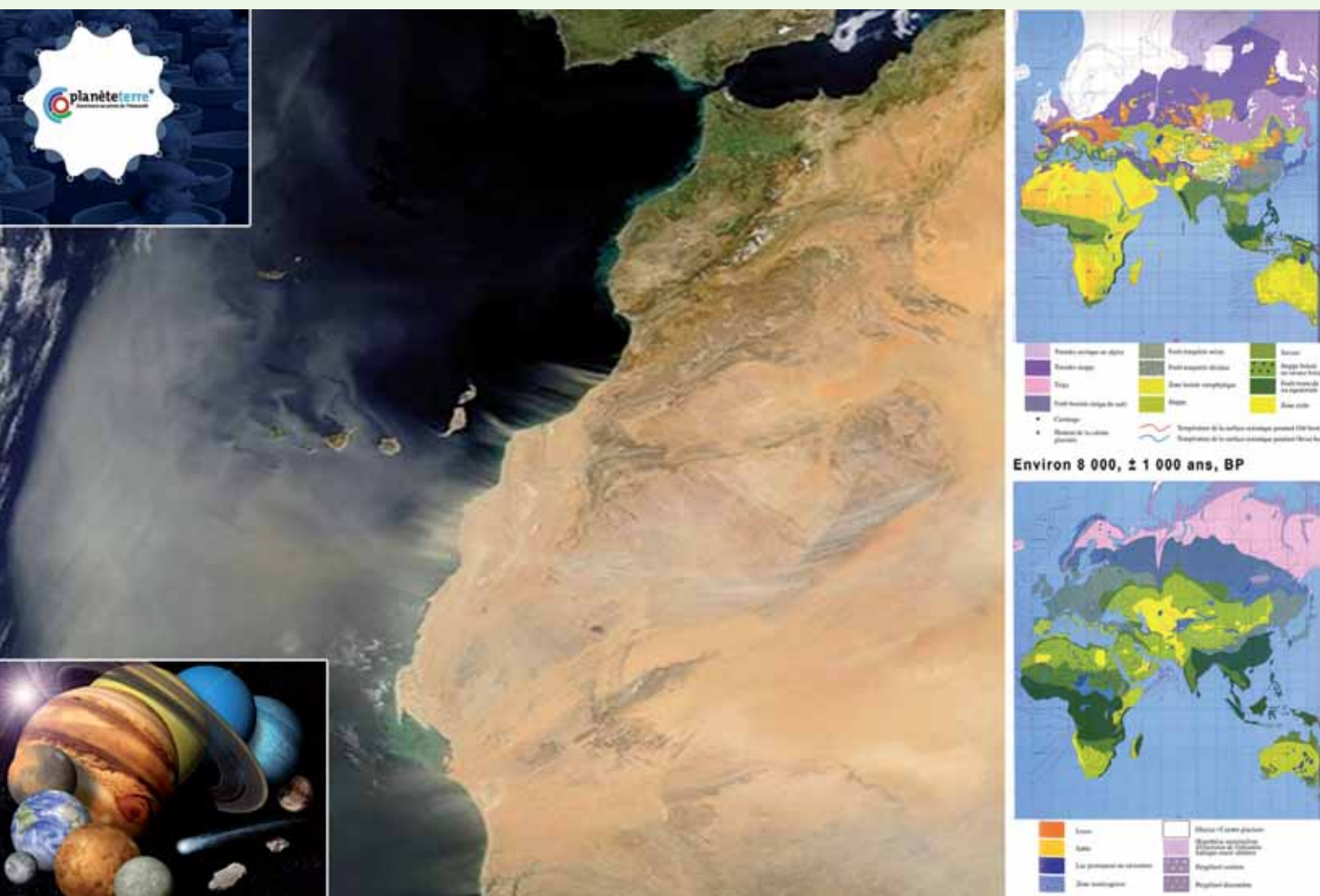


Bulletin d'Information de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques

n°3
juin 2008

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



Sommaire

• Editorial	7	• Cartographie géologique et développement durable	75
• Présentation de l'Année Internationale de la Planète Terre	9	• L'information géospatiale pour la gestion durable des ressources naturelles	83
• Agua y desarrollo sostenible	10	• Le Patrimoine géologique	87
• Océan et zones côtières : le défi d'une politique intégrée	25	• Patrimoine naturel et développement durable	91
• Ressources halieutiques marocaines	40	• «Fenêtre» sur la richesse du Maroc en minéraux, roches et fossiles	92
• Examples of advances in ground-water modeling	46	• Activités de l'Académie	97
• Les dinosaures et la crise environnementale de la fin du Crétacé	57	• Echanges et Coopération	109
• Les météorites du Maroc	63	• Nouvelles des académiciens	110

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

n°3
juin 2008

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

Publié par :

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques
225, Avenue Belhassan El Ouazzani, Quartier Ambassador - Rabat.
Tél : 037 75 01 79 Fax : 037 75 81 71 E-mail : acascitech@menara.ma

Site web : www.academie.hassan2.sciences.ma

Directeur de la publication : Omar FASSI-FEHRI
Rédacteur en Chef : Mohamed Ait-KADI

Dépôt légal : 2007 / 0067

Réalisation : AGRI-BYS S.A.R.L (A.U)

Impression: Imprimerie LAWNE
11,rue Dakar, Rabat 10 000



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

Editional

S'il y a un meilleur 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 de pouvoir assurer les grands équilibres de la planète à laquelle nous appartenons tous.

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 pour développer de nouvelles connaissances au service du développement durable.

Cette initiative a aussi pour but d'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 d'une meilleure prise en compte des interactions entre les différentes sphères constitutives de notre planète y compris l'hydrosphère, la biosphère et l'atmosphère ainsi que des modifications introduites par l'activité humaine.

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.

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 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.

Dans le cadre de cette session, plusieurs communications scientifiques ont été présentées sur le thème «Planète Terre». La compilation de ces communications dans ce Bulletin confirme l'action de notre Académie pour l'élargissement du rayonnement des sciences et du savoir, et tend vers l'objectif fixé à l'Académie par Sa Majesté le Roi «servir le pays et contribuer au développement de la science mondiale».

Pr. Omar FASSI-FEHRI

Célébration de l'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 (IUGS) et reconnue par l'UNESCO en octobre 2005. L'ensemble des géosciences réunies au sein de l'IUGS s'y sont associées. Cette Année est centrée sur 2008, a été préparée en 2007 et se prolongera en 2009.

65 pays ont constitué des Comités scientifiques d'organisation.

Pour quels objectifs?

- Faire connaître aux élèves, aux étudiants et à leur entourage, les apports des géosciences à l'amélioration du mode vie et à la satisfaction des besoins vitaux de tous les peuples.
- Accompagner la croissance démographique (6 milliards à la fin du 20^{ème} 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 milliards d'années), 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 modelant 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.)

Conclusion

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.



“AGUA Y DESARROLLO SOSTENIBLE”

“La gestión del agua más allá de los países”

Frederico MAYOR
Ex. Directeur Général
de l'UNESCO



I. Agua es vida

Si el agua es vida, todos los seres vivos, y en particular los seres humanos, tienen que tener acceso a este líquido transparente que, hasta hace pocas décadas, se consideraba un “bien natural”, es decir, libremente ofrecido por la naturaleza. Progresivamente, sin embargo, el incremento de la población y el tránsito del hábitat rural al urbano han hecho necesario acumular, conducir, depurar, reciclar, producir... agua potable, convirtiendo la adecuada distribución de los recursos hídricos en auténtica clave de la salud, de la calidad de vida y de la justicia social. Su gestión a escala local, nacional e internacional constituye un gran desafío que debe enfrentarse con conocimientos, tecnología e imaginación en los albores de un siglo y milenio en el que, para estar a la altura de las circunstancias, los gobernantes deberán contar con el pueblo, que ya no se resignará a aceptar calladamente los designios del poder.

En efecto, la sociedad civil, ha sido en general invisible y anónima, utilizada eventualmente para las manifestaciones de fuerza pero su talento y experiencia -gran tesoro tradicionalmente mal gastado- han permanecido ocultos, inexplorados, desconocidos. A finales del siglo XX y particularmente en la última década tuvo lugar un fenómeno social que ha producido y producirá transformaciones de hondo calado en el comportamiento ciudadano a escala “glocal”: la adquisición de una conciencia planetaria, darse cuenta de que el tiempo de la resignación y del silencio ha concluido y que corresponde a los ciudadanos, en un genuino sistema democrático, tomar en sus manos las riendas del destino. Destino común, como por primera vez puede contemplarse y, por tanto, comparar, uno de los pilares fundamentales de la ética. Esta cosmo-visión forja actitudes propias de ciudadanos capaces de influir decididamente a través de su participación activa, en la gobernación de los pueblos. Poder ciudadano que se ejercerá progresivamente para conferir a la sociedad civil el protagonismo que le corresponde.

No creo aventurado calcular que, a mediados de siglo XXI, con la tecnología de la comunicación más adecuada todavía para la participación no presencial y con un porcentaje de influencia femenino muy superior al actual -calculado en el 5% a nivel mundial-, la genuina democracia se consolidará a todas las escalas y se iniciará una nueva era: la de la ciudadanía. Se habrá producido una gran transición desde vasallos y súbditos a ciudadanos plenos. De una cultura de imposición, violencia y guerra a una cultura de diálogo, conciliación y paz. De una economía de guerra a una economía de desarrollo global (infraestructuras, energía renovables, acceso generalizado al agua y a la nutrición, vivienda...). Los Estados se habrán asociado a escala regional (Estados Unidos de Europa, de América del Sur, de África,...). Y las Naciones Unidas habrán visto, por fin, convertida en realidad la fantástica previsión que, de manera tan clarividente, escribieron sus fundadores al principio de la Carta en 1945: “Nosotros, los pueblos...”.

Sin embargo, el sueño de Roosevelt no se convirtió en realidad. No fueron “los pueblos” sino los Estados los que integraron la Asamblea General de las Naciones Unidas que, por otra parte, fue desprovista progresivamente de atribuciones, que se concentraron en el Consejo de Seguridad donde los cinco países “vencedores” de la II Guerra Mundial tenían - y siguen teniendo- derecho al veto. El “Sistema” de las Naciones Unidas estaba perfectamente diseñado para conseguir “...evitar a las generaciones futuras el horror de la guerra”, es decir, construir la paz a través de la educación, la ciencia y la cultura (UNESCO), el acceso a un trabajo digno (OIT), la salud (OMS), la alimentación (FAO), ... con programas dedicados específicamente a la infancia (UNICEF) y al desarrollo (PNUD), ya que estaba muy claro, después de una guerra devastadora, que para con-vivir pacíficamente era necesario com-partir tanto los bienes materiales como el conocimiento. Pero, como sucediera al final de la I Guerra Mundial con el Presidente Woodrow Wilson, pronto prevaleció la fuerza sobre el diálogo (Sociedad de Naciones) pronto el proverbio abominable de “si quieres la paz, prepara la guerra” se impuso, junto a las ambiciones de los países más poderosos, a la preparación de una estrategia de paz liderada por las Naciones Unidas y guiada por la Declaración Universal de los Derechos Humanos.

Y así, se convierten en préstamos las ayudas prometidas para el desarrollo; los países más prósperos se unen (G7, G8) de tal modo que es una plutocracia la que va minando la autoridad internacional de las Naciones Unidas, como “democracia global”; en lugar de los valores intransitorios de la justicia, libertad, igualdad y solidaridad proclamados en la propia Constitución de la UNESCO, en lugar de esforzarse en la distribución equitativa y en proporcionar unas condiciones de

vida mínimas acordes con la dignidad humana, se cae en la trampa de una economía regulada por el mercado; las grandes instituciones financieras, como el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial (del que se omite normalmente su “apellido” de “para la reconstrucción y el desarrollo”) no cumplen sus objetivos fundacionales y se constituyen en herramientas obedientes a los designios de los países más acaudalados; la Organización Mundial del Comercio se sitúa, a iniciativa de los Estados Unidos y en una prueba fehaciente de la progresiva marginación y debilitamiento de las Naciones Unidas, fuera de su ámbito; los Estados ven mermadas su autoridad nacional e internacional y su capacidad de acción por un proceso de progresiva privatización que traslada buena parte del poder real a grandes corporaciones supranacionales...

El resultado está a la vista: carentes de instituciones internacionales capaces de regular los distintos aspectos de la gobernanza mundial, tráfico de la índole más perversa (armas, drogas, capitales, patentes... personas!) tienen lugar en la mayor impunidad, sin que sea posible castigar a los transgresores, amparados, además, en las manos turbias de los paraísos fiscales; delitos contra el medioambiente, con la producción de gases con efecto invernadero o el deterioro de la capacidad de captura del anhídrido carbónico por parte de los océanos (debido a petroleros que lavan los fondos de sus tanques en alta mar en lugar de hacerlo en las instalaciones apropiadas de los puertos); la concentración progresiva de poder económico, tecnológico y mediático en lo que, junto a la industria bélica, constituye el “gran dominio”; invasiones y guerras por objetivos económicos y energéticos, basadas en supuestos falaces, y la activación de proyectos espaciales... al tiempo que la brecha que separa a los países prósperos de los menesterosos en la aldea global no deja de ampliarse en lugar de reducirse. En estos albores de siglo y de milenio es patente una contradicción insoportable éticamente: mientras cada día se invierten 3 mil millones de dólares en armas, 60 mil personas mueren de hambre y sed. Esta realidad inadmisiblemente, esta vergüenza colectiva debe ser una espuela en favor de la movilización popular, de tal modo que en pocos años la sociedad civil pueda alcanzar el protagonismo propio del otro mundo posible que la humanidad anhela.

Este otro mundo posible en el que la educación permitirá a todos los seres humanos, únicos e irrepetibles, “dirigir con sentido su propia vida”. No ser nunca más espectadores, impasibles, indiferentes, receptores obedientes a quienes, con frecuencia desde lejanas instancias de poder, dictan su comportamiento cotidiano. Serán los ciudadanos “educados” los que, cada uno en la medida de

sus posibilidades, participará en los asuntos que le conciernen. El que contribuirá al cambio esencial, en todo el planeta, de la fuerza a la palabra, del músculo al intelecto. De la razón de la fuerza a la fuerza de la razón. Del silencio a la expresión de las opiniones reflexivamente elaboradas. Del fanatismo y del dogmatismo a la conversación, a la escucha. Ciudadanos educados capaces de hacer frente a la fuerza colosal de la cultura de guerra para transformarla en progreso compartido por una cultura de desarrollo, de tolerancia, basada en la radical igualdad en dignidad de todos los seres humanos. Una cultura de paz y desarrollo global que erradique la pobreza, que favorezca las energías renovables, el acceso al agua y a la alimentación,... en la que, los Ministerios de Defensa (¡antes Ministerios de la Guerra!) se convertirán en pocos años en “Ministerios de la Paz”, de tal modo que la eventual participación de los ejércitos bajo el mando de las Naciones Unidas se convierta en actividad permanente en favor de la justicia y la concordia. En resumen, se habrá producido el tránsito desde una cultura del predominio a la de la democracia genuina.

Para ser posible este despegue que permita que se cumplan puntualmente los Objetivos del Milenio⁽¹⁾, la tarea más urgente es la de favorecer la implicación ciudadana -desde los consejos municipales hasta los parlamentos nacionales y regionales así como en las instituciones internacionales- para que todos los seres humanos y no sólo unos cuantos puedan vivir plenamente, sin restricciones, el misterio de su existencia... Y, para ello, además de la visión global y de la conciencia deliberada de la propia responsabilidad, es necesaria una “reapropiación del tiempo”, en palabras de María Novo, para que actuemos en virtud de nuestras reflexiones, para que “aprendamos a ser”, como objetivo principal de todo el proceso educativo.

Como se indica en el preámbulo de la Declaración Universal de los Derechos Humanos, se trata de liberar a la Humanidad del “miedo y de la miseria”. Para ello, es tiempo de acción, es tiempo de valores, es tiempo de solidaridad. Tiempo de ciudadanía plena y participativa. Tiempo de democracia plena.

Es en este contexto en el que aparece en todo su relieve la decisión de haber consagrado la ExpoZaragoza 2008 a un elemento esencial para la vida, para la calidad de vida, para la calidad de la Tierra misma. Agua para todos, responsabilidad compartida. Este es, precisamente, el título del Segundo Informe Mundial de las Naciones Unidas relativa a la disponibilidad de los recursos hídricos⁽²⁾, del que entresacamos algunos párrafos de particular interés.

Los recursos hídricos del planeta responden a múltiples demandas: la bebida, la higiene, la

producción de bienes alimenticios, energéticos e industriales, y la conservación de los ecosistemas naturales. Sin embargo, los recursos en agua son limitados y desigualmente repartidos, lo que complica su gestión, ya que nos hallamos confrontados al desafío que representa su gestión y desarrollo de manera sostenible, frente a las considerables presiones ejercidas por el crecimiento económico, el aumento de la población, la transformación de sus asentamientos y el cambio climático. Por otra parte, dado que las interacciones de los distintos integrantes del ciclo hidrológico no se hallan con frecuencia bien establecidos, resulta difícil diseñar estrategias de protección y de prevención adecuadas. El clima, en especial las precipitaciones y las temperaturas, es el principal responsable de los recursos hídricos, ya que se halla en permanente interacción con la tierra, los océanos y la topografía. Todos los componentes de este ciclo -precipitaciones, infiltraciones, evaporación, transpiración...- deben tenerse en cuenta cuando se elaboran planes de gestión. Además de la contribución de la lluvia y la nieve y su influencia directa en el desarrollo agrícola y los ecosistemas terrestres, es cada día más relevante disponer de datos relativos a las aguas subterráneas y los acuíferos, en particular en los países en los que la ausencia de recursos hídricos de superficie es crítica.

En numerosas regiones del mundo, la influencia humana llega a ser más importante que la de los factores naturales. Con la construcción de embalses,

canales y pantanos, por ejemplo, se modifican los cursos fluviales y todo el sistema hídrico "capilar". Por otra parte, la deforestación, la urbanización y el aumento de cultivos tienen una influencia significativa en la cantidad y calidad del agua superficial. ¿Cómo se puede compensar la variabilidad natural del ciclo hidrológico de tal manera que el recurso hídrico permanezca disponible de forma continuada? ¿Cómo superar la reducción de la calidad y cantidad de los recursos naturales disponibles afectada por el impacto de las actividades humanas y del desarrollo industrial y agrícola? Las nuevas tecnologías capaces de aumentar los recursos naturales disponibles y de reducir el consumo de agua al tiempo que se obtiene un rendimiento incluso mejor, forman parte de las respuestas a estas preguntas. En efecto, todos los enfoques y métodos que propician la reducción del consumo de agua, en sus diversas facetas, forman parte de una gestión moderna de los recursos hídricos. La disminución del consumo y la optimización del mismo requieren un cambio considerable de comportamientos tanto de las instituciones y servicios públicos como de los ciudadanos, de tal manera que se refleje, de un lado, la voluntad política y, de otro, la responsabilidad asumida por la sociedad.

En un planeta habitado por 6.250 millones de personas actualmente, más de 1.200 millones no tienen acceso al agua. Se calcula que alrededor de 4 millones de niños mueren cada año por consumir



agua contaminada y por falta de condiciones higiénicas y sanitarias. Hace falta un gran pacto un mundial por el agua. Dentro de los “Objetivos del Milenio”, las Naciones Unidas han propuesto reducir a la mitad, en el año 2015, el número de personas que actualmente no tiene acceso al agua.

Es importante establecer la distribución del agua a nivel global⁽³⁾:

En el Informe de las Naciones Unidas “Agua para todos, agua para la vida”⁽⁴⁾ se hace especial énfasis en que la verdadera tragedia de la carencia de recursos hídricos es su efecto sobre la vida cotidiana de las poblaciones pobres, que sufren el peso de las enfermedades relacionadas con el agua, viviendo en entornos degradados y a menudo peligrosos, luchando por conseguir una educación para sus hijos, por ganarse la vida y por solventar sus necesidades básicas de alimentación. La crisis pesa así mismo sobre el entorno natural que cruje bajo la montaña de desechos que se vierten a diario y por el exceso de uso o uso indebido que de él se hace, con aparente desinterés por las consecuencias y por las generaciones venideras.

La crisis del agua debe situarse en una perspectiva más amplia de solución de problemas y de resolución de conflictos, en general. Tal como lo indicó la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible en el año 2002: “Erradicar la pobreza, cambiar los patrones de producción y consumo insostenibles y proteger y administrar los recursos naturales del desarrollo social y económico constituyen los objetivos primordiales y la exigencia esencial de un desarrollo sostenible”. Para la adecuada gestión del agua, a escala local y mundial, continúa existiendo la urgente necesidad de contar con una amplia serie de variables socioeconómicas que ayuden a cuantificar el uso del agua: la tasa de extracción/consumo de agua y el suministro de agua disponible. Estas dos variables reunidas producen un valioso indicador del uso relativo del agua y de la capacidad de los sistemas hídricos para suministrar los servicios necesarios.

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente el 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas. La precipitación constituye la principal fuente de agua para todos los usos humanos y ecosistemas. Esta precipitación es recogida por las plantas y el suelo, se evapora en la atmósfera mediante la evapotranspiración y corre hasta el mar a través de los ríos o hasta los lagos y humedales.

Estimaciones recientes sugieren que el cambio climático será responsable de alrededor del 20% del incremento de la escasez global de agua. Actualmente, 1.100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua y 2.400 millones no tienen acceso a sistemas de saneamiento. La buena gestión del agua en las ciudades en una tarea compleja que requiere, por un lado, la gestión integrada de los suministros de agua tanto para necesidades domésticas como industriales, el control de la contaminación y el tratamiento de las aguas residuales, así como la gestión del caudal pluviométrico (incluyendo el agua de tormentas), la prevención de inundaciones y el uso sostenible de los recursos hídricos.

El “Informe global de evaluación del suministro de agua y del saneamiento” publicado en el año 2000 por la OMS y el UNICEF, especifica que un suministro razonable de agua debe corresponder a 20 litros mínimos por persona y día, procedente de una instalación situada a menos de un kilómetro de la vivienda del usuario.

El gran desafío es asegurar el suministro de alimentos para una población mundial creciente tanto en virtud de la demografía como de la longevidad. La principal fuente de alimentos es la agricultura, que incluye cultivos, ganado, piscicultura y silvicultura. La mayor parte de la agricultura depende de la lluvia, pero las tierras de regadío representan alrededor de una quinta parte de la zona cultivable total de los países en desarrollo. El riego consume alrededor de un 15% del agua de uso agrícola, que representa el 70% del consumo total de agua.

Es muy importante destacar, por cuanto antecede, las distintas “presiones” que sufren los ecosistemas de agua dulce: crecimiento de población y del consumo; desarrollo de infraestructuras (presas, canales, diques, desvíos, etc.); conversión de tierras; exceso de cosecha y explotación; introducción de especies exóticas; descargas de contaminantes en tierra, aire o agua... He de destacar que la producción agrícola ha crecido más rápidamente que la población mundial en las últimas décadas - caracterizadas por una disminución de la natalidad, debido principalmente a la mejor educación- y nada indica que esta tendencia vaya a variar. A pesar de ello, se calcula en 800 millones el número de personas sub-alimentadas en los países en desarrollo y, si no se modifican drásticamente las tendencias actuales -propias de una economía “globalizada” que, regida por las “leyes del mercado”, no atiende los requerimientos de los más desfavorecidos- es altamente improbable que esta situación pueda reducirse a la mitad antes del año 2030.



Figura 4
Usos alternativos del agua según el nivel de ingreso de los países

El uso industrial del agua aumenta según el nivel de ingresos del país, variando desde el 10% en países de ingresos medios y bajos hasta el 59% en países de ingresos elevados.

Fuente: Banco Mundial, 2001.

El uso doméstico se sitúa, a escala mundial, en la franja del 8 al 11% únicamente. Las mayores variaciones se hallan, como puede observarse en esta gráfica en el uso industrial y agrícola:

El agua vertida por las industrias puede ser de muy mala calidad y, a no ser que se la trate de forma adecuada, constituye una amenaza para las propiedades de las aguas superficiales y subterráneas a las que afluye. Por este motivo, la formación en materia de gestión de la demanda, combinada con la transferencia de tecnología, puede beneficiar tanto al medioambiente como al rendimiento económico de las empresas. Uno de los capítulos de mayor interés del mencionado Informe⁽⁴⁾ es

el que, como “desafío octavo”, se refiere a compartir el agua. El agua debe compartirse fundamentalmente de dos maneras: entre sus diferentes usos (energía, ciudades, alimentación medioambiente, etc.) y entre los diferentes usuarios (regiones administrativas o países que comparte una misma cuenca o acuífero). Una gestión equitativa y sostenible del agua común requiere instituciones flexibles y holísticas, capaces de responder a variaciones hidrológicas, cambios socioeconómicos, valores de la sociedad y, especialmente en el caso de curso de agua internacionales, cambios de régimen político.

Para la gestión integrada de los recursos hídricos, la unidad de base es la cuenca, allí donde las aguas superficiales y subterráneas se unen de modo inextricable entre sí, en relación con la utilización y gestión de la tierra. En la actualidad existen 261 cuencas internacionales y 145 naciones poseen territorios en cuencas compartidas. Aunque sus límites rara vez coinciden con los límites administrativos existentes, se progresa gracias a una legislación e instituciones apropiadas. A pesar del potencial conflictivo, la experiencia demuestra que en las cuencas compartidas prevalece la cooperación. En los últimos 50 años se han firmado 200 tratados relativos a los distintos cursos fluviales internacionales (excluyendo el tema de la navegación). En lo que respecta a la gestión de los acuíferos transfronterizos, el avance es netamente insuficiente, a pesar del volumen masivo del agua de que se trata, a menudo de excelente calidad. Las estructuras de gestión de cuencas transfronterizas que existen desde hace ya tiempo y que han acreditado su resistencia, proporcionan una valiosa experiencia. Es preciso disponer de estructuras de gestión adaptables, con una distribución de beneficios equitativa y con un mecanismo bien elaborado para la resolución de conflictos.

La crisis del agua es esencialmente una crisis de gestión de los asuntos públicos o, en otras palabras, de gobernabilidad. Queda claro que los principios básicos de una gestión efectiva de los asuntos hídricos incluye la participación de todos los interesados, la transparencia, la equidad, la responsabilidad financiera, la coherencia, la capacidad de reacción, la integración y las cuestiones éticas. Y, para todo ello, es indispensable asegurar la difusión de los conocimientos básicos, que cada día se consolida como una responsabilidad colectiva. La información y el saber son una de las claves del desarrollo, de la posibilidad de mejorar los medios de subsistencia, de la participación en la defensa de la calidad del medioambiente y de la consolidación de la democracia. La producción y difusión del conocimiento -para ampliar la educación, facilitar la investigación, desarrollar aptitudes y reducir la diferencia entre ricos y pobres- requieren voluntad política, inversión y cooperación internacional. Los

conocimientos básicos en el ámbito del agua son excepcionalmente amplios porque abarcan la salud, la agricultura/acuicultura, la industria, la energía y los ecosistemas. La enseñanza de las ciencias del agua es un punto de partida estratégico para el advenimiento de una nueva ética de la gestión de los asuntos hídricos.

Se trata, en efecto, de una responsabilidad compartida: hay agua para todos. El problema al que debemos enfrentarnos hoy es principalmente un problema de buena gobernación. Cómo compartir el agua de manera equitativa asegurando al mismo tiempo la perennidad de los ecosistemas naturales⁽²⁾. Los principales desafíos de una gestión moderna de los recursos hídricos no pueden comprenderse fuera del contexto de los sistemas socioeconómicos mundiales. Además de la evolución demográfica, la mayor longevidad y los movimientos de población ya mencionados, la pobreza, los conflictos y las enfermedades emergentes y evitables afectan todavía a una parte considerable de la población mundial, tanto en los países en desarrollo como en las zonas periurbanas de los países más prósperos.

