكاديمية، والذي تم فيه اعتماد تصريح باريس حول السنة الدولية لكوكب الأرض الذي يشجع بصفة خاصة البحث العلمي في ميادين علوم الأرض من أجل تنمية معارف جديدة في خدمة التنمية المستدامة.

إن الهدف من الاحتفاء بالسنة الدولية لكوكب الأرض يسعى إلى دفع مزيد من الشباب نحو دراسة علوم الأرض، والتأكيد على الأهمية الرئيسية لهذه العلوم في تحديد مستقبلنا، وتشجيع أصحاب القرار على استخدام المعارف المتوفرة في هذا المجال، في إعداد وبلورة السياسات الوطنية.

أصبحت علوم الأرض تغطي اليوم مجالات واسعة بالنسبة للمعارف وتطبيقاتها، إنها اتسعت خلال العقود الأخيرة من خلال الأخذ بعين الاعتبار التفاعلات الكائنة بين مختلف الأجواء المحيطة بكوكب الأرض بما فيها المحيط الهيدرولوجي والمحيط البيولوجي وكذلك بفعل التحولات الناتجة عن الأنشطة البشرية.

إن الإنسان في حاجة ماسة إلى كوكب الأرض، إنه يتوقف على الأرض بصفة كلية، لأنه ينحدر من الأرض، ويتطور على الأرض، وسيظل عليها بشرط أن يحافظ على توازن نظامها. لهذا يجب على الإنسان أن يستعمل المعلومات المتوفرة لديه لفهم نظام الأرض من أجل المحافظة على أرض مستدامة. إن الأرض ملك لنا جميعا، وهي تراث يجب أن نسلّمه لأطفالنا، علما أن هناك إكراه كبير

مليون درهم. وتشمل هذه البحوث مختلف الميادين والتخصصات العلمية تهتم العلوم الدقيقة، وعلوم الحياة، وعلوم الهندسة والعلوم الاقتصادية. وفي نفس السياق، واعتباراً لمهام الأكاديمية المنصوص عليها في الظهير الشريف باعتبارها مؤسسة للتفكير والتوجيه في مجال التنمية العلمية، مكلفة «بالقيام بالدراسات والتحليل والتحريرات في قطاع البحث» وكذلك «بمتابعة التقدم التكنولوجي باستمرار لما فيه مصلحة المجموعة الوطنية»، وتطبيقاً لتوصية اجتماعنا، خلال الدورة السابقة، شرعت الأكاديمية في التفكير في واقع البحث العلمي في بلادنا، وفي الإنجازات والآفاق في هذا القطاع. و سنطلع خلال هذه الدورة على المعطيات الحديثة بخصوص الإنتاج العلمي الوطني.

أما النشاط الثالث القوي، خلال السنة الماضية، كان هو تنظيم أسبوع «الشباب والعلم»، في صيغته الثانية، الموجه بالخصوص نحو تلاميذ الإعداديات والثانويات، حول موضوع «اكتشاف الفضاء : أهميته التربوية»، مكن مؤسستنا من تشجيع نشر الثقافة العلمية عند شبابنا، كما ينص على ذلك القانون المحدث لها.

تلكم هي بعض الأنشطة التي قامت بها أكاديميتنا خلال سنة 2007، وسيتم تقديم تقرير مفصل عن كل أعمال وأنشطة الأكاديمية أثناء السنة المنتهية في جلسة يوم الجمعة 22 فبراير من هذه الدورة.

### أصحاب السعادة، سيداتي، سادتي،

أصبحت العلوم والتكنولوجيات اليوم حاضرة في الحياة اليومية وفي العديد من النقاشات العمومية. كما أصبحت المعرفة والمعلومات العلمية ونشرها مسألة ضرورية بالنسبة لتنمية أي بلد، وحجر الزاوية بالنسبة لكل تدبير فعال ولكل تنمية هادفة في المجال الاقتصادي والاجتماعي. لقد أصبحنا ننتقل تدريجيا من اقتصاد يعتمد بالاساس على الصناعة إلى اقتصاد المعرفة عبر صيرورة تاريخية تطورت بفضل الإبداع والابتكار؛ فمن عصر النهضة الصناعية (نهاية القرن الثامن عشر) انتقلنا إلى الثورة الإعلامية والبيولوجية التي نعيشها اليوم. وفي هذا السياق، نجد البحث العلمي يأخذ عند كل الدول التي لا تريد أن تبقى خارج سياق التاريخ، مكانة أساسية وأولوية وطنية، ويصبح كعامل قوي في ازدهار وتقدم تلك الدول مثله كمثل الصناعة والتجارة أو القدرات العسكرية. وما عبّر عنه أحمد زويل (الحاصل على جائزة نوبل في الكيمياء سنة 1999)، «أن العلم والتكنولوجيا هما العملة الصعبة في القرن 21» لآحسن دليل على ذلك.