En efecto, el estado de la salud humana se halla directamente relacionado a un conjunto de condiciones propias de la calidad del agua: su potabilidad, la adecuación de los sistemas de saneamiento, el retroceso de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua y la salubridad de los ecosistemas de agua dulce. No cabe duda, por tanto, que una de las grandes acciones de un nuevo sistema económico mundial que debería ser el de promover el desarrollo sostenible global en lugar de fomentar una economía de guerra, es la de las infraestructuras y tecnologías relacionadas con el tratamiento del agua, incluyendo en ello algo tan elemental como lo que promoví desde la UNESCO para que, además de tener que recorrer largos trechos para conseguir unos litros de agua, no tuvieran las mujeres africanas que recoger un poco de leña para hervirla: “las cocinas solares”, que permiten, por la concentración de rayos solares mediante un sistema de espejos, alcanzar rápidamente la ebullición del agua. Numerosos trastornos patológicos podrían controlarse por un sistema de acceso universal al agua potable y a las prácticas apropiadas de gestión del agua, servicios sanitarios e higiénicos.

Agua y comida: estas son, que nadie se engañe, las dos grandes prioridades para que pueda iniciarse la gran transformación social que ya no admite aplazamientos, si realmente deseamos un siglo XXI en el que la prosperidad de unos cuantos pueda sustituirse, teniendo en cuenta la igual dignidad de todos los seres humanos, por el bienestar de muchos. Existen las posibilidades científicas y técnicas para

garantizar el suministro de agua potable necesaria así como de los alimentos propios de una dieta adecuada, de tal manera que pronto, en este otro mundo posible en el que soñamos, pueda ser realidad que no mueran de desamor e insolidaridad 60 mil personas diariamente de inanición. Que esta vergüenza colectiva que inquieta nuestra conciencia se convierta en resuelta actitud de ayuda. Manos tendidas y nunca más alzadas. Si queremos, podemos. Ningún desafío, dijo el Presidente Kennedy en el mes de junio del año 1963, se halla fuera del alcance de la capacidad creativa que distingue a la condición humana. Para convivir pacíficamente, com-partir generosamente. Com-partir y des-vivirse: he aquí la solución.

II. Derecho a la vida, derecho al agua

El derecho a la vida, es el derecho supremo porque sin ella no puede ejercerse ningún otro derecho. Y está directamente relacionado con el derecho a la alimentación, al agua, a la salud... En el IV Foro Mundial del Agua celebrado en México en el mes de marzo del año 2006, se evitó incluir el agua como uno de los derechos fundamentales del ser humano. Una vez más, el “realismo” de quienes abogan por la privatización del suministro del agua hizo que, con matices, se evitara reconocer tan esencial componente del derecho a una vida digna. ¿El agua es una mercancía o un derecho humano? Dos tratados internacionales de las Naciones Unidas -las Convenciones sobre la eliminación de la Discriminación de la Mujer y la de Derechos del Niño- reconocen este derecho, que el propio Banco Mundial, en un sorprendente cambio de su posición tradicional, ha manifestado la conveniencia de no encomendar al mercado sino a la Administración, como servicio público, ya que ha quedado claro que los subsidios a las tarifas no benefician a los más pobres sino a las clases más adineradas.

El Instituto de Derechos Humanos de Cataluña, dos meses después de la reunión de México, convocó una reunión sobre el “Derecho a disponer de Agua Potable”, en el marco del proyecto de la Carta de Derechos Humanos Emergentes. También en junio de 2006, refiriéndose a la ExpoZaragoza 2008, Fernando Alberca publicaba un excelente artículo sobre “una nueva cultura del agua”⁽⁵⁾. Indica que sólo el 1% del agua de la Tierra es potable y no puede abastecer una demanda que se ha duplicado en dos décadas. La regulación de los recursos hídricos se perfila, escribe, como una de las claves geopolíticas del siglo XXI. Pedro Arrojo, Profesor de Análisis Económicos de la Universidad de Zaragoza y Presidente de la Fundación Nueva Cultura del Agua, comentaba, alarmado, que se están manteniendo expectativas de nuevos regadíos en los que no se asume el principio de recuperación íntegra de los

costes reales de producción. “Es comprensible, añadía, que en regadíos ya existentes se reconozcan unos derechos adquiridos y no se haga pagar el agua a coste real porque este sería un desastre para los regantes. Pero lo que no se puede hacer es aplicar este precio subvencionado para futuros cultivos de regadío ecológicamente insostenibles en zonas de secano, cuando no desérticas. Es aceptable, concluía, que gestionemos la irracionalidad existente, pero no que la incrementemos”.

La “Organización de Humanidad Unida” había publicado, antes de la reunión de México, un importante artículo de Octavio Chon y José Antonio Martínez Escobedo en el que se abordaban los grandes enfoques que podrían conducir a que la humanidad lograra gestionar con sabiduría los escasos recursos hídricos, de tal manera que los acuerdos al respecto “se conviertan en fuente de Derecho Internacional”. Se propone una “Federación por el agua”, en donde se representen los intereses de todos los habitantes de la Tierra. En julio de 2006, se celebró en Nantes, Francia, el II Foro Mundial de los Derechos Humanos, titulado “De los Principios Universales a la Acción Local”. Organizado por la Comunidad Urbana de Nantes, la UNESCO y la “Maison des citoyens du monde”, una de las sesiones abordó “el Derecho al Agua”, en la disyuntiva de recurso inalienable y comercialización: responsabilidades de la Comunidad Internacional, de los Gobiernos (locales y nacionales), de las ONG’s y de los operadores privados. Los procesos de descentralización, indicaron los participantes, bien conocidos en los países del norte y ya iniciados en numerosos países en desarrollo, sitúan a los poderes locales en el centro de los servicios esenciales a las poblaciones, entre los que el aprovisionamiento de agua potable es uno de los más cruciales.

Sin que se ignoren los costes de producción y distribución, ¿cómo conseguir que el agua no sea considerada como un simple bien económico sino como un bien común al que todos tienen que tener acceso para satisfacer necesidades tan primarias como la sed y la higiene? En el mismo sentido, Joaquín Estefanía publicaba el 20 de noviembre de 2006 un artículo en “El País” titulado “El Agua como Derecho Humano”. El agua, dice Estefanía, es la representación más natural de la globalización, ya que cruza fronteras sin pasaporte ni documentación: 145 países comparten cuencas hidrográficas transfronterizas, en las que se encuentran los lagos y las aguas subterráneas poco profundas, y su número va en aumento debido en gran medida a la desintegración de la antigua URSS y de la antigua Yugoslavia. En 1968 existían 214 cuencas internacionales, ascendiendo su número a 263 en la actualidad. El informe del PNUD⁽²⁾ plantea la consideración del agua como un derecho humano

y la posibilidad de una buena gobernanza. El gasto actual en agua; su financiación pública más allá de que el subministrador sea público o privado; la crisis mundial de saneamiento, que provoca millones de muertes evitables y que se debe en gran medida a la contaminación causada por las aguas residuales domésticas, etc., son alguno de los aspectos que debe regular la normativa sobre esta materia prima tan singular. Como ya he indicado, la propuesta del PNUD consiste en un plan de acción mundial que reconozca el acceso a 20 litros de agua limpia al día como un derecho humano.

En un importante artículo publicado en el Herald Tribune del mes de noviembre de 2006, Kevin Watkins, Director de la oficina de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Humano, aboga por el reconocimiento del agua potable como un derecho humano y apremia a los países en desarrollo a que inviertan como mínimo el 1% de su PIB en facilitar el acceso al agua potable, poniendo especial énfasis en que debe destinarse sobre todo a los pobres en lugar de, una vez más, consentir que buena parte de los subsidios benefician a los ricos. Watkins considera que con una ayuda exterior de 4.000 millones de dólares (menos de lo que se invierte en armamento en 48 horas) podría solucionarse en gran medida, como complemento a los esfuerzos locales, la disponibilidad de agua limpia en estos países.

La Fundación France Libertés, que preside con infatigable acierto Danielle Mitterrand, celebró a finales del año 2006 unas jornadas internacionales “Por el Derecho de Acceso al Agua”. Fueron abordados los temas siguientes: “Hacia una gestión pública, social y participativa del agua” y “El agua, derecho humano y bien común de la humanidad”. Al final de las jornadas se aprobaron unas importantes propuestas para la regulación internacional del agua. Dentro de este capítulo quiero citar, finalmente, el que se destina al Derecho Humano al Agua, escrito por Peter H. Gleick, en la excelente revista “Economía Exterior”, editada por uno de los más rigurosos y lúcidos comunicadores de nuestro tiempo, Darío Valcárcel, en el volumen dedicado íntegramente al agua, en 2007⁽⁷⁾. Gleick considera que los pactos y convenios internacionales establecen que el agua es tanto un derecho fundamental como un “derecho derivado”, es decir, forma parte de los derechos que se tratan de modo más explícito. El artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos reza así: “Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que asegure a ella y a su familia la salud y el bienestar y, en especial, la alimentación, el vestido, la vivienda...”. Concluye el autor que puede interpretarse que las normas internacionales sobre Derechos Humanos incluyen el derecho al acceso de una cantidad de agua suficiente y de calidad

adecuada para satisfacer el derecho explícito a la vida y los derechos a la salud y al bienestar. Esta interpretación ha sido plenamente ratificada por la Observación General 15 de las Naciones Unidas, publicada en noviembre de 2002, que apoya el derecho humano de acceso al agua. Cita, así mismo, la Declaración Final de la famosa Conferencia sobre el Agua, celebrada en Mar de Plata, en 1967 que reconoció expresamente el derecho de acceso al agua potable: "...todos los pueblos, cualquiera que sea su etapa de desarrollo y sus condiciones económicas y sociales, tienen derecho al agua potable en cantidad y calidad acordes con sus necesidades básicas". El reconocimiento explícito del Derecho al Agua continuó en otras conferencias y convenciones a nivel internacional e incluso en la práctica de los gobiernos nacionales: así, la Carta de Derechos de la Nueva Constitución de Sudáfrica, promulgada en 1994, establece en su artículo 27.1.b: "Todas las personas tienen derecho a tener acceso a alimentos y agua suficiente".

Finalmente, considero especialmente oportuno reseñar aquí el comunicado emitido día 14 de marzo de 2008⁽⁸⁾ por la Red de Redes de la Sociedad Civil, UBUNTU, con motivo del 60 Aniversario de la Declaración Universal de los Derechos Humanos: La vida y la dignidad humana exigen el reconocimiento y la satisfacción de los Derechos Humanos a la paz, el desarrollo (a la alimentación, al agua...) y al medioambiente. El Derecho al Desarrollo se halla implícitamente reconocido en el Pacto Internacional de derechos económicos, sociales y culturales (Naciones Unidas, 1966) que establece, entre otros, el derecho humano a "estar protegido contra el hambre", a "disfrutar del más alto nivel posible de salud", etc. y explícitamente reconocido en la Declaración sobre el Derecho al Desarrollo (Asamblea General de las Naciones Unidas, 1986) y confirmado por la Conferencia de Viena (Naciones Unidas 1993).

En la "Carta de la Tierra"⁽⁹⁾, uno de los documentos más luminosos para orientar los rumbos de la humanidad en su conjunto, se establece que "debemos tomar la decisión de vivir de acuerdo con un sentido de responsabilidad universal, identificándonos con toda la comunidad terrestre, al igual que con las comunidades locales. Somos ciudadanos de diferentes naciones y de un solo mundo al mismo tiempo, en el cual los ámbitos local y global se encuentran estrechamente vinculados. Todos compartimos la responsabilidad por el bienestar presente y futuro de la familia humana y del mundo viviente en su amplitud... Necesitamos urgentemente una visión compartida de los valores básicos que aporten un fundamento ético a la comunidad mundial emergente".

Como Director General de la UNESCO abordé en diversas ocasiones la necesidad de dar cumplimiento a este Derecho Humano, abogando por una ética del agua⁽¹⁰⁾. "Este recurso colectivo escasea por la explotación excesiva a que lo somete una humanidad numerosa, consumista y contaminante. La señales de alarma son numerosas: agotamiento de las capas freáticas, desecamiento de lagos y ríos, contaminación creciente, desertificación en aumento. Esta penuria tiene un costo humano que se agrava: malnutrición, enfermedades, éxodo rural, superpoblación urbana. Si bien las previsiones son sombrías, la crisis no es aún inevitable. Pero con tres condiciones indisociables: poner la técnica en su lugar, medir las posibilidades pero también los límites del mercado y, sobre todo, apostar prioritariamente por una "ética del agua". La crisis global está provocada por la adopción de un modelo de desarrollo basado en un crecimiento que olvida, en su obsesión macroeconómica y tecnológica, los factores sociales, humanos y ambientales... Si los mecanismos del mercado llegaran a "reinar" sin contrapeso, ¿en qué quedaría el poder estatal? ¿Cómo podría asumir su responsabilidad en materia de justicia social, en especial frente a aquellos cuya sed de agua potable no ha sido saciada? La tecnología y el mercado pueden formar parte de la ecuación, pero la respuesta adecuada debe ser ante todo de orden ético y cultural. Esta gira en torno a tres ejes: dar muestras de audacia, prestar atención a los demás, compartir... La educación, en su sentido más lato y como un proceso a lo largo de toda la vida, tiene un importante papel que desempeñar en la revalorización del agua. Una reacción civilizada a la crisis global requiere una mejor comprensión de la interconexión que existe entre los recursos hídricos y el comportamiento humano, así como políticas adecuadas de alcance nacional y transnacional".

La "democratización del agua" ha sido propuesta por Kader Asmal, que fue ministro para los asuntos de agua y bosques de Sudáfrica entre 1994 y 1999. Refiere con detalle, como ejemplo a imitar, el caso de su país. Durante el apartheid, la gestión del agua no era ni ecuánime ni eficiente ni sostenible. En 1994, de una población del alrededor de 40 millones, más de 16 millones de sudafricanos no disponían de agua potable para sus necesidades básicas y más de 20 millones no contaban con unas condiciones higiénicas mínimas. La Constitución de 1996 supuso la base para las políticas, leyes y prácticas de la gestión de aguas, cuyos objetivos se centran en lograr el acceso equitativo al agua y su uso sostenible, eficiente y efectivo. La Constitución enmarca valores de la dignidad humana, derechos de igualdad, pone veto al racismo y al sexismo y, en la aclamada Declaración de Derechos, se recogen cláusulas específicas que defienden el derecho a tener acceso a suficiente agua y a un entorno saludable. Buena parte de los

cimientos de la que se considera una de las mejores Constituciones del mundo tienen su origen en la Ley Nacional del Agua (National Water Act). En esta Ley, la Administración pública del agua no significa, evidentemente, que el Gobierno sea su propietario, ya que en el Preámbulo de la Ley se reconoce que “el agua es un recurso natural que pertenece a todo el mundo”, pero sí supone la responsabilidad final de la Administración para garantizar que toda el agua del país se gestione en beneficio de todos. En esta Ley nació el concepto “reserva de agua”, por primera vez en el mundo, que establecía que el uso prioritario de este recurso es para cubrir las necesidades humanas básicas y para el funcionamiento ecológico fundamental. Y sólo cuando estas necesidades estén atendidas se puede comercializar el agua o darle otros usos. Este concepto es esencial para la conservación de las reservas de un recurso sobre el que debe cimentarse el desarrollo sostenible: gente sana en un entorno saludable.

Otra notable disposición de esta Ley fue el cambio de “derechos relativos al agua” por “derechos relativos al uso del agua” y, con ello poder cobrar a todos los consumidores por su utilización, especialmente a quienes la requieren en mayor cantidad. Sería un paso crucial para la equidad y la eficiencia, en beneficio de interés general. Además, la Ley Nacional del Agua establece la obligación de Sudáfrica de compartir equitativamente con los países vecinos el agua procedente de ríos internacionales, que recorren sus territorios. La Ley establece disposiciones relativas a la mercantilización de los derechos de su uso, pero la gestión del agua permanece claramente bajo el control del Gobierno. “En ningún caso, cuando se trata de gestionar las aguas, el mercado ha demostrado capacidad para poder regular a favor de los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad”, subraya Kader Asmal. Se trata, en definitiva, de predominio de la gobernación democrática sobre el mercado.

A este respecto, me parece especialmente relevante mencionar aquí la “Carta Social del Agua”, un nuevo enfoque de la gestión del agua en el siglo XXI, publicada en el año 2000 por la “Academie de L'eau” en ocasión de su II Foro, celebrado en la Haya, cuyos documentos sobre la solidaridad y el agua potable; información, formación y educación; sensibilización de la ciudadanía; aspectos urbanos y de las zonas rurales; cuencas hidrológicas; agua e industria; etc. resultan en pautas de gran interés. La Carta Social del Agua propone los medios para desarrollar nuevas políticas del agua a partir de la aplicación de las recomendaciones correspondientes, aprobadas en las conferencias de Río de Janeiro, 1992 (gestionar el agua para todos los hombres y sus descendientes, protegiendo el medioambiente con una política de desarrollo sostenible); Dublín,

1992 (asociar estrechamente a los consumidores a la gestión); París, 1998 (considerar el agua como un bien económico y social al que todos deben tener acceso) ⁽¹¹⁾.

III. Generaciones venideras, compromiso supremo

Me gusta repetir que el pasado debe conocerse con la mayor profundidad posible para extraer las lecciones que aconsejen qué debe repetirse y qué debe evitarse en el presente y el futuro. Pero ya está escrito. Debe procurar describirse fidedignamente, pero lo que aconteció no es modificable. La gran responsabilidad, el gran reto, es el futuro porque depende de las reflexiones, actitudes y comportamientos que adoptemos en el presente. La generaciones venideras constituyen, pues, nuestro mayor compromiso cotidiano ya que, en famosa frase de los massai, la Tierra no nos pertenece sino que la habitamos en calidad de préstamo de las generaciones futuras. Y es aquí, precisamente, donde aparecen nítidamente los cimientos éticos sobre los que construir el porvenir. El porvenir está por hacer. Las visiones deterministas carecen de todo fundamento porque es precisamente característica del ser humano “la capacidad de dirigir la propia vida”, la de no comportarse, como sucede con los demás seres vivos, de una forma preestablecida, resultante de inexorables afinidades químicas. El lenguaje de la vida es idéntico en todos los seres vivos, animales y vegetales. La interpretación genética, su traducción en estructuras y actividades, la “moneda energética”..., es igual en todos, incluida la condición humana. Pero ésta tiene una auténtica desmesura biológica: la facultad creativa. Pensar, imaginar, inventar, anticiparse, prevenir... Por todo ello, su conducta no puede predecirse. Y, por tanto, lo inesperado constituye nuestra gran esperanza y el devenir está, en buena parte, en nuestras manos, en la misma medida en que seamos capaces de ejercer plenamente estas capacidades exclusivas. En la medida en que no seamos testigos impasibles de lo que sucede, sino que contribuyamos, con todo el potencial intelectual de que disponemos, al diseño de un futuro no lejano en el que todos los seres humanos, únicos y creadores, puedan hacer frente deliberadamente a la inexorable realidad de su existencia.

Es imprescindible, en consecuencia, difundir ampliamente todo que tiene que ver con el agua para crear una nueva conciencia social en relación a la misma. Conciencia local, nacional, regional y mundial, a través, en primer lugar, de la incorporación “transversal” en todos los grados del proceso educativo de la importancia que deben tener estos conocimientos en el comportamiento cotidiano.

Se trata de capacitar a la población para que haga el mejor uso del agua “pensando en los demás”, vivan próximos o distantes. El Instituto UNESCO-IHE para la Educación relativa al agua ⁽¹⁵⁾ cuya actividad ha sido reforzada en la Conferencia General de noviembre de 2007, muestra hasta qué punto se considera importante la colaboración del sector educativo con el Programa Hidrológico Internacional (PHI) “para una mayor contribución de la educación y capacitación en materia de recursos hídricos al desarrollo sostenible, ... así como el incremento de las capacidades para realizar investigaciones en el sector del agua, centradas en temas relacionados con los Objetivos de Desarrollo del Milenio”. Así se recoge en la “Estrategia a medio plazo” para los años 2008-2013 ⁽¹⁶⁾ con el fin de llevar a la práctica una de las conclusiones principales del Segundo Informe Mundial de las Naciones Unidas ⁽²⁾ que fomentaba el uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación para hacer llegar a todos los rincones del mundo informaciones que pueden tener un impacto directo en su calidad de vida.

Esta conciencia solidaria de “compartir” recursos esenciales para una vida digna es lo que llevó a las Naciones Unidas a declarar el año 2003 “Año Internacional del Agua Dulce” ⁽³⁾. Realizaciones concretas de gran interés al respecto son, entre otras, las siguientes: “El agua en el siglo XXI: una propuesta didáctica basada en el Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: agua para todos, agua para la vida”, que constituye una excelente guía para el profesorado, tanto para la exposición como para la preparación de gráficas, lemas, posters, etc ⁽¹⁷⁾.

El Programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua), elaborado por el Gobierno Español con el fin de superar las carencias existentes a escala nacional, en cuanto al control público del uso del agua y de su calidad, garantizar el agua necesaria en cada territorio y la eficiencia de su uso, adecuando la política del agua a la legislación y a los criterios de la Unión Europea e introduciendo mayores exigencias de racionalidad económica, sostenibilidad ambiental y participación pública, incluye como una de sus dimensiones importantes el fortalecimiento, como ha subrayado la Ministra Cristina Narbona, de la conciencia ciudadana sobre cuestiones que tanto les afectan ⁽⁷⁾.

De lo que se trata, en resumen, es de crear actitudes solidarias a corta y larga distancia, a corto y largo plazo, con el fin de que las estrategias de cooperación local e internacional puedan alcanzar sus objetivos.

El agua forma parte, por ser integrante esencial de la vida, de las grandes exigencias éticas que deben inspirar nuestro quehacer cotidiano. Tener en cuenta

el mañana en nuestra conducta de hoy, tener en cuenta permanentemente a los que llegan a un paso de nosotros, no sólo forma parte de la solidaridad intergeneracional sino de la justicia, columna vertebral de la gobernación democrática, en la que se enmarca una apropiada gestión del agua, tanto a escala nacional como internacional.

IV. Agua y desarrollo sostenible

“¿Qué es lo que más te ha gustado de París?”, le pregunté a un niño de cara avispada que me visitaba, junto a otros de Estados miembros del Magreb, en mi despacho de la UNESCO: “le robinet”, me contestó. ¡El grifo!. Me di cuenta de la importancia que reviste comparar, porque sólo cuando nos damos cuenta de lo que tenemos lo apreciamos debidamente y lo disfrutamos de forma consciente. Para los que disponemos de agua potable, caliente y fría... nos parece tan “normal” que dejamos de reconocer sus virtudes... hasta que un día nos falta. El valor de la sombra no se aprecia más que cuando nos hallamos expuestos, sin posibilidad de cobijo, a un sol inclemente. O la maravilla de la luz cuando, de repente, nos rodea la oscuridad. Por esta razón es tan conveniente imaginarnos, antes de que carezcamos de algo, lo que representa la ventaja cotidiana de su posesión. Y así, cada vez que abriremos el grifo, pensaremos, como yo lo hago, en la respuesta de aquel niño magrebí. ¡Qué suerte la nuestra!. Y qué necesidad, por tanto, de compartir, bienes y conocimientos, con generosidad sabiendo que sólo dar es más gratificante que recibir.

No puede haber desarrollo económico, social y humano si no hay una nueva filosofía del agua que conduzca, en toda la Tierra, a su “uso justo”. Y a este respecto, los ejemplos son los que valen: por ello me parece especialmente significativo que la UNESCO, a través de su Comisión de Ética de la Ciencia y la Tecnología (COMEST) haya hecho públicos los resultados de las “mejores prácticas” identificadas y analizadas por su “Grupo especializado en la ética del uso del agua” ⁽¹²⁾. “Estos ejemplos ilustran los esfuerzos realizados en todas partes del mundo para reducir la brecha que existe entre la promesa del derecho humano al agua y la necesidad urgente de disponer de servicios básicos de agua, tal como se dedujo en el 3er Forum Mundial del Agua que tuvo lugar en Kyoto en el mes de marzo de 2003”. La Organización pone de manifiesto de este modo su continuo interés en promover las mejores prácticas éticas en todas partes, facilitando la comunicación entre todos los concernidos por el uso del agua. Y subraya el “diálogo” interdisciplinario, que es imprescindible particularmente entre las ciencias naturales y las sociales. Este proceso es muy efectivo para redefinir responsabilidades y derechos y mejorar

la coordinación de todos los actores a escala local e internacional.

Los componentes esenciales que han sido identificados para la gestión ética del agua son:

- Dignidad humana, porque no existe vida sin agua y a los que se les niega el agua se les niega la vida.
- Participación, porque todos los seres humanos, especialmente los más pobres, deben hallarse implicados en el planteamiento y gestión del agua, teniendo en cuenta los aspectos relativos a la pobreza y al género en la promoción de este proceso.
- Solidaridad, porque el agua confronta continuamente a los humanos con su interdependencia aguas arriba y aguas abajo, y las iniciativas para una gestión integrada del agua deben considerarse una respuesta directa y solidaria a las necesidades.
- Igualdad humana, porque todas las personas deben recibir el agua que requieren sobre bases de equidad.
- Bien común, porque en la definición más generalizada y aceptada el agua es un bien común, y sin una adecuada gestión del agua se ven afectados la dignidad y el potencial humano.
- Directivas que respeten el “justo uso” del agua.
- Transparencia y acceso universal a la información, porque si los datos no se hallan disponibles en una forma tal que puedan ser comprendidos, no representará una oportunidad igual para todos.
- Inclusión, porque las políticas de gestión de los recursos hídricos deben intentar atender los intereses de todos los que viven en un espacio determinado. Los intereses de las minorías deben ser protegidos de forma especial. En los últimos años, el concepto de gestión integrada de los recursos hídricos se ha convertido en el enfoque más adecuado para asegurar una gestión del agua basada en la equidad, en el desarrollo sostenible y en un precio adecuado.
- Capacitación, porque para facilitar la participación en la gestión y planeamiento es necesario ir más allá de la oportunidad de consulta: las mejores prácticas éticas deben, precisamente, influir en las políticas de gestión.

La gestión del agua es fundamentalmente una cuestión de justicia social y medioambiental basada en tres conceptos esenciales: equidad, transparencia y acceso entre y a lo largo de las generaciones.

La Directiva Marco del Agua en Catalunya⁽¹³⁾ constituye un punto de referencia muy útil para la adecuada distribución del agua en el contexto de un desarrollo sostenible. Se abordan los aspectos jurídicos, hidrológicos, ecológicos, así como la participación ciudadana y el principio de la recuperación integral de costos.

A los efectos que nos ocupan es de destacar, dentro de “principios para la gestión y usos sostenibles de

las aguas”, todo lo que se refiere a la participación pública: acceso y derecho a la información de los interesados; proceso de consulta al público, incluyendo en primer lugar a los usuarios; y la participación activa de quienes lo deseen.

En la directiva se consideran como ámbitos de gestión de las aguas los siguientes: la masa de agua, como unidad de gestión para alcanzar los objetivos ambientales; la cuenca hidrográfica, como unidad geográfica que reúne diferentes masas de agua; y la demarcación hidrográfica, como unidad de diferentes cuencas hidrográficas y las aguas de transición asociadas. Entre las medidas para fomentar el uso eficiente y sostenible del agua se incluyen campañas de sensibilización, medidas de ahorro, educación ambiental, recuperación de acuíferos sobre explotados, control de la captación de aguas, control de la contaminación, autorización previa de actividades potencialmente nocivas, etc.

Las masas de agua a las que se refiere la directiva marco son las siguientes: superficiales continentales: ríos y lagos; transicionales y costeras; subterráneas. En cuanto a la demanda, se divide en: demanda de riego (campos de cultivo y campos de golf); demanda doméstica (hogar, usos comerciales y usos públicos); demanda industrial; y demanda ganadera. Los porcentajes son los siguientes en el conjunto de Catalunya: agrícola, 72,5% (riego 70.5 y ganadería 2.0); urbana 27,5% (doméstica 18.5% e industrial 9%). El canon de agua para usos domésticos tiene como referencia el “consumo básico” o volumen de agua mínimo que se considera “suficiente para cubrir las necesidades ordinarias de naturaleza higiénica y sanitaria de una persona en un contexto social determinado”. Este consumo básico se estima en 100 litros por persona y día, más un m³ mensual adicional. Un segundo tramo afecta a los consumos que no superen los 200 litros por persona y día y está gravado con un tipo impositivo aproximadamente el doble del primer tramo. Por último, una tercera categoría, muy penalizada, afecta a los consumos superiores a los 400 litros por persona y día, con un canon cuatro veces superior al de los consumos básicos. Se proponen considerables incentivos para el ahorro, de tal manera que se vaya generando una actitud de consumo “suficiente y solidario”.

Dentro de este apartado, deseo mencionar el importante papel de la mujer en la gestión del agua, especialmente en aquellos países en que el suministro y potabilización de la misma depende en buena medida de la actividad femenina. En la Agenda 21, de la Cumbre de la Tierra (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo), celebrada en 1992, ya se establecía: “Las comunidades locales deben participar en todas

las fases de la gestión del agua, asegurando la plena implicación de la mujer, teniendo en cuenta el papel crucial que desempeña en el suministro diario del agua, en su uso y en su gestión”.

V. Breve retrospectiva y situación actual

Al igual que sucede en la conservación y producción de alimentos, el acceso al agua potable figura entre las actividades primordiales desde el origen de los tiempos, habiendo llegado hasta la actualidad alguno de los mecanismos, artificios e ingenios que la mente humana ha sido capaz de ir desarrollando para garantizar este consumo esencial para la vida.

Los asentamientos humanos han elegido siempre, lógicamente, posiciones cercanas a ríos, lagos, acuíferos de fácil extracción... para tener de esta manera una disponibilidad adecuada del “bien natural” que representa el agua dulce.

Poco a poco, se van desarrollando los sistemas de captación del agua subterránea (pozos y norias); sistemas de recogida y acúmulo (tejados y laderas para conservar el agua captada en aljibes y otros depósitos); los sistemas de conducción (canales, acequias, acueductos, en un sistema capilar que ha permitido al agua de los ríos y torrentes llegar a fertilizar distantes surcos, a lo largo de los siglos; para desviar el agua a los canales, los obstáculos en el curso de los ríos son parciales (azudes) mientras que son totales cuando se desea regular totalmente los caudales (pantanos y embalses). He contemplado siempre con admiración los múltiples conocimientos y tecnología que permitieron realizaciones tan importantes como el acueducto de Segovia o la conducción de agua a Cartagena de Indias, las fuentes y acequias de La Alambra y el Generalife de Granada, que reflejan, al igual que los canales de Tortosa, en el Bajo Ebro, el magisterio árabe en estas cuestiones. Hay, pues, una auténtica “cultura del agua” que sigue siendo hoy solución y sigue inspirando soluciones cara al futuro. En el Bajo Ebro, no hace muchos años, en todas las casas existía la recogida de agua de lluvia en pozos situados debajo de las casas.

El aprovechamiento del agua de lluvia, ha sido y seguirá siendo un aspecto clave de la lucha contra la sequía y la desertización. En efecto, las comunidades rurales deben procurar, sobre todo si se hallan situadas en áreas de pluviometría escasa, un aprovechamiento idóneo de las precipitaciones. Hace unos años se ha puesto en marcha un sistema denominado watersheds que permite una excelente captación de agua y retención de la misma por medio de diques. Un watershed es un área limitada por líneas laterales de piedra, con una única salida situada en su punto más bajo, por la que sale el agua caída en la lluvia. Están dirigidos a regular los recursos

que proceden de ésta, del suelo, de los bosques y los pastos. Se consigue una mejor utilización del agua y del subsuelo, al almacenarla en depósitos e impedir que se pierda. Se calcula que de este modo se recoge el 90% del agua de lluvia que cae por las laderas de las montañas y que, de otro modo, se pierde sin poder ser aprovechada. Además, si el agua no se canaliza, arrastra consigo la capa de tierra fértil de la superficie y deja los campos estériles. Para detenerla, se construyen a lo largo de la montaña, en todas direcciones y niveles, pequeños muros con roca tallada. Estos detienen parte del agua de la montaña y hacen que penetre en la tierra⁽³⁾.

Además de la recolección, acumulo y captación de agua superficial o subterránea, procedente de la lluvia o del deshielo, se ha ido perfeccionando en las últimas décadas el sistema de desalación de aguas marinas o salobres. Hoy constituye una técnica bien conocida y perfeccionada, capaz de alcanzar la producción de agua dulce de forma segura, fiable y económicamente aceptable, sobre todo si la energía requerida puede proceder de fuentes renovables. Se calcula que unos 150 millones de personas beben hoy agua desalada en todo el mundo⁽¹⁴⁾. Es una forma de obtener agua que no depende del clima y sin impactos ambientales significativos.

Es especialmente relevante la posibilidad de conseguir desalación de grandes cantidades de agua del mar mediante el uso de energía termosolar (directamente o aplicada a la producción del hidrógeno). De este modo podría contenerse e incluso contrarrestarse plenamente la amenaza de desertificación del sur de España y convertirse en vergeles zonas áridas. Es en estos tipos de inversiones en los que un gran plan global de desarrollo y control del cambio climático debería, sin ulteriores demoras, concentrarse.

De una u otra manera, el abastecimiento de agua, constituye una de las prioridades locales, nacionales y mundiales, por lo que debería ocupar un lugar preferente en las acciones que, en el marco de las Naciones Unidas, debe emprender la humanidad urgentemente, como la mejor alternativa para reemplazar el actual sistema económico.

Como ya se ha indicado oportunamente, los principales “destinos” del agua son:

- . Agua y salud^(2,4)
- . Agua y nutrición^(2,4,7)
- . Agua y energía^(2,4)
- . Agua e industria^(2,4)

VI. Situación actual. Crisis mundial

Han sido numerosas las referencias al consumo creciente de recursos hídricos y a la necesidad de mejorar la gestión, mediante las técnicas agrícolas oportunas, la conducción adecuada y el uso solidario del

agua. “Innovación para la sostenibilidad” es, precisamente, lo que pretende introducir la “nueva cultura del agua”, de tal manera que su gestión local, regional e internacional sea la adecuada para poder garantizar a todos lo que, reconocido o no, constituye un derecho fundamental.

Además de todos los datos ya facilitados sobre los desafíos que presentan la situación actual y la previsible influencia del cambio climático, algunos nuevos datos pueden permitir “aguzar” la creatividad y la imaginación con el fin de utilizar los conocimientos para anticiparnos, para diseñar desde este momento las políticas, estrategias y tácticas a seguir. Saber para prever, prever para prevenir. La previsión es la mayor victoria y ésta es, a mi modo de ver, la más importante misión y el más espectacular resultado que se obtendrá de la EXPO 2008 de Zaragoza porque lo importante no es el diagnóstico sino el tratamiento adecuado en el momento oportuno. Para ello es necesario crear “conciencia personal” en relación al consumo de agua. Fomentar esta actitud es el gran reto de la “Tribuna del Agua”.

Las disparidades actuales se aprecian perfectamente en los datos de la siguiente tabla:

Agua- Consumo:

- en EEUU, 550 l. de agua por persona y día
- en Europa, 350 l. de agua por persona y día
- en España, 200 l. de agua por persona y día
- en países en desarrollo, 8-10 l. por persona y día.

Con el fin de distinguir adecuadamente entre la gestión del agua en zonas urbanas y rurales, ha tenido lugar, en Pekín, en el mes de noviembre del año 2007 una importante reunión a la que han acudido representantes de gobiernos, abordando principalmente la penuria en recursos hídricos de China, del mismo modo que hacía tan sólo un mes se habían reunido en París para estudiar los distintos aspectos de la gestión del agua en las zonas urbanas⁽¹⁸⁾. En ambos casos son necesarias medidas concertadas, cuya adopción no admite demoras. Las prácticas más equitativas y éticas de la gestión del agua deben tener en cuenta, además de las realidades socio-económicas, las culturales, las que conforman los estilos de vida. Por ello, tanto los programas científicos nacionales como internacionales, pretenden establecer una fluida relación con las instancias de toma de decisión para que puedan beneficiarse de los más recientes progresos en el conocimiento y sus aplicaciones técnicas, para responder no sólo a las necesidades más acuciantes del presente sino, sobre todo, a las perspectivas futuras, hallando puntos de inflexión a las tendencias actuales.

El papel regulador y de arbitraje del Sistema de las Naciones Unidas está alcanzando -como suele suceder en las situaciones que por su complejidad e irreversibilidad potencial alarman al mundo en su conjunto-, un nuevo punto de encuentro global, más

implícito que explícito, porque sólo a escala global pueden solucionarse los problemas globales, que incluso podrían derivar en conflictos que, por cierto, no tienen como protagonistas exclusivamente a los Estados sino también a grandes consorcios transnacionales. El negocio de las aguas minerales embotelladas se ha transformado en uno de los más lucrativos y de mayor expansión en el mundo, por lo que las medidas planetarias no se dirigen exclusivamente al sector público sino al sector privado.

En otra serie de intervenciones en relación al agua, en mi calidad de Director General de la UNESCO, abordé los problemas de la desertificación y la sequía; el agua como factor angular del desarrollo sostenible; y la situaciones de tensión que podían originarse por la disponibilidad de recursos hídricos⁽¹⁹⁾. En todas ellas se pone de manifiesto la necesidad de un nuevo enfoque que aproveche toda la inmensa experiencia acumulada a lo largo de los siglos, y al mismo tiempo, incorpore los nuevos saberes y técnicas sin dilación. Utilizados sabiamente, se podrá hacer frente a los desafíos que actualmente tanto preocupan a la humanidad.

VII. Papel de Europa

Su papel como institución supranacional (Unión Europea) en relación a la gestión de los recursos hídricos se indica más adelante. Aquí quiero brevemente destacar la especial relevancia de la actuación de Europa en estos momentos de crisis y, por tanto, de grandes posibilidades de cambio.

• Europa como faro mundial de democracia y valores éticos:

Como en 1918 y 1945, es especialmente acuciante situar de nuevo los principios universales en el centro del espíritu ciudadano y de quienes gobiernan en su nombre, para que sea posible de este modo la “solidaridad intelectual y moral” que establece la UNESCO en su Constitución (1945). De este modo, con una ciudadanía global participativa, las democracias serán sólidas y podrán ejercer plenamente el deber de anticipación, iluminando los caminos del futuro de una humanidad que habrá retomado las riendas de su destino.

• Europa, gran iniciadora del cambio desde una economía de guerra a una economía de desarrollo global:

- Del armamento, escudos antimisiles, misión a Marte...
- A Fuentes energéticas renovables
- Infraestructuras y vivienda
- Alimentación para todos (con incorporación del sistema nitrogenásico, propio de las leguminosas, a las raíces de las gramíneas; utilización adecuada de transgénicos).
- Transporte sostenible
- Cuidado del suelo (para incremento de la biomasa) y del mar.

- 23 -

los recursos hídricos se describen con detalle en la Directiva Marco del Agua en Catalunya ⁽¹³⁾. La Directiva Marco de la Unión Europea, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, fue decidida por el Parlamento Europeo en el año 2000 y aprobada por el Consejo unos meses más tarde ⁽²⁰⁾.

Es especialmente relevante mencionar a este respecto la Declaración Europea para una nueva Cultura del Agua, Madrid, febrero de 2005.

IX. Propuestas de futuro

En resumen, se basan en las siguientes:

- Gestión del agua^(21,7)
- Actitud ciudadana solidaria⁽¹³⁾
- Ahorro⁽¹³⁾: agrícola
 - industrial, urbano, doméstico
- Compartir solidariamente⁽²⁾
- Reciclaje^(4,7,12)
- Producción⁽⁷⁾
- Fuentes de energía^(2,20,21)
- Investigación^(2,7,20)

Quiero mencionar, por último, la reciente Declaración "From Global Warning to Global Policy", hecha por el Foro Político Mundial y el Club de Roma, en Turín, los días 28 y 29 de marzo de 2008, por la que se subraya que todo lo que se relaciona con la producción, reciclaje, justa distribución, gestión... del agua constituye, junto con la energía, uno de los principales desafíos históricos de la humanidad, a los que se puede hacer frente mediante la cooperación científica y la voluntad política a escala mundial.

La Expo Zaragoza 2008 abre un camino. El agua debe permanecer, en buena medida "desde Zaragoza", elemento central de un futuro mejor para la humanidad. No se trata tan sólo de contribuir a un diagnóstico progresivamente actualizado de la situación sino de aportar soluciones. Y estas soluciones existen porque la humanidad, gracias a su facultad creativa, puede. Juntos, podemos.

Bibliografía

1. Objetivos del Milenio, Resolución Asamblea General de las Naciones Unidas, 2000. Y, en 2005, Cumbre de las Naciones Unidas (Objetivos del Milenio+5).
2. El Agua, una responsabilidad compartida. II Informe de las Naciones Unidas (Ed. Coord. UNESCO, 2006); y Resumen, UNESCO.
3. Gráfica de "El agua, un bien escaso", Manos Unidas, boletín nº151, 2008.
4. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, Executive Summary of the UN World Water Development Report, UNESCO, 2003.
5. Fernando Alberca. "El Derecho al Agua, el debate pendiente del planeta azul", "El País, 25/06/2006.
6. Krevin Watkins, "Clear water is a Human sight", UN Human Development Report Office, en "The International Herald Tribune", 11- 12 noviembre 2006.
7. "Agua", en la Revista "Economía Exterior", nº 41, verano 2007, (Peter H. Gleick, p. 41; Cristina Narbona, p.105).
8. UBUNTU. Comunicado con motivo del 60º Aniversario de la Declaración Universal de los Derechos Humanos, 14/03/2008. Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya.
9. "Carta de la Tierra". Comisión Nacional, UPAZ, Costa Rica, 2000.
10. Mayor, F. Primer Foro Mundial del Agua, Marrakech, 22 de marzo de 1997; 21º Congreso de la Internacional Water Services Association, Madrid, 22 de septiembre de 1997; "Por una ética del agua", Correo de la UNESCO, febrero 1999; International Symposium "The learning Society and the Water-Enviroment", Paris, 2 de junio de 1999;
11. "Charte Sociale de l'Eau". Académie de l'Eau, Paris, 2003.
12. "Best ethical Practice of Water Use". UNESCO, Social and Human Sciences. COMEST, Sub-Commission on the Ethics of Freshwater Use. 2003.
13. "La Directiva Marc del l'Aigua a Catalunya", conceptes, reptes i expectatives en la gestió dels recursos hídrics. Generalitat de Catalunya, Josep Mas-Pla, Coordinador. Julio 2006
14. "¿Son las desaladoras la solución a la sequía?" Artículos de Adrián Baltanás y Francisco Cabezas Calvo-Rubio, en "El País", 23 de julio de 2006.
15. Instituto UNESCO-IHE para la Educación relativa al Agua (Resolución de la Conferencia General, Noviembre 2007)
16. UNESCO, Estrategia a Plazo Medio (2008-2013), aprobada en Noviembre 2007.
17. "El Agua en el siglo XXI: Guía didáctica para el profesorado". UNESCOCat, 2007, Barcelona.
18. Seminario de Pekín k.czermak@unesco.org y Simposio de Paris. SymposiumUWM2007@unesco.org
19. Mayor, F., "World Day to Combat Desertification and Drought", Unesco, Paris, 15 junio 1995; "International Conference on Water and Sustainable Development", Unesco, Paris, 20 marzo 1998, y "Water: a looming crisis?", Unesco, Paris, 3 junio 1998.
20. Directiva marco del agua de la Unión Europea, Papers de Sostenibilitat. Nº 11, 2005, Generalitat de Catalunya.
21. European Declaration for a New Water Culture, Madrid, febrero 18, 2005

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 présupposés¹ de Theodore Huxley dans son discours d'inauguration de l'Exposition², dédiée au monde des pêcheries, finirent pour se révéler vraiment désastreux :

Theodore Huxley, Piscequestrian



Source: Punch, 1883

¹ 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... »

² 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 graves, 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 commerciaux³, la modification de certains paradigmes sociaux⁴ et comportementaux qu'on observe depuis la fin du XVIII siècle et surtout la deuxième moitié du XIX siècle, ont contribué à la création de nouveaux facteurs d'attraction⁵. Ces

³ On estime que 98% du commerce mondial en volume (environ 5,5 millions de millions de tonnes) est assuré par le transport maritime, vrai épine dorsale de l'économie mondiale.

⁴ Par exemple dans le domaine des concepts de salut publique et du bien-être.

⁵ Comme le tourisme de récréation ou les sports liés à la mer.

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 haliotropisme⁶, aggravant ainsi les conflits d'usages et d'intérêts qui sont non seulement différents mais, plus que cela, obéissent à des logiques fonctionnelles antagonistes

⁶ Processus qui, à son tour, finira par induire d'autres modifications profondes comme, par exemple, la perte progressive de l'identité des communautés locales.

(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.

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).

TABEAU 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	Épuration 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. Plus que cela, 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 1990s 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).

TABEAU 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) ⁷	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.

⁷ 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 COMMERCIAUX	RESSOURCES (Biodiversité)
Pharmaceutique ⁸	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 environnementale	+	P, A, M
Récupération écologique	Moyen	Augmentation	Qualité environnementale	++	P, A, M
Protection alimentaire Contrôle biologique	Elevé	Augmentation	Aliments et qualité environnementale	+++	P, A, M

P – plantes A – Animaux M – Micro-organismes + - Profits variables ++ - Million de € +++ - Million de millions de €

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 demeuré 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...

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)
ECONOMIE	
Économie mondiale	14
Consommation de l'eau	9
Production industrielle	40
Consommation d'énergie	13
Production de charbon	7
POLLUTION	
Pollution atmosphérique	~5
Émissions de CO ₂	17
PRODUCTION ANIMALE	
Capture de poisson et d'autres ressources aquatiques vivantes	35
Effectif total de bétail	4
EXTINCTION/PERTE D'ESPÈCES	
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 %)
USAGE DES SOLS	
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%⁸ des services d'origine écosystémique sont déjà considérés en cours de dégradation ou sujets à des régimes d'exploitation non rationnels⁹.

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 XXe 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 désert¹⁰

⁸ C'est à dire : 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).

⁹ On estime que 20% des espèces aquatiques ont disparu au cours des dernières décennies ou sont menacées d'extinction.

¹⁰ 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 km³ d'eau douce.

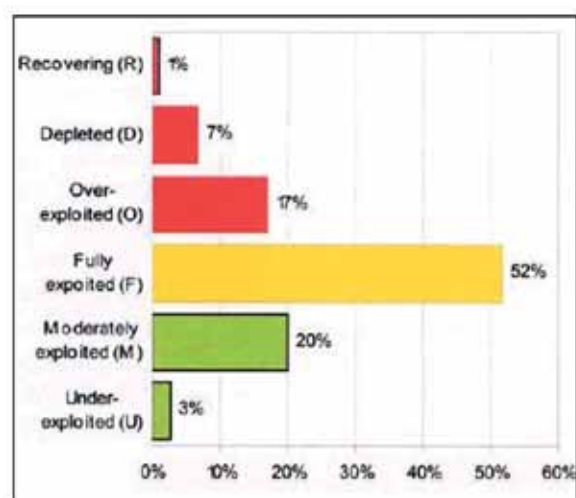
Le fait c'est que selon le PNUE (2007), à propos de la population humaine:

«... 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...».

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 surpêche¹¹, de la

¹¹ 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

destruction des fonds marins et de la dégradation environnementale¹²,

- 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,

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 publique¹³. 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'anoxie¹⁴ (les "dead zones"¹⁵) aussi bien que la création de conditions

de 250% à la capacité nécessaire pour assurer une production plus «soutenable».

¹² On exploite commercialement plus de 50.000 composés chimiques.

¹³ 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 km² chaque année. On estime que chaque tonne de pétrole versée peut affecter une aire de 12 km².

¹⁴ L'hypoxie est définie par une concentration d'oxygène dissout inférieure à 2 ppm.

¹⁵ Le nombre de "dead zones" a augmenté depuis les années 1970 (on estime qu'aujourd'hui qu'il est de 150). Certaines de ces zones mortes peuvent affecter environ 70.000 km², ce qui donne une idée de l'importance de ses impacts.

- 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 anthropique¹⁶,
 - 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 culture¹⁷, 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 XXe 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 km² 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 1.200.000 milliards de \$ US en pertes et quelques 150.000 Km² de terrains perdus (en incluant plus de 60.000 Km² de zones humides côtières).

Ces différents exemples témoignent de la continuité d'un processus de «développement» qui a fini par se

¹⁶ Au niveau mondial, 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.)

¹⁷ Dans la dernière vingtaine d'années, la destruction du mangrove était destinée à favoriser le développement de l'aquaculture et l'obtention de bois

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, entraînant 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'avons 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 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 vie¹⁸, 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):

- 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),

¹⁸ 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).

- 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 industrielles¹⁹ 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 Km², ce qui dépasse largement l'étendue de son territoire (710.000 Km²).

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

¹⁹ 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/Km²). Près de 80% de l'industrie marocaine est concentrée sur la côte atlantique.

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,
- 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 nationale²⁰, 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)²¹.

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)²², l'augmentation des risques inhérents à une intensification des désastres naturelles, la sécheresse²³, 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 (...). 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'action²⁴ (...) 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

²² 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).

²³ 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.

²⁴ 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.

²⁰ 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).

²¹ 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.

la capacité de bien gérer les zones côtières d'une façon intégrée constituent une étape essentielle de l'approche adaptative.

Quatre idées-clés:

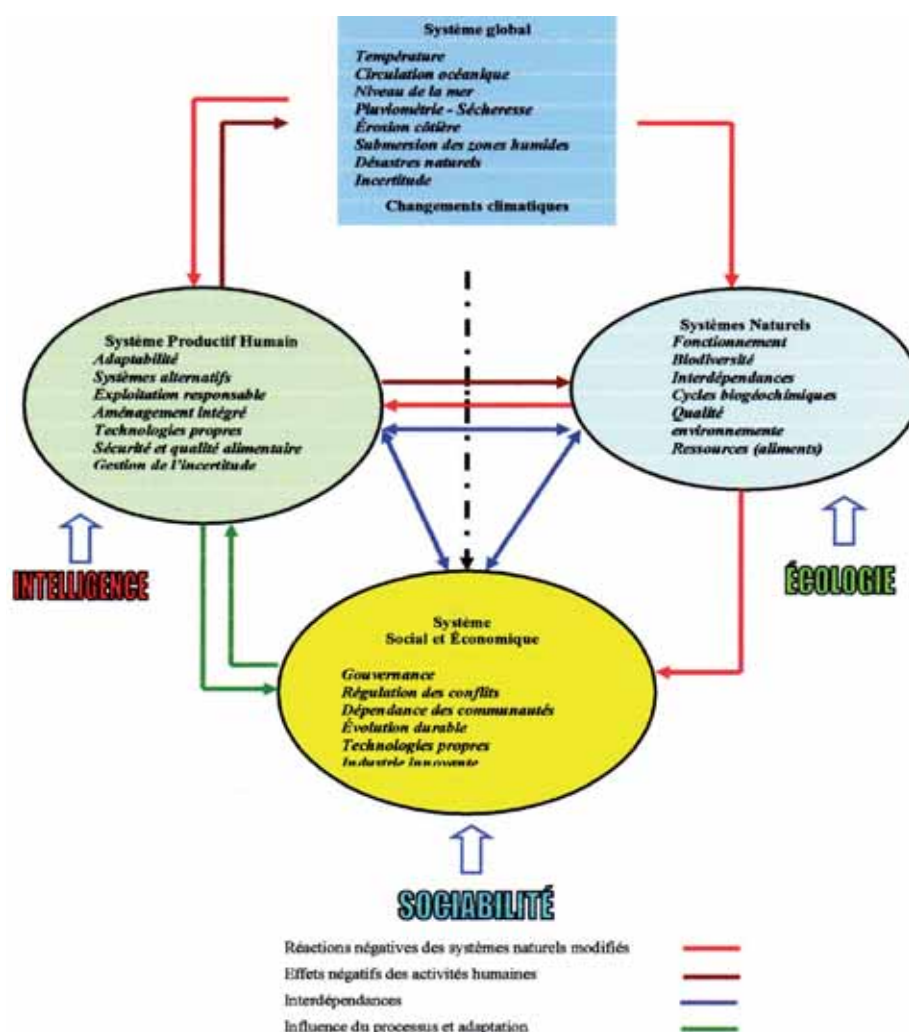
Base 1 - Un patrimoine commun unique au service des générations actuelles et futures

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.



Source: Vasconcelos, 2002

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, 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.

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 plurisectoriel²⁵ et de partage de responsabilités (la gouvernance²⁶). 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,

²⁵ Premier pas pour une application future des solutions co-gestionnaires qui peuvent évoluer de façon progressive.

²⁶ 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»

• 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'action²⁷,

• Anticipation, capacité d'agir et de mitigation

La probabilité accrue de risques résultants des changements climatiques émergents recommande 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 anticipées²⁸, grâce 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

²⁷ 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.

²⁸ 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.

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 progression²⁹ 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.

L'exécution des stratégies

Il est nécessaire d'établir une clarification méthodologique concernant l'exécution des plans pluriannuels (stratégie à long terme) en tenant

²⁹ 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.

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 IUU³⁰ (activités de pêche illégales, non déclarées et non réglementées),
- prévention/contrôle de l'érosion côtière et de désastres naturels émergents 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.).

³⁰ IUU est l'acronyme anglo-saxon pour «Illegal, un-reported and un-regulated fishing activities».

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),
- 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 ³¹ 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) ...

³¹ Aussi bien que nationale (MSV).

- 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, SCHOLTS, 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

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.

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

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. Rapport - 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-thecoastcentre.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.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005 - Ecosystems and human well-being - Wetlands and water. Synthesis. World Resources Institute, WRI. Washington, DC. P. i-vi, 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 - Yvelynes, Développement Économique, Social et Territorial Intégré, Année 1995-1996. 93 p.
- PETIT-BERGHEM, Yves, 2003 - Le déterminisme des landes atlantiques : quelle réalité ? Cybergeog : 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 Full Report in 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
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 km². 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.

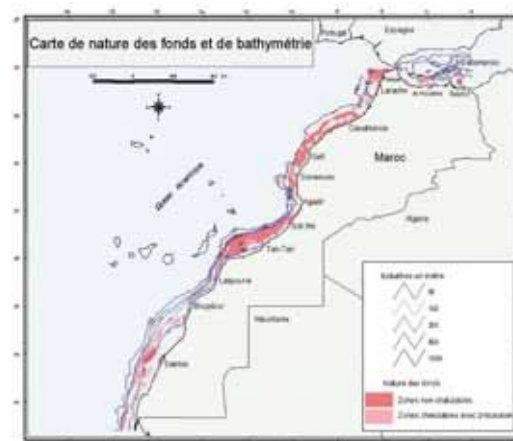
La façade méditerranéenne fait partie de la mer d'Alboran qui bénéficie du courant atlantique superficiel mobilisant des masses d'eaux fraîches et riches en communautés planctoniques. La façade atlantique se caractérise par la présence des courants ascendants (upwellings) liés au système des Canaries. 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).