أمام هذه التحولات، أصبح من الضروري العمل على أن تتمكن العلوم والتكنولوجيا من مسايرة التطلعات الاجتماعية والاقتصادية والثقافية للمجتمع، وأن تتمكن من الإنصات إلى طلباته واحتياجاته. إن المشاكل الاجتماعية كالبطالة والفقر، واستنفاد الطاقة الحضرية، والأمن الغذائي، وتدهور البيئة، والوقاية من الكوارث الطبيعية، والتنمية المستدامة، والأمراض المعدية... كلها مشاكل وتساؤلات يضعها المواطنون، أملين على أن يتمكن التقدم العلمي من وجود الحلول المناسبة لها.

لقد صار الاهتمام بتساؤلات الرأي العام مسألة أساسية في تنظيم العلاقات بين البحث العلمي والمجتمع، لقد أصبحنا اليوم نعيش في مجتمع الإعلام والتواصل الذي يضمن النهوض الثقافي والفكري للجميع.

## بسم الله الرحمن الرحيم

أصحاب السعادة،  
السيدات والسادة أعضاء الأكاديمية،  
سيداتي، سادتي،

إنه لمن دواعي الاعتزاز أن أتناول الكلمة بمناسبة افتتاح الدورة العامة الرسمية لسنة 2008 لأكاديميتنا، إننا نلتئم مجدداً، في رحاب أكاديمية المملكة، لعقد إحدى أهم أنشطة مؤسستنا، التي تتيح لنا الفرصة كي نجتمع كلنا بصفة منتظمة للحوار والتواصل بين المجموعة العلمية الوطنية والنخبة العلمية العالمية، بهدف المساهمة في تنمية وإشعاع المعرفة العلمية، مستحضرين دائماً ما أوصى به صاحب الجلالة الملك محمد السادس، نصره الله، يوم 18 مايو 2006 عند تنصيب أكاديميتنا بأن «ننهج طريقة تدريجية، تعتمد برمجة واقعية، مع استحضار أن الهدف الاسمي يظل هو خدمة وطننا، والإسهام في تنمية العلوم بأبعادها الكونية».

تعتبر الدورة العامة الرسمية لأكاديميتنا لحظة متميزة تمكنا من الإطلاع على التطور المتزايد للعلوم وكذلك فرصة للتفكير والتأمل في الشروط التي تمكن من ازدهار العلوم وإشعاع نتائجها. إنها مناسبة لترسيخ مكانة بلادنا كارض للحوار، وملتقى لرجالات العلم والمعرفة، ولتعبئة كل الطاقات والوسائل من أجل القيام بمهامنا على أحسن وجه.

أصحاب السعادة،  
سيداتي، سادتي،

لقد مضت سنة كاملة على انعقاد الدورة العامة الرسمية الثانية لأكاديميتنا، والتي تمت فيها دراسة ومناقشة برامج العمل ومشاريع البحوث المقدمة من طرف الهيئات العلمية والتي تدعمها الأكاديمية خلال الفترة الممتدة من سنة 2007 إلى سنة 2009. وكانت الدورة السالفة مناسبة للاستماع ومناقشة عدة عروض علمية تقدم بها عدد من أعضاء الأكاديمية وعدد من العلماء الباحثين والشخصيات العلمية، مغاربة وأجانب، في شتى ميادين العلوم والمعرفة، همت في مجملها مسألة التنمية البشرية.

كما مكنت تلك الدورة من تبادل مثمر للأفكار والآراء بين المشاركين أفضى إلى وضع خطة عمل طموحة، توافقية، وواقعية وملموسة، سمحت لمختلف هيئات الأكاديمية من تطوير أنشطتها وأداء مهامها.

فخلال السنة المنصرمة، تمكنا من تفعيل إحدى المهام الرئيسية لمؤسستنا المنصوص عليها في الظهير الشريف لإحداثها المتعلقة بالنهوض بالبحث العلمي والتقني وتمويل برامج البحث، حيث تم تخصيص غلاف مالي لدعم 20 مشروع للبحث على مدة تتراوح بين 3 و 4 سنوات قدره 55



كلمة الأستاذ عمر الفاسي الفهري  
أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات  
في  
الجلسة الافتتاحية الرسمية لاشغال الدورة العامة الثالثة  
لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

- الأربعاء 20 فبراير 2008 -



ورعياً للتطور المتزايد الذي يعرفه البحث العلمي على مستوى الإنتاج العلمي الدولي، وعلى مستوى إدماجه في المحيط الاجتماعي والاقتصادي الوطني والدولي، عالج المشاركون في هذه الدورة، مسألة تقييم الإنتاج العلمي الوطني، واطلعوا على تجارب أجنبية في هذا المجال. كما انكب أعضاء الأكاديمية على الدراسة الوافية للتقرير السنوي لأعمال وأنشطة الأكاديمية، كانت مناسبة لتعميق النقاش في تجربتها الفتية، مع الحرص على أن تقوم بمهامها على أحسن وجه، وتتمكن في الإسهام في رفع ما تطرحه التنمية من تحديات، ولا سيما منها تلك المرتبطة بالتنمية البشرية.