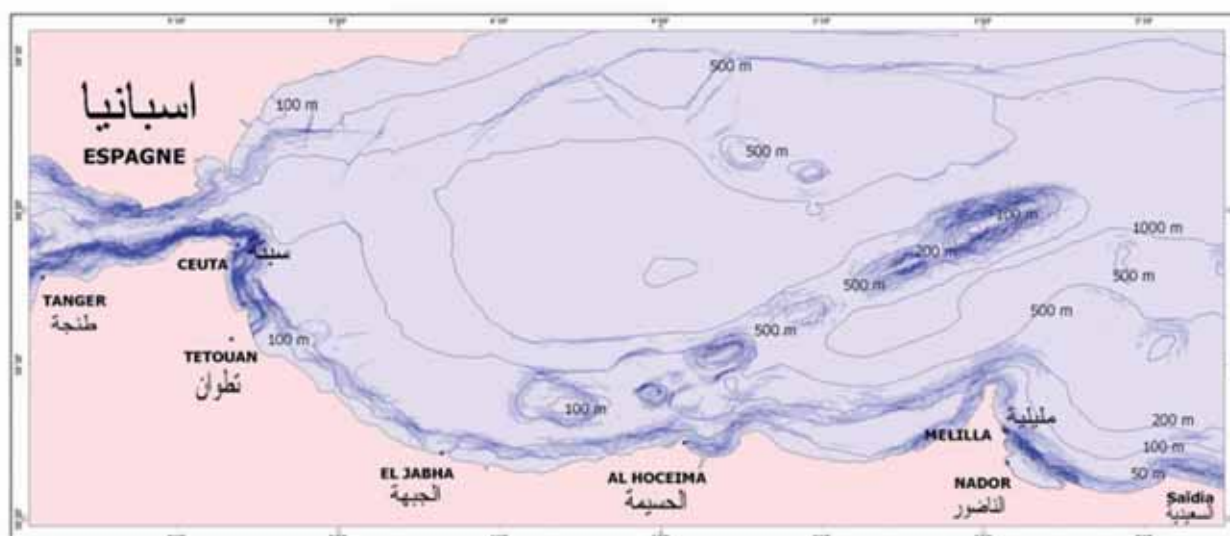
Cette importante richesse en ressources halieutiques, liées aux conditions très favorables pour la production primaire, place le Maroc dans les premiers rangs de la production en produits de la mer. En effet, notre pays est :

- 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 1^{er} 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.



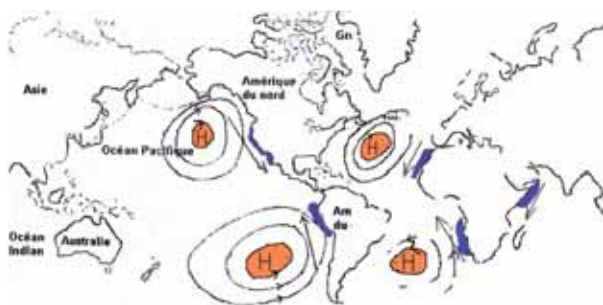
Nature de la pente du fond marin

Pente faible		Pente forte	
Pente moyenne		Pente très forte	

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 zoné 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

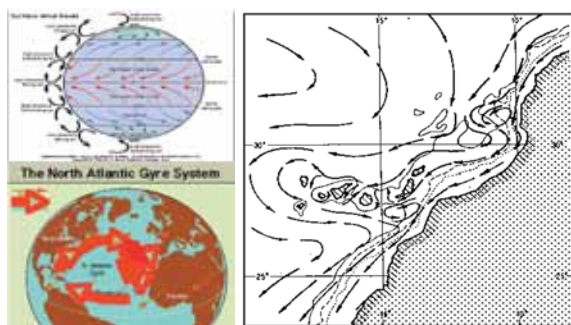
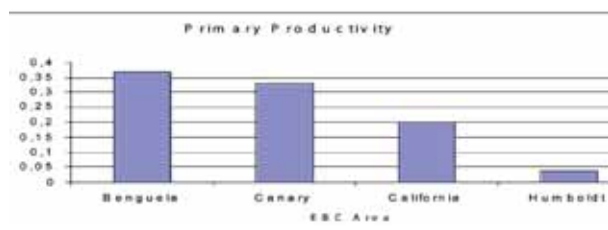


Figure 1 : Processus physique de l'upwelling : La côte atlantique marocaine:un environnement favorable pour l'upwelling

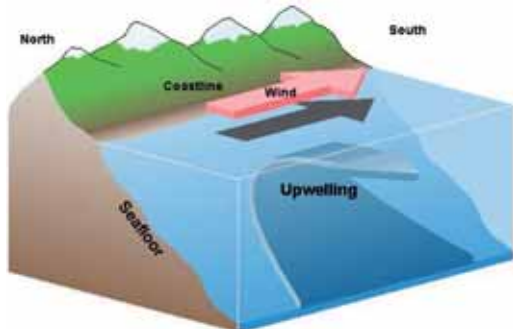
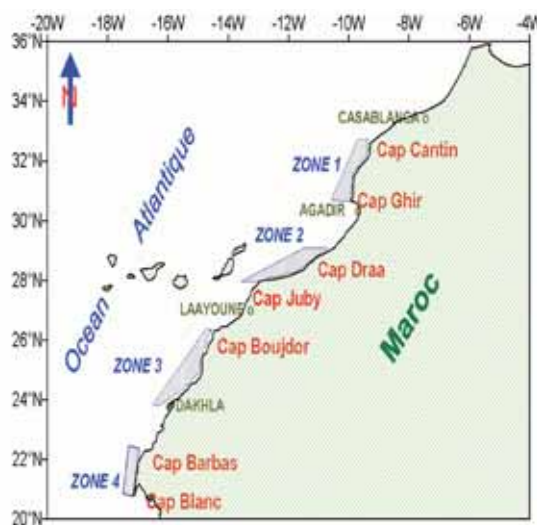


Figure 2 : Schéma de fonctionnement de l'upwelling



Carte 3 : Localisation des zones d'upwelling le long de la côte atlantique marocaine

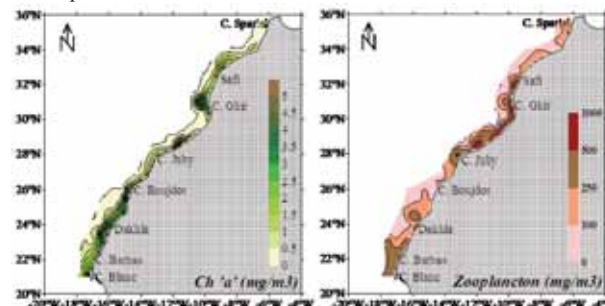


Figure 3 : Distribution de la chlorophylle 'a' et de la biomasse zooplanctonique en été le long des côtes atlantiques marocaines

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.

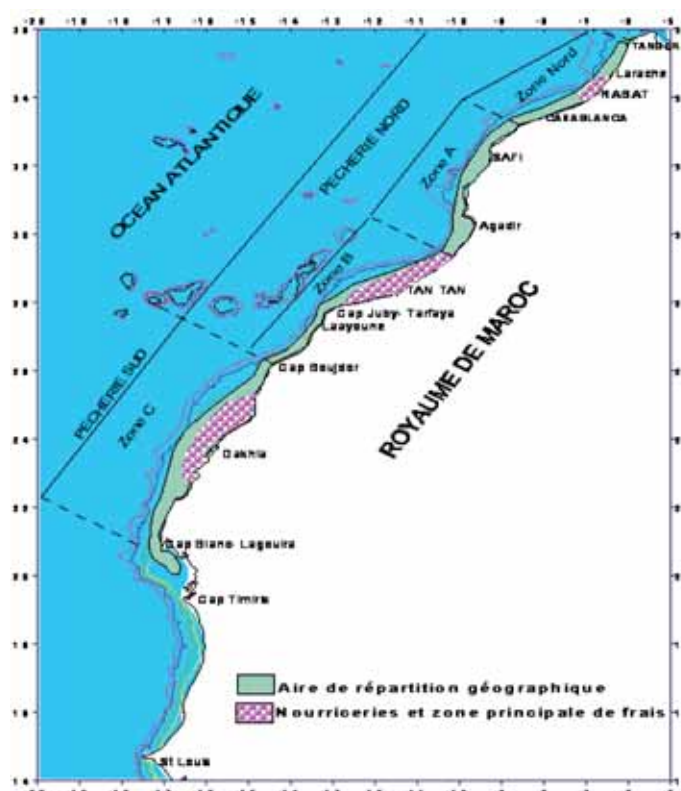
Les petits poissons pélagiques constituent plus de 70 % des ressources halieutiques d'intérêt commercial.

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) :

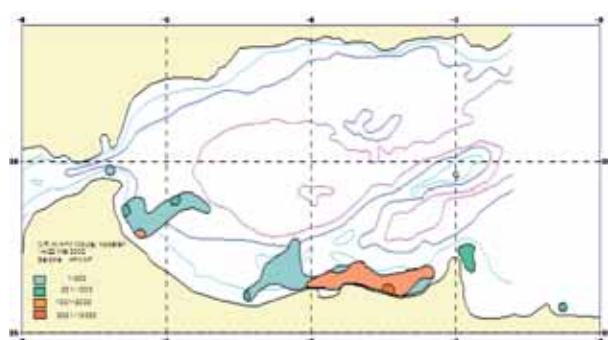
- a) Pêcheries nord: Tanger-El Jadida: 150-200 senneurs ciblant la sardine et l'anchois,
- b) Pêcherie centrale (A+B): Safi- Boujdor: 300 -350 senneurs ciblant la sardine et autres pélagiques selon disponibilité;
- c) Pêcherie sud (zone C): Boujdor Cap Blanc : Flottille mixte composée de senneurs et 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

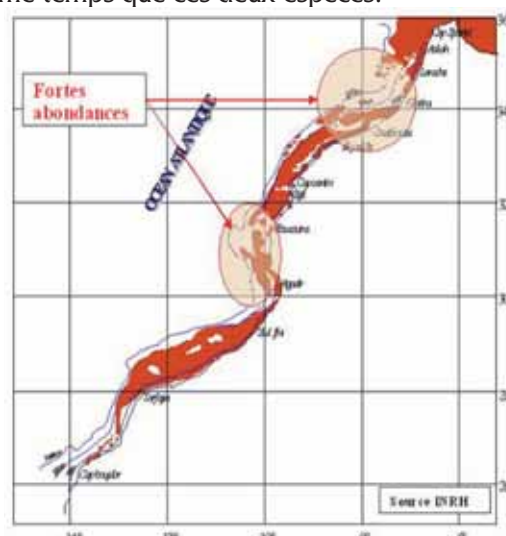
Les thonidés sont des espèces hautement migratrices. Leurs migrations sont dictées par deux principaux facteurs: la reproduction et l'alimentation. Le thon rouge et l'espadon sont les espèces les plus importantes en terme d'abondance et de débarquements.

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

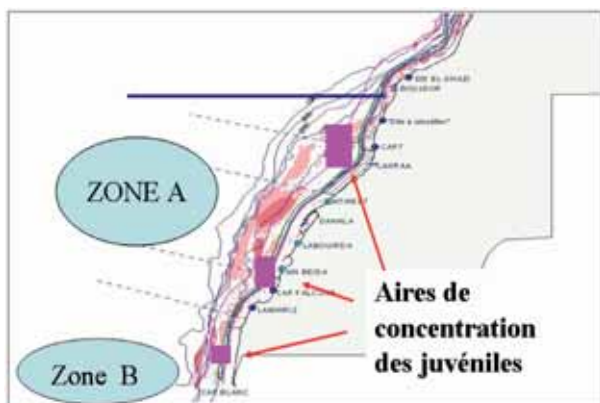


Figure 4 : Unités de gestion pêcheurie céphalopodière (poulpe)

2.5. Ressources des grands Fonds

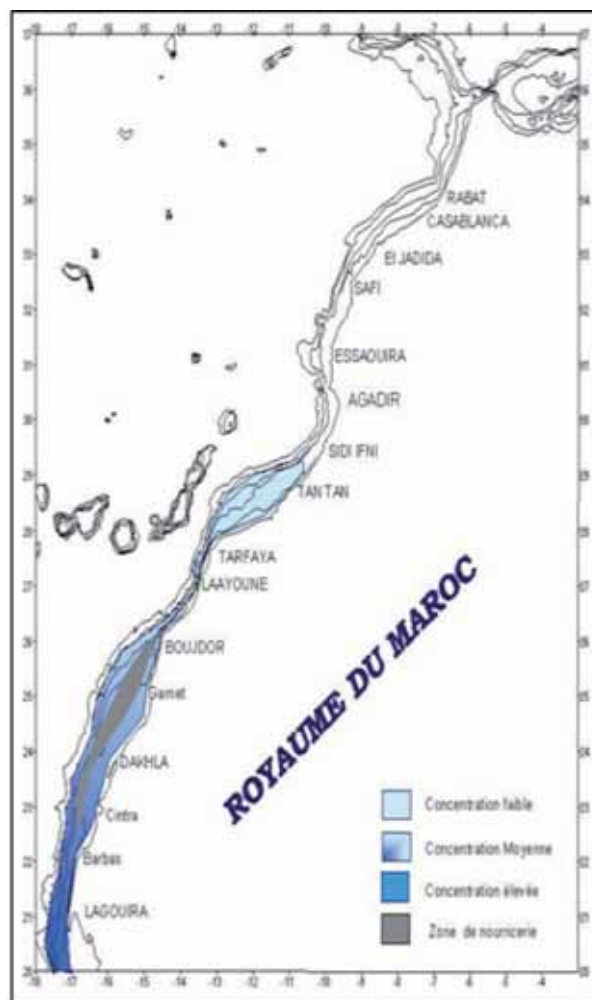
Les résultats de campagnes de prospection par chalutage effectuées par :

- 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 indirect 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.

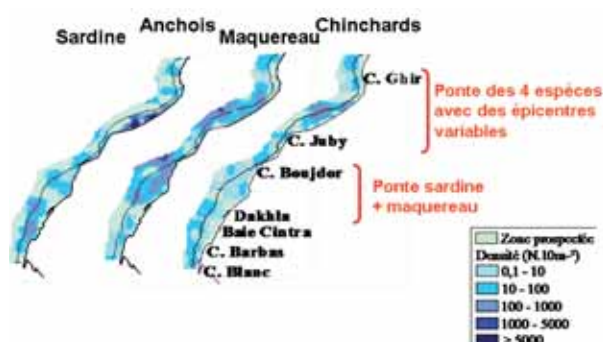


Figure 5 : Zones potentielles de ponte des petits pélagiques durant la saison hivernale

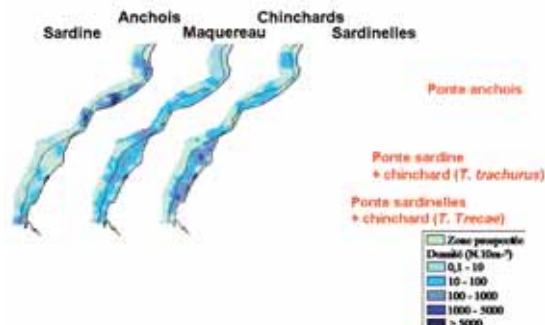


Figure 6 : Zones potentielles de ponte des petits pélagiques durant la saison estivale

+ 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. Oceanogr. 14; 443-462.

Examples of Advances in Ground-Water Modeling : Flow, Transport, and Ground-water/Surface-water Interactions

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



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

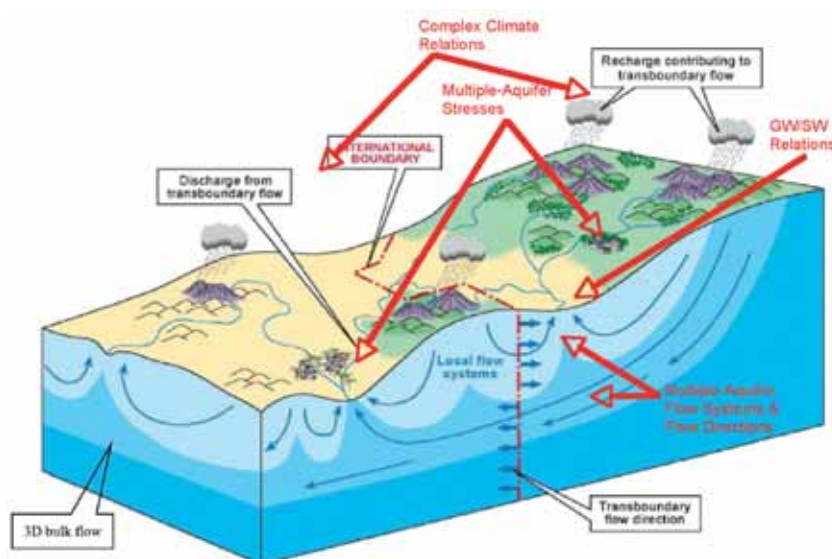


Figure 1. Example of complex relations between inflows and outflows of a three dimensional regional hydrologic flow system (modified from Puri and Arnold, 2002)

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.

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).

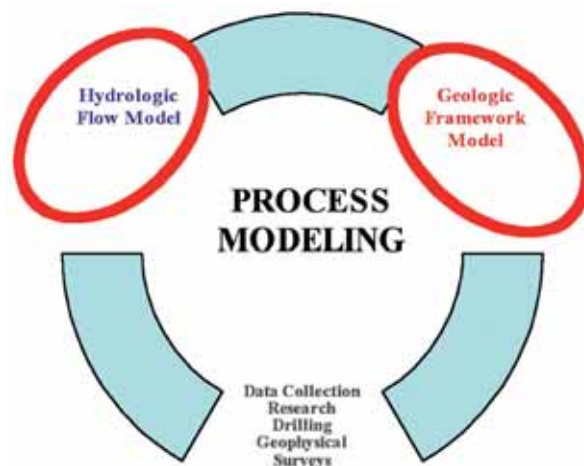


Figure 2. The new paradigm of process modeling includes a continuous loop between hydrologic and geologic process models and related data collection.

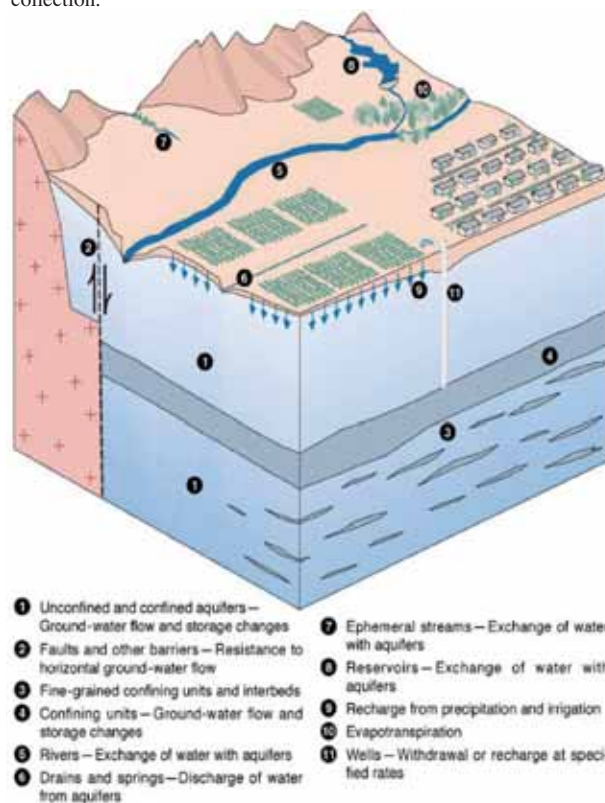


Fig 3. Example of selected features within the USGS three dimensional flow model, MODFLOW that has been transformed from a predominantly ground-water flow model to a full hydrologic model. (modified from Leake, 1997)

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 (Groundwater/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_h)
- 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 Langevein (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) Linkage to water use and movement on the landscape
2. Multi-Node Wells (MNW) Linkage to flow and transport (GWT) and Farm Process
3. Streamflow Routing (SFR) Linkage to runoff (UZFL, 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.

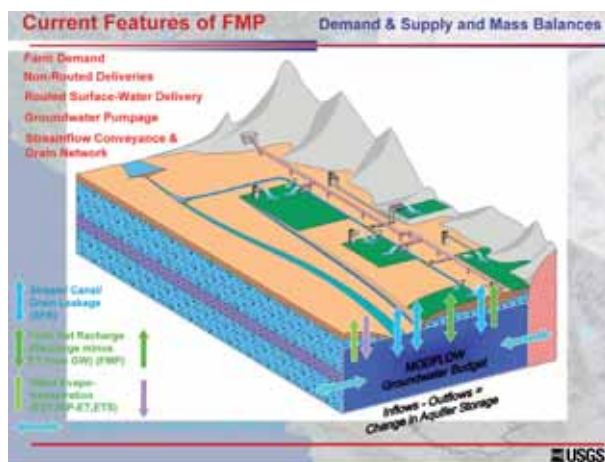


Figure 4. Block Diagram showing the potential connections between water use and movement from the landscape, surface-water, and ground-water components of MODFLOW.

It facilitates the simulation of a variety of hydrologic problems and settings. The Farm Process 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).



Figure 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.



Figure 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 km² 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.

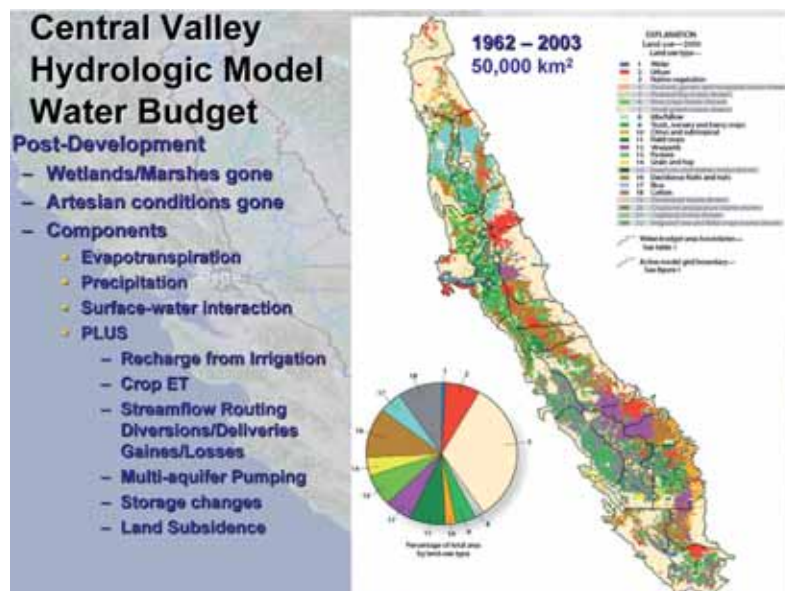


Figure 7. Summary of some of the features simulated in the Central Valley Hydrologic Model with the Farm Process and MODFLOW.

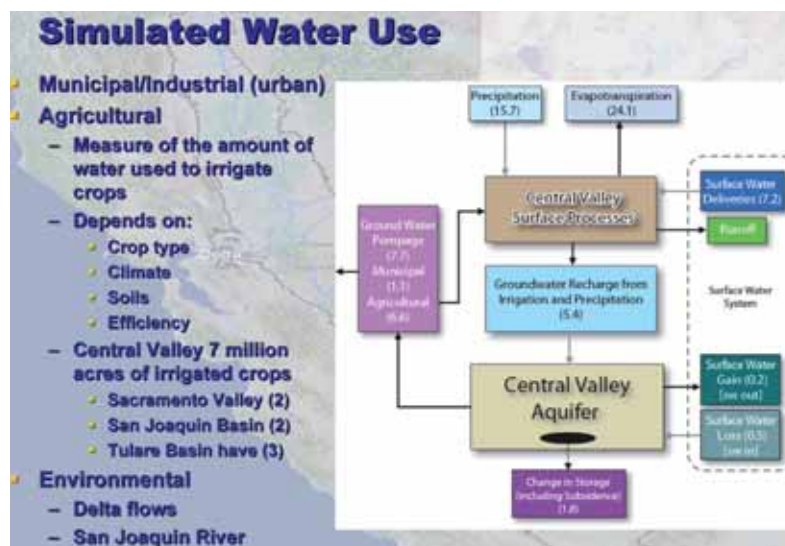


Figure 8. Summary of simulated water accounting with average historical water use estimated with the Central Valley Hydrologic Model using the Farm Process and MODFLOW (units in millions of acre feet).

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).

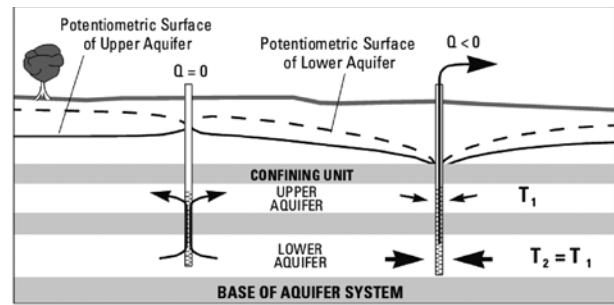


Figure 9. Diagram showing the relation between wellbore flow and ground-water flow within multiple aquifers for pumped and unpumped wells that can be simulated with MNW package in MODFLOW.

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.

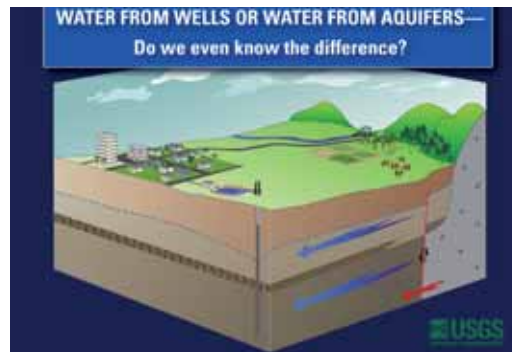


Figure 10. Block diagram showing the difficulty of determining if water-quality samples from multi-aquifer wells is some unknown mixture of water or water from a particular aquifer.



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.

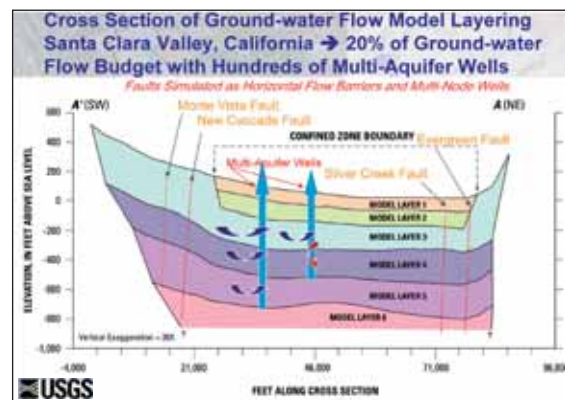


Figure 12. Cross section showing the relation between multi-aquifer wells and aquifer model layers in the Santa Clara Valley Hydrologic Model, Santa Clara Valley, California (modified from Hanson et al., 2004).

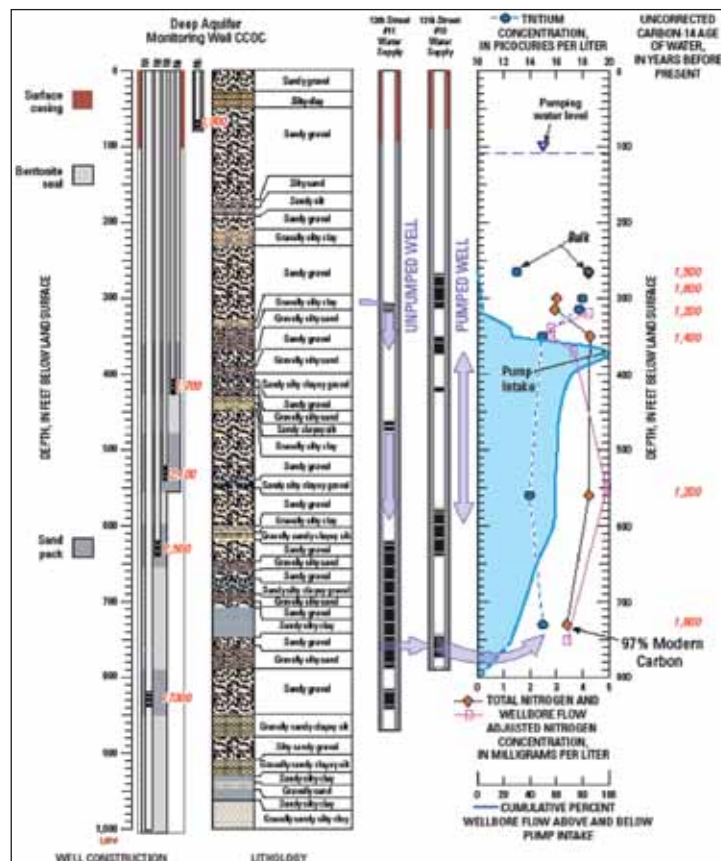


Figure 13. Wellbore flow diagram showing the relation between multi-aquifer wells, multiple-well monitoring sites, and related depth-dependent water chemistry data in the Santa Clara Valley, California.