كما تم خلال هذه الدورة التوقيع على اتفاقية تعاون علمي بين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات والمجلس الأعلى للبحث العلمي الإسباني. وتميزت هذه الدورة كذلك بتخصيص حصة من أشغالها للترحيب بأعضاء الأكاديمية الجدد الذين حظوا بشرف تعيينهم من قبل جنابكم الشريف.

وقد استحضر المشاركون، من خلال مناقشاتهم ومداخلاتهم، جميع التوجيهات النيرة والنصائح الغالية التي ما فتئت جلالتم تولونها باستمرار لتنمية البحث العلمي والابتكار التكنولوجي حتى يرقى إلى المكانة الرفيعة في سلم القيم الوطنية، وهي توجيهات تعبر عن رغبة جلالتم الأكيدة في أن تصبح هذه المؤسسة، التي تحظى برعايتكم السامية، مرجعاً في مجالات العلم والتكنولوجيا والأخلاق المرتبطة بها، داعين الله تبارك وتعالى أن يجعلهم عند حسن ظن صاحب الجلالة وجديرين بثقته الغالية.

وفق الله جلالتم لما فيه خير هذا البلد الأمين وأقر عينكم بولي عهدكم الجليل صاحب السمو الملكي الأمير مولاي الحسن وبصاحبة السمو الملكي الأميرة الجليلة للاخديجة، وشد أزركم بشقيقكم السعيد صاحب السمو الملكي الأمير مولاي رشيد، وبسائر أفراد العائلة الملكية الشريفة، إنه على ما يشاء قدير، وبالإجابة جدير.

والسلام على السدة العالية بالله ورحمة الله تعالى وبركاته.

خديم الأعتاب الشريفة  
عمر الفاسي الفهري

حرر بالرباط في 14 صفر 1429 الموافق ل 22 فبراير 2008

## بسم الله الرحمن الرحيم، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

حضرة صاحب الجلالة،

حفظكم الله يا مولاي، وسدد خطاكم، وخلد في الصالحات ذكركم، والسلام على مقامكم العالي بالله ورحمته وبركاته.

مولاي صاحب الجلالة،

بعد تقديم ما يليق من فروض الطاعة والولاء، وكل ما يليق بمقامكم من واجب التبجيل والإجلال، يتشرف خديم الاعتاب الشريفة عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، أصالة عن نفسه ونيابة عن أعضاء الأكاديمية، المشاركين في الدورة العامة الرسمية الثالثة لهذه المؤسسة، المنعقدة بعاصمة مملكتكم أيام الأربعاء والخميس والجمعة 12 و13 و14 صفر 1429 هجرية، موافق ل 20 و21 و22 فبراير 2008 ميلادية، أن يتقدم إلى سيدنا المنصور بالله بأصدق مشاعر التقدير والاحترام، معبرا للسدة العالية بالله عما يغمر أعضاء الأكاديمية من فخر واعتزاز، بعد مساهمتهم في أشغال هذه الدورة، مغتنمين هذه المناسبة للتجديد لجلالتكم عن التزامهم الأكيد وحرصهم التام على العمل من أجل تنمية بحث علمي متقدم، ومستحضرين دائما أن الهدف الاسمي يظل هو خدمة هذا الوطن العزيز، مستنيرين في ذلك بتوجيهاتكم الجليلة ونصائحكم السديدة.

مولاي صاحب الجلالة،

تميزت أشغال هذه الدورة بالإسهام في الاحتفاء بالسنة الدولية لكوكب الأرض التي أقرتها الجمعية العامة للأمم المتحدة بهدف العمل على جعل كوكبنا مكانا أكثر أمنا وسلامة وغنى بالنسبة للمجتمعات البشرية من خلال تحسين استخدام المعارف العلمية التي باتت متوفرة.

وفي هذا الصدد، تم تقديم عدة عروض علمية تتعلق بعلوم الأرض، من قبل عدد من أعضاء الأكاديمية وعلماء باحثين مدعويين مغاربة وأجانب، شملت المجالات العلمية التالية:

- الجرائط الجيولوجية وتديير الثروة الجيولوجية،
- الاحواض المائية وتديير المياه الجوفية،
- التديير النمدج للمناطق البحرية الساحلية.

كما استمع الأكاديميون والمدعوون إلى عدد من المداخلات شملت مواضيع علمية مرتبطة بأنشطة الهيئات العلمية للأكاديمية همت علوم الاقتصاد، وعلوم الفيزياء والكيمياء وعلوم الرياضيات والإعلاميات.