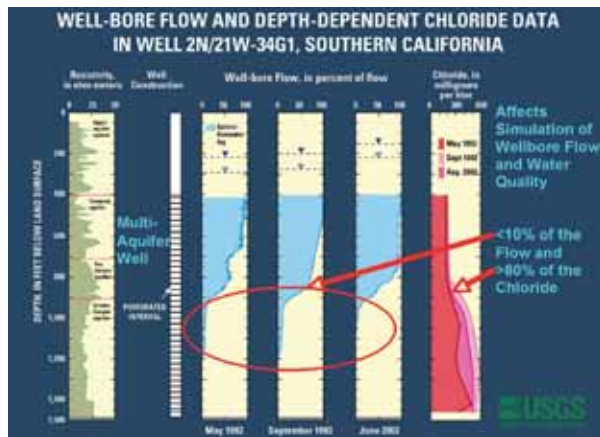


Figure 14. Wellbore flow, well construction, and geophysical logs showing the relation between wellbore flow from a multi-aquifer well, geologic/hydrologic layers, and chloride concentrations in the Santa Clara-Calleguas Basin, near Ventura, California.

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):

- Streamflow routing from multiple streams
- Streamflow infiltration across saturated and unsaturated aquifers
- Multiple types of streamflow diversions
- 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.

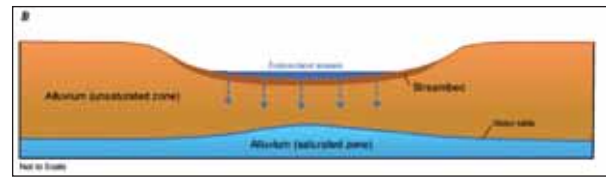


Figure 16. Example of a streamflow cross section illustrating infiltration of streamflow from an intermittent stream through an unsaturated zone to a water-table aquifer.

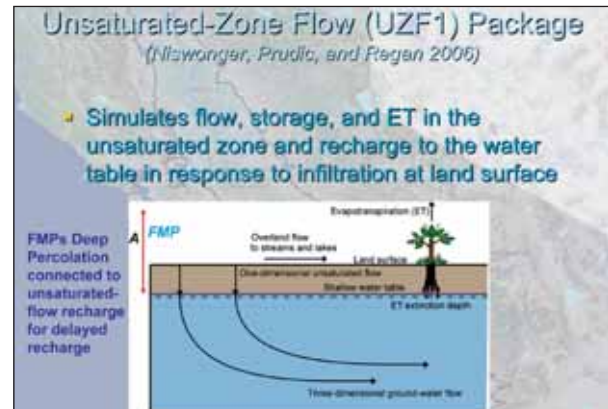


Figure 17. Example of features in Unsaturated Zone Flow (UZF) Package illustrating infiltration through an unsaturated zone to a water-table aquifer.

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:

- Farm Process (discussed previously),
- GSFLOW $\Rightarrow$ the coupling of streamflow and unsaturated infiltration in MODFLOW, with the Precipitation-Runoff Modeling System (PRMS) (Markstrom et al., 2008)
- 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).

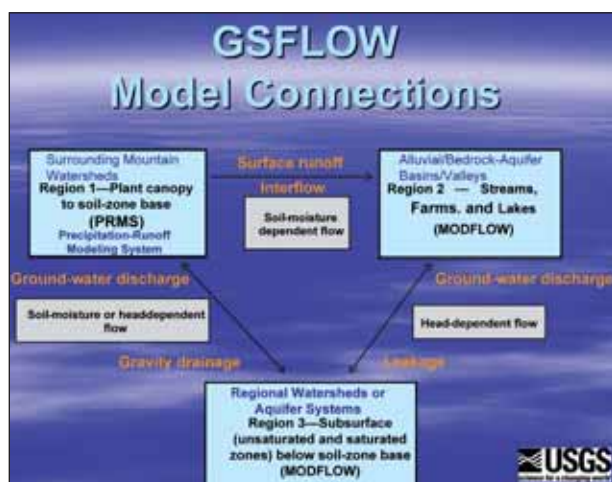


Figure 18. Example of features in GSFLOW Modeling system illustrating the flow connections between PRMS and MODFLOW components.

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.

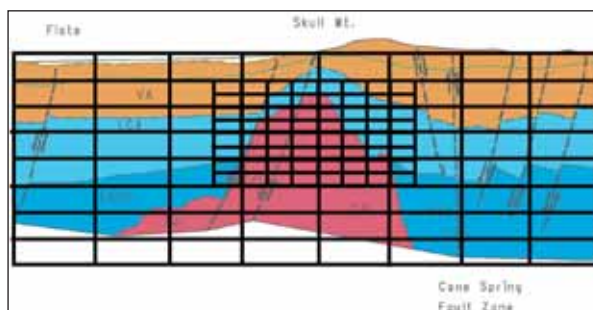


Figure 20. Example of relation between regional (parent) and more detailed, embedded (child) model grids using LGR in MODFLOW to preserve detailed geologic and hydrologic heterogeneity.

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 (fig. 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).

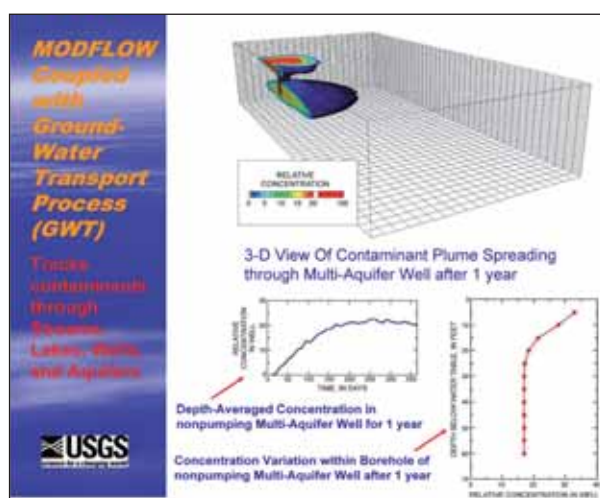


Figure 22. Example of application of coupling wellbore flow and transport modeling showing the effects on transport of a multi-node well coupled with GWT (modified from Konikow and Hornberger, 2006).

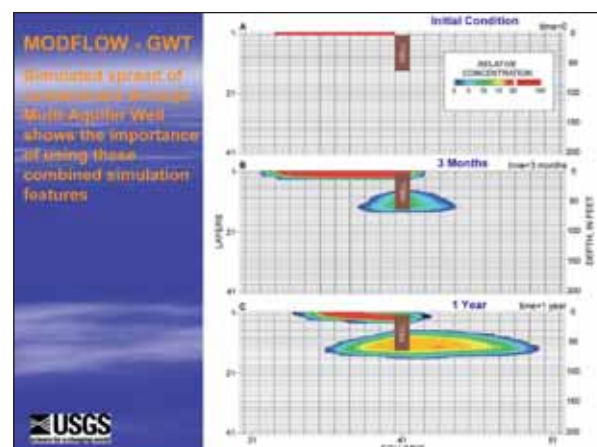


Figure 23. Example of applications of the coupled flow and transport model, MODFLOW-GWT showing the effects on transport through time from wellbore flow (modified from Konikow and Hornberger, 2006).

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/>)

Les Dinosaures et la crise environnementale de la fin du Crétacé

Pr. Philippe TAQUET
Membre Résident de
l'Académie Hassan II des
Sciences et Techniques



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 Dinosaures 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 qu'elles ont été les étapes de sa longue histoire qui a commencé il y a quelque 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^e 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 carrières 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 l'*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 Brachiosauridés, 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 Nautilus, 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 XVIIIe 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.

À 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 CO₂ 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.

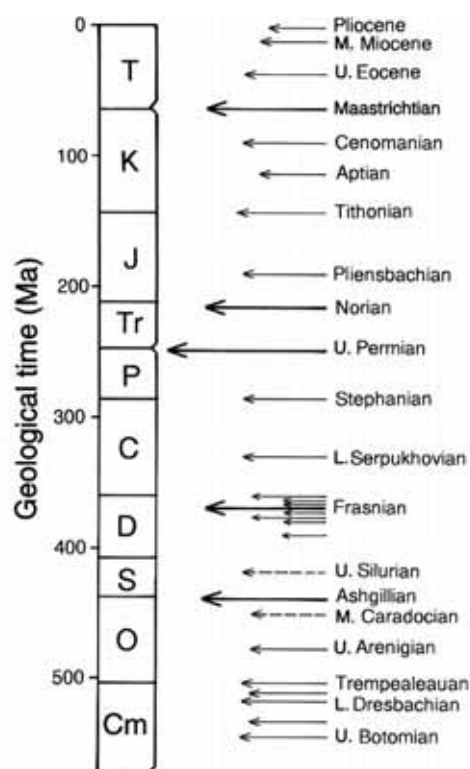


Fig 1. Les crises de l'histoire de la vie

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

Bibliographie

- Allain R., Aquesbi N., Dejax 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



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 débattus de cette problématique (MAPS, Aout 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-Saffât (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 châtiment 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 mecquoise 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-Saïr».

- Sourate Al-Hajr 15. 16-18 mecquoise 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 mecquoise 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 aswad» 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 ravinelements 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-nulles 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).

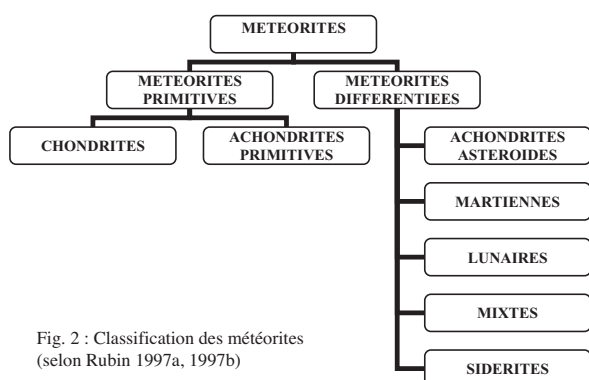


Fig. 2 : Classification des météorites (selon Rubin 1997a, 1997b)

Les météorites primitives

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

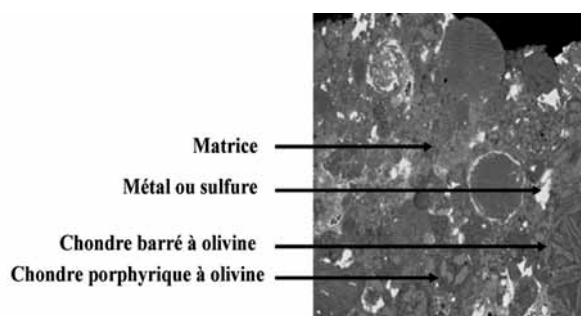


Fig. 3 : Chondrite ordinaire NWA 2166 L3.8 (trouvaille)

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 MgSiO_3 et ferrosilite 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 OC	H & L	17-23	22-33	<1	0
	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 Uhai mir (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»)

puisque'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).

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, rencontré 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°13'52.9"N; 08°08'56.7"W altitude 398m. Il montre un renflement central et des bords surélevés

Impact II (Fig 5) : Ahl Fouim Sakhra Iournia, sur un affleurement de granite (granite de Brikyine). Les coordonnées de l'impact sont 32°15'31.2"N; 08°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°15'43.1"N; 08°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

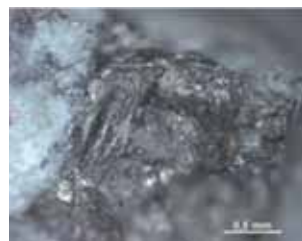


Fig. 7 : Image à la loupe d'un sulfure automorphe dans la météorite de Benguerir.

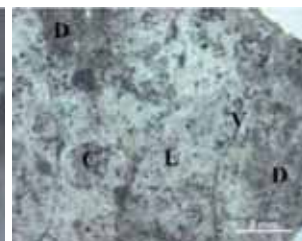


Fig. 8 : Image à la loupe d'une section polie de la météorite de Benguerir montrant les deux lithologies: claire (L) et sombre (D), ainsi qu'un chondre (C) et une veine de choc (V).

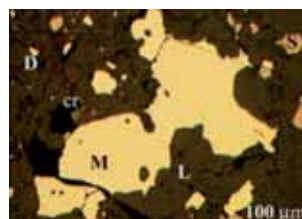


Fig. 9 : Images au microscope à réflexion d'une lame mince de la météorite de Benguerir montrant les lithologies sombre (D) et claire (L), de la chromite (cr), du métal (M), des sulfures (S), de la troilite (T) et du cuivre natif (Cu).

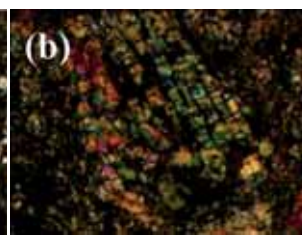
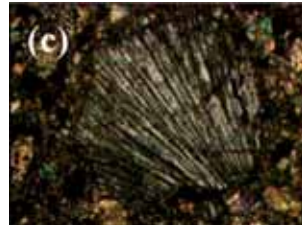
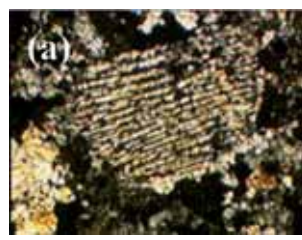


Fig. 10 : Images au microscope polarisant le trois types de chondres dans la météorite de Benguerir :

- (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).

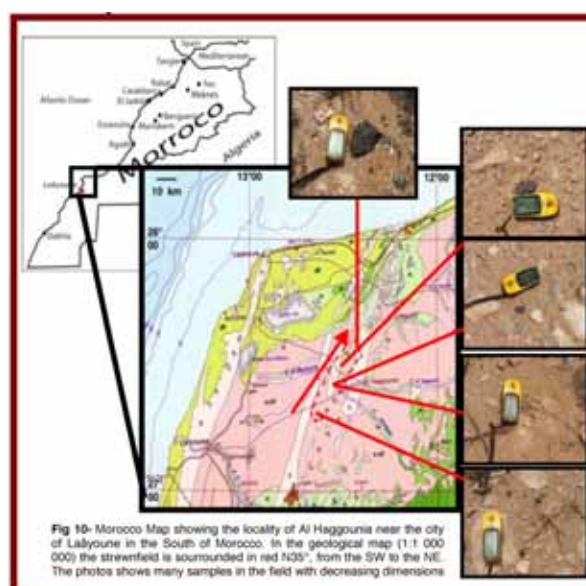
Les échantillons que nous avons retrouvés, s'étendent (dans l'état actuel de nos connaissances) sur une distance de près de 40 km, avec des échantillons de petite taille dans le SW et de taille de plus en plus importante vers le NE, ceci est indicateur d'une ellipse de chute typique, avec une très importante 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⁻¹).

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.

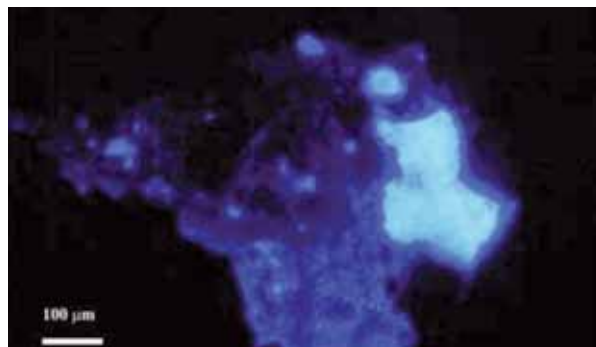


Fig. 11: Image de CL à chaud (Technosyn) d'une poche fondue dans la météorite martienne NWA 480, montrant le plus gros grain de stishovite (500 µm) jamais décrit dans une météorite (Chennaoui Aoudjehane et al, 2005).

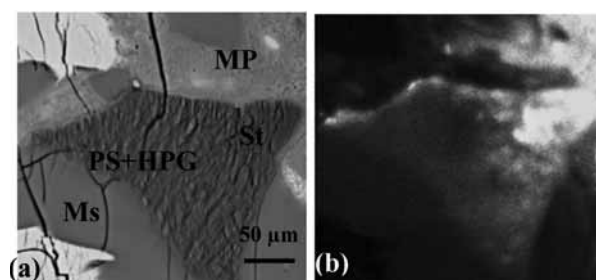


Fig. 12 : Image au MEB en électrons rétrodiffusés (a) et en CL (b) d'un grain de silice avec la structure caractéristique de la seifertite (PS) dans la météorite martienne NWA 856, entouré par de la maskelynite (Ms) et une poche fondue (MP). L'image de CL montre une luminescence très forte de la stishovite (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 bréchique. 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'en suit 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 cathodoluminescence 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 cathodoluminescence 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 SiO₂ and GeO₂ polymorphs: anharmonicity and thermodynamic properties at high-temperatures. *Journal of Geophysical Research* 95, 21 635-21 655.
- Grossman J.N. (2000) The Meteoritical Bulletin, N. 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 SiO₂ 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.

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.

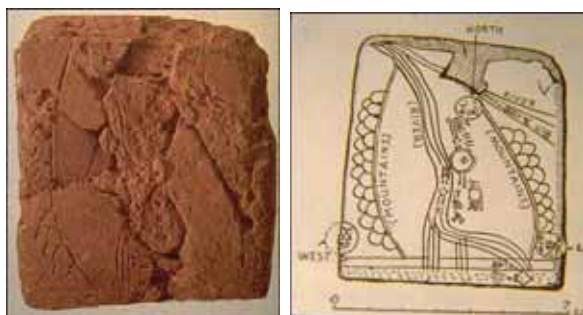


Fig. 1 La première carte babylonienne sur plaque d'argile et son explication

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).

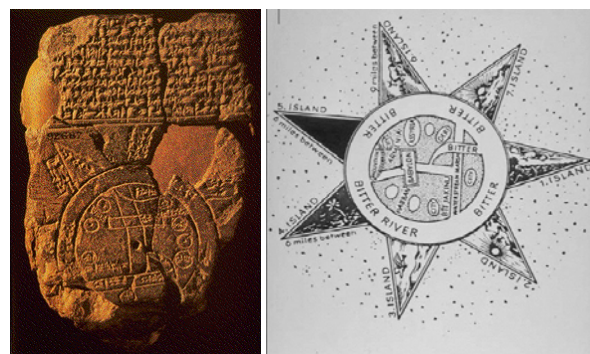


Fig. 2 Carte montrant la conception d'un univers ayant la forme d'un disque flottant sur un océan.

Vient ensuite la cartographie mathématique par le passage d'une cartographie à caractère régionale 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 îles Canaries.

Au 12^{ème} siècle un cartographe arabe nommé «al Idrissi» (1100-1165) créa une mappemonde de 350 cm X 150 cm. Le système d'al Idrissi 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 du divertissement 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 l'Afrique, ainsi que de Byzance : c'est une description résolument universaliste .

Au 13^{ème} 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^{ème} 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^{ème} et au début du 16^{ème} 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^{ème} 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^{ème} et 21^{ème} 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, 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 cartographie géologique tient également une place importante dans **la recherche scientifique**. Elle permet entre autre d'intégrer la **paléogéographie**, d'expliquer la composition et la nature du sol (par la **stratigraphie**), d'en connaître les différents constituants ainsi que la position géologique des substances utiles, d'inventorier le **patrimoine géologique**... enfin d'être une pièce maîtresse dans les **programmes d'investissement et d'aménagement du territoire**.

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 National de Cartographie 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 LPÉE)

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)

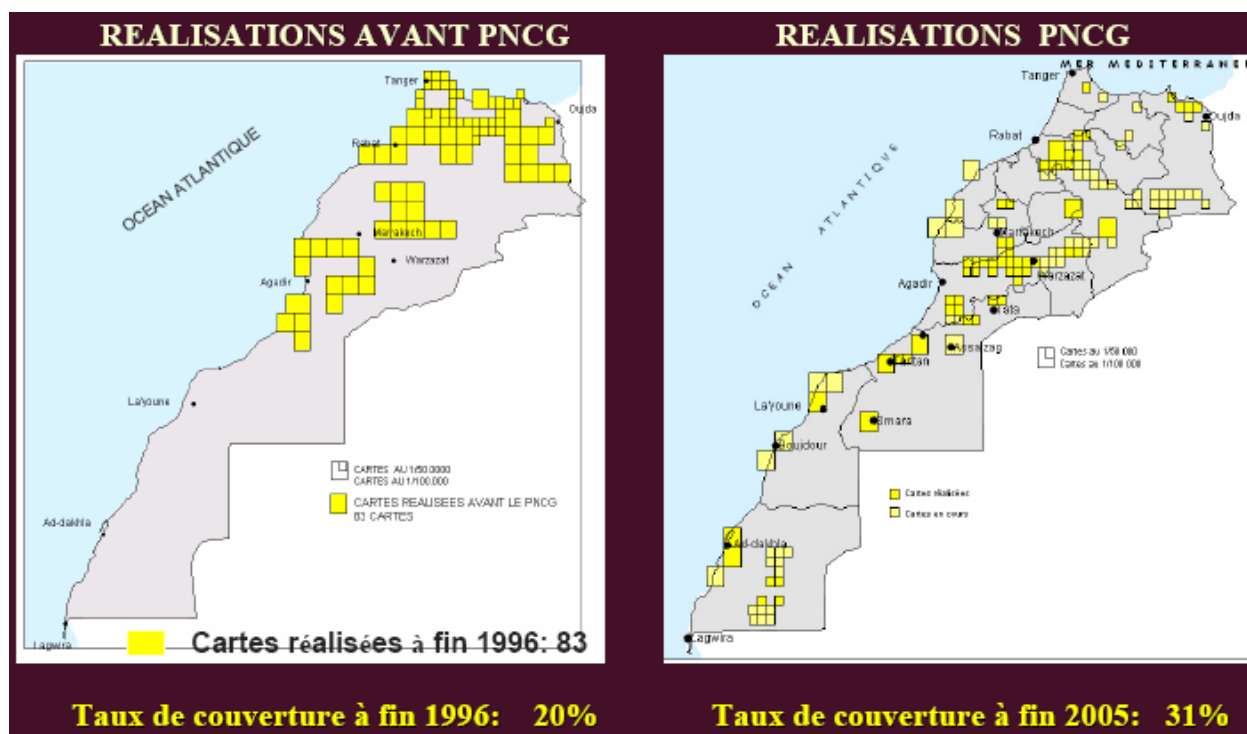


Fig : 7 – Taux de réalisations de la cartographie géologique (source MEM)

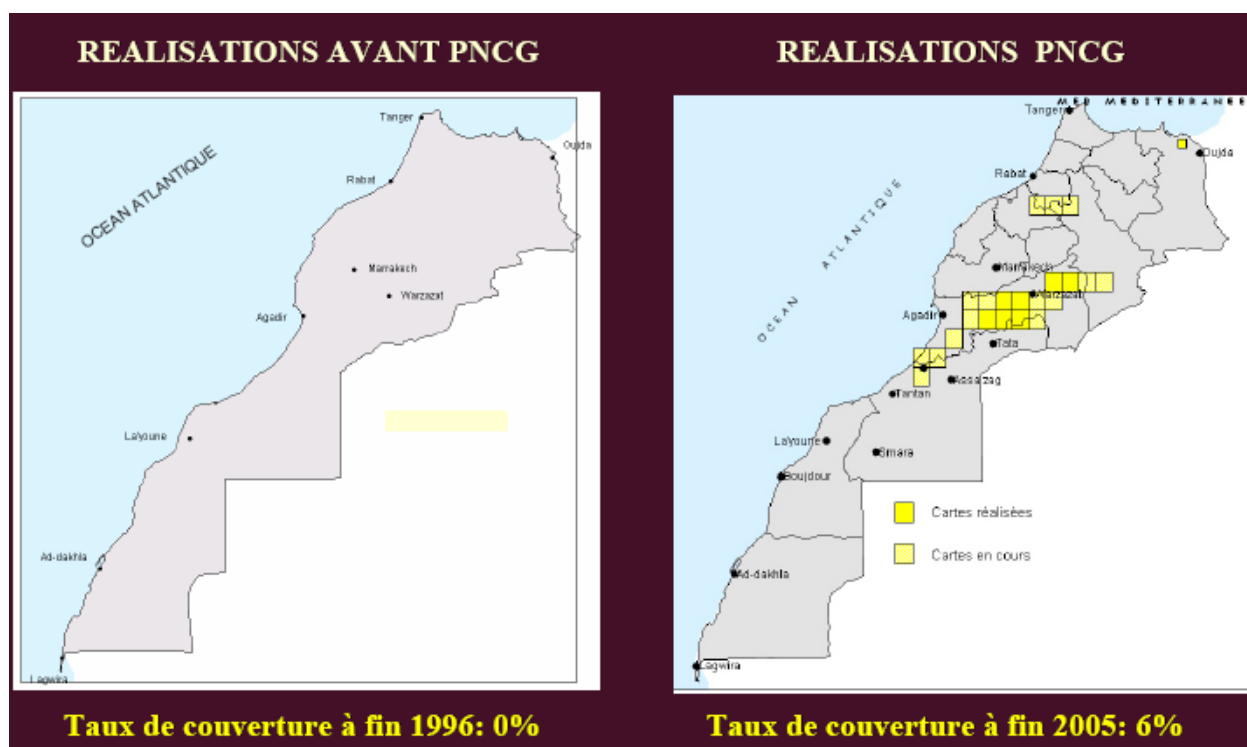


Fig : 8 – Taux de réalisations de la cartographie géochimique (source MEM)



L'information géospatiale pour la gestion durable des ressources naturelles

Driss EL HADANI
Centre Royal de
Télédétection Spatiale (CRTS)
Rabat - Maroc



Les objectifs de croissance et de développement créent une forte pression sur les ressources naturelles et poussent les décideurs à promouvoir des méthodes et des outils de gestion durables de ces ressources et de réduire l'impact sur l'environnement. L'information géospatiale, notamment les données issues de l'observation de la Terre, sont des outils incontournables pour traiter ces questions. Les images de télédétection spatiale constituent des sources d'informations opérationnelles et contribuent à améliorer les processus de prise de décision.

Depuis sa création en 1989, les activités du CRTS s'articulent autour de trois missions stratégiques. En premier lieu la promotion et le développement de l'exploitation et l'usage des techniques spatiales, notamment la télédétection, dans les projets de développement. Le deuxième axe consiste à assurer à tous les utilisateurs un accès permanent et opérationnel aux données satellites et aux informations géospatiales. Le renforcement des capacités nationales aussi bien à travers la formation continue que par le soutien à l'activité Recherche-Développement, constitue le troisième axe de cette stratégie.

Dans cette perspective, les équipes du CRTS ont développé de nombreux projets pour soutenir les décisions stratégiques et assister les départements ministériels et les acteurs nationaux dans les domaines de la gestion, la mise en valeur et la protection des ressources naturelles et environnementales (ressources en eau, agriculture, océanographie, aménagement du territoire, ..). Quelques exemples de projets réalisés par le CRTS en partenariat avec des institutions nationales, sont présentés ci-après.

La gestion intégrée des ressources en eau

L'utilisation des données de la télédétection dans la gestion des ressources en eau a beaucoup évolué durant la dernière décennie. Ceci est dû en particulier à la capacité de ces images à produire des informations sur de larges étendues et sur des zones difficiles d'accès. Par ailleurs, la gestion intégrée des ressources en eau, aussi bien à l'échelle nationale qu'au niveau d'un bassin versant, est une problématique complexe qui requiert des informations multi sources, répétitives et facilement exploitables dans les modèles et les systèmes de décision. Dans cette perspective, le CRTS a réalisé en coopération avec l'Agence du Bassin Hydraulique de Souss-Mass (ABHSM), un système intégré d'aide à la décision (SIAD). Ce projet, qui a bénéficié du soutien de l'Agence Spatiale Européenne et de l'Agence Spatiale Canadienne, a couvert deux composantes :

- L'évaluation de l'impact de l'irrigation sur les ressources en eaux souterraines de la région (fig.1), grâce à l'élaboration d'une série de cartes de l'occupation des sols et son évolution sur la période de 1987 à 2006.

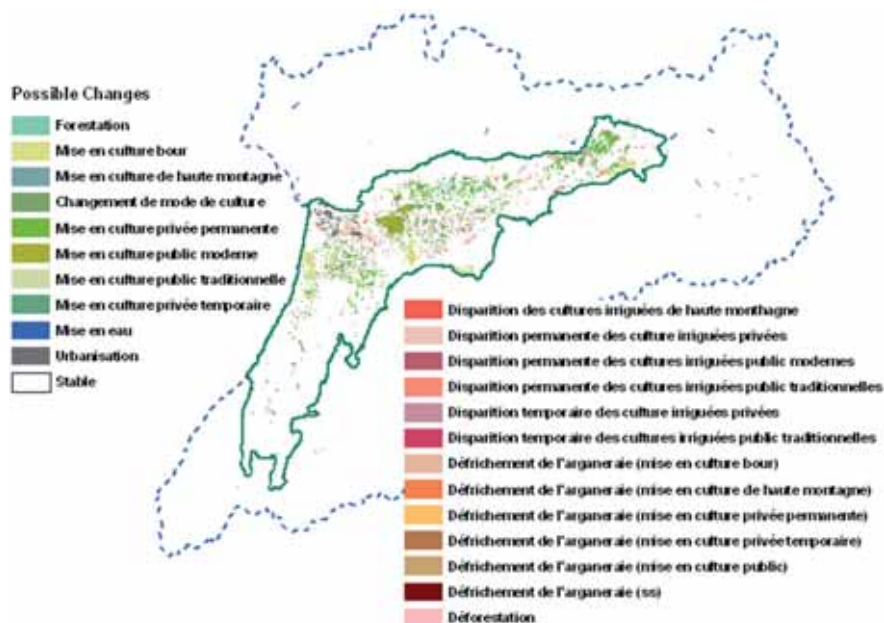


Fig. 1 : Carte des changements de l'occupation des sols et zones irriguées dans la région du Souss-Massa entre 1987 et 2006.

- L'identification de nouvelles ressources pour l'alimentation en eau potable des villages et douars de la région d'Ighrem. Cette approche, combinant

des données satellite optiques et radar a permis de localiser des sites à fort potentiel de présence des eaux souterraines (fig. 2).

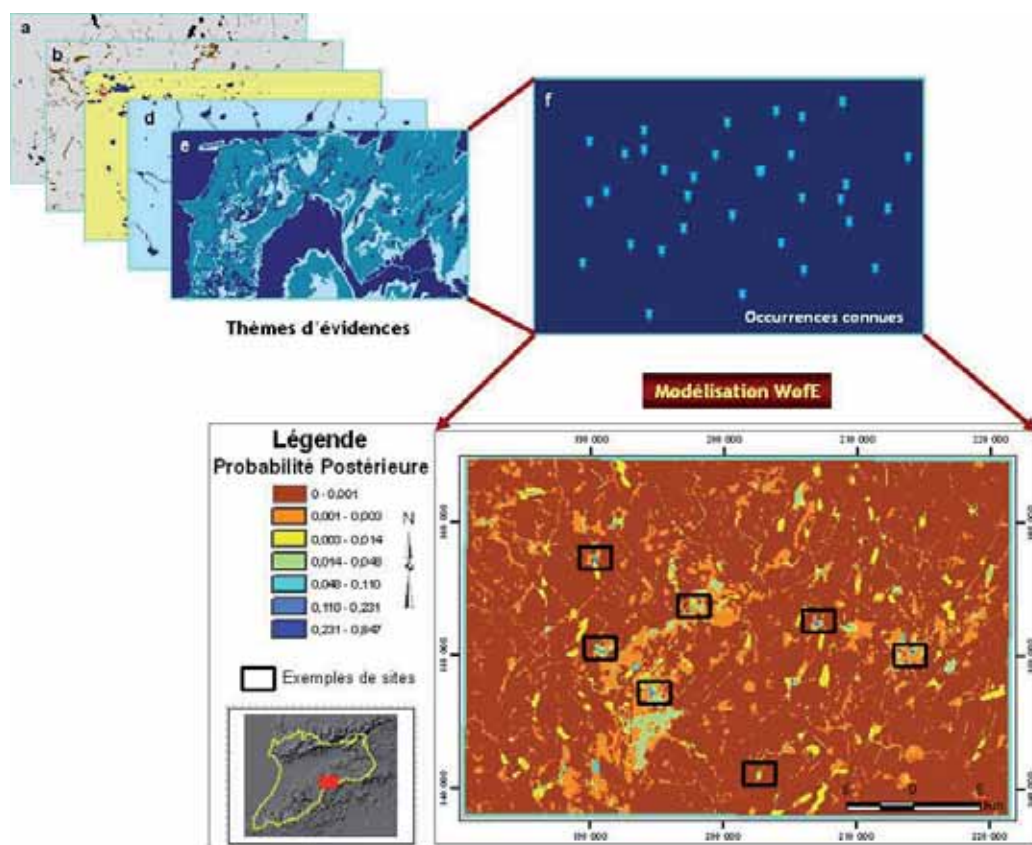


Fig. 2 : Localisation des zones potentielles – Région d'Ighrem.

L'ensemble des données cartographiques et des outils de modélisation ont été intégrés dans un système d'information pour la gestion des ressources en eau dans la zone de l'ABHSM.

Ressources forestières

La forêt joue un rôle important dans l'activité économique nationale. La gestion durable de ce domaine requiert des informations fiables et à jour pour assurer un suivi continu et une meilleure valorisation. Par ailleurs, le bilan de la cartographie des ressources forestières nationales a mis en évidence aussi bien le manque que l'obsolescence des données cartographiques forestières. Dans ce contexte, le CRTS a réalisé en collaboration avec le Département chargé des Eaux et Forêts plusieurs projets et études pour :

- compléter l'inventaire forestier national. Cette opération qui a concerné 75% du territoire national a permis la réalisation de plus de 200 cartes forestières à des échelles variant entre 1/50.000 et 1/250.000. Pour la première fois, les ressources forestières des provinces du Sud ont été cartographiées (fig. 3).

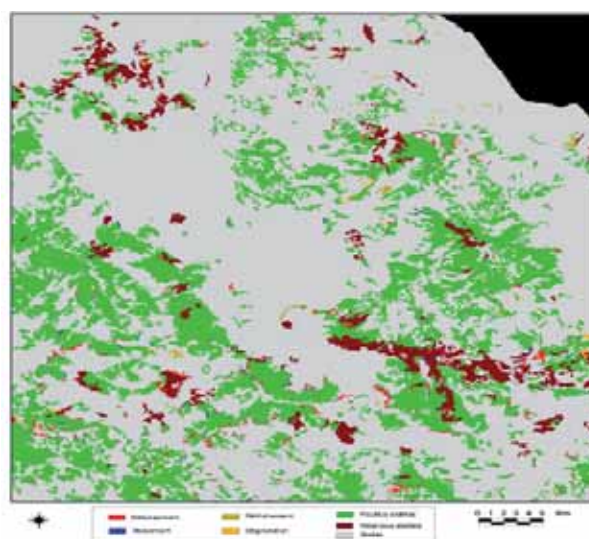


Fig. 3 : Carte des changements. Forêt de Talembote Région de Chefchaoun.

- L'évolution et les changements qui affectent les espaces forestiers ont été étudiés sur 4 sites correspondant à des écosystèmes forestiers différents (Rif, Moyen Atlas, la plaine atlantique...). Ces études ont permis de cartographier les zones de

changements et de les associer avec les facteurs de dégradation, (feu de forêt, défrichement, ..).

- Annuellement, une moyenne de 3000 ha sont ravagés par les feux de forêts. Le CRTS a développé un outil opérationnel pour le suivi des feux de forêts,

avec deux composantes : la cartographie à l'échelle locale des zones à risque et un suivi globale, à l'aide des images basse résolution, des risques de feu sur la base des Indices de Végétation et de la sécheresse (fig. 4).

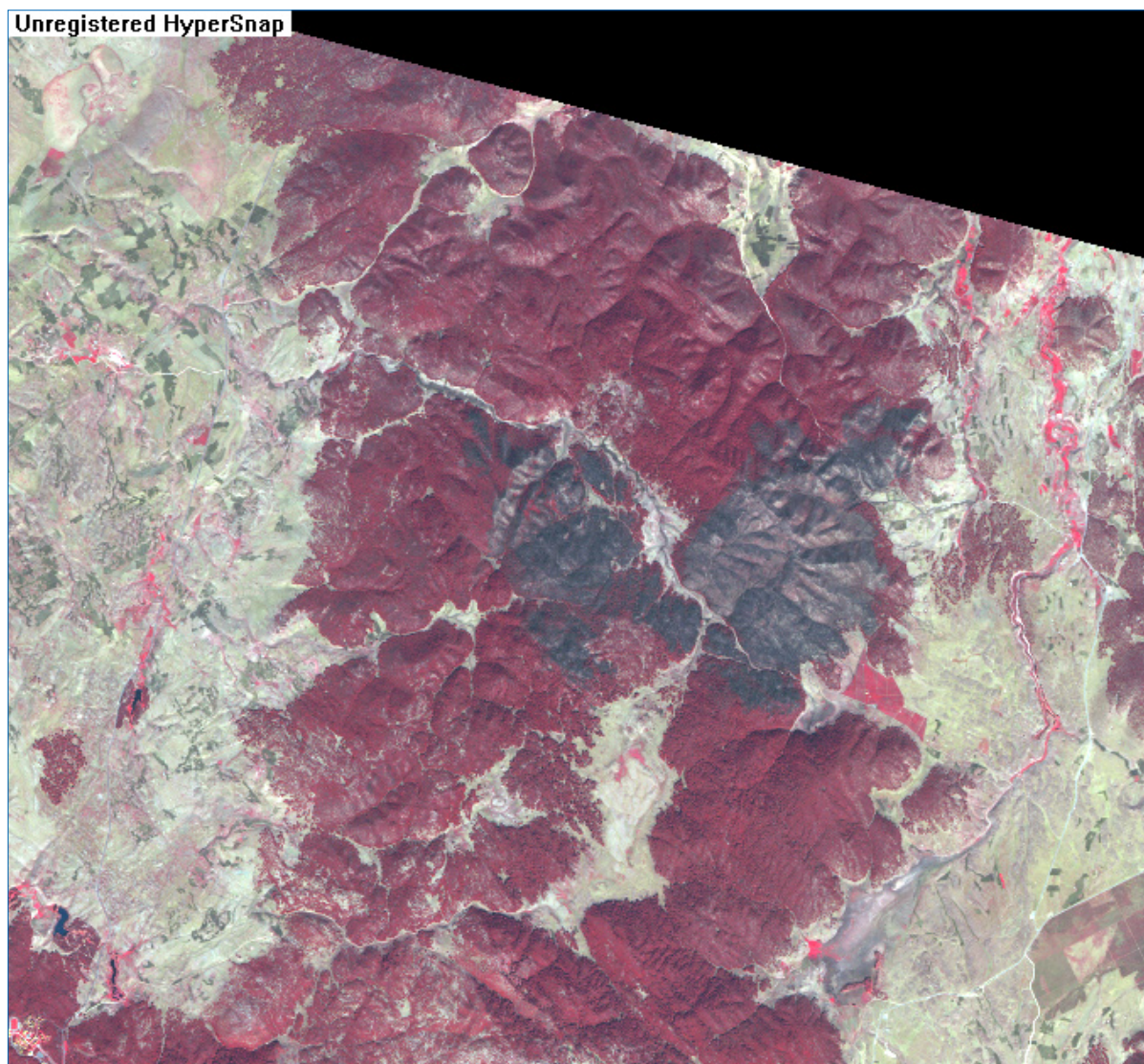


Fig. 4 : Délimitation des zones brûlées – Feu de forêt de la région de Sidi-Kacem/Ouazzen, Août 2004.

Désertification

La désertification et la sécheresse sont des phénomènes récurrents dans notre région avec des impacts socio-économiques très importants. Pour évaluer l'ampleur de ces phénomènes et suivre leur évolution spatio-temporelle, le CRTS a contribué à la réalisation de deux projets régionaux en collaboration avec l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS).

- Le projet Life, réalisé entre 2002 et 2005, a consisté en la production d'une série de données cartographiques pour la caractérisation de l'évolution de l'état de la végétation sur la période 1998-2004. Basées sur

le calcul d'indicateurs dérivés des images NOAA/ AVHRR, ces cartographies ont permis d'identifier les zones les plus touchées par la dynamique de la dégradation de la végétation qui aboutit à l'état de désertification (fig. 5).

- Dans le prolongement de cette étude, un deuxième projet a été initié en 2006 pour la mise en place d'un Système Maghrébin d'Alerte de la Sécheresse (SMAS). Cette étude consiste à développer des indicateurs composés (télédétection, agriculture, météorologie) pour le suivi de la sécheresse.

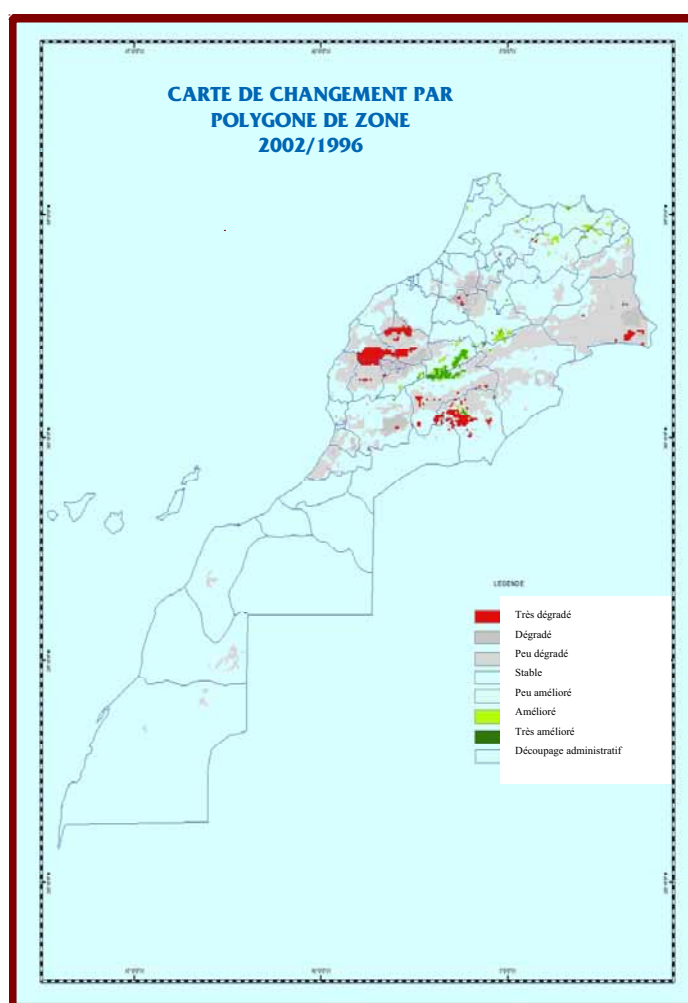


Fig. 5 : Carte de l'évolution de l'état de la végétation 1984-2002.

Infrastructure de l'information géographique

Les enjeux liés à la gestion des données géospatiales, en tant que mission d'intérêt national, constituent une priorité dans le programme d'action du CRTS. À cet égard, un Système de Gestion des Archives (SGA) a été déployé au CRTS depuis 2004 pour assurer le rôle d'une infrastructure opérationnelle pour la conservation, la valorisation et la distribution de l'information géospatiale.

Formation continue

La formation continue et le soutien à l'activité Recherche-Développement sont deux axes fondamentaux de l'action du CRTS. L'objectif étant d'élargir la communauté des utilisateurs, développer les compétences nationales et apporter, par le biais de la recherche scientifique, des réponses aux priorités nationales. À ce jour, ce sont plus d'un millier de personnes qui ont participé aux programmes de formation continue du CRTS et plusieurs projets de recherche ont bénéficié du soutien scientifique et matériel du CRTS dans le cadre de partenariat CRTS-Université.

Coopération internationale

La coopération internationale est considérée au CRTS comme un levier stratégique pour le développement des utilisations de l'espace au Maroc. Dans cette optique, en plus d'une présence active dans les instances internationales et les organisations spécialisées (COPUOS, OSS, IAF, EURISY, COSPAR, ISPRES, ECSL, l'Initiative TIGER, ...) une priorité particulière est accordée à la consolidation de la coopération régionale notamment dans les espaces régionaux méditerranéens et africains.

Ces exemples montrent l'intérêt et l'apport de l'information issue de l'observation de la Terre pour la gestion des ressources naturelles et la protection de l'environnement. La télédétection spatiale et autres techniques géomatiques ne sauraient certes, apporter des réponses à toutes les préoccupations des décideurs, mais elles offrent des possibilités énormes pour moderniser les processus de collecte et de traitement de l'information pour une gestion plus efficace des ressources naturelles.

Le patrimoine géologique

Pr. Patrick DE WEVER
 Directeur Géosciences,
 Service Patrimoine Naturel,
 Muséum National Histoire
 Naturelle



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.

Les instances du patrimoine

- CPPG (Conférence Permanente du Patrimoine Géologique) MEDAD, 1998
- CFPS (Comité Français du Patrimoine Souterrain) MEDAD, 2007
- Comm. Prospective, patrimoine et collections universitaires MESR
- RNF (commission Pat. Géologique)
- PPF Patrimoine géologique National (MESR)
- INPN (Inventaire national)

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)¹. Finalement, la diffusion de ces informations se fera par le biais du portail Internet de l'inventaire national du patrimoine naturel². 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. A 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.

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

² Site : <http://inpn.mnhn.fr>.



Patrimoine Naturel et Développement Durable

Pr. Badia BOUAB
Académie Hassan II
des Sciences et Techniques,
- Maroc -
bbouab@fsr.ac.ma;
bbouab@hotmail.com



A l'heure actuelle, on observe une prise de conscience de plus en plus accrue de la nécessité de préserver et de valoriser le patrimoine naturel géologique dans toutes ses composantes : paléontologique, minéralogique, structurale, géomorphologique, dans un contexte nouveau, véritable paradigme relatif au développement durable, économique et social.

Dès lors, quelle relation existe-t-il entre la préservation du patrimoine naturel et le développement durable ? Il s'agit là d'une problématique complexe nécessitant la réponse à plusieurs questionnements :

1- Comment sauvegarder ce patrimoine pour que le Maroc demeure «le paradis du géologue» ? Le Maroc est, en effet, considéré sur le plan géologique parmi les pays qui relatent de manière assez complète l'histoire du globe, de l'Archéen au Quaternaire :

- par la grande diversité et la grande richesse des sites et gisements géologiques et leur accessibilité aisée,
- par la présence de stratotypes, de coupes de référence, de fossiles typiques, de sites préhistoriques, de curiosités géologiques...

2- Quelles actions entreprendre pour préserver ces ressources naturelles non renouvelables et mettre fin à la détérioration pratiquée actuellement et qui risque d'être irréversible ?

Seule prédomine, aujourd'hui, la valeur commerciale des richesses minérales et fossilifères; valeur qui engendre une exploitation massive, anarchique conduisant inévitablement à leur disparition à court et à moyen terme. En effet un commerce florissant s'en est développé au niveau national et international et des bourses aux fossiles et aux minéraux d'origine marocaine sont organisées. En revanche, les valeurs scientifique, éducative, culturelle, touristique, esthétique,...restent méconnues en l'absence d'intérêt accordé à ces aspects.

Les mesures réglementaires sont-elles suffisantes ? Ou bien faudra-t-il mettre en place un système intégré où interviendraient divers facteurs humains à différents niveaux ?

3- Comment encourager la recherche scientifique en préservant les sites et les gisements ? En effet, comment limiter les effets «pervers» des découvertes scientifiques qui en permettent le repérage par les populations locales et ceux des publications qui permettent la localisation des sites par les trafiquants étrangers ?

Quel est le rôle des scientifiques dans ce nouveau paradigme; celui de la mise en évidence, de la mise en valeur des richesses et de la mise en œuvre de projets de développement ?

4- Comment avoir l'adhésion des populations, connaissant leurs besoins économiques en terme de revenus, dans des régions où sévissent souvent des conditions climatiques et des conditions d'enclavement très dures ? Et comment les impliquer dans ce processus de préservation du patrimoine en veillant au développement ?

Autant de questions auxquelles il devient impératif de répondre et qui nécessitent la connaissance des principaux acteurs ainsi qu'une définition et une orientation judicieuses des actions à mener.

Ils agissent d'un système d'une extrême complexité pouvant être décliné en plusieurs sous-systèmes interactifs. Certains d'entre eux permettraient :

- 1- d'identifier** les acteurs intervenants dans la valorisation depuis les autorités (différents ministères, douane,...) aux populations locales en passant par les chercheurs, les collectivités, entreprises privées, ...
- 2 - d'assurer** le volet de la sensibilisation et de l'éducation au patrimoine,
- 3 - de faire** émerger les impacts sur le développement humain (création de musées régionaux, géoparc...) et les retombées scientifiques (avancement des connaissances, constitution de collections de référence, inventaires,...).

Deux autres sous-systèmes constitueraient les fondements de cet immense chantier en jouant le rôle de moteur concernant la question du patrimoine, à savoir :

- 1- la mise en place d'un dispositif institutionnel structurant et mobilisateur,**
- 2- l'application d'une législation** prévoyant l'arsenal juridique adéquat et nécessaire à la préservation du patrimoine naturel et à sa bonne gestion.

Devant l'urgence d'une stratégie nationale ayant pour objectifs de mener simultanément des actions intégrées ciblant tous ces volets, les universitaires, conscients de leur rôle, se sont déjà attelés à la «tâche» en organisant des rencontres et workshops scientifiques internationaux portant sur la valorisation et la préservation du patrimoine à Mirleft et Guelmim (Avril, 2006), Marrakech (Avril, 2006), Ifrane (Juillet, 2007) et Meknès (Mai, 2008). La pérennisation prévue de ce genre de manifestations offre, à chaque occasion, la possibilité de dresser l'état de la question, de cultiver et de faire avancer la réflexion sur cette problématique en vue de l'élaboration d'une véritable charte en la matière.

Face à cette complexité systémique, quelle pourrait être l'action de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sachant qu'elle a porté dans ses priorités l'axe du patrimoine ? Ainsi dans le domaine des Sciences de la Terre, le premier projet ayant reçu un appui financier a pour thème : Patrimoine géologique et Géodiversité de la région de Rabat-Salé-Zemmour-Zaer (Février 2008).

«Fenêtre» sur la Richesse du Maroc en Minéraux, Roches et Fossiles*

**Prs. EL AMRANI EL HASSANI
Iz-Eddine, FEDAN Bouaza &
TAHIRI Abdelfatah**

Université Mohammed V-Agdal,
Institut Scientifique,
Département des Sciences de la
Terre, B. P. 703, Agdal – Rabat.



Pr. EL AMRANI EL HASSANI

I. Objectifs de l'exposition

L'exposition des Minéraux, Roches et Fossiles (MRF) organisée dans le hall de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, en marge des travaux de sa session plénière solennelle du 20 au 22 février 2008, se veut coïncider avec le lancement des activités célébrant l'Année Internationale de la Planète Terre et vise deux objectifs principaux.

1. Valorisation du patrimoine géologique marocain

Les échantillons de MRF exposés ont été empruntés à la collection du Département des Sciences de la Terre, collection qui fait partie du patrimoine du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) de l'Institut Scientifique (IS). Ce dernier, considéré comme le premier établissement de recherche scientifique national (créé en 1920), a pu constituer, conformément à sa vocation, une importante collection de faune, de flore et de roches du Maroc. La collection du MNHN, ainsi constituée et enrichie au fil des temps par les enseignants chercheurs de l'Institut, compte actuellement plusieurs milliers d'échantillons inventoriés et classés, est mise à la disposition de la communauté scientifique et du public pour leurs divers travaux de recherche. Dans un souci de démocratisation du savoir, nous avons essayé de dévoiler une partie de cette collection de géologie de l'IS, aux éminents scientifiques nationaux et étrangers, notamment les non spécialistes en Sciences de la Terre (physiciens, chimistes, mathématiciens, biologistes...) qui ont assisté aux travaux de la session plénière de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques. Cela leur permettra de se rendre compte de la richesse et de la diversité du patrimoine géologique national

2. Promotion de la géologie

Parmi les échantillons exposés, certains ont un intérêt essentiellement scientifique et académique, tels que les fossiles et certaines roches magmatiques, sédimentaires et métamorphiques, tandis que d'autres présentent plutôt un grand intérêt économique; c'est le cas des minerais qui sont source de métaux (Pb, Ag, Zn, Cu...), de certains minéraux utilisés en industrie (quartz, fluorine, barytine...) et autres roches employées comme matériaux de construction (roches ornementales, gypse, sable, gravier...). C'est pour dire que les Sciences de la Terre contribuent inéluctablement au développement socio-économique du pays. Aussi, l'appel est-il lancé, à travers cette manifestation, aux décideurs pour accorder davantage d'intérêts et de moyens à la recherche géologique fondamentale et appliquée. De même, des mesures doivent être prises pour encourager les jeunes chercheurs à adhérer à la géologie et à poursuivre des études supérieures (Master et Doctorat) en Sciences de la Terre.

II. Brève présentation

La richesse du Maroc en Minéraux, Roches et Fossiles n'est plus à démontrer... Cette richesse est liée à la position géographique et à l'histoire géologique du pays. Situés à l'extrémité Nord occidentale du continent africain, les terrains marocains intègrent un socle précambrien, des terrains paléozoïques, une couverture méso-cénozoïque et des dépôts quaternaires (Michard, 1976; Carte géologique du Maroc, 1982, Piqué, 1994). Aussi, toutes les Eres et Périodes géologiques sont-elles représentées, depuis l'Archéen (3,8 milliards d'années) jusqu'à l'Actuel. En outre, l'ensemble de ces terrains est affecté par une suite d'orogénèses (précambriennes, calédonienne, hercynienne et atlasique) qui ont conduit à l'individualisation de plusieurs domaines structuraux (saharien, atlasique, mésétien et rifain).

La diversité géologique du Maroc a été mise en valeur, d'une façon naturelle, grâce aux bonnes conditions d'affleurement, notamment dans l'Anti Atlas. Ces deux éléments (diversité géologique et bonnes conditions d'observation) ont amené les nombreux géologues qui ont visité le Maroc, depuis le début du XIXème siècle, de le qualifier de «Paradis des géologues». A noter également que l'apport des études menées sur la géologie du Maroc a été considérable dans l'avancement des connaissances en Sciences de la Terre, d'une manière générale. En effet des espèces minérales, des variétés de roches ainsi que des spécimens de fossiles ont été découverts et décrits pour la première fois au Maroc. Les quelques exemples ci-dessus, choisis au hasard, illustrent ce propos :

* Thème de l'Exposition organisée par le Département des Sciences de la Terre de l'Institut Scientifique en marge des travaux de la session plénière solennelle de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques du 20 au 22 février 2008.

- *l'Imitérite* est une nouvelle espèce minérale de la famille des sulfures (Ag_2HgS_2) qui a été découverte dans la mine d'argent d'Imiter (d'où le nom d'Imitérite), situé dans l'Anti-Atlas, entre Boumalne-de-Dadès et Tinerhir (Guillou, 1985.).

- *la Mestigmerite* est une nouvelle variété de roche, faisant partie du groupe des lamprophyres néphéliniques, qui a été définie pour la première fois près de la localité de Mestigmer, située dans le Maroc nord Oriental, entre Taourirt et Oujda (Duparc, 1925, Cherotzki, 1978).