نص البرقية المرفوعة  
إلى السدة العالية بالله  
صاحب الجلالة الملك محمد السادس



• هيئة علوم الهندسة، النقل والإبداع التكنولوجي :

المدير: انتخاب السيد فيليب طانكي

نائب المدير: انتخاب السيد التجاني بونحميدي

• هيئة الدراسات الإستراتيجية والتنمية الاقتصادية :

المدير: انتخاب السيد نور الدين العوفي

نائب المدير: انتخاب السيد محمد بريان

انتخاب مجلس الأكاديمية الجديد :

يتكون مجلس الأكاديمية الجديد من أعضاء بالصفة وهم السادة عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم، بصفته رئيساً، مصطفى بوسمين، أمين السر الدائم المساعد، ومحمد آيت قاضي، مدير الجلسات، بالإضافة إلى ثلاثة أعضاء منتخبين من طرف مديري الهيئات العلمية وهم السادة البير ساسون (أعيد انتخابه)، إدريس أبو تاج الدين (أعيد انتخابه) وأحمد الحسني (تم انتخابه).

انتخاب لجنة الأعمال :

اجتمعت الأكاديمية خلال جلسة مغلقة لتعيين أعضاء لجنة الأعمال حيث أصبحت تتألف من أمين السر الدائم بصفته رئيساً، وأمين السر الدائم المساعد ومدير الجلسات وأربعة أعضاء مقيمين وهم السادة مالك غلاب (أعيد انتخابه)، رشيد بلمختار (تم انتخابه)، عبد الإله بن يوسف (أعيد انتخابه)، إدريس وازار (أعيد انتخابه)، والمختار الساسي الذي سيحضر كملاحظ.

الجلسة الختامية :

بعد تكوين وانتخاب أعضاء الأجهزة المشرفة على إدارة الأكاديمية، عقدت الجلسة الختامية التي تميزت بالموافقة على البرقية التي رفعها الأكاديميون إلى السدة العالية بالله صاحب الجلالة الملك محمد السادس، حفظه الله وسدد خطاه، والمشفوعة بمشاعر الاحترام والامتنان نحو مولانا المنصور بالله صاحب الجلالة الملك محمد السادس أعز الله أمره.



- السماح بدعم وتشجيع مشاريع البحث بمبادرة «تلقائية» من الباحثين مع ضرورة الاعتبار دائما أن تتوفر فيها معايير الجودة والامتياز؛
- اعتبار عنصر تداخل التخصصات عند اختيار مشاريع البحث التي سيتم دعمها؛
- الأخذ بعين الاعتبار الميزانية المرسودة والاولويات الوطنية المحددة من طرف السلطات المكلّفة بالبحث العلمي، وكذلك الدعم المقدم من قبل المؤسسات الوطنية أو الأجنبية الأخرى بالنسبة للمشاريع المدعّمة؛
- تحسين مقاييس ومناهج انتقاء المشاريع مع مراعاة مردوديتها وقيمتها العلمية؛
- يجب الإشارة إلى الميزانية الإجمالية المخصصة لطلب العروض وكذلك الميزانية المرسودة لكل مشروع بحث؛
- اللجوء عند الضرورة إلى الخبرة الخارجية لتقييم المشاريع؛
- إيجاد بعض المجالات في ميدان البحث العلمي التي يستطيع المغرب، وفي آجال معقولة، أن يصبح فيها رائدا على الصعيدين العلمي والاقتصادي.

#### 4- تنظيم الدورات العامة :

- تقليص عدد العروض العلمية خلال الدورة العامة الرسمية وتخصيص حصة من الوقت أكبر للمناقشة.

الجمعة 15 صفر 1429 الموافق ل 22 فبراير 2008 (بعد الزوال)

#### اجتماع الهيئات العلمية الجلسة الختامية

استأنفت الأكاديمية أشغالها يوم الجمعة بعد الزوال، حيث اجتمعت كل هيئة علمية على حدة لانتخاب مديرها ونائبه. وأسفرت النتائج على ما يلي :

#### • هيئة علوم وتقنيات الأحياء :

المدير: إعادة انتخاب السيد ألبير ساسون  
نائب المدير: إعادة انتخاب السيدة رجاء العواد

#### • هيئة علوم وتقنيات البيئة والأرض والبحر :

المدير: إعادة انتخاب السيد أحمد الحسني  
نائب المدير: إعادة انتخاب السيد محمد الجلال

#### • هيئة علوم الفيزياء والكيمياء :

المدير: انتخاب السيد عبد الإله بن يوسف  
نائب المدير: انتخاب السيد حسن السعيد

#### • هيئة علوم النمذجة والإعلام :

المدير: إعادة انتخاب السيد ادريس أبو تاج الدين  
نائب المدير: انتخاب السيد يوسف أكنين

على تنميته وعلى نشر العلم في بلادنا عن طريق تمويل بعض مشاريع البحث تتميز كلها بالجودة وبفائدتها لصالح تنمية البلاد (حيث تم تخصيص غلاف مالي قدره 55 مليون درهم لمدة 3 أو 4 سنوات لهذا الغرض) ونشر الثقافة العلمية خصوصا لدى تلاميذ الإعداديات والثانويات، وفي نفس الوقت تم الشروع في بناء مقر الأكاديمية الجديد. هذا وإن الأكاديمية تقوم بالتعريف بكل إنجازاتها على الخصوص عن طريق طبع ونشر مختلف أنشطتها (أشغال الدورات العامة، دليل الأكاديمية، النشرة الإخبارية التي تصدر مرتين في السنة ورسالة الأكاديمية التي تصدر أربع مرات في السنة) وإحداث الموقع الإلكتروني للأكاديمية بأربع لغات.

بعد ذلك، قدم السيد نائب أمين السر الدائم مقترحات الهيئات العلمية بخصوص طلب العروض 2008-2009 والمواضيع العلمية المقترحة، والتي ستنظر فيها قريبا لجنة الأعمال ومجلس الأكاديمية قصد أخذ القرار النهائي في شأنها.

بعد تقديم هذين العرضين، جرت مناقشة واسعة بين الأكاديميين أسفرت في جملتها على عدد من التوصيات :

### 1- نقاط عامة :

- القيام بدراسة حول تطور البحث العلمي في بلادنا؛
- العمل في أقرب الآجال على تحديد دفتر التحملات المتعلق بطلب العروض الذي سيوجه سنة 2008 إلى المجموعة العلمية الوطنية؛
- تطوير التنسيق بين الفاعلين في ميدان البحث العلمي من أجل متابعة تطور مؤشرات العلوم والتكنولوجيات؛
- تنمية التنسيق بين مختلف الفاعلين في ميدان البحث العلمي (الوزارة، الجامعات، المركز الوطني للبحث العلمي والتقني، القطاع الخاص...) وذلك من أجل ترشيد الوسائل، فيما يخص دعم البحث العلمي، وجعله أكثر فعالية مع تفادي ازدواجية العمل في هذا المجال.
- إنشاء لجنة للخبراء تقوم بمتابعة برنامج العمل الاستراتيجي الذي تمت الموافقة عليه سنة 2007.
- في كل الحالات ضرورة اعتبار أن «الهدف الأسمى للأكاديمية يظل هو خدمة وطننا، والإسهام في تنمية العلوم على مستوى عالمي».

### 2- عمل الهيئات العلمية :

- دعم ومساندة في كل الحالات الامتياز والجودة؛
- دعوة الهيئات العلمية لتنظيم موائد مستديرة و ندوات تقدم وتناقش فيها المواضيع العلمية التي هي من اهتمام كل هيئة ؛
- إدراك مشكلة أفقية المواضيع بين الهيئات العلمية بالعمل على تشجيع الاجتماعات التنسيقية بين مديري الهيئات العلمية؛
- اعتبار عنصر تداخل التخصصات عند اختيار مشاريع البحث التي سيتم دعمها؛
- تشجيع وتقوية عمل الهيئات العلمي باتجاه الباحثين الشباب وخلق فضاءات للقاء بين الهيئات العلمية والباحثين الشباب؛

### 3- تنمية البحث العلمي ودعم الجودة :

- العمل في أقرب الآجال على تحديد دفتر التحملات المتعلق بطلب العروض الذي سيوجه سنة 2008 إلى الباحثين المغاربة المعنيين بالمواضيع التي حددتها لجنة الأعمال والتي تم اقتراحها من قبل الهيئات العلمية؛

- «دور المعتقدات في مسار التنمية الاقتصادية» (الأستاذ نور الدين العوفي، من المغرب)؛
- «مجالات محلية وقابلية التشكل للمواد المتبلرة» (الأستاذ أندري الزاوي، من فرنسا)؛
- «التحويل الحفاز للميتان على المواد المسفطة والتنمية المستدامة» (الأستاذ محفوظ زياد، من المغرب)؛
- «المحافظة على التنوع البيئي الزراعي عن طريق دعم تديره في المزرعة في الأنظمة البيئية الزراعية المغربية» (الأستاذ محمد صديقي، من المغرب).

وفي نهاية هذا اليوم، وعلى هامش الدورة الرسمية لسنة 2008، تم تكريم الأستاذ مالك غلاب، العضو المقيم بالأكاديمية وعضو اللجنة المؤسسة لها ومدير قسم العلوم والتكنولوجيا ب معهد «INRIA» بفرنسا. وقد قام خلال هذا الحفل التكريمي، الأستاذ جان ديركور، العضو المشارك بأكاديميتنا، وأمين السر الدائم لأكاديمية العلوم الفرنسية، بتوشيح صدر الأستاذ مالك غلاب، باسم رئيس الجمهورية الفرنسية، بوسام جوقة الشرف من درجة فارس، وذلك بحضور سفير الجمهورية الفرنسية بالمغرب، وجميع أعضاء الأكاديمية، وكذلك أصدقاء وأفراد عائلة الأستاذ مالك غلاب.