- le Tazoudasaurus est un dinosaure, vieux de 180 millions d'années, qui a été découvert en 1998 près du village de Tazouda dans le Haut Atlas. Ce dinosaure marocain revêt un grand intérêt scientifique puisqu'il pourrait être «l'ancêtre» des Sauropodes d'Amérique du Nord vieux, quant à eux, de 140 millions d'années.

III. Contenu de la collection exposée

Le nombre des échantillons de MRF exposé a été limité par l'espace du hall et des vitrines disponibles. Quant à la nature des spécimens, le choix a été fait sur la base de l'abondance, de l'intérêt scientifique et de l'aspect pédagogique des échantillons.

Un total de 92 échantillons ont été exposés, parmi lesquels : 21 minéraux, 15 fossiles, 15 roches magmatiques, 12 roches sédimentaires, 12 roches métamorphiques et 17 roches ornementales. Ces dernières ont été présentées sous forme de roches brutes et de carreaux polies de 20x20x2cm. Elles traduisent parfaitement la grande diversité des couleurs, des structures et des compositions des roches ornementales marocaines (Bouhaoui et al, 1979). En même temps, elles présentent un grand intérêt économique en tant que matériaux de construction dont certains ont des renommées internationales, notamment le marbre de Bou-Acila, les dalles d'Erfoud, la pierre de Taza...

1. Les minéraux

- *Aragonite* (CaCO_3): du système orthorhombique, en cristaux tabulaires à base hexagonale, associés en bouquets et de couleur jaunâtre à rosâtre (Midelt, Haute Moulouya).

- *Azurite* [$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$]: famille des carbonates, en cristaux courts ou en agrégats rayonnants reconnaissables par leur couleur bleu azur (Mibladen, Haute Moulouya).

- *Barytine* (BaSO_4): famille des sulfates, en cristaux tabulaires disposés en crêtes, de couleur blanche à rosâtre et caractérisés par une forte densité (région d'Azgour, Haut Atlas).

- *Blende* (ZnS): sulfure en masse montrant de nombreuses macles, fractures conchoïdales, de couleur brun à noir et éclat résineux à métallique (Jbilet, région de Marrakech).

- *Calcite en géode* (CaCO_3): carbonate en cristaux prismatique à angles aigus (dents de chien), blancs et limpides qui tapissent l'intérieur de la géode (Midelt, Haute Moulouya).

- *Calcite en spath d'Islande* (CaCO_3): Carbonate en cristal rhomboédrique à 3 plans de clivage bien nets, de couleur blanche et à éclat gras à nacré (Jbilet, Région de Marrakech.).

- *Chalcopryite sur quartz* (CuFeS_2): important minéral de cuivre, en masse grenue, à macles interpénétrées, jaune d'or à éclat métallique avec irisations rouges ou bleues (Jbilet, région de Marrakech).

- *Chalcopryite sur barytine* (CuFeS_2): important minéral de cuivre, en masse grenue, à macles interpénétrées, jaune d'or à éclat métallique avec irisations rouges ou bleues (Mibladen, Haute Moulouya).

- *Cristal de roche ou quartz* (SiO_2): association de cristaux de quartz en prismes à extrémités pyramidales, incolores et limpides (région d'Alnif, Anti-Atlas).

- *Epidote* [$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$]: silicate calcique du système cristallin monoclinique, en petits cristaux prismatiques de couleur verte et éclat vitreux (région d'Alnif, Anti-Atlas).

- *Erythrine ou fleur de cobalt* [$\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2\text{8H}_2\text{O}$]: famille des arsénates en petits cristaux prismatiques très fragiles de couleur rouge pourpre à rose (Bou Azzar, Anti-Atlas).

- *Fluorine* (CaF_2): famille des halogénures, en cristaux cubiques et maclés ou en masse de couleur verdâtre. Important minéral de fluor (mine d'El Hammam, Maroc central).

- *Galène* (PbS): famille des sulfures, en masse grenue montrant des bouts de cristaux cubiques à macles en escalier, de couleur gris noire et de densité élevée (Roc Blanc, Jbilet).

- *Goethite* (FeO-OH): hydroxyde de fer du système orthorhombique, en masses concrétionnées, mamelonnées ou botryoïdales, de couleur gris acier à noire (région d'Azgour, Haut Atlas).

- *Gypse (rose des sables)*: sulfate hydraté, en cristaux lenticulaires, couleur de sable, entrecroisés et englobant des grains de quartz (Mhamid El Ghezlane, Anti Atlas).

- *Gypse fibreux* ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$): sulfate hydraté, en cristaux fibreux, de couleur blanche à rosâtre. Minéral évaporitique souvent associé à l'anhydrite CaSO_4 (Région de Safi).

- *Molybdénite* (MoS_2): minéral du Molybdène, en masse écaillée donnant des lamelles à base hexagonale, couleur gris plomb bleuâtre et toucher gras (Azgour, Haut Atlas).

- **Oligiste ou hématite** (Fe_2O_3): oxyde de fer du système rhomboédrique, en masse composée de fines écailles noires brillantes et à reflets violacés (Nador, Rif).
- **Pyrite** (FeS_2): sulfure commun, en masse grenue ou en cubes à faces striées et macles fréquentes, couleur jaune laiton pâle et éclat métallique (Azgour, Haut Atlas occidental).
- **Quartz Améthyste** (SiO_2): partie d'une géode de quartz améthyste, généralement rencontrées dans les basaltes triasiques altérés (Aguelmous, Maroc central).
- **Vanadinite** [$\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{VO}_4)_3$]: famille des vanadates, en cristaux tabulaires, à section hexagonale, de couleur orange à brique et éclat résineux (Mibladen, Haute Moulouya).

2. Les Roches

2.1. Les roches magmatiques

- **Aplite**, roche filonienne, finement grenue à feldspath alcalin et muscovite (Azgour, Haut Atlas).
- **Basalte à nodules de péridotite**, roche effusive, à grains microscopiques et contenant des nodules ou enclaves du manteau très riche en olivine (péridotite) (région de Nador, Rif).
- **Basalte en prisme**, roche effusive, très finement grenue, à structure en prismes avec section hexagonale due au retrait thermique lors du refroidissement (Oulmès, Maroc central).
- **Gabbro**, roche plutonique grenue, mésocrate, de composition basique, riche olivine, pyroxène, amphibole et plagioclase labrador ou bytownite, (Guemassa, région de Marrakech).
- **Granite gris**, roche plutonique acide à biotite et cordiérite, pluton des Oulad Ouaslam, (Jbilet, région de Marrakech).
- **Granite rose**, roche plutonique, à biotite et feldspath k rose, (Moulay Kerkour, Rehamna).
- **Lamprophyre néphélinique (Mestigmerite)**, roche filonienne microgrenue, de nature chimique alcaline riche en aiguilles de pyroxènes alcalins (région Mestigmer, Maroc oriental).
- **Lave cordée**, roche effusive, noire et montrant un aspect cordé dû à un refroidissement rapide de la surface alors que le magma chaud continu à s'écouler (Ifrane, Moyen Atlas).
- **Microdiorite**, roche filonienne finement grenue, mésocrate, pauvre en quartz et riche en minéraux ferro-magnésienne et en plagioclases calcique, (Guemassa, région de Marrakech).
- **Microgranite porphyrique**, roche de semi profondeur à fond microgrenu et phénocristaux de feldspath potassique (Zrahina, Maroc central).

- **Pegmatite**, roche plutonique en lentilles métriques à grands cristaux de quartz, feldspath potassique, muscovite et tourmaline (Sidi Bou Othmane, Jbilet).
- **Scorie**, roche issue de projection volcanique, de couleur noire, riche en vacuoles, à surface poreuse et irrégulière et qui se caractérise par une faible densité (Ifrane, Moyen Atlas).
- **Serpentinite**, roches grenues issues de la serpentinisation des roches basiques à ultrabasiques riches en olivine, pyroxène et amphibole, parfois minéralisées (Bou Azzar, Anti-Atlas).
- **Tuf volcanique**, roche formée par accumulation de fragments projetés par les volcans (cendres et lapillis) puis consolidés par l'action de l'eau (région de Nador, Maroc nord-oriental).
- **Verre volcanique (perlite)**, roche volcanique vert foncé à noire, à structure vitreuse, issue de refroidissement brusque (trempe) de la lave en surface de la terre (région de Nador, Rif).

2.2. Les roches sédimentaires

- **Arkose minéralisée**, roche détritique terrigène, gris-rosâtre, riche en quartz et feldspaths, à ciment argilo-carbonaté et contenant une minéralisation à Pb-Zn disséminée (région de Zaïda, Haute Moulouya).
- **Brèche calcaire**, roche détritique terrigène, à lithoclastes centimétriques et ciment microsparitique gris (région de Marrakech, Jbilet).
- **Calcaire laminitique**, roche carbonatée biogène, rosâtre et montrant une succession de fines couches (laminites) ondulées, parallèles ou obliques liés à la sédimentation (région de Boulmane, Moyen Atlas).
- **Calcarénite (pierre de Salé)**, roche carbonatée bioclastique jaune-beige, composée de grains de quartz et de fragments de coquilles (bioclastes) liés par un ciment calcaire (région de Rabat-Salé-Kénitra).
- **Calcarénite**, roche carbonatée bioclastique, blanchâtre et assez friable, contenant des bioclastes (bivalves et gastéropodes) entiers ou brisés (région de Berrechid).
- **Calcite saccharoïde**, roche carbonatée physico-chimique, blanchâtre, de dureté moyenne, à structure massive et composée de très fins cristaux de calcite (région d'Imouzzar des Marmoucha, Moyen Atlas).
- **Grès quartzique**, roche détritique terrigène, faiblement consolidée et principalement composée de grains millimétriques de quartz silteux (région de Dar Chaoui, Rif).
- **Grès rouge**, roche détritique litée, de dureté élevée et riche en grains de quartz et de ciment argileux (région de l'Ourika, Haut Atlas).
- **Gypse lamellaire**, roche physico-chimique saline (évaporitique), blanche à rosâtre, assez tendre et montrant une structure en lamelles (région de Safi).

- *Lumachelle*, roche carbonatée bioclastique, composée presque exclusivement de fragments plus ou moins entiers de bioclastes (bivalves) liés par un ciment calcaire blanchâtre (région de Casablanca).
- *Poudingue*, roche détritique terrigène, formée par accumulation et cimentation de petits galets arrondis à ovoïdes, de taille centimétriques et de nature variée (région d'Erfoud, Anti-Atlas).
- *Roche phosphatée*, roche biogène phosphatée, beige à jaunâtre, composée de divers éléments figurés (dents et ossements de sélaciens, gravelles et oolithes) liés par un ciment argilo-calcaire (Région de Khouribga, Maroc central).

2.3. Les roches métamorphiques

- *Cornéenne*, roche de la zone interne de l'auréole du métamorphisme de contact, noire, massive et d'aspect corné. (Jbilet, Région de Marrakech).
- *Gneiss*, roche de degré élevé du métamorphisme général (méso- à catazonal), caractérisée par une alternance de lits clairs et sombres, parfois plissés (Région de l'Ourika, Haut Atlas).
- *Greisens*, roches à quartz et muscovite, provenant de l'altération hydrothermale des granites et qui sont parfois minéralisées en Sn, W... (Région de Bramram, Jbilet).
- *Marbre (cipolin)*, roche du métamorphisme général, résultant d'une transformation isochimique d'anciennes roches sédimentaires carbonatées (région de Lakhsass, Anti-Atlas).
- *Micashistes*, roches du métamorphisme général de degré épi- à mésozonal, à schistosité et foliation marquées et qui montrent des surfaces luisantes en raison de leur richesse en micas (région d'Oulmès, Maroc central).
- *Migmatite*, roche marquant le passage du métamorphisme régional ultime vers le domaine du magmatisme avec des zones claires (mobilisats) et des zones sombres (restites) (région de Beni Bouzra, Rif).
- *Oligistoschistes*, roches équivalentes aux micaschistes mais dont les surfaces des feuillets sont tapissées de micro-écailles d'oligistes (Fe_2O_3), ce qui donne à la roche un aspect gris acier à noir (région de Bou Azzar, Anti-Atlas).
- *Quartzite (métaquartzite)*, roche massive, siliceuse, très dure, issue de métamorphisme thermique d'une ancienne roche siliceuse (grès, quartz...) (région de Aouinat Torkoz, Anti-Atlas).
- *Schistes à andalousites*, roches du métamorphisme de contact, riches en grands cristaux d'andalousite (Région de Sidi Bou-Othmane, Jbilet).
- *Schistes bleus* (ou schistes à glaucophane - lawsonite), roches du métamorphisme régional qui

indiquent des conditions de faible température et forte pression (région de Bou-Azzar, Anti-Atlas).

- *Schistes tachetés (à cordiérite)*, roches du métamorphisme de contact, à schistosité franche et montrant des taches ovoïdes de cordiérites, (région de Rommani, Maroc central).
- *Skarn minéralisé (à molybdénite)*, roche du métamorphisme de contact de séries carbonatées avec apport externe d'éléments chimiques (Si, Al, Fe, Mg...) et de métaux (Mo, Cu, W...) (région d'Azgour, Haut Atlas occidental).

2.4. Les roches ornementales

- *Calcaire crème de Nador*, roche blanche à crème, assez friable et riches en vacuoles et microcavités tapissées de produits argileux de couleur ocre (région de Nador, Rif).
- *Calcaire jaune de Boujaad*, roche bariolée, finement grenue, de couleur jaune à beige avec quelques points ferrugineux rouge rouille (région de Boujaad, Maroc central).
- *Granite gris*, roche massive, grise, à grain moyen et très résistante (pluton hercynien d'Oulmès, Maroc central).
- *Granite rose*, roche massive, rose, à grain grossier et d'une grande dureté (granite précambrien de Tafraout, Anti-Atlas).
- *Marbre de Bou Acila*, calcaire marmorisé, blanc, finement grenu et à trame dense de veines brunes (région de Boujaad, Maroc central).
- *Marbre de Lakhsass*, roche finement litée, de couleur blanches avec des nuances roses et vert et d'une assez bonne résistance (région de Tiznit, Anti-Atlas).
- *Marbre de l'Oued Ykem*, roche grisâtre à rosâtre, à grains grossiers de calcite et qui présente un aspect granitique (région de l'Oued Akrech, Meseta occidentale).
- *Marbre gris de Tiflet*, roche gris claire à violacée avec des veines brunes et noires (région de Tiflet, Meseta occidentale).
- *Marbre noir de l'Oued Cherrat*, roche noire assez homogène ou traversée par un réseau de veinules blanches de nature calcitique (région de l'Oued Cherrat, Meseta occidentale).
- *Marbre vert de Taznakht*, roche massive et compacte, de teinte vert pâle et montrant des niveaux argileux grisâtres (région de Taznakht, Anti-Atlas).
- *Onyx d'Afra*, roche brun limpide à transparente, assez homogène et fortement microfissurée. (Région de Ouarzazate, Anti-Atlas).
- *Onyx de Bani Mellal*, roche montrant des alternances de lits ondulés de couleurs brun marron et blancs (région de Bani-Mellal, Haut Atlas).
- *Pierre de Salé*, roche jaune beige, à grain visibles,

assez friable et renfermant des fragments de coquilles et des petits galets (région de Rabat-Salé).

- **Pierre de Taza (jaune et grise)**, roche finement grenue, assez dure et homogène avec deux faciès, distinctes par leur teinte respectives beige et grise (région de Oued Amlil, près de Taza).

- **Pierre d'Erfoud**, roche brun marron, assez friable et très riche en fossiles (orthocères et goniatites) (région d'Erfoud, Anti-Atlas)

- **Travertin de Bir Jdid**, roche jaune beige, à grain visibles, assez friable et montrant des niveaux de stratification (région d'El Jadida, Meseta côtière).

- **Travertin de volubilis**, roche blanche à beige, montrant une importante porosité (région de Volubilis, Rides pré-rifaines).

3. Les fossiles

- **Ammonite (*Cadomites* sp.)** d'âge Batonien (région d'El Mers, Moyen Atlas).

- **Ammonite (*Hildoceras* sp.)** d'âge Jurassique inférieur (région de Rich, Haut Atlas central).

- **Bivalve (*Pecten* sp.)** d'âge Mio-Pliocène (région de Ras El Ksar, Bassin de Guercif).

- **Clymènie (*Clymenia* sp.)** d'âge Dévonien supérieur (région de Tafilalt, Anti-Atlas).

- **Crinoïde (*Scyphocrinites* sp.)** d'âge Silurien supérieur (région d'Erfoud, Anti-Atlas).

- **Dents de Requins (*Carcharodon* sp.)** d'âge Eocène (région de Khouribga, Maroc central)

- **Feuilles de Fougère** d'âge Carbonifère supérieur (région de Jerrada, Maroc nord oriental).

- **Gastéropode (*Helix* sp.)** d'âge Plio-Quaternaire (région de Ksabi, Moyenne Moulouya).

- **Goniatite (*Aphyllites* sp.)** d'âge Dévonien moyen (région de Tafilalt, Anti-Atlas).

- **Incisives d'Hippopotame (*Hippopotamus* sp.)** d'âge Quaternaire (région d'El Hajeb, Moyen Atlas).

- **Orthocère (*Orthoceras* sp.)** d'âge Dévonien inférieur (région d'Erfoud, Anti-Atlas).

- **Trilobite (*Acadoparadoxides* sp.)** d'âge Cambrien moyen (région d'Alnif, Anti-Atlas).

- **Trilobite (*Asteropyge* sp.)** d'âge Dévonien (région de Tafilalt, Anti-Atlas).

- **Trilobite (*Paradoxides briarens*)** d'âge Cambrien moyen (région d'Alnif, Anti-Atlas).

- **Trilobite (*Phacops major*)** d'âge Dévonien (Région de Tafilalt, Anti-Atlas).

IV. Conclusions

A travers cette exposition, considérée comme une «fenêtre» sur la géologie du Maroc, les visiteurs ont pu se rendre compte des potentialités du pays en Minéraux, Roches et Fossiles. Ce patrimoine géologique national, de valeur inestimable, aussi bien du point de vue scientifique, académique qu'économique, nécessite une attention particulière et une gestion rationnelle. Aussi, les décideurs et, en particulier, les responsables des secteurs des Sciences de la Terre, doivent-ils accorder davantage d'intérêt et soutiens aux projets de recherche géologique fondamentale et appliquée, car cela constituera l'un des principaux leviers du développement socio-économique du pays. Par ailleurs, des actions de sensibilisation et surtout une réglementation souple et efficace sur l'exploitation et la commercialisation de ces géomatériaux doivent voir le jour incessamment. Cela doit viser : (i) la conservation et la protection des sites géologiques d'intérêt scientifique et culturel pour la communauté géologique nationale et internationale; (ii) la préservation de ce patrimoine national pour les générations futures; (iii) sa valorisation et son exploitation dans le cadre de programmes géo-touristiques et socio-culturels.

Références bibliographiques citées

- Bouhaoui A., Carman V. et Hilali A (1979). Les marbres du Maroc. Mines, Géologie et Energie, 45, 35-102.
- Carte géologique du Maroc au 1/1.000.000ème (1984). Ministère de l'Energie et des Mines, Direction de la Géologie, Notes et Mém. Serv. géol. Maroc.260.
- Cheretzki G. (1978). Pétrographie du Maroc (roches éruptives et métamorphiques). Notes et Mém. Serv. géol. Maroc.266, 152p.
- Duparc G. (1925). Sur quelques roches filoniennes curieuses des environs de Mestigmer (Maroc). C.R. Acad. Sci., Paris, t. 180, n°23, 1764-1766.
- Guillou, J.-J., Monthel J., Picot P., Pillard F., Protas J. et Samama J.-C. (1985). L'imitérite, Ag₂HgS₂, nouvelle espèce minérale: propriétés et structure cristalline. Bull. minéral. vol.108, no 3-4, 457-464.
- Michard A. (1976). Eléments de géologie marocaine. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc. 252, 420p.
- Piqué A. (1994). Géologie du Maroc, Edition Pumag, 284p.

Planche photographique



Rayons des fossiles et des minéraux de l'exposition tenue au hall de l'Académie.



Cristal de roche (quartz) d'Alnif.



Erythrine (fleur du cobalt) de Bou Azzar.



Trilobite(Phacops)du Dévonien de Tafilalt.



Ammonite du Jurassique du Haut Atlas.



Onyx calcaire de Bani Mellal.



Calcaire fossilifère (Dalle d'Erfoud).



أكاديمية الحسن الثاني للعلوم والتقنيات

Académie Hassan II des Sciences et Techniques

Session plénière solennelle 2008

2008/02/22 - 21 - 20

Activités de l'Académie

Session plénière solennelle 2008

Ouverture de la session

L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques a tenu sa session plénière solennelle pour l'année 2008, à Rabat, les 20-21 et 22 février en présences des nombreuses personnalités invitées.

Le Pr. Mohamed Ait-Kadi a été élu Directeur des Séances.



De gauche à droite : Pr. Omar FASSI-FEHRI, Secrétaire Perpétuel; Pr. Mohamed Ait-Kadi, Directeur des Séances; Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier.

Au cours de la séance d'ouverture le Professeur Omar Fassi-Fehri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie a prononcé le discours suivant:

**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 du progrès incessant des sciences et pour nous interroger sur les conditions qui permettent leur épanouissement. C'est aussi une occasion pour nous 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 le projet.

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 et sur quelques autres indicateurs.

Comme troisième action forte menée au cours de l'année écoulée, l'organisation d'une semaine en direction des 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, comme la loi de sa création l'y invite.

Ce sont là quelques unes des actions menées par notre Institution durant l'année 2007; l'ensemble et le détail de ses activités durant l'année écoulée seront présentés lors d'une séance de cette session prévue Vendredi 22 Février 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 18^{ème} 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^{ème} 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 la 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 des chercheurs, des enseignants-chercheurs et des institutions de recherche.

Excellences, Mesdames, Messieurs,

S'il y a un meilleur 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 de 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 a aussi pour but d'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 d'une meilleure prise en compte des interactions entre les différentes sphères constitutives de notre planète y compris l'hydrosphère, la biosphère et l'atmosphère ainsi que des 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 de conserver l'équilibre du système Terre. 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 ce regain d'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 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'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 cette 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 saisis cette opportunité pour présenter mes vifs remerciements à toutes les personnalités qui ont bien voulu accepter notre invitation pour participer à cette session plénière de notre Académie. Je remercie également les éminentes personnalités scientifiques, de l'extérieur et de l'intérieur du Royaume qui vont 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 inaugurale sur «L'avenir de la vie sur Terre». Malheureusement, à cause de problèmes de santé, il nous a contacté Samedi dernier 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 voudrais remercier 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. En outre des communications scientifiques faites par des membres de l'Académie ou des chercheurs marocains, sur leurs travaux de recherche, seront présentées et débattues. La session aura également à débattre 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.

Programme de la Session plénière

Mercredi 20 Février 2008

- Allocution d'ouverture du Secrétaire Perpétuel
- Célébration de l'Année Internationale de la Planète Terre**
 - Pr. A. El Hassani : La cartographie géologique au Maroc et développement durable
 - Pr. Ph. Taquet : Les dinosaures et la crise environnementale de la fin du Crétacé
 - Pr. Hasnaa Chennaoui : Les météorites au Maroc, une richesse scientifique et un patrimoine à préserver
 - Dr. Torkil JONCH-CLAUSEN : The role of science and technology in the water sector illustrated by the Danish approach
 - Pr. R. Llamas : The groundwater development silent revolution: pros and cons.
 - Dr R.T. Hanson : Examples of advances in Hydrologic Modeling of Flow, Transport & Ground-water/Surface-water interactions
 - Pr. M.D.S. Vasconcelos : Océan et zones côtières: le défi d'une politique intégrée
 - Dr. A. Berraho : Devenir du patrimoine halieutique national

Jeudi 21 Février 2008

- Pr. J. Dercourt : Présentation de l'Année Internationale de la Planète Terre
- Pr. P. De Wever : Gestion du patrimoine géologique
- Pr. E.H. Zakri : Biotechnology, biodiversity, biosecurity safety and biodiplomatie
- Evaluation de la Recherche Scientifique**
 - M. Hamid Bouabid : Evaluation of Moroccan research using a bibliometric based approach
 - MM. Luigi Rossi et R. Waast : Présentation des résultats de l'étude «ESTIME»
 - Pr. Jean Dercourt : Expérience du Comité National d'évaluation de la recherche scientifique en France
 - Pr. Erik Sandewall : Technology, Foresight, Evaluation of Research and the choice of Development strategy : Report from a French-Swedish meeting

Communications Scientifiques

- Pr. John O'Reilly : Get set for the knowledge economy
- Pr. Nicolas Moumni : Les risques attachés aux actions dans la tourmente boursière pour une approche conditionnelle du risque bêta
- Pr. Nouredine El Aoufi : Le rôle des croyances dans le processus du développement économique
- Pr. André Zaoui : Champs locaux et plasticité cristalline
- Pr. Mahfoud Ziyad : Conversion catalytique du méthane sur des matériaux phosphatés et développement durable
- Pr. Mohammed Sadiki : Conservation in situ de la biodiversité agricole à travers le soutien de sa gestion à la ferme dans les agroécosystèmes marocains
- Pr. Abdeljebbar Diouri Valorisation du phosphogypse dans l'élaboration d'un ciment sulfoaluminate; aspects physio-chimique et environnemental
- Dr. Fadwa Essannouni : Estimation de mouvement robuste et de faible complexité dans les séquences vidéo

Cérémonie d'installation du Chancelier et de 3 membres nommés

La session plénière 2008 a été marquée par l'accueil solennel des personnalités nommées à l'Académie par Sa Majesté le Roi Mohammed VI.

- Pr. Mostapha Bousmina, Chancelier de l'Académie,
- 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

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, en tant que 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 assume sur le plan scientifique certes mais aussi 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, il est 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 il a 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, il 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, il s'agit de 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 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 Mohamed V.

Au sein de l'Académie, Pr. Mostapha Bousmina a déployé des efforts énormes 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 continuer son travail de recherche au service de son pays sans arrêter 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, 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 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 traduise ou trahisse 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 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, et 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 sont 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. Là aussi le champs de l'organisation le champs 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 dite 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 de 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 y 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 de l'Agence Communautaire pour le Contrôle de la Pêche, 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 80 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^e 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 : Diagnostique et Scénarios suivis 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 de plusieurs 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 mes sincères félicitations et lui souhaite plein succès dans ses travaux.

Allocution de 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 la poursuite 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. Ismaïl 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. Ismaïl 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 fine des pointes 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 de M. Ismail Akalay

M. 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.

Mot de Clôture du Directeur de Séances Mohamed AIT KADI

Monsieur le Secrétaire Perpétuel
Monsieur le Chancelier
Chers collègues académiciens
Mesdames et Messieurs

Nous voilà arrivé à la clôture des travaux de la Session Plénière Solennelle 2008 de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Cette Session s'est distinguée par l'installation de Monsieur le Chancelier et des 3 nouveaux membres que Sa Majesté Le Roi Mohammed VI, Protecteur de l'Académie, a bien voulu nommer. Ces nominations traduisent la sollicitude royale envers l'Académie et nous anticipons tous leur apport inestimable à la réalisation de ses objectifs, ceux à la fois de servir notre pays et de contribuer au développement de la science mondiale.

Nous avons eu également le bonheur d'être témoin et de partager la joie et la fierté de notre collègue Malik Ghallab qui a été honoré par la France en lui décernant la Légion d'Honneur. Nous sommes tous admiratifs de son parcours d'homme de science, de conviction et de cœur.

Cette session a été rehaussée par la signature d'un accord de partenariat avec le Conseil de la Recherche Scientifique de l'Espagne. Cet accord, le premier du genre, témoigne de la volonté de notre Académie de se situer au centre d'un réseau d'institutions scientifiques prestigieuses aux possibilités extrêmement riches et fécondes.

Elle s'est également distinguée par la qualité exceptionnelle et la diversité des communications scientifiques qui ont été présentées. Les débats qu'elles ont suscités constituent, j'en suis persuadé, un socle solide pour affirmer davantage le rôle de l'Académie et sa vision, une vision qui féconde l'action lui donne un sens, une cohérence et une efficacité avec un souci permanent d'accompagner la communauté scientifique nationale vers l'excellence et lui assurer une communication de haut niveau avec l'élite scientifique mondiale. Le chemin parcouru dans ce sens, en si peu de temps, conforte la crédibilité de cette ambition.

Je voudrais vous remercier vivement pour votre participation active et votre contribution à la réussite de nos travaux.

Je me tourne maintenant vers tous ceux qui ont constamment veillé au déroulement de nos travaux dans les meilleures conditions pour leur dire toute notre appréciation.

Mes remerciements vont aussi à l'équipe de traduction à laquelle nous avons dû parfois imposer des horaires intenable.

Je souhaite un bon retour à nos collègues qui sont venus de l'étranger.

Vous avez bien voulu me confier la lourde tâche de diriger les séances. J'ai essayé de m'en acquitter du mieux que j'ai pu. Cela n'a pas été toujours facile, mais je me rassérène car je sais que vous m'avez accordé votre indulgence.

L'Académie renouvelle ses instances

Au cours de la session plénière solennelle 2008, il a été procédé à l'élection des membres du conseil d'Académie, de la Commission des travaux, et des directeurs et codirecteurs des Collèges Scientifiques.

Le Conseil d'Académie se compose ainsi de Messieurs :

- Omar FASSI-FEHRI, Secrétaire Perpétuel;
- Mostapha BOUSMINA, Chancelier;
- Albert SASSON;
- Driss ABOUTAJDINE;
- Ahmed EL HASSANI.

La Commission des Travaux se compose, de Messieurs:

- Omar FASSI-FEHRI, Secrétaire Perpétuel;
- Mohammed AIT KADI, Directeur des Séances;
- Mostapha BOUSMINA, Chancelier;
- Rachid BENMOKHTAR;
- Malik GHALLAB;
- Abdelilah BENYOUSSEF;
- Driss OUAZZAR;
- Mohammed ESSASSI (observateur).

Les Directeurs et Codirecteurs de Collèges sont :

Collège des Sciences et techniques du vivant :

- Directeur : réélection de Mr. Albert Sasson
- Codirecteur: réélection de Mme 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
- Codirecteur: réélection de Mr. Mohammed Jellali

Collège des Sciences physiques et chimiques :

- Directeur : élection de Mr. Abdelilah Benyoussef
- Codirecteur: élection de Mr. El Hassan Saidi

Collège des Sciences de la modélisation et de l'information:

- Directeur : réélection de Mr. Driss Aboutajdine
- Codirecteur: réélection de Mr. Abdelhaq El Jaï

Collège de l'Ingénierie, Transfert et Innovation technologique:

- Directeur réélection de Mr Philippe Tanguy
- Codirecteur: réélection de Mr Bounahmidi Tijani

Collège des Etudes stratégiques et Développement économique:

- Directeur : élection de Mr. Nouredine El Aoufi
- Codirecteur: élection de Mr. Mohammed Berriane

Réunions des Collèges Scientifiques

Collège Ingénierie, Transfert et Innovation Technologique:

Ce Collège a tenu ses 20ème et 21ème réunions, les mardi et vendredi, 19 et 22 février 2008.

Ont été examinés au cours de ces réunions :

- Les thèmes qui seront traités par le Congrès International de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques sur les Energies Renouvelables, prévu à Rabat, en mai 2009, ainsi que la composition de son comité scientifique, l'implication des industriels marocains, et la communication qui doit accompagner cette manifestation;
- Le Parrainage du lycée Moulay Abdallah Cherif à Ouezzane, notamment à travers l'exemple d'actions de parrainages similaires, effectuées au Qatar;
- Le Projet PACTE, son financement, ses partenaires, ses priorités, notamment au travers des tables rondes prévues, le 19 février 2008 à l'EMI (Université Mohamed V Agdal Rabat), le 12 mai 2008 à Guemmassa (Université Cadi Ayyad Marrakech) et le 14 mai 2008 à Tanger (Université Abdelmalek Essaadi), et avec en perspective, l'organisation, à la fin de l'été 2008, d'une table ronde sur les attentes du secteur énergétique et la recherche universitaire nationale;
- L'état d'avancement des projets de recherche, financés par l'Académie, pour l'année 2007, qui concernent ce Collège, ainsi que l'Appel d'Offres relatif aux projets de recherches pour l'année 2008/2009.

Collège des Sciences et techniques du vivant :

La 13ème réunion du Collège des Sciences et Techniques du Vivant a été tenue le 1er février 2008. Son ordre du jour a essentiellement porté sur le programme de la session plénière solennelle 2008, sur les 19 projets financés par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, au titre de l'année 2007, et dont 9 projets ont déjà reçu leur première dotation, sur le calendrier de l'appel d'offres 2008, et enfin sur la coordination nécessaire entre les directeurs et codirecteurs des différents collèges.

Lors de ses 14ème et 15ème réunions tenues le 22 février et le 13 mars 2008, ce Collège a :

- reprécisé le calendrier de ses réunions pour l'ensemble de l'année.
- convenu de la mise en place d'un système pour le suivi des projets financés par l'Académie (virement des subventions, évaluation des projets, etc.) avec une attention particulière pour l'aboutissement des conventions relatives aux projets concernant le chêne liège et l'arganier;

Les membres du Collège ont aussi débattu :

- de la préparation de la prochaine session ordinaire du 10 mai 2008;
- de l'association des jeunes chercheurs aux activités du Collège, et notamment à ses réunions;
- de l'appel d'offres, pour les projets de recherches, au titre de l'année 2008;
- de la contribution du Collège à l'élaboration du rapport d'activité annuel de l'Académie;
- de la contribution aux prochains numéros du bulletin d'information de l'Académie;
- de l'implication plus prononcée des collègues membres associés, notamment en marge des sessions plénières;
- des conclusions de la réunion de coordination des directeurs et codirecteurs de Collèges, tenue le 12 mars 2008;
- de la préparation de la session plénière solennelle 2009;

Par ailleurs, un accord de coopération ayant été signé avec le CSIC espagnol, le 21 février, au cours de la session plénière solennelle 2008, d'autres possibilités similaires devraient être prospectées. Des membres de ce collège pensent qu'un accord avec l'INSERM de France pourrait être envisagé dans ce sens.

Collège des Sciences de la modélisation et de l'information:

La 10^{ème} réunion du collège des Sciences de la modélisation et de l'information a eu lieu le 22/02/08.

Cette réunion a été consacrée à l'élection du directeur et du codirecteur du collège, puis à une large discussion sur la manière d'opérer de ce collège, afin de l'ouvrir sur la communauté scientifique, de la façon la plus large possible, et de rendre ses activités plus marquantes pour l'accomplissement des missions de l'Académie.

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

Le mardi 25 mars 2008, le Collège des Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer s'est réuni pour traiter d'un ordre du jour portant sur la réunion du Comité exécutif de l'union internationale des sciences géologiques (UISG) prévu à Marrakech, du 17 au 20 Avril 2008, et sur celle de la Société Marocaine des Membranes et de Dessalement (27-28 Avril 2008).

Les membres de ce Collège ont également examiné les questions relatives au journal et au bulletin d'information de l'Académie, au futur Musée d'Histoire Naturelle, aux experts auxquels il pourrait être fait appel, notamment dans le domaine de la météorologie et de la climatologie, et à l'Appel d'Offres 2008. Le collège a par ailleurs arrêté son calendrier de réunions de l'année 2008.

Réunion de coordination entre les directeurs et codirecteurs des Collèges Scientifiques

Dans le prolongement des recommandations de la session plénière solennelle 2008, les directeurs et codirecteurs des Collèges Scientifiques ont été réunis, le 12 mars 2008, pour une première réunion de coordination.

Au cours de cette réunion il a été procédé à un large tour d'horizon sur les questions des appels d'offres ouverts, du rôle et des missions de l'Académie, au regard des actions entreprises par les différents opérateurs de la recherche scientifique, et sur la nécessité de créer et de développer des «niches» d'excellence.

Pour la promotion et le soutien de l'excellence en sciences et techniques, les Collèges Scientifiques œuvreraient à l'identification de compétences qui se distinguent soit au niveau individuel, soit au niveau de groupes, ou encore au niveau de projets porteurs.

Par ailleurs, les directeurs et codirecteurs de Collèges ont échangé leurs points de vues sur les points suivants :

- la journée d'étude du 10 mai qui sera consacrée à l'état de la production scientifique;
- l'Année Internationale de la planète Terre qui pourrait être le thème de l'édition 2008 des journées «les jeunes et la science»;
- le thème de la session plénière 2009;
- les acquisitions de la bibliothèque de l'Académie.

Réunion commune de la Commission des Travaux et du Conseil d'Académie

Le 19 février 2008 a été tenue une réunion conjointe du Conseil d'Académie et de la Commission des Travaux, consacrée à :

- La coordination du travail entre les Collèges, la Commission des Travaux et le Conseil d'Académie;
- Le déroulement de la session plénière solennelle des 20, 21 et 22 février 2008;
- L'Appel d'Offres 2008, notamment le canevas destiné à aider à la rédaction des projets, la nécessité de travailler à l'évaluation des projets, et les difficultés rencontrées par les porteurs de projets;
- Le projet d'accord avec l'Observatoire des Sciences et Techniques (OST France);
- La convention de coopération avec le CSRS d'Espagne;
- Les publications de l'Académie et notamment la nécessité de sensibiliser les membres de l'Académie, à la publication d'articles dans le bulletin d'information;
- Le renouvellement des instances de l'Académie lors de la session plénière, conformément aux dispositions de la loi instituant l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

ACTIVITES DES COLLEGES EFFECTUEES EN MARGE DE LA SESSION PLENIERE 2008	
Académiciens	ACTIVITES
PHYSIQUE CHIMIE	
Pr. Jean-Jacques Bonnet	MAR 19/02/08 Visite de l'Université Sidi Mohammed ben Abdellah de Fes avec Pr Cherkaoui, Pr Essassi et Pr Sekkat 10h00-11-00 Visite du Centre CURI (coordonateur Pr, Atmani) 11h00-12h30 Réunion avec les responsables de recherche (coordonateur Pr Kerbal) 14h30-16h00 Conférence: Chimie et Besoins Sociétaux (coordonateur Pr Kerbal)
Pr. Gerald G. Fuller	LUN 18/02/08 15h00-17h00 Visite de l'UATRS Pr Benyoussef, Pr Saidi, Pr Belaiche, Pr R. Cherkaoui, Pr Essassi, Pr Bousmina (Accueil, Mr Benaissa) MAR 19/02/08 Visite de l'Université Hassan II Mohammedia avec Pr Belaiche et Pr Saidi 10h00 Réunion avec les responsables de recherche (coordonateur Pr Zazoui) 11h30-12h00 Visite de laboratoires (coordonateur Pr Zazoui) 14h00-16h00 Conférence: Flow processing of collagen to create contact guidance of cells
Pr. André Zaoui	LUN 18/02/08 Visite de l'Université Hassan II Ain choc avec Pr Boughaleb, Pr Benyoussef, Pr Nadifi, Pr Bouab (coordonateur Pr Saifaoui) 10h00-12h00 Conférence: Morphologie microstructurale et comportement mécanique des matériaux hétérogènes (coordonateur Pr Ouazzani) 14h00-16h00 Réunion avec les responsables de recherche
SCIENCES DU VIVANT	
Pr. Francesco Garcia	SAM 23/02/08 Visite du laboratoire de biotechnologie végétale (Pr. Lamarti) Université Abdelmalek Essaadi, Tetouan Projet: Etude de la variabilité génomique du chêne liège et multiplication clonale par embryogenèse somatique (coordonateur Dr. Aouad)
ETUDES STRATEGIQUES	
Pr. Khalid Sekkat	VEN 22/02/08 18h30 Faculté des sciences juridiques, économique et sociales, Université Mohammed V-agdal (coordonateur Pr. El Aoufi) Conférence: L'économie marocaine en questions
ENVIRONNEMENT, TERRE ET MER	
Pr. Randall Hanson	LUN 25/02/08 09h00-17h00 Visite avec Pr. Ouazar des institutions suivantes: Visite de l'Office Nationale de l'Eau Potable (ONEP) Visite de l'Ecole Mohammadia des Ingénieurs (EMI) Visite de la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE)
Pr. Philippe Taquet Pr. Patrick De Wever	SAM 23/02/08 Visite de la station astronomique de l'Oukaimden (Marrakech) avec Pr. El Hassani et Pr. Bouab DIM 24/02/08 Visite du site propose pour le Muséum Naturel du Haut Atlas avec Pr. El Hassani et Pr. Bouab Après le 24/02/08 Pr Taquet a poursuivi, sa mission relative au Géoparc du Mgoun avec le Gouverneur de Ouarzazate.
Pr. Marcelo de Sousa Vasconcelos	LUN 18/08/02 Visite de l'Université Ibnou Toufail de Kénitra avec Pr. Assobhei Visite de l'équipe de recherche en océanographie Visite de la lagune de Moulay Bouselham MAR 19/02/08 Visite de l'estuaire Oum Errbia (Azemmour)
INGENIERIE, TRANSFERT ET INNOVATION TECHNOLOGIQUE	
Pr. Abderrahim Maazouz	MAR 19/02/08 Visite de l'Université Ibnou Toufail de Kenitra avec Pr. Boukhari (coordonateur Pr. Boukhari) 14h00-15h00 Réunion avec les responsables de recherche 15h30-16h00 Visite des laboratoires 16h00-18h00 Conférence: Rhéologie aux interfaces des matériaux polymères multicouches et rôle de l'interphase dans les écoulements stratifiés
Pr. Philippe A. Tanguy	MAR 19/02/08 Visite de l'EMI avec Pr. Bounahmidi 14h00-16h00 Réunion avec les professeurs sur le secteur de l'énergie 16h00-18h00 Conférence: University-Industry Collaborations in Several Leading and Emerging Economies
MODELISATION ET INFORMATION	
Pr. Daoud Ait-Kadi Pr. Nadia Ghazzali Pr. John O'Reilly	MAR 19/02/08 Visite de l'EMI avec Pr. Ghazzali et Pr. Ait Kadi (coordonateur Pr. Chiadmi) 09h30-10h00 Conférence (Pr. J. O'Reilly): Engineering Research and the Challenge of Interdisciplinary Adventure 10h00-10h30 Conférence (Pr. Ghazzali): La statistique, un outil de décision 10h30-11h00 Conférence (Pr. Ait Kadi): Optimisation de la disponibilité des systèmes : aspects fondamentaux et considérations pratiques 11h30-12h30 Réunion avec les responsables de recherche 14h00-16h00 Visite des laboratoires

Echanges et Coopération

Visite de M. Laszlo PAP, Ambassadeur de la République de Hongrie à l'Académie

Le 17 mars 2008, Monsieur Laszlo PAP, Ambassadeur de la République de Hongrie, a été reçu à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, par Monsieur Omar Fassi-Fehri, Secrétaire Perpétuel.

Les entretiens ont porté sur le développement de la coopération entre les communautés scientifiques des deux pays, et particulièrement entre l'Académie des sciences de Hongrie et l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.

Les expériences hongroises en matière d'organisation de réseau de la diaspora des scientifiques hongrois dans le monde ont été évoquées, de même que la façon de collaborer des académiciens hongrois avec les institutions gouvernementales de leur pays.

Pour sa part, Monsieur Omar Fassi-Fehri a présenté les missions assignées à l'Académie, ses objectifs et ses activités prioritaires.

Convention de coopération entre l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et le Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique d'Espagne

La cérémonie de signature de cette convention de coopération s'est déroulée lors de la session plénière 2008.



L'objet de la convention est de promouvoir et de consolider la coopération entre les groupes de recherche supportés par l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques et leurs homologues relevant du Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique (CSRS) dans les domaines d'intérêt pour les deux parties, notamment l'organisation de manifestations scientifiques dans un contexte bilatéral ou multilatéral au moyen de :

- Conduite conjointe de projets de recherche, d'ateliers et/ou la promotion de réseaux dans les domaines d'intérêt mutuel par la provision de financement partiel.
- Échange de chercheurs pour des séjours de courte durée.
- Tout autre initiative conformément aux objectifs de la convention.

Le Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique (CSRS) est la plus importante institution de recherche en Espagne. Avec des centres à travers tout le pays, le CSRS joue un rôle actif dans la politique scientifique de toutes les régions autonomes. En tant qu'institution multidisciplinaire, elle couvre les domaines de connaissances allant de la recherche fondamentale au développement technologique de pointe. Le CSRS couvre 8 domaines scientifiques et technologiques :

Sciences Humaines et Sociales, Biologie et Biomédecine, Ressources Naturelles, Sciences Agronomiques, Sciences Physiques et Technologies, Sciences Chimiques et Technologies, Sciences des matériaux et Technologie, Sciences des Aliments et Technologie

Ses fonctions portent sur :

- Recherche scientifique et technique pluridisciplinaire
- Conseil scientifique et technique
- Transfert de résultats au secteur privé.
- Aide à la création de sociétés à orientation technologique
- Formation de personnel spécialisé
- Gestion d'infrastructures et des grandes installations de recherches
- Promouvoir la culture scientifique

Le CSRS collabore avec :

- Les universités.
- Les institutions publiques de recherche
- Les entreprises privées
- Les associations professionnelles
- Les fondations
- Les régions autonomes, les autorités locales et les conseils provinciaux

Nouvelles des académiciens

Malik GHALLAB Chevalier de la Légion d'Honneur

En marge des travaux de la session plénière solennelle 2008, et en reconnaissance de ses activités dans le domaine des sciences, Malik Ghallab, Délégué Général à la Recherche et au Transfert pour l'Innovation, à l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA France), et membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a été décoré de la Légion d'Honneur. Les insignes de cette décoration lui ont été remis, au nom du Président de la République Française, par le Professeur Jean Dercourt, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences (France), et membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, en présence du Professeur Abdellatif Berbich, Secrétaire Perpétuel de l'Académie du Royaume du Maroc, du Professeur Omar Fassi-Fehri, Secrétaire Perpétuel de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, de Monsieur Jean François Thibault, Ambassadeur de France à Rabat, des membres de la famille du Professeur Malik Ghallab, et de nombreuses personnalités, notamment les membres de l'Académie.



Carlos MARTINEZ-ALONSO, Secrétaire d'Etat à la Recherche Scientifique

Le Professeur Carlos MARTINEZ-ALONSO, Président du Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique d'Espagne, et membre associé de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a été nommé Secrétaire d'Etat à la Recherche dans le gouvernement espagnol. Toutes les félicitations de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques au Pr. Carlos MARTINEZ-ALONSO.

L'équipe de Probabilités de Marrakech, retenue dans le cadre du 7^{ème} PCRD

L'équipe de probabilités du Pr. Youssef Ouknine de l'Université Cadi Ayyad de Marrakech, et membre résident de l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques, a été retenue, pour un financement du 7^{ème} PCRD (Appel d'Offres 2007 - Marie -Curie training) dans le cadre d'un réseau formé de six universités avec leurs partenaires industriels:

- Iasi (Roumanie)
- Brest (France); partenaire industriel: Credit Mutuel de Bretagne (Banque)
- Jena (Allemagne); partenaires industriels: ERGO Insurance Group (assurance), PROVINZIAL NordWest Konzern (assurance), BELTOS (société de consultants);
- Manchester (Royaume Uni);
- Marrakech (Maroc); partenaire industriel: Optima Finance Consulting (société de consultants)
- Milano (Italie).

L'objectif principal du réseau est la formation de doctorants (PhD) en collaboration avec les partenaires industriels (18 candidats avec des contrats de 3 années). Les sujets de recherche se rapportent aux thèmes (deterministic and stochastic control, backward stochastic differential equations in finite and infinite dimension, problems of stochastic viability, controllability and stability and their application in finance and insurance).

De plus, chaque équipe organisera un atelier ou une conférence et une école. Par ailleurs, des cours de formation sont prévus avec l'aide des partenaires industriels à Jena et Brest.

Pr. Driss OUAZAR rejoint le Comité de lecture de la revue «Hydrological Science»

Pr. Driss OUAZAR, membre du Collège Sciences et Techniques de l'Environnement, de la Terre et de la Mer a été élu au Comité de lecture de la revue «Hydrological Science».

Site internet de l'Académie

Le site internet de l'Académie est opérationnel. Il a été présenté aux participants à la session plénière 2008. Il présente, dans les quatre langues de travail de l'Académie (Arabe, Anglais, Espagnol, Français), l'essentiel des informations concernant, l'historique de cette institution, ses organes directeurs, ses membres, ses programmes scientifiques, ses activités, ses sessions plénières, son agenda, ses actualités, l'international, la documentation, et les publications.

www.academie.hassan2.sciences.ma



In memorium

Décès du Pr. Henri Cartan, mathématicien français



Henri Cartan est décédé le 13 août 2008 à l'âge de 104 ans. Nous nous proposons dans ce texte de donner une courte biographie de ce grand mathématicien qui a joué un rôle essentiel dans le développement de l'école mathématique française de la deuxième moitié du vingtième siècle.

Les mathématiques sont la discipline dans laquelle la position de la recherche française était et reste parmi les meilleures au monde, comme en témoigne la qualité exceptionnelle de ces chercheurs. Ce succès repose notamment sur l'existence de diverses structures (Universités, Académie des sciences, Centre national de la recherche scientifique CNRS, Institut des hautes études scientifiques IHES, Institut Henri Poincaré IHP, Ecoles Polytechnique, Ecoles normales supérieures ENS ...) mais aussi sur son héritage historique et des personnages de grande qualité comme Henri Cartan.

Le grand mathématicien Henri Cartan est mort le mercredi 13 août 2008, à l'âge de 104 ans (8 juillet 1904 - 13 août 2008). Il est fils de l'éminent mathématicien Élie Cartan (1869-1951) qui fut avec Henri Poincaré, un des plus illustres mathématiciens français du début du vingtième siècle. Henri Cartan a joué un rôle essentiel dans le développement de l'école mathématique française de l'après-guerre. Ses travaux portent principalement sur les fonctions analytiques d'une ou plusieurs variables complexes, la topologie algébrique et l'algèbre homologique.

Henri Cartan a été président de la Société mathématique de France en 1950, membre du comité Fields en 1954 et président de l'Union mathématique internationale, de 1967 à 1970.

Correspondant à l'Académie des sciences depuis 1965 et membre élu en 1974. Il a reçu la médaille d'or du CNRS en 1976.

Henri Cartan est né à Nancy le 8 juillet 1904. Il a soutenu sa thèse de doctorat ès sciences en 1928 sous la direction de Paul Montel. Il a commencé sa carrière universitaire comme professeur de mathématiques au lycée Malherbe à Caen, qu'il quitte très vite pour enseigner, à l'université de Lille de 1929 à 1931 puis celle de Strasbourg jusqu'à 1940. Après une année à Clermont-Ferrand, Henri Cartan obtient un poste à la Sorbonne et donne des cours aux normaliens. Il retourne deux ans à Strasbourg de 1945 à 1947, puis enseigne à l'Ecole normale supérieure de 1947 à 1965. On le retrouve à l'université de Paris puis à celle d'Orsay (1970-1975), avec un intermède d'un an passé aux Etats-Unis. Il prend sa retraite en 1974, l'année même où il entre à l'Académie des sciences.

Henri Cartan a formé plusieurs générations de mathématiciens parmi lesquels deux médaillés Fields : Jean-Pierre Serre (médaille Fields 1954) et René Thom (médaille Fields 1958), ainsi que d'autres mathématiciens de grande renommée, comme Roger Godement, Jean-Louis Koszul, Adrien Douady, Max Karoubi.

Les célèbres Séminaires Cartan (quinze éditions rédigées de 1948 à 1964) ont eu une importance fondamentale dans le développement de sujets tels que la théorie des faisceaux, les variétés de Stein, les espaces analytiques, la topologie algébrique et la géométrie algébrique. Ils ont en particulier ouvert la voie aux travaux de Grothendieck (médaille Fields 1966).

Le nom d'Henri Cartan est associé à celui du groupe Bourbaki qu'il a fondé en 1935, avec entre autres André Weil, Claude Chevalley, Jean Delsarte et Jean Dieudonné. Ce groupe a publié (à partir de 1939) un traité de mathématiques «Éléments de mathématique» sous le pseudonyme collectif de Nicolas Bourbaki, un gros ouvrage composé de dix volumes, destiné à unifier la discipline. Son influence a été décisive durant la période 1940-1980 et reste une très importante référence jusqu'à maintenant. A nos jours, un prestigieux séminaire «Séminaire Bourbaki» s'organise trois fois par an à l'institut Poincaré de Paris.

Les premiers travaux d'Henri Cartan concernent la démonstration et généralisation de l'inégalité de Bloch, problèmes d'itération et de limites pour les fonctions holomorphes, automorphismes des domaines bornés, groupes de transformations holomorphes. Dès 1931, il avait introduit la notion de convexité holomorphe dans l'étude des domaines d'holomorphie. On peut aussi citer l'utilisation de la théorie des faisceaux dans l'étude des fonctions analytiques de plusieurs variables, l'introduction de la notion de cohérence et le concept général d'espace analytique. En topologie algébrique, son calcul explicite des algèbres d'Eilenberg-MacLane constitue une étape historique du développement de la topologie algébrique moderne (sans oublier à cette époque la contribution de jeunes mathématiciens comme Armand Borel, Jean-Pierre Serre et Jean-Louis Koszul).

Henri Cartan a aussi été le premier à utiliser systématiquement la cohomologie des faisceaux introduite par Leray. Un apport très essentiel de Cartan concerne l'algèbre homologique, sujet qu'il créera avec Samuel Eilenberg dans une monographie de quatre cents pages *Homological Algebra* parue en 1956 dans lequel les concepts essentiels de ces nouvelles méthodes algébriques utilisées en topologie, théorie des fonctions de variables complexes et bientôt en géométrie algébrique, sont explicités et étudiés systématiquement. Cette théorie englobe dans un cadre général diverses théories particulières en les plaçant dans

le cadre général des foncteurs dérivés. Ceci a servi de catalyseur à un grand développement de la géométrie algébrique dans les années 60. D'autres travaux d'Henri Cartan concernent la théorie du potentiel et l'analyse harmonique.

L'ensemble des Notes et Mémoires de mathématiques d'Henri Cartan a été publié en 1979 par Springer Verlag (Berlin, Heidelberg, New York) sous le titre : *œuvres, Collected Works* (3 volumes). Il faut également ne pas oublier les fameux trois manuels de second cycle universitaire, publiés dans les années 1960, et devenus des grands classiques : *Théorie élémentaire des fonctions analytiques*, *Calcul différentiel*, *Formes différentielles*.

Henri Cartan est membre de nombreuses Académies (Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, Japon, Pologne, Suède), membre étranger de la Royal Society (1971) et membre associé étranger de la National Academy of Sciences (1972). Il est correspondant étranger de la Bayerische Akademie der Wissenschaften (1974), membre étranger de la Finnish Academy of Science and Letters (1979) et membre d'honneur étranger de l'American Academy of Arts and Sciences (1980). Il a obtenu le titre de Docteur Honoris causa de l'École polytechnique fédérale de Zurich, des universités de Münster, Cambridge, Oxford, Oslo, Stockholm, Saragosse et Athènes. Il est lauréat de la médaille d'Or du CNRS (1976).

D'autres activités d'intérêt général ont aussi intéressé Henri Cartan, il a ainsi mené des actions pour la défense des mathématiciens injustement privés de liberté selon sa vision. Il a travaillé dès l'après-guerre au développement des relations scientifiques entre mathématiciens français et allemands.

Pr. Abdelhak Abouqateb

Professeur à la faculté des sciences et techniques,
Université Cadi-Ayyad, Marrakech.



juin 2008