وتناول الكلمة خلال هذا الحفل التكريمي، الأستاذ عبد اللطيف بريش، أمين السر الدائم لأكاديمية المملكة المغربية، والأستاذ عمر الفاسي الفهري، والأستاذ جون ديركور، والأستاذ مالك غلاب، وكذا سفير الجمهورية الفرنسية المعتمد بالرباط، السيد جان فرنسو تيبولت.

وفي نفس اليوم وقبل مأدبة العشاء المنظمة على شرف المدعوين بمناسبة انعقاد الدورة الرسمية لسنة 2008، نظم حفل تكريمي كذلك على شرف الأستاذ مصطفى بوسمينية بمناسبة تعيينه من قبل صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، نائبا لأمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

## الجمعة 14 صفر 1429 الموافق ل 22 فبراير 2008 (صباحا)

### تقرير حول أعمال وأنشطة الأكاديمية لسنة 2007

### وطلب العروض 2008-2009

في بداية الجلسة الصباحية، تم الاستماع إلى عرضين علميين يتعلقان بعلوم الكيمياء وعلوم الرياضيات والإعلام قدما من لدن باحثين مغربيين :

- «تثمين الجبص الفسفوري في صناعة الإسمنت - جوانب فيزيائية وكيمائية وبيئية» (عبد الجبار الديوري، الرباط) ؛
- «دراسة ميكانيكيات الحركة في لقطات الفيديو» (السيدة فدوى السنوني، الرباط).

بعد هذين العرضين، تناول الكلمة الأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، وقدم التقرير السنوي للأعمال والأنشطة التي قامت بها الأكاديمية منذ دورة فبراير 2007.

وذكر أمين السر الدائم في هذا التقرير بالأعمال التي قامت بها مختلف هيئات الأكاديمية تنفيذا للمهام المنصوص عليها في الظهير المحدث للأكاديمية مع الاستحضار الدائم للتوجيهات والنصائح الملكية الغالية التي جاءت في الخطاب الملكي السامي بإكادير يوم 18 ماي 2006. وقد فضلت الأكاديمية خلال هذه الفترة العمل وعلى وجهات متعددة الأشكال انطلاقا من إحداث نواة إدارة الأكاديمية وانتهاء بالمساهمة في التفكير حول واقع البحث العلمي بالمغرب، مروراً بالعمل

**الخميس 13 صفر 1429 الموافق ل 21 فبراير 2008 (صباحا)  
الاحتفاء بالسنة الدولية لكوكب الأرض (تتمة)**

خصصت الجلسة الأولى لصبيحة يوم الخميس 13 صفر 1429 الموافق ل 21 فبراير 2008 لمتابعة الاحتفاء بالسنة الدولية لكوكب الأرض، تم خلالها إلقاء ثلاثة عروض علمية :

- عرض حول «السنة الدولية لكوكب الأرض» (الأستاذ جان ديركور، من فرنسا)؛
- عرض حول «تدبير الرصيد الجيولوجي» (الأستاذ باطريك دوويفر، من فرنسا)؛
- عرض حول «المعرفة والدبلوماسية والتنمية المستدامة» (الأستاذ عبد الحميد زكري، من ماليزيا).

**الخميس 13 صفر 1429 الموافق ل 21 فبراير 2008 (صباحا)  
البحث العلمي: الإنتاج العلمي، تقويم أنشطة البحث والتجارب الأجنبية**

تميزت الجلسة الثانية ليوم الخميس 13 صفر 1429 الموافق ل 21 فبراير 2008 بتوقيع اتفاقية تعاون بين أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات والمجلس الأعلى الإسباني للبحث العلمي. وقد وقع هذه الاتفاقية من الجانب المغربي الأستاذ عمر الفاسي الفهري، أمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات، وعن الجانب الإسباني الأستاذ كارلوس مارتينيس ألونسو، رئيس المجلس الأعلى الإسباني للبحث العلمي.

ثم تابعت الأكاديمية أشغالها، وذلك بتقديم عروض علمية مخصصة لموضوع «البحث العلمي: الإنتاج العلمي، تقويم أنشطة البحث وتجارب أجنبية». وفي هذا الصدد، قدمت أربع مداخلات، هي :

- «تقييم البحث العلمي بالمغرب باستعمال البيبليومتريا» (الدكتور حميد بوعبيد، من المغرب)؛
- «تقديم بعض نتائج الدراسة «ESTIME» (السيدان لويجي روسي ورولان فاست، من فرنسا)؛
- «تجربة اللجنة الوطنية لتقييم البحث العلمي في فرنسا» (الأستاذ جان ديركور، من فرنسا)؛
- «التكنولوجيا، الأفاق، تقييم البحث العلمي واختيار استراتيجية للتنمية: تقرير عن ندوة سويدية فرنسية حول تقييم أنشطة البحث» (الأستاذ إيريك ساندوفال، من السويد).

**الخميس 13 صفر 1429 الموافق ل 21 فبراير 2008 (زوالا)  
مداخلات علمية**

تميزت جلسة يوم الخميس مساء بالتنصيب الرسمي للأستاذ مصطفى بوسمينة، الذي عينه صاحب الجلالة الملك محمد السادس، نصره الله، نائبا لأمين السر الدائم لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات؛ وكذا باستقبال ثلاثة أعضاء جدد بالأكاديمية، عينهم صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله؛ ويتعلق الأمر بالسادة: عبد العزيز مزيان بلفقيه (عضو مقيم)، ومارسيلو فاسكونسلوس دي سوزا (عضو مشارك)، والسيد إسماعيل اقلعي (عضو مراسل).

بعد ذلك، قدمت ستة عروض علمية في ميدان علم الاقتصاد، وفي ميدان علوم الفيزياء وأخيرا في العلوم الزراعية :

- «اقتصاد المعرفة» (الأستاذ جون أوريلي، من بريطانيا)؛
- «المخاطر المرتبطة بالأسهم في زوبعة البورصة - من أجل مقارنة مشروطة لخطر بيطا» (الأستاذ نيكولا مومني، من فرنسا)؛

انعقدت الدورة الرسمية العامة لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات لسنة 1429 هجرية الموافق لسنة 2008 ميلادية بمقر أكاديمية المملكة بالرباط أيام 12 و 13 و 14 صفر 1429 الموافق ل 20، 21 و 22 فبراير 2008.

### الأربعاء 12 صفر 1429 الموافق ل 20 فبراير 2008 الجلسة الافتتاحية الاحتفاء بالسنة الدولية لكوكب الأرض

انعقدت الجلسة الافتتاحية للدورة العامة الرسمية الثالثة لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات يوم الأربعاء 12 صفر 1429 الموافق ل 20 فبراير 2008 على الساعة التاسعة صباحا بحضور أعضاء الأكاديمية والشخصيات المدعوة.

أثناء الجلسة الافتتاحية ألقى أمين السر الدائم للأكاديمية الأستاذ عمر الفاسي الفهري كلمة تعرض فيها للموضوع العام الذي تنعقد الدورة تحت شعاره والمخصص للسنة الدولية لكوكب الأرض، كما أعطى نظرة وجيزة لأهم الأعمال التي قامت بها الأكاديمية خلال سنة 2007. وفي هذا الباب، فإن الأكاديمية فضلت في عملها منذ تنصيبها من قبل صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله الإقيام بأعمال في عدة واجهات تدخل كلها في إطار مهامها كما يحددها القانون. وفي كلمته عبر أمين السر الدائم عن الامتنان العميق لكل أعضاء الأكاديمية وعن شكرهم الجزيل لصاحب الجلالة لما يولييه حفظه الله من عناية كريمة لأكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات.

عقب هذه الجلسة الافتتاحية انتخب أعضاء الأكاديمية السيد محمد آيت قاضي مديرا للجلسات خلفا للسيد رشيد بنمختار بن عبد الله بعدما انتهت مدة ولايته.

خصص الموضوع العلمي العام للدورة الرسمية لسنة 2008 للاحتفاء بالسنة الدولية لكوكب الأرض تمشيا مع قرار الاتحاد الدولي لعلوم الجيولوجيا ومنظمة اليونسكو UNESCO، وتم خلال هذه الدورة تقديم عدة عروض حول هذا الموضوع من قبل شخصيات علمية مغربية وأجنبية.

خلال الجلسة الصباحية ليوم الأربعاء 12 صفر 1429 الموافق ل 20 فبراير 2008، قدمت ثلاث مداخلات تتعلق بعلوم الأرض وهي :

- «الخرائط الجيولوجية في المغرب والتنمية المستدامة» (الأستاذ أحمد الحسني، من المغرب)؛
- «الديناميكيات والازمة البيئية في نهاية العصر الطباشيري (نهاية الدهر الثاني)» (الأستاذ فيليب طاكي، من فرنسا)؛
- «النيازك في المغرب: رصيد علمي غني وإرث يجب الحفاظ عليه» (السيدة حسناء الشناوي، من المغرب).

أثناء جلسة الزوال تم تقديم أربع مداخلات حول الموارد المائية والموارد السمكية :

- «دور العلم والتكنولوجيا في مجال الماء، مقارنة للتجربة الدنماركية» (الأستاذ توركيل جونش كلوزن، من الدنمارك)؛

- «استعمال المياه الجوفية: مؤيدون ومعارضون» (الأستاذ مانويل رامون ياماس، من إسبانيا)؛
- «نماذج عن التقدم الحاصل في البحث الهيدرولوجي: السيلان، النقل، التفاعل بين المياه الجوفية والمياه السطحية» (الأستاذ راندال هانسون، من الولايات المتحدة الأمريكية)؛
- المحيط والمناطق الساحلية: رهان سياسة مندمجة (الأستاذ مارسيلو فاسكونسلوس من البرتغال).

تقرير حول جلسات الدورة العامة الرسمية  
لسنة 1429 هجرية الموافق لسنة 2008 ميلادية

الرباط، أيام 12 و 13 و 14 صفر 1429  
موافق 20 و 21 و 22 فبراير 2008





## مقدمة

إن تخليد السنة الدولية لكوكب الأرض، كما قررتها الجمعية العمومية للأمم المتحدة في شهر دجنبر 2005 تحت شعار : «علوم الأرض في خدمة الإنسانية» يهدف أساسا إلى أن يجعل من كوكبنا أرضا أكثر أمانا وسلامة وأكثر غنى لفائدة سكانها باستعمال صائب للمعارف التي توصل إليها أخصائيو علوم الأرض.

وعلى إثر الاجتماع المنعقد بمقر اليونسكو بباريس، الذي كان بمثابة انطلاقة لهذه السنة، تم اعتماد ماسمي بإعلان باريس حول السنة الدولية لكوكب الأرض. إن هذا الإعلان يشجع بالخصوص البحث العلمي في مجال علوم الأرض في خدمة التنمية المستدامة.

وتهدف هذه المبادرة إلى استقطاب مزيدا من الشباب نحو التخصص في علوم الأرض وكذا تشجيع أصحاب القرار للاستعانة بالمعارف المتوفرة من أجل تسيير الاستراتيجيات الوطنية.

إن التأثيرات، العالمية والجهوية، المرتبطة بالتغيرات المناخية والاستهلاك المفرط للموارد المائية بالإضافة إلى ندرة الموارد الطاقية والمعدنية والمنجمية تستدعي إيقاظ الضمير العالمي حول المشاكل البيئية وزيادة الاهتمام لدى الرأي العام بالتوازنات الكبرى لكوكب الأرض والمشاكل المترتبة عن ذلك. وإنما في حاجة إلى تثمين الصورة المرتبطة بعلوم الأرض، مما يقتضي توسيع نشر علوم الأرض والبيئة على العموم وكذا استثمار رصيد كوكبنا.

وقد أشار بوضوح صاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله، في خطابه بمناسبة انعقاد قمة جوهانسبورغ سنة 2002، إلى العوامل الرئيسية المتداخلة في مسألة الاحتياجات البيئية « ... يجب علينا اعتماد استراتيجية جماعية وشاملة على أساس شراكة حقيقية وتضامن فعلي وسياسة قرب فعالة. كما يجب علينا وضع المعايير الضرورية لدرء تهديد التغيرات المناخية والاستغلال المفرط للموارد المائية والغابوية والبحرية إلى جانب تهديد الضغوطات الممارسة على النظم الإيكولوجية والتنوع البيولوجي. إن تحمل المجموعة الدولية لمسؤولياتها التامة والكلية في هذا المجال لمن شأنه أن يبدد كل المخاوف، وسيساعد على إحياء الأمل فيها ببلورة مواطنة كونية مبنية على تضامن إنساني فاعل في إطار شراكة فعالة فيما بين الدول والمجتمع المدني والمنظمات الجهوية ... »

هذه المقتطفات من الخطاب الملكي، التي تنطوي على حكمة ورؤية بعيدة، تستدعينا للعمل على تثمين معرفة كوكبنا والمساهمة في المحافظة على التوازنات الكبرى لمنظومة الأرض مع مواصلة، كما يذكر بذلك الاتحاد الدولي للعلوم الجيولوجية ومنظمة اليونسكو، «استعمال خيراتها دون تبذير الموارد من أجل ضمان حياة أفضل للأجيال القادمة».

وإحتفاء بالسنة الدولية لكوكب الأرض، ارتأت أكاديميتنا تخصيص الموضوع العام للدورة العامة الرسمية لسنة 2008 لهذا الحدث الدولي وخصصت الحيز الكبير من أشغالها لعلوم الأرض.

أمين السر الدائم



المملكة المغربية  
أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات



أشغال الدورة العامة الرسمية  
لسنة 2008

الرباط 20 - 22 فبراير 2008





صاحب الجلالة الملك محمد السادس - حفظه الله -  
راعي أكاديمية الحسن الثاني  
للعلوم والتقنيات